

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



**“PROPUESTA DE APLICACIÓN DE LECHADAS ASFÁLTICAS  
MODIFICADAS (MICROSURFACING) COMO TÉCNICA DE  
MANTENIMIENTO PERIÓDICO EN VÍAS DE ALTO TRÁFICO”**

PRESENTADO POR:

**JONATHAN JOSUÉ ALVARADO ROMERO  
LUIS ERNESTO CHIPAGUA GARCÍA  
VÍCTOR HUGO MEJÍA RAMÍREZ**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

CIUDAD UNIVERSITARIA, SEPTIEMBRE DE 2007

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTORA :

**DRA. MARÍA ISABEL RODRÍGUEZ**

SECRETARIA GENERAL :

**LICDA. ALICIA MARGARITA RIVAS DE RECINOS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO :

**ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO**

SECRETARIO :

**ING. OSCAR EDUARDO MARROQUÍN HERNÁNDEZ**

**ESCUELA DE INGERIERÍA CIVIL**

DIRECTOR :

**ING. LUIS RODOLFO NOSIGLIA DURÁN**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO CIVIL**

Título:

**“PROPUESTA DE APLICACIÓN DE LECHADAS ASFÁLTICAS  
MODIFICADAS (MICROSURFACING) COMO TÉCNICA DE  
MANTENIMIENTO PERIÓDICO EN VÍAS DE ALTO TRÁFICO”**

Presentado por:

**JONATHAN JOSUÉ ALVARADO ROMERO  
LUIS ERNESTO CHIPAGUA GARCÍA  
VÍCTOR HUGO MEJÍA RAMÍREZ**

Trabajo de Graduación aprobado por:

Docente Director :

**ING. DILBER ANTONIO SÁNCHEZ VIDES**

**ING. LESLY EMIDALIA MENDOZA MEJÍA**

**ING. CARLOS MATA TRIGUEROS**

San Salvador, Septiembre de 2007

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director :

**ING. DILBER ANTONIO SÁNCHEZ VIDES**

**INGA. LESLY EMIDALIA MENDOZA MEJÍA**

**ING. CARLOS MATA TRIGUEROS**

## **AGRADECIMIENTOS**

**A Nuestro Señor Jesucristo: por todas las bendiciones que nos ha dado desde que iniciamos este esfuerzo y por toda esa fuerza que nos dio para salir adelante en los momentos más difíciles.**

**A la Universidad de El Salvador:** Por habernos formado y dado la oportunidad de crecer intelectualmente y a la vez forjados como personas de bien.

**A nuestros asesores:** Por ser pacientes y comprensivos en esta investigación, además de su dedicatoria por ayudarnos, les agradecemos por todo lo que nos colaboraron.

**A Asfaltos de Centroamérica S.A. de CV. (ASFALCA):** Gracias a todo el personal en oficina y en la planta que nos atendieron, dejaron que sus instalaciones fueran utilizadas para este proceso investigativo, por tanto muchas gracias por darnos su confianza y apoyo en todo a la disposición de ustedes.

Agradecimientos Personales en la Escuela de Ingeniería Civil a:

Ing. Dilber Antonio Sánchez Vides

Ing. Lesly Emidalia Mendoza Mejía.

Ing. Mario Roberto Nieto Lovo

Ing. Luis Rodolfo Nosiglia Durán

Ing. José Ranulfo Cárcamo y Cárcamo

Ing. José Miguel Landaverde

Ing. Mauricio Ernesto Valencia

Prof. Evelio Hernandez

Tec. Carlos Edgardo Morataya

Además, queremos agradecer por la colaboración incondicional que nos brindaron algunas personas que de una u otra manera nos ayudaron durante el proceso de este trabajo.

Srta. Margarita Campos

Srta. Ana Raquel Martínez Ayala

Ing. Medad Cea

Ing. Aníbal Nájera

Agradecimientos Personales en ASFALCA a:

Ing. Carlos Mata Trigueros

Ing. Carlos Mata Ascoli

Lic. Carlos Corbera

Lic. Olimpia de campos

Lic. Cesar Olivares

Srta. Eleonora Cortés

Sr. Oscar Omar Hércules

Sr. Wilfredo Díaz

Sr. Carlos Joaquín Contreras

Sr. Edgardo Carias

Agradecimiento a todas las personas que nos brindaron su ayuda de una forma desinteresada y que fue provechoso para los objetivos de la culminación de esta carrera

## **DEDICATORIA**

**A DIOS PADRE MISERICORDIOSO Y A MI SEÑOR JESUCRISTO:** Por darme fuerzas en mis momentos de flaqueza, bendiciones en mis momentos de escasez, por gobernar mi vida y guiar mis pasos, por haberme dado una familia hermosa y poner amigos sinceros a mí alrededor y por haberme permitido alcanzar esta meta.

**A MIS PADRES:** Susana Elizabeth Romero y Ernesto Antonio Alvarado, que en todo momento han estado a mi lado apoyándome aun en las situaciones mas adversas, por brindarme amor constante e incondicional, por haber inculcado en mi valores que alimentaron mi vida y mi alma. Mi corazón no podrá expresar nunca mi amor y mi admiración hacia ustedes.

**A MI HERMANO:** David Ernesto Alvarado, por ser mi apoyo en todo momento, por brindarme su amor y consejos. Eres el espejo en que me miro para forjar mis sueños. Gracias por todo.

**A MI NOVIA:** Claudia Maria González por brindarme tranquilidad y serenidad, por su apoyo constante, por su paciencia y amor. Mil gracias.

**A MI TIA:** Ana Erlinda Romero y a toda mi familia por haber estado conmigo en los momentos más difíciles de mi vida y haberme brindado su amor, comprensión y apoyo en todo momento. Que mi Señor los bendiga a todos.

### **A MIS COMPAÑEROS DE TESIS:**

Hugo y Luis, por sus locuras, por ser personas sinceras por el empeño puesto en este trabajo que culminamos con éxito después de muchos inconvenientes. *“El verdadero amigo es como la sangre, que acude a la herida sin ser llamado”*. A todos mis amigos, compañeros de universidad y a todas aquellas personas que de una u otra forma me brindaron su apoyo incondicional.

*“El caballo se alista para el día de la batalla;  
Mas Jehová es el que da la victoria”  
Proverbios 21:31*

**JONATHAN ALVARADO**



## **DEDICATORIA**

### **A MI DIOS PADRE, AL SEÑOR JESUCRISTO Y EL ESPÍRITU SANTO:**

Por haberme escogido desde el principio, siendo un vil pecador, y entrego a su hijo Jesucristo para que pudiera acercarme a Él y me dio su Espíritu, para que me guié en cada momento de mi vida, y por permitir en su soberano plan que alcanzara este logro académico. *¡A Él sea toda la Gloria ahora y para siempre! Amén.*

### **A MIS PADRES:**

Rafael Antonio Chipagua y María del Carmen García de Chipagua por su amor incondicional, por su apoyo, sus consejos, su disciplina y todo sacrificio que realizaron para forjarme. Los amo y agradezco al Señor por sus vidas.

### **A MIS HERMANOS RAFAEL Y EDWIN:**

Por estar siempre conmigo en todo momento, y por que la gracia del Señor siempre ha estado en sus vidas mostrándome su amor y apoyo en todo. Les amo grandemente.

### **A MIS HERMANOS RITA, SANDRA Y OSCAR:**

Por estar siempre en sus oraciones y siempre dándome su apoyo, Bendigo al Señor por sus Vidas y sus familias.

### **A MIS ABUELOS:**

Papito Luis y Mamita Mari (Q.D.D.G.) que con su determinación, y trabajo son de inspiración en mi vida y son el mayor ejemplo de sacrificio en mi vida.

### **A MIS TÍOS:**

Carlos (Q.D.D.G.), Adela, Celia (Q.D.D.G.), Marina, Gerardo y Maritza que en cada momento de mi vida han estado apoyándome, y con sus consejos y amor han fortalecido mi vida.

**A MIS PRIMOS:**

Gracias Primos por estar ahí alegrando mi vida y llenado de felicidad cada momento y por todo su apoyo en mi carrera.

**A MIS COMPAÑEROS DE TESIS:**

Hugo y Jonathan, gracias por su amistad primeramente y por escogerme en este trabajo, que con dificultades logramos llegar a esta meta, pero con empeño entre todos logramos finalizarla.

**A TODOS MIS AMIGOS DE LA UNIVERSIDAD:**

Son muchos y seria difícil mencionarlos a todos, pero sin ustedes no habría logrado terminar mi carrera, gracias por su ayuda, todas esas noches de desvelos y todas las posadas que me brindaron, a ustedes les dedico me trabajo de graduación.

**A MIS PASTORES:**

Rene Mejía y Elida de Mejía, por todas sus oraciones y por siempre estar pendiente, les agradezco mucho ese cuidado que han tenido conmigo, así como un pastor con su oveja, les amo mucho.

**A MIS AMIGOS DE JOVIS:**

Por que fue un punto de partida importante en mi carrera, y han sido y siguen siendo un apoyo espiritual en mi vida, y todos esos momentos de angustias, el Señor les puso de su amor para mi vida. Así como comencé mi carrera académica, así comencé mi vida en el Señor con ustedes, a todos ustedes les amó, y continuare la carrera celestial con ustedes.

*“Y sabemos que a los que aman a Dios, todas las cosas les ayudan a bien, esto es, a los que conforme a su propósito son llamados” Romanos 8:28*

**LUIS CHIPAGUA**

## **DEDICATORIA**

**“Clama a mí, y yo te responderé, y te enseñaré cosas grandes y ocultas que tú no conoces” Jeremías 33:3**

**A mí Señor JESUCRISTO:** Por ser mi sostén en los momentos mas difíciles en mi vida y por tener misericordia de mi alma; te agradezco por salvar mi alma y por tus bendiciones.

**A mí papá José Noé Mejía:** Por su apoyo y ayuda, por ser tolerante en los momentos que más dificultades pasé en todo mi lucha por lograr este esfuerzo que tanto te ha costado, gracias papá.

**A mí mamá Marta Miriam Ramírez de Mejía:** Te doy las gracias mamita linda por darme todo, soy lo que soy por ti, te agradezco todos los momentos buenos y malos que pasaste conmigo y por todo lo que compartimos en este esfuerzo, te lo debo a ti gracias.

**A mis hermanos Nidia, Giovanni, Mario:** Por ayudarme en todo, brindándome su amistad y comprensión. Les agradezco por el tiempo que esperaron para que culminaran mis estudios, gracias por ser mis hermanos.

**A mí tía Mirna Esperanza Ramírez:** Por estar siempre preocupada por mi vida y en especial por brindarme toda su ayuda de una forma incondicional, gracias por todo tía.

**A todos mis familiares:** Gracias les doy por estar a la expectativa de mis estudios y por tomarme en cuenta, gracias por preocuparse por mí y darme consejos sabios.

**A mis pastores René Ovidio, Rhina de Velasco, Víctor López:** Por estar apoyándome y orando por mi vida en todo momento, gracias por ser mis hermanos en Cristo y brindarme todo su amor y amistad, también por soportarme.

**A toda la congregación de Cimentación Estable:** Gracias por todas sus oraciones y por todo el amor y amistad que me han brindado, los tengo a todos en mi corazón, muchas gracias por aceptarme como su hermano espiritual.

**A todos mis amigos de Ilopango y la Colonia Santa Lucia:** Gracias por preguntarme y tenerme en su mente que estoy haciendo un gran esfuerzo por salir adelante, gracias por todos los momentos que compartí con ustedes, fueron los mejores.

**Gracias Chele y Chip:** Por haber compartido con ustedes todos los momentos finales de la carrera y el tiempo que compartí con ustedes, su amistad y sinceridad fue lo mejor que me brindaron y les agradezco por todo lo que me ayudaron. No olvidaré estos detalles, gracias.

**A la Familia Chipagua García:** Gracias por haberme aceptado como su amigo, por todo el buen trato que recibí de ustedes, y en general por sus consejos, les doy las gracias por todo y espero que nunca cambie esta amistad que tenemos.

**A la Doña Susy y David:** Gracias por atenderme en sus hogares, por todo el buen trato que recibí de ustedes y su confianza hacia mi persona, muchas gracias por todo este tiempo que estuve con ustedes y espero que sigan siendo iguales, gracias.

**Gracias a todas las personas que estuvieron a mi lado en algún momento de mi vida, y a todos los que compartieron conmigo toda esta aventura de estudiar para lograr nuestras metas; espero que donde estén, todo les vaya a bien.**

**HUGO MEJÍA**

## SUMARIO

En nuestro país tradicionalmente las mezclas asfálticas en caliente han sido la primera, y en muchos casos única opción, para pavimentación y mantenimiento que se han utilizado durante muchos años en la red vial nacional, sin embargo las mezclas asfálticas en frío, que aplican el asfalto al agregado pétreo mediante una emulsión asfáltica, constituyen una tecnología ecológicamente amigable que ha sido utilizada en muchísimos países con excelentes resultados y muchas veces superando la efectividad de las mezclas en caliente. Si se considera que la falta de recursos para brindar mantenimiento preventivo a muchas de las calles y carreteras de la red vial nacional hace que sea necesario la implementación de tecnologías que permitan optimizar los recursos del estado brindando a la vez un muy alto desempeño de servicio, es conveniente considerar la implementación de las Lechadas Asfálticas Modificadas, como parte de un programa de mantenimiento preventivo en la red vial Salvadoreña, como una técnica factible puesto que además de ser una tecnología económica en comparación a los métodos tradicionales de mantenimiento, es más amigable con el medio ambiente y proporciona una alta eficiencia entre costo-desempeño.

El trabajo de investigación denominado **“PROPUESTA DE APLICACIÓN DE LECHADAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS (MICROSURFACING) COMO TÉCNICA DE MANTENIMIENTO PERIÓDICO EN VÍAS DE ALTO TRÁFICO”**, pretende lograr al final de su estudio la descripción de los aspectos más fundamentales a tomar en cuenta a la hora de utilizar las Lechadas Asfálticas Modificadas, presentando las pruebas y análisis necesarios para el correcto proporcionamiento de la mezcla, el

método de colocación en campo y su control de calidad. Información que se pretende sirva de insumo para establecer la factibilidad para la utilización de las Lechadas Asfálticas Modificadas en programas de mantenimiento vial en El Salvador.

El presente trabajo de investigación se divide en tres partes fundamentales, descritas en nueve capítulos en los cuales se ha pretendido describir los aspectos más significativos de los sistemas de microsurfacing, desde el conocimiento de la emulsión asfáltica y sus características, el diseño de la mezcla de microsurfacing y las características de sus materiales componentes hasta el proceso constructivo que debe llevarse a cabo y su control de calidad en campo.

La primera parte corresponde al capítulo I y capítulo II, el primer capítulo comprende la descripción general de la investigación, los objetivos que se pretenden alcanzar, los alcances de la investigación, el problema que le dio origen y las limitantes establecidas para el desarrollo del presente trabajo. En el capítulo II se presentan los conceptos fundamentales de los pavimentos, los tipos de pavimentos que se utilizan en nuestro medio enfatizando en los pavimentos flexibles y las mezclas asfálticas en general y de los tratamientos superficiales, basados en cemento asfáltico, en particular. Además de presentar un panorama general de los fundamentos de la preservación de pavimentos, los tipos de deterioros que presentan y cuales pueden ser reparados a través de tratamientos superficiales, la evaluación de su condición a través de diversos parámetros como el Índice de Condición del Pavimento (ICP) y el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), los conceptos de mantenimiento periódico, mantenimiento

preventivo y tratamiento de emergencia. Finalizando con una breve descripción de las lechadas asfálticas en general y de los sistemas de microsurfacing en particular.

La segunda parte la constituyen el capítulo III, capítulo IV y capítulo V, estos capítulos tienen como principal objetivo mostrar los componentes fundamentales de las emulsiones asfálticas y de los sistemas de microsurfacing, el proceso de colocación del sistema y los controles en campo que deben establecerse. El tercer capítulo describe detalladamente las características de los materiales que componen la emulsión asfáltica, desde el asfalto base hasta el emulsificante y el agua en la emulsión, se detallan las características que se deben evaluar y conocer en las emulsiones asfálticas, los agentes modificadores que pueden utilizarse y las ventajas de modificar la emulsión. El capítulo IV presenta las características a ser evaluadas en los componentes del microsurfacing, detallándose los ensayos a realizarse para caracterizar al agregado mineral y a la emulsión por ser los componentes principales de la mezcla. Se describe el procedimiento de diseño establecido por la Internacional Slurry Surfacing Association ISSA, además de describir brevemente los métodos de diseño de la American Society of Testing Materials (ASTM), del Texas Transportation Institute (TTI) y del California Department of Transportation (CALTRANS) y se presenta al final una recopilación de los ensayos y procedimientos necesarios para establecer el diseño final de una mezcla de microsurfacing, basados en los boletines técnicos propuestos por la ISSA. En el quinto capítulo se presentan los procesos constructivos a realizar para la correcta colocación de los sistemas de microsurfacing y los controles de calidad que deben seguirse en campo al momento de realizar cualquier proyecto.

La tercera y ultima parte engloba el capitulo VI, capitulo VII, capítulo VIII y capitulo IX. En el capitulo VI se muestran los resultados obtenidos en los ensayos de caracterización del agregado mineral y emulsión asfáltica para el establecimiento del diseño de mezcla adecuado para realizar los tramos de prueba realizados en la Avenida Masferrer Norte y de la carretera CA-08, kilómetro 37+500, presentando al final del capítulo el diseño de la mezcla obtenido mediante los procedimientos y ensayos establecidos por la ISSA para el agregado mineral proveniente del deposito de “La Cantera” en San Diego, La Libertad. En el capitulo VIII se pretende mostrar una breve descripción de la eficiencia que presentan los sistemas de microsurfacing cuando son aplicados como parte de programas de mantenimiento preventivo, mostrándose al final un breve análisis de costos unitarios. Finalmente en el capítulo IX se desarrollan las conclusiones obtenidas al final de la investigación y se plantean una serie de recomendaciones que podrían tomarse en cuenta a la hora de desarrollar proyectos de microsurfacing o para la realización de futuras investigaciones.



## **INDICE GENERAL**

<b><u>TITULO</u></b>	<b><u>PAG.</u></b>
<b>INTRODUCCION</b>	
<b>CAPITULO I: GENERALIDADES</b>	
1.1. ANTECEDENTES.....	3
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.3. OBJETIVOS.....	6
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	6
1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	6
1.4. ALCANCES DEL TRABAJO DE INVESTIGACION.....	7
1.5. LIMITACIONES DEL TRABAJO DE INVESTIGACION.....	8
1.6. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION.....	9
<b>CAPITULO II: FUNDAMENTOS DE LA PRESERVACION DE PAVIMENTOS</b>	
2.1. INTRODUCCIÓN.....	13
2.2. CONCEPTOS Y GENERALIDADES.....	14
2.2.1. DEFINICIÓN DE PAVIMENTO.....	14
2.2.2. FUNCIONES DE LOS PAVIMENTOS.....	14
2.2.3. TIPOS DE PAVIMENTOS.....	17
2.2.4. CLASIFICACIÓN DE LA CARPETA DE RODADURA ASFÁLTICA.....	21

<b>2.3. INFLUENCIA DE LOS MATERIALES EN EL COMPORTAMIENTO</b>	
<b>DE LOS PAVIMENTOS.....</b>	<b>23</b>
<b>2.3.1. COMPORTAMIENTO DE LOS AGREGADOS EN LA</b>	
<b>MEZCLA.....</b>	<b>24</b>
<b>2.3.2. CARGAS CÍCLICAS EN UN PAVIMENTO.....</b>	<b>25</b>
<b>2.3.3. COMPORTAMIENTO DE LOS LIGANTES ASFÁLTICOS.....</b>	<b>27</b>
<b>2.4. ANALISIS DE LA RED VÍAL DE EL SALVADOR.....</b>	<b>31</b>
<b>2.4.1. HISTORIA DE LA RED VIAL DE EL SALVADOR.....</b>	<b>31</b>
<b>2.4.2. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LA RED VIAL</b>	
<b>DE EL SALVADOR.....</b>	<b>34</b>
<b>2.4.3. RED VIAL PRIORITARIA DE EL SALVADOR.....</b>	<b>37</b>
<b>2.4.4. CLASIFICACIÓN DE LA RED VIAL BÁSICA DE EL SALVADOR</b>	
<b>SEGÚN LCCV/MOP/FOVIAL.....</b>	<b>42</b>
<b>2.4.5. ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA RED VIAL.....</b>	<b>52</b>
<b>2.4.6. INTENSIDAD DE TRÁFICO EN LA RED VIAL.....</b>	<b>54</b>
<b>2.5. MANTENIMIENTO EN LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS .....</b>	<b>58</b>
<b>2.5.1. COMPORTAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICO</b>	
<b>EN SU VIDA DE DISEÑO.....</b>	<b>58</b>
<b>2.5.1. EVALUACIÓN DE DAÑOS.....</b>	<b>60</b>
<b>2.5.3. FALLAS EN LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS.....</b>	<b>79</b>
<b>2.5.4. TIPOS DE DAÑOS EN LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS.....</b>	<b>82</b>
<b>2.5.5. MANTENIMIENTO EN LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS.....</b>	<b>89</b>
<b>2.6. MEZCLAS ASFÁLTICAS.....</b>	<b>95</b>
<b>2.6.1. MEZCLAS ASFÁLTICAS.....</b>	<b>95</b>
<b>2.6.2. TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.....</b>	<b>97</b>

2.7. GENERALIDADES DE LAS LECHADAS ASFALTICAS.....	103
2.7.1. RESEÑA HISTÓRICA.....	103
2.7.2. TRATAMIENTOS SUPERFICIALES CON LECHADAS ASFÁLTICAS.....	107
2.7.3. MATERIALES COMPONENTES DE LAS LECHADAS ASFÁLTICAS.....	112

**CAPITULO III: ANALISIS DE LOS MATERIALES  
COMPONENTES DEL SISTEMA MICROSURFACING.**

3.1. TEORIA DE LAS EMULSIONES.....	121
3.2. CLASIFICACION DE LAS EMULSIONES.....	122
3.2.1. CLASIFICACION SEGÚN EL ORIGEN.....	122
3.2.2. CLASIFICACION SEGÚN LA CARGA ELECTRICA.....	123
3.2.3. CLASIFICACION SEGÚN EL TIPO.....	123
3.2.4. CLASIFICACION SEGÚN TAMAÑO DE LAS PARTICULAS.....	125
3.2.5. CLASIFICACION SEGÚN LA PROPORCION DE LAS FASES...	125
3.3. EMULSIONES ASFALTICAS.....	127
3.3.1. HISTORIA DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS.....	127
3.3.2. DEFNICION DE EMULSION ASFALTICA.....	127
3.3.3. CLASIFICACION DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS.....	131
3.4. PROPIEDADES DE LAS EMULSIONES.....	134
3.4.1. PROPIEDADES INTRINSECAS.....	134
3.4.2. PROPIEDADES EXTRINSECAS.....	140
3.4.3. OTRAS CARACTERISTICAS DE LAS EMULSIONES.....	153

3.4.4. PRUEBAS DE CALIDAD.....	161
3.5. VENTAJAS DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS.....	161
3.5.1. CONSERVACION DE LA ENERGIA.....	162
3.5.2. VERSATILIDAD.....	164
3.5.3. FACILIDAD DE USO.....	164
3.5.4. DESEMPEÑO.....	164
3.5.5. RESUMEN.....	167
3.6. COMPONENTES DE LA EMULSION ASFALTICA.....	167
3.6.1. ASFALTO.....	167
3.6.2. AGUA PARA LA EMULSION.....	176
3.6.3. AGENTES EMULSIFICANTES.....	177
3.6.4. AGENTES MODIFICADORES (POLIMEROS).....	183
3.7. EMULSION ASFALTICA MODIFICADA.....	190
3.7.1. DEFINICION Y OBJETIVOS DE LA MODIFICACION DEL ASFALTO.....	190
3.7.2. ASFALTOS MODIFICADOS QUIMICAMENTE.....	194
3.7.3. PRINCIPALES MODIFICADORES UTILIZADOS EN EL ASFALTO.....	199
3.7.4. PRINCIPALES MODIFICADORES DEL ASFALTO.....	204
3.7.5. MODIFICACION DEL ASFALTO CON LATEX SBR.....	206
3.8. AGREGADO MINERAL.....	213
3.8.1. DEFINICION.....	213
3.8.2. CLASIFICACION DE LOS AGREGADOS.....	214
3.8.3. FUENTE DE AGREGADOS.....	215

3.8.4. PROPIEDADES DEL AGREGADO.....	217
3.8.5. PRUEBAS DE CALIDAD.....	220
3.9. RELLENO MINERAL (FILLER).....	221
3.9.1. OBJETIVO DEL RELLENO MINERAL.....	221
3.9.2. LA QUIMICA DEL RELLENO MINERAL.....	222
3.10 AGUA DE MEZCLADO.....	224
3.11. ADITIVOS QUIMICOS.....	225
3.11.1. OBJETIVOS GENERALES DE LOS ADITIVOS.....	225
3.11.2. TIPOS DE ADITIVOS APLICADOS PARA EL MICROSURFACING.....	226
3.11.3. ESTUDIO DE ADITIVOS MAS COMUNMENT USADOS.....	227
 <b>CAPITLO IV: METODOLOGIA DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE MICROSURFACING</b>	
4.1. FILOSOFIA DE DISEÑO.....	233
4.2. CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES.....	238
4.2.1. CONSIDERACIONES BASICAS.....	238
4.2.2. CARACTERIZACION DEL AGREGADO MINERAL.....	239
4.2.3. CARACTERIZACION DE LA EMULSION ASFALTICA.....	247
4.2.4. CARACTERIZACION DEL RELLENO MINERAL.....	254
4.2.5. CARACTERIZACION DEL AGUA DE MEZCLADO.....	255
4.2.6. CARACTERIZACION DEL ADITIVO QUIMICO.....	256
4.3. METODOLOGIAS DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE MICROSURFACING.....	257

4.3.1. METODO DE LA INTERNATIONAL SLURRY SURFACING ASSOCIATION.....	257
4.3.2. METODOLOGIA DE DISEÑO DE LA AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. ASTM D 6392-99.....	276
4.3.3. METODOLOGIA DE DISEÑO DEL TEXAS TRANSPORTATION INSTITUTE (TTI).....	277
4.3.4. METODOLOGIA DE DISEÑO DEL CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (CALTRANS).....	281
4.4. ENSAYOS PARA LA DETERMINACION DEL DISEÑO DE MEZCLA...	285
4.4.1. ESTIMACION DEL REQUERIMIENTO TEORICO DE ASFALTO.....	285
ENSAYO No. 1: Diseño de lechadas asfálticas por el método del area superficial. Boletín Técnico. ISSA TB 118.....	286
4.4.2. DETERMINACION DEL PROPORCIONAMIENTO INICIAL DE LA MEZCLA. (MEZCLAS DE PRUEBA).....	291
ENSAYO No. 2: Método de laboratorio de mezclado y curado de mezclas de lechadas asfálticas modificadas con polímeros (microsurfacing). Estándar Tex-230-F.....	291
ENSAYO No. 3: Procedimiento para establecer la mezcla de prueba para el diseño de sistemas de slurry surfacing. Boletín Técnico ISSA TB 113.....	295
4.4.3. EVALUACION DE LA COMPATIBILIDAD DEL SISTEMA.....	303
ENSAYO No. 4: Determinación de la compatibilidad de los sistemas de lechadas asfálticas. Boletín Técnico ISSA TB 115.....	303
ENSAYO No. 5: Ensayo de remoción en húmedo para mezclas de lechadas asfálticas curadas. Boletín Técnico ISSA TB 144.....	307

ENSAYO No. 6: Compatibilidad de mezclas de lechada asfáltica mediante ensayo de hervido. Boletín Técnico ISSA TB 149.....	309
4.4.4. DETERMINACION DEL TIEMPO DE FRAGUADO, CURADO Y APERTURA AL TRAFICO.....	312
ENSAYO No. 7: Método de prueba para la clasificación de sistemas de mezclas agregado/emulsión asfáltica, por medio de la prueba de cohesión modificada para la medición de las características de fraguado y curado. Boletín Técnico ISSA TB 139.....	312
4.4.5. DETERMINACION DEL CONTENIDO MAXIMO DE ASFALTO.....	320
ENSAYO No. 8: Método de ensayo para medir el exceso de asfalto en mezclas bituminosas. ensayo de la rueda cargada y adhesión de arena. Boletín Técnico ISSA TB 109.....	320
4.4.6. DETERMINACION DEL CONTENIDO MINIMO DE ASFALTO.....	330
ENSAYO No. 9: Método de ensayo de abrasión de pista húmeda de sistemas de slurry. Boletín Técnico ISSA TB 100.....	330
4.4.7. DETERMINACION DEL CONTENIDO OPTIMO DE ASFALTO.....	342
4.4.8. DETERMINACION DE LA ESTABILIDAD DEL SISTEMA.....	344
ENSAYO No. 10: Método de ensayo para la medición de la estabilidad resistencia a la compactación, desplazamiento vertical y lateral de mezclas asfálticas en frío de agregado fino multicapa. Boletín Técnico ISSA TB 147.....	345

ENSAYO No. 11: Método de ensayo para la clasificación de la compatibilidad del agregado-filler-ligante por los procedimientos schulze-breuer y rock. Boletín Técnico ISSA TB 144.....	348
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

4.4.9. CONVERSION DE UNIDADES DE LABORATORIO A UNIDADES DE CAMPO.....	353
--------------------------------------------------------------------------	-----

**CAPITULO V: PROCESOS CONSTRUCTIVOS Y CONTROL DE CALIDAD DE SISTEMAS DE MICROSURFACING.**

5.1 INTRODUCCIÓN.....	359
5.2 PRODUCCIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DEL AGREGADO.....	359
5.2.1 PRODUCCIÓN DEL AGREGADO.....	359
5.2.2 MANEJO DEL AGREGADO.....	362
5.2.3 ACOPIO DEL AGREGADO.....	364
5.3 PRODUCCIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA.....	365
5.3.1 FABRICACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA.....	365
5.3.2 PROCESO DE EMULSIFICACIÓN.....	365
5.3.3 ALMACENAMIENTO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS.....	369
5.3.4 TRANSPORTE DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS.....	372
5.3.5 MANIPULACIÓN DE EMULSIONES ASFÁLTICAS.....	373
5.3.6 MUESTREO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS.....	379
5.4 TRANSPORTE Y COLOCACIÓN DE LA MEZCLA.....	381
5.4.1 TRANSPORTE Y FABRICACIÓN.....	382
5.4.2 ELEMENTOS COMPONENTES DE LA MÁQUINA EXTENDEDORA DE MICROSURFACING.....	386



5.4.3	CALIBRACIÓN DEL EQUIPO.....	401
5.4.4	COLOCACIÓN DE LA MEZCLA.....	408
5.5	PROBLEMAS, SOLUCIONES Y SUGERENCIAS PARA EL MICROSURFACING.....	422
5.5.1	SITUACIONES EN LA HORA DE LA COLOCACIÓN.....	422
5.5.2	SITUACIONES ESPECIALES EN EL PROYECTO.....	424
5.6	MEDICIONES DE CONSTRUCCIÓN Y CANTIDADES DE PAGO.....	426
5.6.1	MEDICIONES DE CONSTRUCCIÓN Y CANTIDADES DE PAGO SEGÚN ISSA.....	427
5.6.2	MEDICIONES DE CONSTRUCCIÓN Y CANTIDADES DE PAGO SEGÚN SIECA.....	429

## **CAPITULO VI: DISEÑO DE MEZCLA, PRUEBAS DE LABORATORIO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

6.1.	PRUEBAS DE LABORATORIO Y DISEÑO DE MEZCLAS.....	433
6.2.	PRUEBAS A LOS COMPONENTES.....	435
6.2.1.	ENSAYOS AL AGREGADO MINERAL.....	435
6.2.2.	ENSAYOS A LA EMULSION ASFALTICA.....	456
6.3.	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL DE DISEÑO DE MEZCLAS.....	486
6.3.1.	PARAMETROS DE DISEÑO.....	487
6.3.2.	PROPORCIONAMIENTO INICIAL DE LA MEZCLA.....	488
6.3.3.	DETERMINACION DE LA COMPATIBILIDAD DEL SISTEMA.....	495
6.3.4.	DETERMINACION DEL CONTENIDO OPTIMO DE ASFALTO.....	496

6.3.5. DETERMINACION DE LA ESTABILIDAD DEL SISTEMA ISSA TB 147.....	512
6.4. ANALISIS DE RESULTADOS. ....	514
6.4.1. AGREGADO MINERAL.....	514
6.4.2. EMULSION ASFALTICA.....	514
6.4.3. DISEÑO DE MEZCLA.....	517
6.4.4. RESUMEN.....	518

**CAPITULO VII: APLICACIÓN DEL SISTEMA DE  
MICROSURFACING, PROYECTOS AVENIDA MASFERRER  
NORTE Y KM 37+500 CARRETERA CA-08W**

7.1. INTRODUCCION.....	521
7.2. ANALISIS TRAMO AVENIDA ALBERTO MASFERRER NORTE.....	523
7.2.1 ANTECEDENTES .....	523
7.2.2 DESCRIPCION DEL PROYECTO.....	531
7.2.3 ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO.....	533
7.2.4 APLICACIÓN DE LA TECNICA DE MICROSURFACING SOBRE AVENIDA ALBERTO MASFERRER NORTE. ....	537
7.3. ANALISIS PROYECTO KM 37+500 CARRETERA CA-08W.....	553
7.3.1 ANTECEDENTES.....	553
7.3.2 DESCRIPCION DEL PROYECTO.....	563
7.3.3 ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO.....	564
7.3.4. APLICACIÓN DE LA TECNICA DE MICROSURFACING. KM 37+500 CARRETERA CA-08, SAN SALVADOR – SONSONATE.....	567

**CAPITULO VIII: EFECTIVIDAD DEL MICROSURFACING COMO  
TÉCNICA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

8.1	MARCO PARA LA SELECCIÓN DE UN TRATAMIENTO EN MANTENIMIENTO.....	581
8.1.1	INTRODUCCIÓN.....	581
8.1.2	SELECCIÓN DEL PROCESO.....	582
8.2	EFECTIVIDAD DE LOS TRATAMIENTOS DE MICROSURFACING.....	587
8.2.1	INTRODUCCIÓN.....	587
8.2.2	ANÁLISIS DE LA EFECTIVIDAD A CORTO-PLAZO.....	589
8.2.3	ANÁLISIS DE LA EFECTIVIDAD A LARGO PLAZO .....	592
8.3	COMPARACIÓN DE LA RENTABILIDAD DEL MICROSURFACING Y MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EN CAPAS DELGADOS (HMA).....	597
8.3.1	ANÁLISIS DEL COSTO DEL TRATAMIENTO.....	597
8.3.2	RESULTADO DEL ANÁLISIS DE COSTOS DE TRATAMIENTO.....	598
8.3.3	ANÁLISIS DE LA RENTABILIDAD.....	600
8.4.	EXPERIENCIAS DEL MICROSURFACING EN EL SALVADOR.....	601
8.5	ANÁLISIS DE COSTO UNITARIO (COSTO DIRECTO).....	605
8.5.1	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS.....	605
8.5.2	MATERIALES.....	610
8.5.3	MANO DE OBRA.....	610
8.5.4	EJEMPLO DE CÁLCULO DE COSTO UNITARIO PARA EL MICROSURFACING.....	611

**CAPITULO IX: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

9.1. CONCLUSIONES..... 617

9.2. RECOMENDACIONES..... 621

**BIBLIOGRAFIA**

**ANEXOS**

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS DE LA PRESERVACIÓN DE PAVIMENTOS

<b>Figura 2.1</b>	Distribución de esfuerzos en las capas de un pavimento Flexible.....	21
<b>Figura 2.2</b>	Distribución de esfuerzos en las capas de un pavimento Rígido.....	21
<b>Figura 2.3</b>	Material granular visto microscópicamente.....	25
<b>Figura 2.4</b>	Estado de esfuerzos en una sección longitudinal de un pavimento.....	26
<b>Figura 2.5</b>	Distribución de esfuerzos en un pavimento.....	27
<b>Figura 2.6</b>	Cambio del comportamiento de la mezcla asfáltica en función de la temperatura.....	28
<b>Figura 2.7</b>	Comportamiento de flujo del cemento asfáltico.....	28
<b>Figura 2.8</b>	Características de Viscosidad de Varios Líquidos.....	29
<b>Figura 2.9</b>	Vista microscópica de las características de flujo de un líquido.....	30
<b>Figura 2.10</b>	Comportamiento de los Sólidos Elásticos.....	31
<b>Figura 2.11</b>	Evolución de la red vial de El Salvador.....	33
<b>Figura 2.12</b>	Red vial Básica de El Salvador.....	45
<b>Figura 2.13</b>	Sección típica en corte y en relleno de una carretera especial.....	46

<b>Figura 2.14</b>	Sección típica en corte y en relleno de una carretera primaria.....	48
<b>Figura 2.15</b>	Sección típica en corte y en relleno de una carretera secundaria.....	50
<b>Figura 2.16</b>	TPDA de la red vial básica de El Salvador.....	57
<b>Figura 2.17</b>	Comportamiento del Pavimento asfáltico de acuerdo a su edad.....	59
<b>Figura 2.18</b>	Sistema de Evaluación de los Pavimentos.....	61
<b>Figura 2.19</b>	Evaluación de las Condiciones Existentes del Pavimento.....	62
<b>Figura 2.20</b>	Equipo para ensayo de CBR.....	65
<b>Figura 2.21</b>	Modelo de cuarto de carro normalizado. (Golden Quarter Car).....	69
<b>Figura 2.22</b>	Perfilógrafo de California.....	71
<b>Figura 2.23</b>	Equipo Tipo Respuesta (Bump Integrator, BI).....	72
<b>Figura 2.24</b>	Nivel y Estadía.....	72
<b>Figura 2.25</b>	Equipo Dipstick.....	73
<b>Figura 2.26</b>	Componente del equipo Perfilómetro Inercial.....	74
<b>Figura 2.27</b>	Escala de Regularidad para pavimentos (IRI).....	75
<b>Figura 2.28</b>	Péndulo de fricción del TRRL.....	76
<b>Figura 2.29</b>	Esquema que muestra el concepto de Slurry Surfacing en general.....	109

<b>Figura 2.30</b>	Esquema de las carpetas de rodadura según la graduación de los agregados en las aplicaciones de Slurry Surfacing.....	113
--------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

### **CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LOS MATERIALES COMPONENTES DEL SISTEMA MICROSURFACING**

<b>Figura 3.1.</b>	Representación Esquemática de una Emulsión.....	121
<b>Figura 3.2.</b>	Representación esquemática de una emulsión tipo acuosa.....	123
<b>Figura 3.3.</b>	Representación esquemática de una emulsión tipo aceitosa.....	124
<b>Figura 3.4.</b>	Esquema de diferentes Emulsiones Múltiples L/H/L y H/L/H .....	125
<b>Figura 3.5.</b>	Partícula de un asfalto emulsificado catiónico.....	129
<b>Figura 3.6.</b>	Interfase entre asfalto y fase agua de una doble capa....	129
<b>Figura 3.7.</b>	Representación esquemática de una emulsión aniónica y de una catiónica.....	132
<b>Figura 3.8.</b>	Sedimentación en una emulsión asfáltica.....	137
<b>Figura 3.9.</b>	Floculación en una emulsión asfáltica.....	138
<b>Figura 3.10.</b>	Coalescencia en una emulsión asfáltica.....	139
<b>Figura 3.11.</b>	Inversión en una emulsión asfáltica.....	139

<b>Figura 3.12.</b>	Interacción entre las cargas del emulsificante y las cargas de la superficie del agregado .....	141
<b>Figura 3.13.</b>	Esquema del rompimiento químico.....	142
<b>Figura 3.14.</b>	Esquema de la aceleración del rompimiento químico...	143
<b>Figura 3.15.</b>	Reacción del emulsificante con el agregado.....	145
<b>Figura 3.16.</b>	Gráfico de relación milivoltios (mV) contra pH.....	151
<b>Figura 3.17.</b>	Esquema de empleo del uso del pH-metro.....	153
<b>Figura 3.18.</b>	El incremento del pH conlleva al incremento de la densidad de carga de las partículas.....	155
<b>Figura 3.19.</b>	La foto de la izquierda describe una emulsión asfáltica gruesa, mientras que la foto de la derecha describe una emulsión asfáltica fina .....	156
<b>Figura 3.20.</b>	Gráfico de relación de opacidad contra diámetro medio en el opacímetro y visualización de las partículas con el hematímetro de Thoma .....	157
<b>Figura 3.21.</b>	Distribución del tamaño de las partículas dentro de una emulsión asfáltica.....	160
<b>Figura 3.22.</b>	Esquema del refinamiento del asfalto.....	170
<b>Figura 3.23.</b>	Productos y temperaturas típicas de destilación.....	172
<b>Figura 3.24.</b>	Estructura básica del asfalto.....	173
<b>Figura 3.25.</b>	Estructura de un emulsificante.....	178
<b>Figura 3.26.</b>	Una emulsión catiónica.....	179



<b>Figura 3.27.</b>	Estructura de un emulsificante catiónico.....	180
<b>Figura 3.28.</b>	Una partícula aniónica.....	181
<b>Figura 3.29.</b>	Estructura de un emulsificante aniónico.....	181
<b>Figura 3.30.</b>	Gráfica de comportamiento plastómero de un polímero.....	184
<b>Figura 3.31.</b>	Gráfica de comportamiento elastomérico de un polímero.....	185
<b>Figura 3.32.</b>	A la izquierda látex (3 $\mu\text{m}$ de $\emptyset$ ), a la derecha SBS (5 $\mu\text{m}$ de $\emptyset$ ). Ambas con molido al 3%.....	186
<b>Figura 3.33.</b>	A la izquierda látex (20 $\mu\text{m}$ de $\emptyset$ ), a la derecha SBS (15 $\mu\text{m}$ de $\emptyset$ ). Ambas post añadidos al 3%.....	187
<b>Figura 3.34.</b>	Figura donde muestra un molino coloidal.....	188
<b>Figura 3.35.</b>	Proceso de fabricado de asfaltos modificados con polímeros.....	188
<b>Figura 3.36.</b>	(a) Un sistema compatible, (b) Un sistema incompatible. Ambos con polímero SBS.....	192
<b>Figura 3.37.</b>	(a) Microfotografía de la fase temprana del curado en la emulsión, (b) Microfotografía de la red polimérica formada en el asfalto después de completarse el secado de la emulsión.....	210
<b>Figura 3.38.</b>	Valores de $G^*/\text{sen}$ para residuos de emulsiones asfálticas modificadas con cantidades variables de látex SBR. ....	210

<b>Figura 3.39.</b>	Microfotografía del espécimen de microsurfacing mostrando (b) panel de abejas de polímero SBR formado alrededor de partículas de asfalto (c) algunos polímeros adheridos a la superficie del agregado.....	212
<b>Figura 3.40.</b>	Temperaturas de resistencia al ahuellamiento de la emulsión asfáltica, emulsión más concreto y emulsión, cemento y 3% de látex SBR (sólido a sólido).....	213
<b>Figura 3.41.</b>	Banda que muestra la carga de los agregados.....	220
<b>Figura 3.42.</b>	Cambio del pH del sulfato de aluminio y del relleno mineral.....	229

#### **CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE MICROSURFACING**

<b>Figura 4.1.</b>	Características de corto y largo plazo presentes en sistemas de microsurfacing .....	229
<b>Figura 4.2.</b>	Carta de clasificación para tiempos de fraguado y apertura al tráfico para sistemas de Microsurfacing mediante el ensayo de cohesión húmeda.....	266
<b>Figura 4.3.</b>	“Curva Benedict” utilizada para la determinación del requerimiento óptimo de relleno mineral en la mezcla, utilizando el estándar ISSA TB 139.....	267
<b>Figura 4.4</b>	Contenido Mínimo de Ligante por ensayo WTAT.....	272
<b>Figura 4.5</b>	Contenido Máximo de Ligante por ensayo LWT.....	272
<b>Figura 4.6.</b>	Contenido Óptimo de Ligante, rango de tolerancia.....	272

<b>Figura 4.7.</b>	Flujo grama de Procedimiento de Diseño de la ASTM para Sistemas de Microsurfacing.....	278
<b>Figura 4.8.</b>	Método de diseño propuesto por el Departamento de Transporte de California .....	284
<b>Figura 4.9.</b>	Dimensiones de Plantilla plástica para ensayo ISSA TB 149.....	311
<b>Figura 4.10.</b>	Carta de clasificación para sistemas de microsurfacing mediante gráficos de cohesión.....	317
<b>Figura 4.11.</b>	Maquina para ensayo de rueda cargada. ASTM 6372	321
<b>Figura 4.12.</b>	Manguera de caucho para ensayo de abrasión húmeda.....	332
<b>Figura 4.13.</b>	Curva de Perdida por abrasión vrs % asfalto. Ensayo de perdida por abrasión húmeda.....	343
<b>Figura 4.14.</b>	Curva de Adhesión de arena vrs % asfalto. Ensayo de la rueda cargada.....	343
<b>Figura 4.15.</b>	Determinación del contenido optimo de asfalto.....	343

## **CAPÍTULO V: PROCESOS CONSTRUCTIVOS Y CONTROL DE CALIDAD DE SISTEMAS DE MICROSURFACING**

<b>Figura 5.1</b>	Esquema tipo de un grupo primario de trituración.....	360
<b>Figura 5.2</b>	Grupo primario de trituración.....	361
<b>Figura 5.3</b>	Planta de fabricación de Emulsión Asfáltica Típica....	366

<b>Figura 5.4</b>	Esquema para la Fabricación de la Emulsión Asfáltica Modificada.....	367
<b>Figura 5.5</b>	Molino Coloidal, Estator y Rotor del Molino Coloidal.....	368
<b>Figura 5.6</b>	Esquema Representativo de almacenamiento de las Emulsiones.....	371
<b>Figura 5.7</b>	Esquema típico de una maquinaria de Fabricación de Slurry.....	382
<b>Figura 5.8</b>	Partes más importantes del Camión de fabricación de Slurry/Microsurfacing.....	384
<b>Figura 5.9</b>	Esquema típico de una caja de extendido.....	387
<b>Figura 5.10</b>	Sección Transversal Tipo la caja de extendido de Microsurfacing.....	388
<b>Figura 5.11</b>	Caja de Extendido vista desde arriba.....	389
<b>Figura 5.12</b>	Sección de la Banda de Caucho en Posición Normal...	391
<b>Figura 5.13</b>	Corredor Interno de la caja extendedora.....	393
<b>Figura 5.14</b>	Sección esquemática de un Corredor Interno.....	393
<b>Figura 5.15</b>	Cantidad de Mezcla en la Caja de Extendido.....	394
<b>Figura 5.16</b>	Sección Transversal tipo de un deposito de alimentación de un equipo de Microsurfacing.....	395
<b>Figura 5.17</b>	Sección tipo de una Bomba de Engranaje (Desplazamiento Positivo).....	397

<b>Figura 5.18</b>	Sección Tipo de una Bomba de Engranaje Interno (Desplazamiento Positivo).....	397
<b>Figura 5.19</b>	Diagrama de Bomba de Paleta de Desplazamiento variable (Se ha realizado el Desplazamiento).....	398
<b>Figura 5.20</b>	Diagrama de Bomba de Paleta de Desplazamiento variable (Sin Ningún Desplazamiento).....	399
<b>Figura 5.21</b>	Ejemplo de diseño de mezcla.....	402
<b>Figura 5.22</b>	Sección de la caja extendora y sus partes de regulación.....	405
<b>Figura 5.23</b>	Agregado en la parte delantera debido demasiada presión en el strikeoff.....	406
<b>Figura 5.24</b>	Diferentes Observaciones sobre el Strikeoff Primario.....	406
<b>Figura 5.25</b>	Diferentes Posiciones para el Strikeoff Secundario.....	408

**CAPÍTULO VII: APLICACIÓN DEL SISTEMA DE MICROSURFACING, PROYECTOS AVENIDA MASFERRER NORTE Y KM 37+500 CARRETERA CA-08W**

<b>Figura 7.1</b>	Ubicación proyecto Avenida Alberto Masferrer.....	524
<b>Figura 7.2</b>	Sección transversal Avenida Alberto Masferrer Norte.....	524
<b>Figura 7.3</b>	Ubicación General del Proyecto Carretera CA-08.....	554
<b>Figura 7.4</b>	Sección transversal Km 37+000, carretera CA-08W...	555

**CAPÍTULO VIII: EFICIENCIA DEL MICROSURFACING COMO TÉCNICA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

**Figura 8.1** Estrategia de tratamiento Basado en la condición del Pavimento..... 582

**Figura 8.2** Tiempo vrs. Costo del Tratamiento..... 582

**Figura 8.3** Determinación del salto de Rendimiento en No-Incremento..... 590

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS DE LA PRESERVACIÓN DE PAVIMENTOS

<b>Tabla 2.1</b>	Función de las capas que conforman la estructura de un pavimento. Diagrama de la estructura de un Pavimento.....	16
<b>Tabla 2.2</b>	Clasificación de los pavimentos según el material de su capa de rodadura.....	19
<b>Tabla 2.3</b>	Rutas Nacionales de conexión interna.....	42
<b>Tabla 2.4</b>	Clasificación de de la red vial de El Salvador.....	43
<b>Tabla 2.5</b>	Clasificación de las vías según su diseño geométrico	44
<b>Tabla 2.6</b>	Carreteras Especiales de El Salvador.....	47
<b>Tabla 2.7</b>	Carreteras Primarias de El Salvador.....	48
<b>Tabla 2.8</b>	Carreteras Secundarias de El Salvador.....	51
<b>Tabla 2.9</b>	Estado de la conservación de la Red vial en El Salvador.....	52
<b>Tabla 2.10</b>	Estado de Mantenimiento prioritario por MOP/FOVIAL.....	53
<b>Tabla 2.11</b>	Rehabilitación y mantenimiento de la red vial prioritaria.....	54

<b>Tabla 2.12</b>	Valores de Carga Unitaria para la Penetración del método CBR.....	63
<b>Tabla 2.13</b>	Condición del suelo con respecto a los valores del CBR.....	63
<b>Tabla 2.14</b>	Clasificación de los suelos con respecto al CBR.....	64
<b>Tabla 2.15</b>	Condición de la estructura con respecto al SN.....	67
<b>Tabla 2.16</b>	Equipos de Evaluación y Diagnostico Estructural de los Pavimentos.....	68
<b>Tabla 2.17</b>	Límites permisibles del Coeficiente de Fricción para pavimento Mojado.....	77
<b>Tabla 2.18</b>	Límites permisibles del Coeficiente de Fricción para pavimento seco.....	77
<b>Tabla 2.19</b>	Diferentes solicitaciones que se ve expuesto un pavimento.....	81
<b>Tabla 2.20</b>	Origen y Clasificación de las fallas en los pavimentos...	83
<b>Tabla 2.21</b>	Clasificación de daños en pavimentos Asfálticos.....	84
<b>Tabla 2.22</b>	Tipología de los deterioros en pavimentos y posibles causas.....	85
<b>Tabla 2.23</b>	Propiedades Funcionales de las Mezclas Asfálticas.....	90
<b>Tabla 2.24</b>	Tipos de Materiales Asfálticos.....	98
<b>Tabla 2.25</b>	Diferentes Usos para Los Asfaltos.....	99



<b>Tabla 2.26</b>	Clasificación de las Mezclas Asfálticas.....	100
<b>Tabla 2.27</b>	Tratamientos Superficiales y Riegos de Sellado.....	101
<b>Tabla 2.28</b>	Comportamiento de las Lechadas Asfálticas en la década de los 60's.....	105
<b>Tabla 2.29</b>	Desarrollo de las lechadas asfálticas y países que las Desarrollaron.....	108
<b>Tabla 2.30</b>	Especificaciones de granulometría para agregados según tipo.....	113
<b>Tabla 2.31</b>	Clasificación típica utilizada en Alemania.....	115

### **CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LOS MATERIALES COMPONENTES DEL SISTEMA MICROSURFACING**

<b>Tabla 3.1.</b>	Diferentes Tipos de Dispersiones.....	122
<b>Tabla 3.2.</b>	Características de las dos granulometrías de la emulsión.....	126
<b>Tabla 3.3.</b>	Relación del emulsificante con el potencial zeta y los agregados.....	130
<b>Tabla 3.4.</b>	Medición del índice de rompimiento.....	144
<b>Tabla 3.5.</b>	Relación de adherencia entre el agregado mineral y el ligante asfáltico .....	150
<b>Tabla 3.6.</b>	Pruebas para determinar las propiedades del Cemento Asfáltico.....	175

<b>Tabla 3.7.</b>	Diferentes categorías comerciales en las emulsiones asfálticas.....	177
<b>Tabla 3.8.</b>	Diferentes tipos de bases de asfaltos en el desempeño en campo.....	197
<b>Tabla 3.9.</b>	Pruebas para determinar propiedades del polímero tipo I.....	200
<b>Tabla 3.10.</b>	Pruebas para determinar propiedades del polímero tipo II.....	202
<b>Tabla 3.11.</b>	Pruebas para determinar propiedades del polímero tipo III.....	202
<b>Tabla 3.12.</b>	Pruebas para determinar propiedades del hule molido de neumáticos .....	203
<b>Tabla 3.13.</b>	Temperaturas de los tipos de ligantes empleados para hule molido de neumáticos.....	204
<b>Tabla 3.14.</b>	La clasificación de los agregados según el tipo de roca..	216
<b>Tabla 3.15.</b>	Afinidad de diferentes tipos de agregados con el asfalto.....	220
<b>Tabla 3.16.</b>	Clasificación de las rocas según el contenido de SiO <sub>2</sub> ó CaCO <sub>3</sub> .....	221
<b>Tabla 3.17.</b>	Diferentes tipos de aditivos para problemas específicos.....	228

## **CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE MICROSURFACING**

<b>Tabla 4.1.</b>	Especificaciones Granulométricas para agregados en sistemas de Microsurfacing, Según estándares ISSA A 143 y ASTM 6372-99.....	241
<b>Tabla 4.2.</b>	Ensayos comúnmente utilizados para evaluar la calidad de los agregados en Sistemas de microsurfacing.....	246
<b>Tabla 4.3.</b>	Especificaciones para emulsiones asfálticas. ISSA A143, ASTM 6372-99 .....	<b>254</b>
<b>Tabla 4.4.</b>	Especificaciones Granulométricas para Relleno mineral. ASTM 546-99.....	<b>255</b>
<b>Tabla 4.5.</b>	Especificaciones de diseño para sistemas de microsurfacing. ISSA A 143.....	258
<b>Tabla 4.6.</b>	Especificaciones para sistemas de microsurfacing. ISSA TB #151 .....	259
<b>Tabla 4.7.</b>	Sistema de Clasificación de compatibilidad.....	275
<b>Tabla 4.8.</b>	Granulometría de Agregados según el método TTL.....	279
<b>Tabla 4.9.</b>	Especificaciones Granulométricas para sistemas de Slurry Surfacing CALTRANS.....	282
<b>Tabla 4.10.</b>	Requerimientos de calidad del agregado según CALTRANS.....	283
<b>Tabla 4.11.</b>	Requerimientos de calidad para emulsiones asfálticas	283

	según el CALTRANS.....	
<b>Tabla 4.12.</b>	Factores utilizados en el cálculo del área superficial de agregados para lechadas asfálticas.....	288
<b>Tabla. 4.13.</b>	Moldes para especímenes de ensayo.....	289
<b>Tabla 4.14.</b>	Charola base para sujeción rápida.....	290
<b>Tabla 4.15.</b>	Factores de corrección para correlacionar a pérdida por C-100 .....	334
<b>Tabla 4.16</b>	Sistema de clasificación Schulze-Breuer utilizado para determinar la compatibilidad de los componentes de mezclas de microsurfacing.....	334
<b>Tabla 4.17.</b>	Determinación en campo del agua de mezclado añadida a la mezcla de lechada.....	340
<b>Tabla 4.18.</b>	Determinación de las unidades de campo para el porcentaje de cemento asfáltico en mezclas secas de lechadas.....	352
<b>Tabla 4.19.</b>	Determinación en campo del agua de mezclado añadida a la mezcla.....	354
<b>Tabla 4.20.</b>	Determinación de las unidades de campo para el porcentaje de cemento asfáltico en mezclas secas.....	355

## **CAPÍTULO V: PROCESOS CONSTRUCTIVOS Y CONTROL DE CALIDAD DE SISTEMAS DE MICROSURFACING**

<b>Tabla 5.1</b>	Tamaño de la partícula del asfalto y sus porcentajes.....	369
------------------	-----------------------------------------------------------	-----

<b>Tabla 5.2</b>	Temperaturas de Almacenamiento para Emulsiones Asfálticas.....	371
<b>Tabla 5.3</b>	Guía de las Condiciones Exigidas en Tanques Desagotados antes de la carga con Emulsión Asfáltica.....	374
<b>Tabla 5.3a</b>	Posibles Causas de Contaminación de Material Asfáltico o de muestras y Precauciones Recomendadas.....	375
<b>Tabla 5.3b</b>	Posibles Causas de Contaminación de Material Asfáltico o de muestras y Precauciones Recomendadas.....	376
<b>Tabla 5.3c</b>	Posibles Causas de Contaminación de Material Asfáltico o de muestras y Precauciones Recomendadas.....	377

## **CAPÍTULO VI: DISEÑO DE MEZCLA, PRUEBAS DE LABORATORIO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

<b>Tabla 6.1.</b>	Resultados obtenidos del análisis granulométrico, según estándar ASTM C-136-01.....	438
<b>Tabla 6.2.</b>	Proporción de los componentes de la emulsión ensayada.....	456
<b>Tabla 6.3.</b>	Requerimientos para el establecimiento del diseño de mezcla.....	488
<b>Tabla 6.4.</b>	Formulas de trabajo para cada porcentaje de emulsión a ensayar, establecidas según estándar ISSA TB 113.....	494

<b>Tabla 6.5.</b>	Resultados de ensayo de estabilidad de mezcla mediante el método modificado de la rueda cargada, ISSA TB 147.....	514
<b>Tabla 6.6.</b>	Resultados obtenidos en ensayos realizados al agregado mineral.....	515
<b>Tabla 6.7.</b>	Resultados obtenidos del análisis granulométrico, según estándar ASTM C-136-01.....	516
<b>Tabla 6.8.</b>	Resultados obtenidos en ensayos realizados al agregado mineral.....	516
<b>Tabla 6.9.</b>	Proporcionamiento de la mezcla obtenido en laboratorio.....	517

**CAPÍTULO VII: APLICACIÓN DEL SISTEMA DE MICROSURFACING, PROYECTOS AVENIDA MASFERRER NORTE Y KM 37+500 CARRETERA CA-08W**

<b>Tabla 7.1</b>	Resumen de deterioros observados y nivel de severidad. Avenida Alberto Masferrer.....	526
<b>Tabla 7.2</b>	Especificaciones de diseño para sistemas de microsurfacing, establecida en base a condiciones del proyecto.....	534
<b>Tabla 7.3</b>	Especificaciones de diseño proyecto Av. Alberto Masferrer.....	534
<b>Tabla 7.4</b>	Proporcionamiento de la mezcla obtenido en laboratorio.....	535

<b>Tabla 7.5</b>	Registro de materiales obtenido de registros de la maquina de proceso continuo, proyecto Avenida Masferrer Norte.....	536
<b>Tabla 7.6</b>	Resumen de deterioros observados y nivel de severidad. Entre Km 37 +000 al 39+000, carretera CA-08W.....	556
<b>Tabla 7.7</b>	Registro de materiales obtenido de registros de la maquina de proceso continuo Proyecto Km 37+500 carretera CA-08W.....	558

## **CAPÍTULO VIII: EFECTIVIDAD DEL MICROSURFACING COMO TÉCNICA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

<b>Tabla 8.1</b>	Matriz del Índice de Evaluación de Trabajo.....	587
<b>Tabla 8.2</b>	Resumen de resultados de la Eficacia del tratamiento de Microsurfacing a Largo Plazo.....	596
<b>Tabla 8.3</b>	Resumen de Inspección de daños en pavimentos tratados con microsurfacing en El Salvador.....	601
<b>Tabla 8.4</b>	Cantidades de Materiales para la maquina Bergkamp, Camión de fabricación de Microsurfacing.....	606
<b>Tabla 8.5</b>	Cálculo de costo unitario para el Microsurfacing.....	612

## ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

### CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS DE LA PRESERVACIÓN DE PAVIMENTOS

<b>Fotografía 2.1</b>	Pavimento de Tierra, calle de tierra al cráter del Boquerón.....	17
<b>Fotografía 2.2</b>	Pavimento de adoquín, Col. Santa Lucia, Ilopango.....	17
<b>Fotografía 2.3</b>	Pavimento de concreto hidráulico, Col. Santa Lucia, Ilopango.....	18
<b>Fotografía 2.4</b>	Pavimento de concreto asfáltico, Col. Santa Lucia, Ilopango.....	18
<b>Fotografía 2.5</b>	RN-07: Carretera Especial que conduce de Quezaltepeque-Nejapa-Apopa.....	46
<b>Fotografía 2.6</b>	Carretera primaria CA-02: Carretera del Litoral: Cerca de los Túneles.....	47
<b>Fotografía 2.7</b>	CA-01: Carretera Panamericana tramo Santa Ana-San Cristóbal, catalogado como vía secundaria.....	49
<b>Fotografía 2.8</b>	Equipo para el Ensayo de CBR In Situ.....	65
<b>Fotografía 2.9</b>	Perfilómetro Inercial Láser.....	74
<b>Fotografía 2.10</b>	Bache superficial. Calle Arce, entre la 15-17 Av. Norte, enfrente de edificio Figueroa, San Salvador.....	85
<b>Fotografía 2.11</b>	Pérdida de la capa de Rodadura. 47 Av. Sur entre la prolongación Calle Arce y Juan Pablo II, San Salvador.....	85



<b>Fotografía 2.12</b>	Pérdida de base. Prolongación calle Arce entre 41-43 Av. Norte.....	86
<b>Fotografía 2.13</b>	Exudación de Asfalto.....	86
<b>Fotografía 2.14</b>	Desgaste de agregados. Intersección prolongación Calle Arce 43 Av., San Salvador.....	86
<b>Fotografía 2.15</b>	Exposición de agregados. 43 Av. sur entre prolongación Calle Arce y Juan Pablo segundo, San Salvador.....	86
<b>Fotografía 2.16</b>	Rodaderas: Tomada en Boulevard del Ejército a la altura de la fábrica de cajas La Cartonera, San Salvador.....	87
<b>Fotografía 2.17</b>	Hundimiento: Tomada en calle los Tanques, colonia Dolores contigua a colonia las Lomitas II, San Salvador.....	87
<b>Fotografía 2.18</b>	Baches profundos: Tomada en Calle Arce, entre la 19Av y 21Av Norte.....	87
<b>Fotografía 2.19</b>	Ondulaciones: Catalogo de deterioros de Pavimento Flexible, del CDCI.....	87
<b>Fotografía 2.20</b>	Grietas longitudinales: Tomada en Calle Arce, entre la 21Av y 23Av Norte.....	88
<b>Fotografía 2.21</b>	Grietas Transversales: Tomada en Calle Arce, intersección 11Av sur.....	88
<b>Fotografía 2.22</b>	Piel de Cocodrilo: Tomada en 43 Av. sur entre prolongación Calle Arce y alameda Roosevelt.....	88

<b>Fotografía 2.23</b>	Fisuras en Bloques: Tomada en avenida Scout de El Salvador entre prolongación Calle Arce y 1ª calle poniente.....	88
------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

**CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE MICROSURFACING**

<b>Fotografía 4.1.</b>	Instrumentos utilizados para la realización de ensayo granulométrico, Según estándar ASTM C-136.....	241
<b>Fotografía 4.2.</b>	Equipo utilizado para la determinación del equivalente de arena, en suelos, y agregado fino según ASTM 2419.....	242
<b>Fotografía 4.3.</b>	Maquina de Los Ángeles, utilizada para ensayo de Abrasión e Impacto según Estándar ASTM C 131.....	244
<b>Fotografía 4.4.</b>	<i>(a)</i> viscosímetro Saybolt Furol conforme a los requerimientos especificados en el método de ensayo D 88, <i>(b)</i> Probetas graduadas para ensayo de sedimentación de la emulsión según estándar ASTM D 244.....	249
<b>Fotografía 4.5.</b>	Tamiz estándar de 850µm conteniendo partículas retenidas después de tamizada la emulsión, según estándar ASTM D 244.....	250
<b>Fotografía 4.6.</b>	Equipo de destilación utilizado para determinar el contenido de asfalto en una emulsión, según estándar ASTM D244.....	251
<b>Fotografía 4.7.</b>	Equipo utilizado para la realización del ensayo de penetración según el estándar ASTM D5.....	252

<b>Fotografía 4.8.</b>	Equipo utilizado en el ensayo de punto de ablandamiento, según estándar ASTM D36.....	253
<b>Fotografía 4.9.</b>	Determinación del proporcionamiento inicial mediante mezclas de prueba.....	263
<b>Fotografía 4.10.</b>	Cohesímetro utilizado para determinar el tiempo de fraguado y apertura al tráfico y los requerimientos de filler, según estándar ISSA TB 139 .....	265
<b>Fotografía 4.11.</b>	Equipo utilizado para la determinación de la pérdida por abrasión en pista húmeda, según estándar ISSA TB 100.....	269
<b>Fotografía 4.12.</b>	Equipo utilizado para simular las cargas de tráfico y de compactación. Ensayo de rueda cargada ISSA TB 109.....	271
<b>Fotografía 4.13</b>	Materiales utilizados para realizar mezclas de prueba.....	297
<b>Fotografía 4.14</b>	Agregado y relleno mineral mezclados en seco antes de añadir Agua de mezclado y emulsión.....	298
<b>Fotografía 4.15</b>	Mezclado de los componentes durante 30 segundos a aproximadamente 60-70 rpm, hasta que la mezcla rompa.....	299
<b>Fotografía 4.16</b>	(a) Regular el contenido de agua hasta alcanzar mezclas fluidas, (b) La mezcla se vierte en recipientes plásticos para determinar el Tiempo de curado.....	299
<b>Fotografía 4.17.</b>	(a) Equipo utilizado para el ensayo de cohesión húmeda, (b) Cohesímetro usado para determinar el tiempo de curado y apertura al tráfico.....	314

<b>Fotografía 4.18.</b>	Medidor de torque utilizado en el ensayo.....	314
<b>Fotografía 4.19.</b>	Moldeado de especímenes para ensayo de cohesión húmeda.....	316
<b>Fotografía 4.20.</b>	(A) especímenes curados listos para ensayar, (B) espécimen colocado bajo el durómetro de neopreno listo a ser ensayado.....	316
<b>Fotografía. 4.21.</b>	Desintegración del espécimen de ensayo debido a mala colocación sobre el pie del cohesímetro.....	319
<b>Fotografía. 4.22.</b>	Equipo utilizado en el ensayo de la rueda cargada. ASTM 6372.....	322
<b>Fotografía. 4.23.</b>	Moldeado de especímenes utilizando molde de 0.25” para ensayo de rueda cargada según ISSA TB 109.....	324
<b>Fotografía. 4.24.</b>	Calibración de la carga de ensayo sobre la maquina LWT, con pesas de plomo.....	325
<b>Fotografía. 4.25.</b>	Montaje del espécimen sobre la placa de ensayo y fijada a la maquina de carga.....	325
<b>Fotografía. 4.26.</b>	(a) Espécimen curado antes de ser sometido a carga cíclica, (b) espécimen luego de 100 ciclos de carga (puede notarse brillo debido a exudación de asfalto).....	327
<b>Fotografía. 4.27.</b>	Muestra después de 1000 ciclos de carga, lavada secada y pesada para determinar peso antes de ensayada.....	328
<b>Fotografía. 4.28.</b>	Arena graduada vertida sobre el espécimen y sometida a 100 ciclos extra de carga.....	328

<b>Fotografía. 4.29.</b>	Especímenes después de ensayos mostrando cantidad apreciable de arena adherida.....	329
<b>Fotografía. 4.30.</b>	Maquina de abrasión en pista húmeda tipo Hobart C-100.....	331
<b>Fotografía. 4.31.</b>	Mecanismo de sujeción de espécimen a la maquina de ensaño mediante abrazaderas de sujeción rápida.....	333
<b>Fotografía. 4.32.</b>	Mecanismo de abrasión compuesto por una manguera rígida de caucho.....	335
<b>Fotografía. 4.33.</b>	Fabricación de especímenes de ensayo sobre moldes metálicos para maquina Hobart C-100.....	337
<b>Fotografía. 4.34.</b>	(A) Espécimen recién moldeado y (B) Espécimen luego de periodo de curado.....	337
<b>Fotografía. 4.35.</b>	Montaje de espécimen sobre la maquina de abrasión cubriendo completamente con agua a profundidad de aproximadamente 2 mm sobre su superficie.....	338
<b>Fotografía. 4.36.</b>	Proceso de abrasión en húmedo por período de 5 minutos.....	339
<b>Fotografía. 4.37.</b>	Especímenes de ensayo (A) antes del ensayo y (B) después del proceso de abrasión.....	340

## **CAPÍTULO V: PROCESOS CONSTRUCTIVOS Y CONTROL DE CALIDAD DE SISTEMAS DE MICROSURFACING**

<b>Fotografía 5.1</b>	Camión de fabricación tradicional de Slurry/Microsurfacing siendo Abastecido de agregado en el Acopio.....	383
<b>Fotografía 5.2</b>	Camión de fabricación y Extendido de Slurry/Microsurfacing.....	383
<b>Fotografía 5.3</b>	Camión de Fabricación de Slurry de Carga Frontal...	386
<b>Fotografía 5.4</b>	Caja de Extendido para Slurry Seal y Microsurfacing.....	387
<b>Fotografía 5.5</b>	Un estilo de Strikeoff Secundario.....	392
<b>Fotografía 5.6</b>	Compuerta del depósito de alimentación del agregado.....	395
<b>Fotografía 5.7</b>	Sistema mecánico que une la Banda del agregado y la bomba de la Emulsión.....	400
<b>Fotografía 5.8</b>	Notificación de Mantenimiento en zonas residenciales o comerciales.....	410
<b>Fotografía 5.9</b>	Barredora Mecánica.....	411
<b>Fotografía 5.10</b>	Remoción de Hierba y Maleza.....	412
<b>Fotografía 5.11</b>	Protección de Tapaderas de Pozo o válvulas de agua.....	413
<b>Fotografía 5.12</b>	Pulidora para remover el termoplástico de las líneas de señalización u otro material no deseado.....	415

<b>Fotografía 5.13</b>	Procedimiento de identificación y lavado de marcadores de señalización.....	415
<b>Fotografía 5.14</b>	Trabajo hecho a mano en zonas difíciles para el equipo.....	421
<b>Fotografía 5.15</b>	Compactador Neumático.....	422

## **CAPÍTULO VI: DISEÑO DE MEZCLA, PRUEBAS DE LABORATORIO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

<b>Fotografía. 6.1</b>	Acopio de agregado muestreado según estándar ASTM -75.....	436
<b>Fotografía. 6.2</b>	Equipo utilizado para la determinación de la granulometría del agregado pétreo, según la especificación ASTM C-117 y ASTM C-136.....	439
<b>Fotografía. 6.3.</b>	Determinación de partículas finas que pasan el tamiz de 75 $\mu\text{m}$ (No. 200), según estándar ASTM C-117.....	440
<b>Fotografía. 6.4.</b>	Determinación de partículas finas que pasan el tamiz de 75 $\mu\text{m}$ (No. 200), según estándar ASTM C-117.....	441
<b>Fotografía. 6.5.</b>	Maquina de abrasión de Los Ángeles, según especificación C-131 sección 6.....	445
<b>Fotografía 6.6</b>	Equipo utilizado para la determinación de la Densidad Volumétrica del agregado pétreo, según estándar ASTM C29.....	453

<b>Fotografía 6.7.</b>	Componentes de equipo de destilación: (a) Alambique, (b) condensador, (c) Mechero Bunsen, (d) Equipo de destilación ensamblado, (e) Mechero de anillo.....	460
<b>Fotografía 6.8.</b>	Equipo utilizado para ensayo de penetración según estándar ASTM D-5.....	464
<b>Fotografía 6.9.</b>	Medición del punto de ablandamiento, aparato de anillo y bola. ASTM D-36.....	470
<b>Fotografía 6.10.</b>	(a) Equipo utilizado en la prueba de tamizado para emulsiones asfálticas, según ASTM D-244, (b) Partículas retenidas en el tamiz de 0.850 mm, después de realizado en ensayo.....	476
<b>Fotografía 6.11.</b>	Cilindros de vidrio de 500 mL utilizados en el ensayo de sedimentación.....	479
<b>Fotografía 6.12.</b>	Materiales utilizados en el proporcionamiento de la mezcla.....	491
<b>Fotografía 6.13.</b>	Mezcla con consistencia muy seca, tiempo de mezcla <120s.....	492
<b>Fotografía 6.14.</b>	Mezcla con consistencia adecuada, tiempo de mezcla >120s.....	492
<b>Fotografía 6.15.</b>	Maquina de Abrasión húmeda C-100, según ISSA TB 100.....	498
<b>Fotografía 6.16.</b>	(a) Cabeza abrasiva compuesta por tubo de caucho, (b) Espécimen sumergido y sometido a abrasión.....	499



<b>Fotografía. 6.17.</b>	Elaboración de espécimen de ensayo para prueba de abrasión en pista húmeda, según ISSA TB 100.....	500
<b>Fotografía. 6.18.</b>	Especímenes WTAT (a) antes del ensayo, y (b) después de ensayados.....	501
<b>Fotografía. 6.19.</b>	Maquina de Rueda Cargada, según estándar ISSA TB 109.....	505
<b>Fotografía. 6.20.</b>	(a) Especímen ensamblado antes de ensayar, (b) Especímen después de 1000 ciclos de compactación.....	506
<b>Fotografía. 6.21.</b>	(a) Especímenes de ensayo fraguados antes de ensayar, (b) Especímen montado listo para ensayar...	507

**CAPÍTULO VII: APLICACIÓN DEL SISTEMA DE MICROSURFACING, PROYECTOS AVENIDA MASFERRER NORTE Y KM 37+500 CARRETERA CA-08W**

<b>Fotografía 7.1</b>	(a) Piel de cocodrilo, altura redondel Masferrer, (b) trabajos de bacheo en zona dañada.....	527
<b>Fotografía 7.2</b>	Oquedades y raspaduras producidas por maquinaria pesada.....	528
<b>Fotografía 7.3.</b>	Peladuras de mediana severidad, Avenida Alberto Masferrer.....	529
<b>Fotografía 7.4.</b>	Agrietamiento moderado presente en Avenida Masferrer.....	530
<b>Fotografía 7.5</b>	Señalización del tramo a colocar microsurfacing.....	539

<b>Fotografía 7.6.</b>	Señalización del tramo a colocar microsurfacing.....	540
<b>Fotografía 7.7.</b>	Daños en la Ave. Masferrer Norte-Sur. En (a) se muestra una piel de cocodrilo y en (b) raspaduras.....	541
<b>Fotografía 7.8</b>	Reparación de Daños. En (a) tratamiento de la piel de cocodrilo con un tratamiento de bacheo y en (b) se repara la raspadura con un sellado de arena.....	542
<b>Fotografía 7.9.</b>	(a) Limpieza de la superficie del tramo de microsurfacing, (b) protección de una tapadera de agua potable.....	543
<b>Fotografía 7.10.</b>	Ubicación del acopio para los materiales del Microsurfacing. En (a) se muestra un camión de volteo y en (b) se muestra una pipa con emulsión.....	544
<b>Fotografía 7.11.</b>	En (a) Abastecimiento de agregado al camión de microsurfacing. (b) Abastecimiento de emulsión al camión de microsurfacing.....	545
<b>Fotografía 7.12.</b>	Calibración del agua de mezclado, en (a) es una mezcla muy fluida y en (b) prueba final de la mezcla deseada.....	546
<b>Fotografía 7.13.</b>	Revisión para el inicio del colocado.....	547
<b>Fotografía 7.14.</b>	Revisión para el inicio del colocado.....	548
<b>Fotografía 7.15.</b>	Manejo de la máquina micro, en (a) manejo del camión que contiene la máquina y en (b) manejo de la máquina microsurfacing.....	549

<b>Fotografía 7.16.</b>	(a) Junta transversal y (b) Junta Longitudinal.....	550
<b>Fotografía 7.17.</b>	(a) Trabajador quitando brumos y (b) Trabajadores acabando la superficie final.....	551
<b>Fotografía 7.18.</b>	(a) Limpieza de Pozo y (b) Daño en l a mezcla fresca debido a un vehiculo.....	552
<b>Fotografía 7.19.</b>	El tramo terminado el cual se puede apreciar la calidad de la superficie.....	552
<b>Fotografía 7.20.</b>	Deterioro tipo piel de cocodrilo observado en Km 39+000 carretera CA-08W.....	557
<b>Fotografía 7.21</b>	Desprendimientos aislados observados sobre Km 38+000 carretera CA-08W.....	558
<b>Fotografía 7.22</b>	Exposición de agregado generalizado entre Km 37+000 y 39+000.....	559
<b>Fotografía 7.23.</b>	Agregado pulido expuesto a intemperie Km 37+000....	560
<b>Fotografía 7.24.</b>	Grietas longitudinales que alcanzan los 3.0 m, Km 38+000.....	561
<b>Fotografía 7.25.</b>	Fisuras tanto longitudinales como transversales, Km 37+000.....	561
<b>Fotografía 7.26.</b>	(a) Señalización de desvío vehicular por rótulos, (b) colocación de conos vehiculares para cierre del carril parcialmente.....	568
<b>Fotografía 7.27.</b>	(a) Sellado se grietas y (b) limpieza de la superficie.....	569
<b>Fotografía 7.28.</b>	Abastecimiento de agregado para la maquina microsurfacing.....	570

<b>Fotografía 7.29.</b>	(a) Remojado de la caja extendedora y (b) remojo de la superficie del pavimento.....	571
<b>Fotografía 7.30.</b>	(a) Colocación del plástico y (b) ajuste de la caja extendedora para tirar el espesor de 9 mm.....	572
<b>Fotografía 7.31.</b>	(a) Retiro del, plástico, (b) colocación de la mezcla microsurfacing .....	573
<b>Fotografía 7.32.</b>	(a) Cuadrilla sobre la caja extendedora, (b) Cuadrilla sobre la superficie de la mezcla.....	574
<b>Fotografía 7.33.</b>	Definiendo hasta donde llegará el colocado de la mezcla, (b) Retiro de todo material sobrante.....	574
<b>Fotografía 7.34.</b>	(a) Rompimiento de la mezcla, (b) curado de la mezcla.....	576
<b>Fotografía 7.35.</b>	(a) Carga sobre la capa de microsurfacing recién colocada, (b) textura de rugosa exigida en una vía de alto tráfico.....	577
<b>Fotografía 7.36.</b>	(a) Curado completo de la capa de microsurfacing, (b) apertura al tráfico vehicular.....	578

**CAPÍTULO VIII: EFICIENCIA DEL MICROSURFACING COMO TÉCNICA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

<b>Fotografía 8.1</b>	Aplicación del microsurfacing en el Boulevard Venezuela San Salvador.....	602
-----------------------	---------------------------------------------------------------------------	-----

<b>Fotografía 8.2</b>	Aplicación del microsurfacing en 25 Av. Sur San Salvador.....	602
<b>Fotografía 8.3</b>	Aplicación del microsurfacing en San Salvador (a) Alameda Roosevelt y (b) Boulevard Tutunichiapa.....	603
<b>Fotografía 8.4</b>	Aplicación del microsurfacing en Boulevard Orden de Malta San Salvador 2005.....	603
<b>Fotografía 8.5</b>	Aplicación del Microsurfacing Av. Masferrer Norte-Sur en San Salvador 2007.....	604
<b>Fotografía 8.6</b>	Maquina Bergkamp, Camión de fabricación de Microsurfacing.....	606
<b>Fotografía 8.7</b>	Barredora Mecánica.....	607
<b>Fotografía 8.8</b>	Cargador Frontal.....	608
<b>Fotografía 8.9</b>	Cargador Frontal colocando agregado a la tolva de camión de microsurfacing.....	608
<b>Fotografía 8.10</b>	Un Camión Cisterna ó Pipa.....	609
<b>Fotografía 8.11</b>	Low Boy transportando un Cargador Frontal.....	610

## ÍNDICE DE FORMULARIOS

### CAPÍTULO VI: DISEÑO DE MEZCLA, PRUEBAS DE LABORATORIO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

<b>Formulario 6.1</b>	Análisis Granulométrico. ASTM C136-01.....	442
<b>Formulario 6.2</b>	Determinación del porcentaje de desgaste. ASTM C131-03.....	447
<b>Formulario 6.3</b>	Determinación del peso unitario y vacíos de los agregados. ASTM C29-97.....	451
<b>Formulario 6.4</b>	Determinación de la gravedad específica y absorción del agregado fino. ASTM C128-01.....	455
<b>Formulario 6.5</b>	Residuo después de destilación. ASTM D244-00.....	461
<b>Formulario 6.6</b>	Penetración a 25°C. ASTM D5-97.....	467
<b>Formulario 6.7</b>	Punto de ablandamiento. ASTM D36-97.....	473
<b>Formulario 6.8</b>	Determinación de partículas retenidas en tamiz No. 20. ASTM D244-00.....	477
<b>Formulario 6.9</b>	Sedimentación a 1 día. ASTM D244-00.....	481
<b>Formulario 6.10</b>	Sedimentación a 5 días. ASTM D244-00.....	482
<b>Formulario 6.11</b>	Determinación Viscosidad Saybolt Furol. ASTM D244-00.....	485
<b>Formulario 6.12</b>	Determinación de la formula de trabajo, mezcla de prueba. ISSA TB 113.....	493

<b>Formulario 6.13</b>	Determinación de pérdida por abrasión en pista húmeda (Wet Track Abrasión Test). ISSA TB 100.....	502
<b>Formulario 6.14</b>	Determinación de adhesión de arena por método de la rueda cargada (Load Wheel Test). ISSA TB 109.....	508
<b>Formulario 6.15</b>	Determinación de la estabilidad y resistencia a la compactación por método de la rueda cargada (Load Wheel Test). ISSA TB 147.....	513

## INDICE DE GRAFICAS

### CAPÍTULO VI: DISEÑO DE MEZCLA, PRUEBAS DE LABORATORIO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

<b>Gráfica 6.1</b>	Análisis Granulométrico. ASTM C136-01.....	443
<b>Gráfica 6.2</b>	Determinación del contenido mínimo de asfalto. ISSA TB 100.....	503
<b>Gráfica 6.3</b>	Determinación del contenido máximo de asfalto. ISSA TB 109.....	509
<b>Gráfica 6.4</b>	Determinación del contenido óptimo de asfalto. ISSA TB 111.....	511



## **INTRODUCCION**

Las condiciones de calidad de cualquier obra vial dependen de las consideraciones hechas al momento del diseño, de la selección de los materiales adecuados, del control de calidad realizado en campo, de los correctos procesos constructivos, pero no menos importante, de las tareas de mantenimiento estimadas durante su vida de servicio.

Muchas de las carreteras construidas presentaran daños variados sin disminuir la capacidad estructural del pavimento, sin embargo, generalmente los daños menores evolucionan a deterioros de mayor severidad debido a la falta de reparaciones oportunas o a la aplicación de técnicas de mantenimiento no adecuadas. Esta práctica ha generado que en nuestro país gran parte de la red vial nacional se encuentre en mal estado, situación que se vuelve muy evidente en las zonas urbanas.

Los recursos limitados con que cuenta el estado no permiten reparar todas las calles dañadas, debiendo dar prioridad a aquellas de mayor importancia, lo que ha provocado que en la actualidad el Fondo de Conservación Vial FOVIAL arrastre un déficit de arterias reparadas por año.

Generalmente se comete el error de no prestar la debida atención al mantenimiento preventivo en los pavimentos asfálticos lo que provoca que se crea que este tipo de carpetas son ineficientes y de mala calidad en conveniencia de técnicas más onerosas como los pavimentos de concreto hidráulico. Esta situación genera un circulo vicioso en donde se emplean muchísimos más recursos en la construcción y/o rehabilitación de carreteras a costos elevados, realizándose menos obras por mayor cantidad de dinero.

El presente trabajo de investigación pretende servir de insumo a los programas de mantenimiento preventivo que se llevan a cabo en nuestro país, presentando una técnica de pavimentación económica con desempeños de servicio ampliamente comprobados alrededor del mundo.

Los sistemas de lechadas asfálticas modificadas son técnicas de pavimentación de bajo espesor conocidas como microsurfacing, los cuales están constituidos de agregado mineral de alta calidad, filler, agua y emulsión asfáltica modificada con polímero. Estas mezclas pueden colocarse en espesores promedio de 12 mm y permitir la circulación del tráfico sobre ellas después de tan solo una hora de haber sido colocadas.

El microsurfacing es una técnica eficiente que presenta un alto desempeño a un costo muy bajo (aproximadamente 25% menos que el recarpeteo convencional), pudiendo aplicarse en calles residenciales, calles urbanas, estacionamientos, carreteras principales y aeropuertos. Corrige diversidad de deterioros superficiales del pavimento que van desde fisuras menores, peladuras, desprendimientos, hasta la corrección de deformaciones y rodaderas.

El presente trabajo de investigación tiene como principal objetivo el servir de guía para la implementación de sistemas de microsurfacing en programas de mantenimiento vial, además de presentar de manera general la tecnología de las mezclas asfálticas en frío que tiene como base la utilización de emulsiones asfálticas, como una alternativa a las tecnologías convencionales de mezclas en caliente.

# ***Capítulo I***

---

## ***Generalidades***



## **1.1. ANTECEDENTES**

El mantenimiento de las carreteras es una etapa en la cual se previene o se corrige cualquier deterioro del pavimento, logrando el buen estado de la estructura, prolongando así su vida útil. Para realizar el mantenimiento de los pavimentos existen diversas técnicas entre las que destacan *“Las Lechadas Asfálticas Modificadas”*.

El uso de ésta técnica se inició en la década de los 30's con la utilización de lechadas asfálticas convencionales (sin adición de polímeros modificantes), realizada por vez primera en Alemania. Entre los años 60 y 70 las empresas Alemanas siguieron investigándolas, encaminándolas hacia pavimentos de alto tráfico; se les colocó agregado altamente seleccionado, emulsificantes, betún y polímeros especiales, creando así “La Lechada Asfáltica Modificada”.

“La Lechada Asfáltica Modificada” se usa ahora a lo largo de Europa, Australia, Estados Unidos y Latinoamérica como una de las técnicas principales de mantenimiento y rehabilitación vial. En nuestro país esta técnica se aplica desde el año 1994, habiéndose colocado a nivel nacional un aproximado de 2,500,000 m<sup>2</sup> hasta la fecha. De las vías más importantes en las cuales se ha utilizado podemos mencionar: Autopista Sur, Boulevard Venezuela, 1º Calle Poniente, Calle a San Antonio Abad, 39 Av. Norte, Alameda Juan Pablo II, Alameda Roosevelt, 25 Av. Norte y las Calles de Rodaje en el Aeropuerto Internacional de El Salvador. Esta técnica se ha ido adaptando al concepto más moderno de conservación de carreteras en todo el mundo, por ser una técnica de bajo espesor, bajo costo, y gran duración.

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El fondo de conservación vial (FOVIAL) clasifica todos los proyectos que realiza dentro de dos grandes categorías: los de mantenimiento rutinario y los de mantenimiento periódico, estos últimos consisten en una serie de actividades que se deben ejecutar cada cierto número de años para evitar que las calles pierdan sus condiciones originales de servicio. La práctica habitual utilizada en nuestro medio para realizar dichos mantenimientos es el recarpeteo con mezclas asfálticas en caliente; éste se realiza mediante la aplicación de una nueva capa asfáltica de unos 5 cm de espesor, sin embargo, el método de recarpeteo produce nuevos problemas técnicos, como por ejemplo: el aumento de la altura del escalón lateral, la reducción de los bordillos de las aceras, la reducción de altura en los pasos elevados entre otros.

La mayor parte de las vías primarias de la red vial del país exhiben problemas como los antes mencionados, aun cuando muchas de ellas se mantienen en muy buen estado por los constantes mantenimientos que recibe, éstos a la larga se están volviendo más onerosos, puesto que el espesor que presentan las carpetas asfálticas en estos momentos, no permite realizar un nuevo recarpeteo sin antes reducir considerablemente estos espesores.

Teniendo en cuenta que en nuestro país, como en el resto de América Latina, las instituciones públicas cuentan con recursos económicos limitados y en su defecto carecen de ellos, para hacerle frente a todas las necesidades viales que requieren sus jurisdicciones, es necesario que los métodos de mantenimiento a implementarse sean elegidos tomando en cuenta tanto los factores de seguridad, comodidad y durabilidad, como los factores económicos que permitan optimizar los recursos del Estado. Esta es la razón por lo que la tendencia mundial es buscar técnicas asfálticas de bajo espesor.

Las lechadas Asfálticas Modificadas (microsurfacing) son las técnicas que más sobresalen dentro de los pavimentos de bajo espesor y a su vez son las más utilizadas como técnicas de mantenimiento superficial por presentar costos de implementación sustancialmente menores que cualquier otra alternativa convencional.

A pesar de que en nuestro país las lechadas asfálticas, tanto convencionales como modificadas, se vienen implementando desde 1994 como técnicas de mantenimiento superficial, su proceso de construcción, diseño y control en obra aún son poco conocidos. Es por ello que surge la necesidad de investigar los métodos utilizados para el diseño de mezcla de las lechadas asfálticas modificadas, así como presentar una guía básica para efectuar un adecuado manejo, colocación y control en obra; para lo cual se utilizarán como base de estudio las especificaciones y recomendaciones proporcionados por la Asociación Internacional de Lechadas Asfálticas (Internacional Slurry Surfacing Association, ISSA). Además, mediante el estudio de la propuesta de implementación de las lechadas asfálticas modificadas como técnicas de mantenimiento periódico aplicada a una vía primaria del AMSS se puede establecer una base comparativa de las ventajas que presentan estas técnicas con los métodos de mantenimiento utilizados en la actualidad.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

- Proponer el uso de las lechadas asfálticas modificadas, como técnica de mantenimiento periódico para ser implementada en las vías de alto tráfico de El Salvador.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar los tipos de deterioros que pueden ser corregidos utilizando lechadas asfálticas modificadas.
- Describir que es una emulsión asfáltica, las características físicas que se deben conocer de ella, que materiales la componen y su proceso de fabricación.
- Describir las características que de deben poseer los materiales componentes de las Lechadas Asfálticas Modificadas para lograr un buen comportamiento de la mezcla asfáltica.
- Determinar como influyen las características de los materiales en las propiedades de la emulsión asfáltica y de las lechadas asfálticas modificadas.
- Elaborar el diseño de mezclas, utilizando los procedimientos y ensayos que establecen las especificaciones ISSA A143 de la Internacional Slurry Surfacing Association (Asociación Internacional de Lechadas Asfálticas) ISSA, por sus siglas en inglés.
- Describir los procesos de elaboración y colocación de las lechadas asfálticas modificadas.
- Presentar una guía básica para su adecuado manejo y control de calidad en obra.



- Presentar los costos unitarios que se obtienen al implementar las lechadas asfálticas modificadas como método de mantenimiento periódico para vías de alto tráfico en el Área Metropolitana de San Salvador.

#### **1.4. ALCANCES DEL TRABAJO DE INVESTIGACION**

- La presente investigación contemplará la realización de una guía que permita establecer los parámetros básicos a tomar en cuenta, al momento de utilizar lechadas asfálticas modificadas como técnica de mantenimiento periódico, en aquellos casos en los que la vía no requiera más que la recuperación o conservación de las características superficiales del pavimento.
- El diseño de la mezcla se realizará según la metodología y especificaciones propuestas por la Internacional Slurry Surfacing Association en su boletín técnico A143 y en base a las características que presentara la vía primaria a investigar; también se describirá su proceso de colocación, manejo y control de calidad.
- Se propondrá el ciclo de mantenimiento que debe ser utilizado en la vía primaria a estudiar, al utilizar lechadas asfálticas modificadas como técnica de mantenimiento periódico, presentando una aproximación de los costos unitarios que conllevará su implementación.

## **1.5. LIMITACIONES DEL TRABAJO DE INVESTIGACION**

- En el siguiente trabajo se limitara a la utilización de una sola fuente de agregado pétreo y de emulsión asfáltica para la realización del diseño de la mezcla, por lo cual se establecerá una sola formula de trabajo que será validad únicamente para la combinación de dicho agregado y emulsión.
- La implementación de un tramo de prueba dependerá de la disponibilidad del MOP y/o FOVIAL para realizarlo.
- La tecnología de las lechadas asfálticas modificadas ha sido poco utilizada en comparación con otras técnicas de mantenimiento vial, por lo que en nuestro país se cuenta con poca experiencia en esta área.
- Por falta de equipo de laboratorio no se podrán realizar los siguientes ensayos :
  - Prueba de Cohesión Húmeda ISSA TB 139.
  - Prueba de Compatibilidad Schulze-Breuer-Ruck ISSA TB 144.

## **1.6. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION**

- El recarpeteo convencional se está convirtiendo en un método de mantenimiento oneroso si se compara con los pavimentos modernos de bajo espesor. Por lo tanto es necesario conocer otras técnicas de mantenimiento vial que sean menos problemáticas y a su vez que puedan presentar un menor costo en su implementación.
- Las lechadas asfálticas modificadas, a pesar de ser técnicas muy difundidas internacionalmente para el mantenimiento superficial de pavimentos, no son muy conocidas en nuestro país, aun cuando ya se han colocado alrededor de 2,500,000 m<sup>2</sup> a nivel nacional<sup>1</sup>, además son pocas las empresas que implementan la técnica, existiendo todavía en el medio un desconocimiento de cómo se diseñan, en que especificaciones se fundamentan, como se colocan y la forma de realizar un adecuado control de calidad en obra.
- Las mezclas asfálticas en caliente y las técnicas de pavimentación derivadas de las mismas son las más utilizadas en nuestro país, sin embargo las mezclas en frío que utilizan emulsiones asfálticas como medio aglutinante presentan mayores beneficios ecológicos y muchas veces económicos, sin embargo las lechadas asfálticas aun no son utilizadas ni investigadas a plenitud<sup>2</sup>.

---

1 Fuente: ASFALCA S.A. DE C.V.

2 Ing. Mata Trigueros, Gerente General ASFALCA S.A. DE C.V.



## ***Capítulo II***

---

### ***Fundamentos de la preservación de pavimentos***



## **2.1 INTRODUCCIÓN**

Con respecto a la red vial en la actualidad en El Salvador, es común hablar de costos de mantenimiento periódicos que sean bajos y la vez que empleen menos recursos para mantener el sistema de economía sostenible; sin embargo todavía se utilizan técnicas que realmente son muy costosas para poderlas sostener como es el caso de los recarpeteos, y esto se realizan como una receta de cocina ya que no se hacen estudios previos para poder decidir que tipo de técnica es conveniente para un caso específico que se presente de deterioro en una vía cualquiera.

El estudio que se realiza en esta investigación hace mucho énfasis en la nueva técnica que está revolucionando los mantenimientos periódicos en todo el mundo, es llamada Microsurfacing ya que ofrece costos de mantenimientos bajos, empleando menos recursos y ayuda a la economía sostenible; así como da mayor vida de servicio a la vía deteriorada.

Al hablar de Microsurfacing se debe de comprender que es un pavimento: su clasificación, estructura, función y comportamiento de cada elemento que lo compone; entonces se puede definir que es un pavimento asfáltico. También es importante conocer cada una de las etapas del mantenimiento en una vía que presenta un grado de deterioro, la cual consiste en su comportamiento cuando termina su vida de servicio, evaluación de daños, clasificación de la falla y tipo de mantenimiento que se le va aplicar; para un sistema microsurfacing es importante que cumpla ciertos requisitos que establece la ISSA (Internacional Slurry Surfacing Association) como lo es en que la falla debe ser de tipo funcional, que se aplique en una vía de mediano a alto tráfico y que se necesite ampliar la vida de servicio de la vía.

Se puede decir que esta técnica abre campo como una de las mejores en mantenimiento periódico en la vías de mayor tráfico, pero es importante que se conozca este sistema de tratamiento, en los capítulos siguiente se estudiará de cada una de las partes que componen este sistema, Diseño de mezclas y métodos de ensayos, aplicación en campo y

el análisis de costos comparativos con una técnica de mantenimiento tradicional utilizada para mantenimiento periódico.

## **2.2 CONCEPTOS Y GENERALIDADES**

### **2.2.1 DEFINICIÓN DE PAVIMENTO**

Un pavimento en síntesis es la estructura constituida por uno o más materiales que se colocan sobre el terreno natural o nivelado, para aumentar su resistencia y servir para la circulación de personas o vehículos.

La estructura de un pavimento está compuesta por una o varias capas, construidas sobre el suelo, con el fin de soportar adecuadamente las cargas de tráfico aplicadas.

En el diseño y proyecto de un pavimento deben de considerarse dos aspectos fundamentales:

1. *La Función Resistente*, que determina los materiales y los espesores de las capas que habremos de emplear en su construcción.
2. *La Finalidad*, que determina las condiciones de textura y acabado que se deben exigir a las capas superiores del pavimento, para que resulten seguras y confortables.

Las capas que conforman la estructura de un pavimento son: La subrasante, La Base, La Sub base y la carpeta de rodadura. En pavimentos rígidos o en proyectos con subrasantes muy resistentes puede obviarse el uso de la base en la estructura del pavimento. (Ver tabla 2.1)

### **2.2.2 FUNCIONES DE LOS PAVIMENTOS**

El pavimento es el elemento primordial de la infraestructura vial, y como tal debe de cumplir una serie de funciones para garantizar un servicio adecuado a los usuarios. Dichas funciones se describen a continuación:



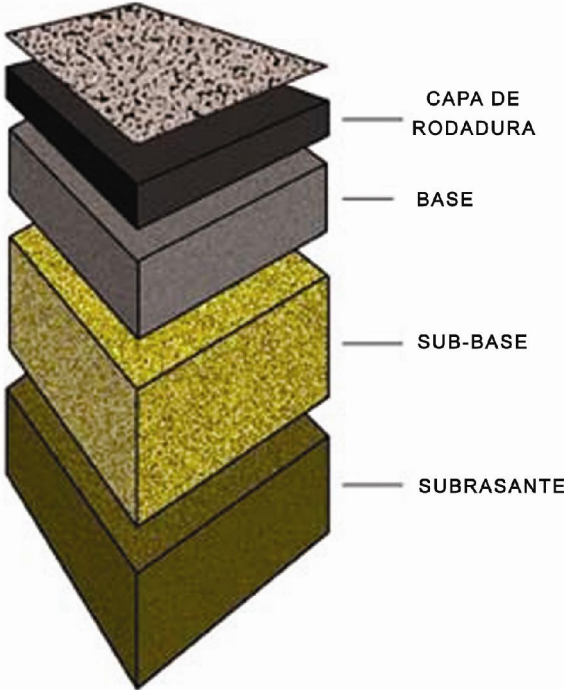
a) *Permitir el tránsito de los vehículos que circulen sobre él*, respondiendo en forma adecuada estructuralmente y según como fue previsto en la etapa de diseño; esto es especialmente importante para los organismos de conservación vial, ya que de ello depende que las labores de conservación durante el período de servicio del pavimento, se lleven a cabo según una planificación elaborada con base en predicciones confiables.

b) *Mejorar la calidad de la capa de rodadura*, de tal manera que los usuarios se desplacen de forma **segura** y **cómoda**, lo que se logra mediante una adecuada regularidad superficial tanto transversal como longitudinal, así como proporcionando una buena textura que brinde la resistencia al deslizamiento que se requiere para las velocidades de circulación previstas. Otro factor que también debe considerarse para el confort de los usuarios es el ruido producido por la interacción de las llantas de los vehículos y la superficie del pavimento, que se percibe tanto en el interior de los vehículos como en el exterior.

c) *Proteger la subrasante de los efectos del clima*, evitando así el daño que eventos naturales como la lluvia pueden provocarle, que a la larga puede derivar en asentamientos que llevan incomodidad o inseguridad al tránsito, llegando incluso a producir el colapso total de la estructura.

d) *Reducir la polución por polvo*, que se produce ante el paso de vehículos sobre caminos de tierra, lo cual afecta la comodidad y la salud tanto de los usuarios como de las personas que habitan en las proximidades.

e) *Delimitar las áreas de circulación de los vehículos*, con el objetivo de ordenar el tránsito, disminuyendo así la posibilidad de accidentes y retrasos debido a congestionamientos. Para cumplir plenamente con dicha función los pavimentos deben estar señalizados, y deben contar con una buena reflexión luminosa que ayude a la conducción nocturna minimizando la necesidad de obras de iluminación, esto último por efectos de economía.

CAPA	FUNCION	DIAGRAMA
<b>Capa de Rodadura</b>	Es sobre ella donde circulan los vehículos durante el período de servicio del pavimento, esta debe ser capaz de resistir el desgaste provocado por las condiciones de intemperismo y por el efecto abrasivo de los vehículos en movimiento, debe poseer suficiente estabilidad para soportar daños por el impulso y las rodadas bajo la carga de tránsito. Además, tiene la función de proteger la estructura, impermeabilizando la superficie impidiendo la entrada de cantidades excesivas de agua superficial a la base y la subrasante directamente desde arriba.	
<b>Base</b>	Es la capa que recibe la mayor parte de los esfuerzos producidos por los vehículos. Regularmente esta capa además de la compactación necesita otro tipo de mejoramiento (estabilización) para poder resistir las cargas del tránsito sin deformarse y además de transmitir las en forma adecuada a las capas inferiores.	
<b>Sub-base</b>	Cumple una cuestión de economía ya que ahorra dinero al poder transformar un cierto espesor de la capa de base a un espesor equivalente de material de sub-base, impide que el agua de las terracerías ascienda por capilaridad, debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento. Deberá transmitir en forma adecuada los esfuerzos a las terracerías.	
<b>Sub-rasante</b>	La función de la sub-rasante es soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, además de considerarse la cimentación del pavimento. Entre mejor calidad se tenga en esta capa el espesor del pavimento será más reducido y habrá un ahorro en costos sin mermar la calidad.	

**Tabla 2.1**  
Función de las capas que conforman la estructura de un pavimento. Diagrama de la estructura de un Pavimento

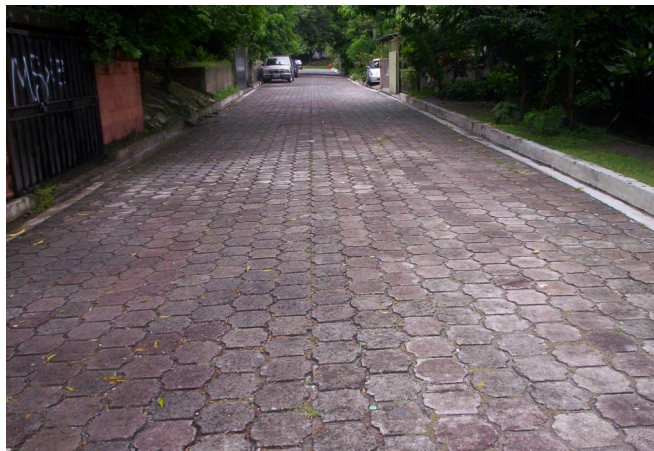
### **2.2.3 TIPOS DE PAVIMENTOS**

Los pavimentos pueden clasificarse de varias maneras, dependiendo de la característica que se este evaluando, así los pavimentos pueden dividirse según su comportamiento y respuesta ante las cargas aplicadas o de acuerdo al material constitutivo de su capa de rodadura. La Tabla 2.2 muestra la manera más usual en la que se clasifican los pavimentos.



**Fotografía 2.1**

Pavimento de Tierra, calle de tierra al cráter del Boquerón



**Fotografía 2.2**

Pavimento de adoquín, Col. Santa Lucia, Ilopango



**Fotografía 2.3**

Pavimento de concreto hidráulico, Col. Santa Lucia, Ilopango



**Fotografía 2.4**

Pavimento de concreto asfáltico, Col. Santa Lucia, Ilopango

<b>Parámetro de Clasificación</b>	<b>Tipo de Mezcla</b>	<b>Descripción</b>
<b>Material que compone su capa de rodadura</b>	Pavimento de Tierra	Es aquel al cual no se le ha construido la capa de rodadura, fundamentalmente por razones económicas. Se puede decir que son los pavimentos incompletos dado que se dan al servicio sin uno de sus elementos fundamentales. Sin embargo se pueden denominar según el material que está en contacto con el tráfico así: de material pétreo, de suelo natural o estabilizado químicamente con un aditivo como cal, cemento, asfalto, etc. Ver la fotografía 2.1.
	Pavimento de Adoquín	En este tipo de pavimentos la capa de rodadura está conformada por varios elementos: los adoquines que son bloques macizos, que generalmente se fabrican de concreto con forma de prisma recto, cuyas bases son polígonos con una forma tal que permiten conformar una superficie completa. Estos se colocan sobre una capa delgada de arena y un material de sello entre sus juntas. Ver la fotografía 2.2.
	Pavimento de Concreto Hidráulico	Su superficie está conformada por losas de concreto de cemento Pórtland. En este tipo de pavimentos las losas absorben la mayor parte de los esfuerzos, deformándose muy poco bajo la acción de las cargas y distribuyéndolas en un área muy grande. Ver la fotografía 2.3.
	Pavimento de Concreto Asfáltico.	Es aquel con una capa de rodadura conformada por una carpeta de concreto asfáltico. Si su espesor es considerable, esta capa se divide en dos: la base asfáltica y la rodadura, las cuales se diferencian básicamente en el tamaño del agregado con el que se produce el concreto asfáltico, siendo mayor el de la base que el de la rodadura. Ver la fotografía 2.4.

**Tabla 2.2 (a)**  
Clasificación de los pavimentos según el material de su capa de rodadura

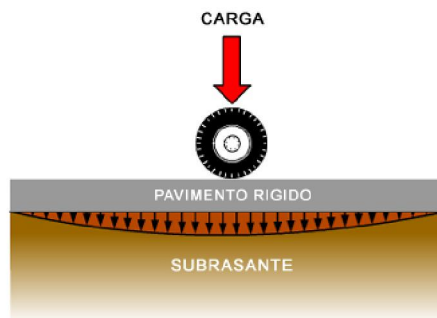
Parámetro de Clasificación	Tipo de Mezcla	Descripción
<p align="center"><b>Comportamiento ante las cargas aplicadas</b></p>	<p align="center">Pavimento Flexible</p>	<p>Son aquellos que están formados por una serie de capas granulares, rematadas por una capa de rodamiento asfáltica de alta calidad y relativamente delgada, la cual es capaz de acomodarse a pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura falle. En este tipo de pavimentos la calidad de los materiales utilizados en cada una de las capas aumenta conforme nos acercamos a la superficie, de modo de lograr una estructura competente ante las cargas esperadas y que a la vez resulte lo más económica posible. Ver la Figura 2.1.</p>
	<p align="center">Pavimento Rígido</p>	<p>Superficie de rodamiento construida con concreto de cemento Portland. La capa de rodadura de éstos pavimentos la integran una serie de losas que trabajan en conjunto, distribuyendo las cargas de vehículos hacia las capas inferiores. La capa de rodadura, es construida con concreto hidráulico, por lo que debido a su rigidez y alto modulo de elasticidad, basan su capacidad portante en la losa, más que en la capacidad de la subrasante. Ver la figura 2.2</p>
	<p align="center">Pavimento Semiflexible o Semirigido</p>	<p>Estos son aquellos en los cuales la rodadura está conformada por dos capas, en el caso de los semirígidos la inferior está conformada por agregados estabilizados con asfalto y la superior con concreto hidráulicos, en cambio en los semiflexibles el orden de las capas se invierte.</p>

**Tabla 2.2 (b)**  
 Clasificación de los pavimentos según su comportamiento ante las cargas aplicada



**Figura 2.1**

Distribución de esfuerzos en las capas de un pavimento Flexible



**Figura 2.2**

Distribución de esfuerzos en las capas de un pavimento Rígido

#### **2.2.4 CLASIFICACIÓN DE LA CARPETA DE RODADURA ASFÁLTICA**

La capa de rodadura en pavimentos asfálticos puede variar de un espesor desde menos de una pulgada en el caso de los tratamientos superficiales usados por su bajo costo en caminos de tránsito ligero, hasta seis pulgadas o más de concreto asfáltico usado en carreteras de tránsito pesado.

Existen diferentes tipos de carpetas asfálticas, los más comunes son los siguientes:

#### **2.2.4.1 Macadam asfáltico:**

Es el tipo más antiguo de los pavimentos para carreteras actualmente en uso. El macadam asfáltico, por penetración consiste en una base o una superficie de rodamiento de piedra triturada o escoria de un solo tamaño en las que los fragmentos están ligados con asfaltos. Se emplea como capa superficial para caminos de tránsito medio a pesado, pero para caminos de tránsito pesado ha sido sustituido por el concreto asfáltico emulsionado o uno de los grados más pesados de los alquitranes para caminos.

#### **2.2.4.2 Mezcla asfáltica en caliente (MAC):**

Es la mezcla de agregados pétreos con aglomerantes bituminosos, materiales que deben cumplir con los requisitos especificados, los cuales mezclados mediante procedimientos controlados en caliente, darán como resultado un material con propiedades y características definidas.

#### **2.2.4.3 Mezcla asfáltica en frío (MAF):**

Es la combinación de agregados y un ligante bituminoso que puede mezclarse, extenderse y compactarse a temperatura ambiente. En algunas ocasiones el agregado puede llegar a calentarse ligeramente.

Estas mezclas emplean en su fabricación ligantes bituminosos con menor viscosidad que las mezclas en caliente, asfaltos fluidificados, alquitranes fluidos o emulsiones asfálticas. El mezclado se puede efectuar “In Situ” o en plantas mezcladoras en fijo.

Los tipos de mezclas en frío son:

- Mezclas abiertas
- Mezclas densas
- Grava-emulsión
- Suelo emulsión
- Micro aglomerado en frío



#### **2.2.4.4 Tratamientos superficiales:**

Es un término que cubre generalmente todas las aplicaciones de asfalto, con o sin agregados a cualquier tipo de camino o superficie de pavimentos, pero cuyo espesor final es por lo general inferior a 25 mm (una pulgada).

Los tratamientos superficiales varían desde una simple y ligera aplicación de cemento asfáltico, sobre los cuales distribuyen agregados pétreos. Todos los tratamientos superficiales sellan y prolongan la vida de los caminos, teniendo cada uno o más propósitos especiales.

De acuerdo a la aplicación o preparación la siguiente es una ampliación de los tratamientos superficiales.

- Tratamiento superficial simple y múltiple
- Tratamiento superficial con aplicación única de asfalto
- Riego de imprimación
- Riego antipolvo
- Lechadas asfálticas

### **2.3 INFLUENCIA DE LOS MATERIALES EN EL COMPORTAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS**

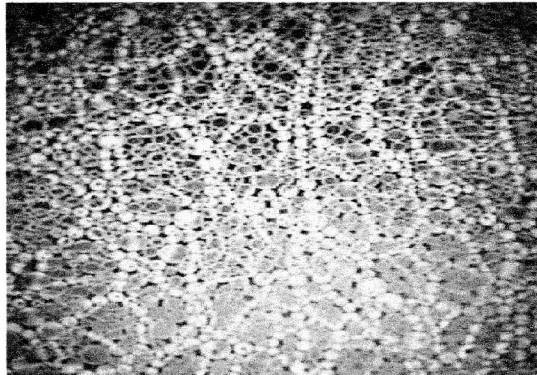
Cuando se estudian los materiales a ser utilizados en las mezclas asfálticas y se aprueba su utilización mediante la normativa vigente, generalmente no se está teniendo en cuenta que esos materiales en su vida útil se van a comportar diferente a como se estima que se comportaron en todos los estudios realizados en el laboratorio, sobre todo porque los materiales granulares sufren cambios, causados por la acumulación de esfuerzos, en cuya situación se forman cadenas de esfuerzos y las partículas que participan en estas sufren fracturamiento. Todo eso implica que los materiales van a cambiar sus características físicas y mecánicas y que un ensayo no puede describir de manera real como se comporta la mezcla al final de su periodo de servicio, porque no simula lo que realmente le ocurre al aplicarle la carga.

### **2.3.1 COMPORTAMIENTO DE LOS AGREGADOS EN LA MEZCLA**

Las capas de materiales granulares en los pavimentos están sometidas a cargas repetidas. Las deformaciones que experimenta un material granular se reflejan básicamente en la acomodación de sus partículas y pueden llegar a sufrir fracturamiento, lo que indica que el material no poseerá las mismas características durante todo el período que esté haciendo parte de la estructura del pavimento.

Generalmente los materiales granulares tiene buena capacidad portante, son permeables y en general son buenos comparados con las arcillas. En una muestra de material granular (véase figura 2.3) sometida a carga no solo resulta importante estudiar las relaciones de esfuerzo- deformación existentes, sino que también el cambio de las características físicas y mecánicas de las partículas. En esencia el cambio de estos materiales es debido a que las capas que conforman la estructura de un pavimento están sometidas a cargas y prever su comportamiento garantizará la durabilidad del mismo.

Normalmente cuando se piensa en pavimentos de concreto asfáltico se tiende a pensar más en el ligante asfáltico que en los agregados minerales. Debido a que los agregados constituyen cerca del 95% en peso de la mezcla, estos deben ser atendidos apropiadamente en los procesos de selección y diseño de una mezcla asfáltica. Aunque los agregados minerales no son la parte compleja de las mezclas asfálticas, constituyen básicamente la estructura que proporciona la resistencia de la mezcla ante cargas a las que está expuesto un pavimento. Por esta razón, los agregados deben poseer determinadas propiedades básicas respecto a forma, tamaño, resistencia, dureza y durabilidad de los mismos.



**Figura 2.3**

Material granular visto microscópicamente

Esencialmente, los agregados pétreos deben proporcionar a la mezcla una estructura capaz de resistir las aplicaciones repetidas de carga a las que un pavimento está expuesto. Esta situación se asegura al utilizar agregados de forma cúbica, ya que por su forma y distribución de tamaños, tienden a formar una llave entre ellos y a asegurar que unas partículas se apoyen en otras; esta situación permite que el asfalto seleccionado cumpla con la función de actuar como un verdadero ligante, el cual mantiene unidas a las partículas.

Por lo anterior se puede indicar que para asegurar un buen comportamiento de las mezclas asfálticas, deberán especificarse propiedades en los agregados que contribuyan a incrementar la fricción interna entre las mismas, con lo cual también se incrementan las características de la mezcla a resistir los esfuerzos cortantes transmitidos por las cargas.

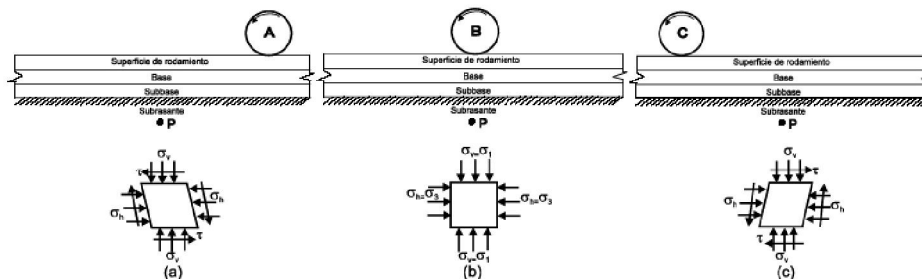
### **2.3.2 CARGAS CÍCLICAS EN UN PAVIMENTO**

El tránsito tiene una gran influencia en la aplicación de las cargas en un pavimento y su caracterización es bastante compleja debido no solo a la variabilidad de los distintos vehículos existentes, sino también a las interacciones vehículo-pavimento que producen fenómenos con solicitaciones adicionales a las propias cargas estáticas del tránsito.

Para caracterizar las sollicitaciones producidas por el tránsito a un pavimento se pueden estudiar independientemente los siguientes aspectos:

- Magnitud de las cargas según la composición del tránsito (carga por eje, número de ejes que circulan, y número de repeticiones de carga).
- Forma geométrica de cada sollicitación sobre el pavimento (área de contacto y reparto de presiones sobre la misma).
- Velocidad de los vehículos y tiempo de sollicitación en un punto.
- Estados de esfuerzos que producen las cargas, en función de su magnitud y tipología (verticales, tangenciales, fenómenos de impacto, etc).
- Características de las capas del firme.

Las cargas en un pavimento son debidas principalmente al tráfico, los efectos de estas van evolucionando de acuerdo a la posición de la representación de la carga es decir a la rueda, es importante tener en cuenta el cambio del esfuerzo normal vertical, del esfuerzo radial y del esfuerzo cortante. (Véase figura 2.4)



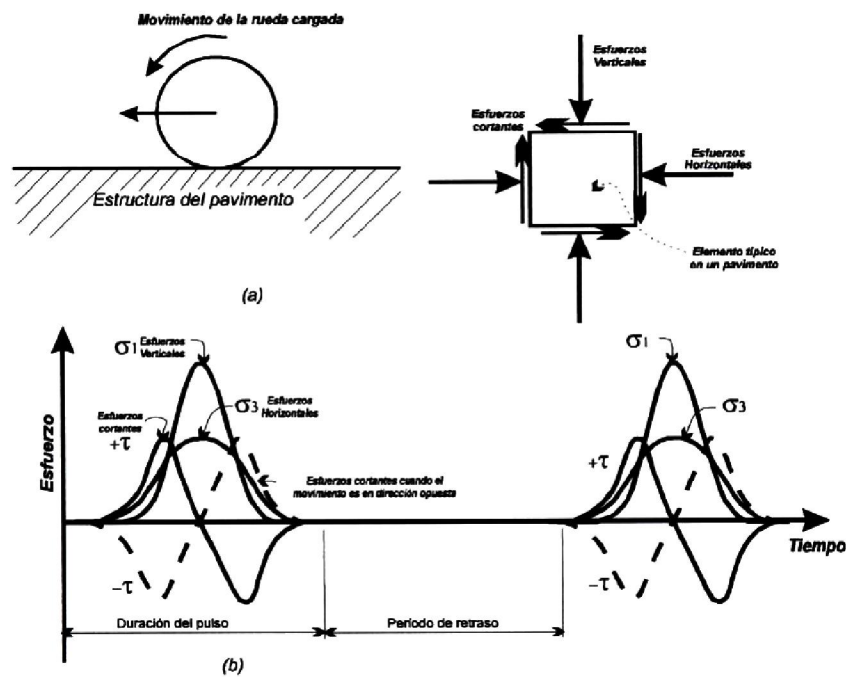
**Figura 2.4**

Estado de esfuerzos en una sección longitudinal de un pavimento

En el momento que no existe tráfico en el punto de referencia donde se medirán los esfuerzos estos son producidos únicamente por el peso de la estructura de pavimento, a medida que se acerca la rueda a este punto se produce un esfuerzo cortante máximo y los esfuerzos normales aumentan gradualmente, en el momento en que la rueda está sobre el punto los esfuerzos normales son máximos y el cortante es cero. Al seguir avanzando la rueda los esfuerzos normales declinan y el esfuerzo cortante aumenta pero con signo contrario. Este comportamiento genera la rotación

del tensor de esfuerzos lo cual obliga a que las partículas de una capa granular se reacomoden y se fracturen (ver figura 2.5).

Para simplificar el problema se debe observar el comportamiento de las partículas sometidas a carga analizando cual es el estado final de cada una de ellas, teniendo en cuenta como evolucionan las características físicas y mecánicas y como influyen sobre ellas la variación de las mismas a ensayar.

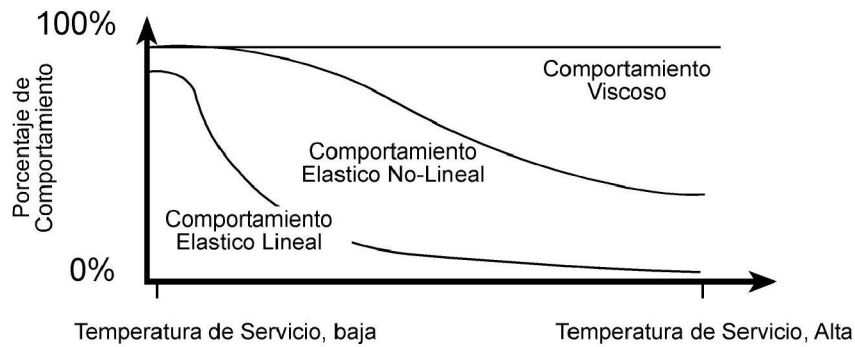


**Figura 2.5**

Distribución de esfuerzos en un pavimento

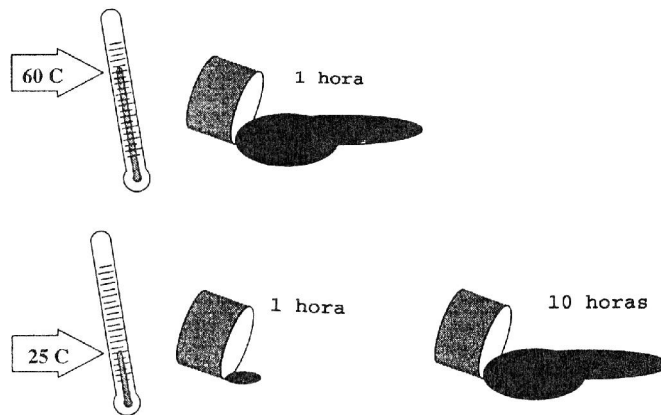
### 2.3.3. COMPORTAMIENTO DE LOS LIGANTES ASFÁLTICOS

El comportamiento del asfalto depende de la temperatura y del tiempo de carga. La figura 2.6 muestra que el comportamiento del flujo de un asfalto puede ser el mismo en una hora a 60°C que en 10 horas a 25°C. En otras palabras, tiempo y temperatura son intercambiables, alta temperatura y corto tiempo equivalen a baja temperatura y mayor tiempo, ver figura 2.7



**Figura 2.6**

Cambio del comportamiento de la mezcla asfáltica en función de la temperatura



**Figura 2.7**

Comportamiento de flujo del cemento asfáltico

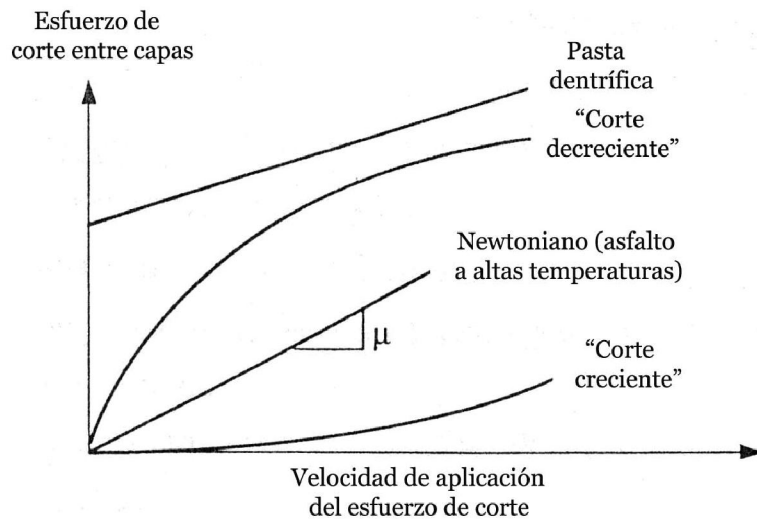
### 2.3.3.1 Comportamiento viscoso del asfalto

Las mezclas asfálticas están compuestas por partículas de agregados de naturaleza elástica, que son los que deben soportar las cargas del tráfico y un ligante de naturaleza viscoelástica, que actúa como pegamento manteniendo unido el esqueleto mineral. El ligante asfáltico no puede resistir las cargas del tráfico, pues debido a su naturaleza viscosa- elástica puede fluir en función de la carga y su tiempo de aplicación, sin embargo el ligante debe tener la suficiente cohesión para prevenir el

desprendimiento de partículas y para resistir los esfuerzos de corte que se generan en los puntos de contacto entre agregados y que superan la fricción entre los mismos. Si el ligante no es capaz de sujetar las partículas en su sitio, estas pueden moverse compactando el esqueleto a una configuración más densa.

Las mezclas asfálticas pueden tener un comportamiento elástico lineal, elástico no lineal o viscoso en función de la temperatura y el tiempo de aplicación de la carga. A bajas temperaturas el comportamiento es fundamentalmente elástico lineal, y al aumentar la temperatura se empieza a comportar como un material elástico no lineal, apareciendo el comportamiento viscoso a medida que la temperatura continúa aumentando.

El efecto del tiempo de cargas y la temperatura del asfalto es relativo (ver figura 2.8). El comportamiento a altas temperaturas sobre tiempos cortos de carga, es equivalente a que ocurra a bajas temperaturas y a larga duración de cargas. (Una carga aplicada suavemente, o sea una carga aplicada en un periodo largo de tiempo, produce la misma deformación viscosa en el asfalto a bajas temperaturas, tanto como una carga aplicada más rápidamente a alta temperatura).



**Figura 2.8**  
Características de Viscosidad de Varios Líquidos

### 2.3.3.2 Comportamiento del asfalto a altas temperaturas

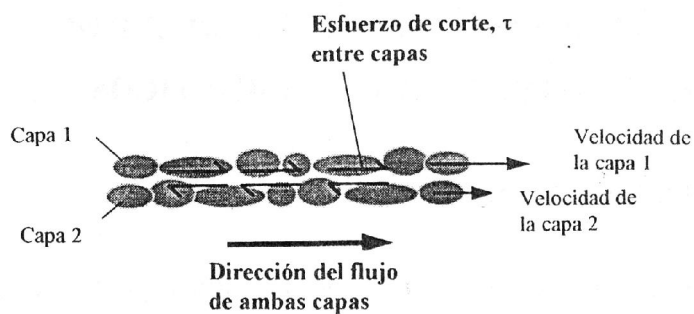
En condiciones calientes o bajo cargas aplicadas suavemente (movimiento de espacio de vehículos pesados), el asfalto actúa como un líquido viscoso (ver figura 2.9). Bajo estas circunstancias, el agregado es la parte de la mezcla asfáltica que soporta la carga, mucho más que el asfalto.

Los asfaltos líquidos exhiben comportamiento plástico porque una vez empiezan a fluir, no retornan a su posición original. Esta es la razón del por que en tiempos calientes algunas mezclas asfálticas menos estables, fluyan bajo cargas de llantas (cargas repetidas) y producen una acumulación de deformación al paso de vehículos (rutting). El rutting en pavimentos asfálticos es también influenciado por las características del agregado.

### 2.3.3.3 Comportamiento del asfalto a bajas temperaturas

En época fría o bajo cargas aplicadas rápidamente, el asfalto actúa como un sólido elástico. Un sólido elástico (ver figura 2.10) posee un esfuerzo último el cual, cuando es cargado mas allá de su nivel, puede fracturarse.

Las grietas por temperatura pueden ocurrir en los pavimentos asfálticos en tiempos fríos cuando una carga térmica es aplicada por los esfuerzos de tensión internos que pueden suceder en el pavimento cuando se contrae, mientras esta siendo restringida por las capas inferiores (base y sub-base).



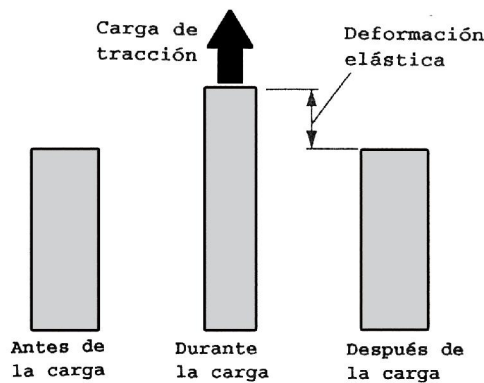
**Figura 2.9**

Vista microscópica de las características de flujo de un líquido



### 2.3.3.4 Comportamiento del asfalto a temperaturas intermedias

La mayoría de los pavimentos son construidos en lugares en donde experimentan temperaturas moderadas e intermedias la mayor parte del tiempo, por lo que experimentan temperaturas bajas o altas en períodos relativamente cortos de tiempo cada año. A estas temperaturas, los ligantes asfálticos presentan características de un líquido viscoso y de un sólido elástico. Debido a este comportamiento el asfalto, para el ingeniero civil, es un material extremadamente complicado para entenderlo y explicarlo.



**Figura 2.10**  
Comportamiento de los Sólidos Elásticos

## 2.4 ANALISIS DE LA RED VIAL DE EL SALVADOR

### 2.4.1. HISTORIA DE LA RED VIAL DE EL SALVADOR

Los sistemas de transporte desempeñan una función primordial para el desarrollo económico de un país. En nuestro país, las primeras carreteras fueron construidas para vehículos de tracción animal, por lo que no se les exigía mayores condiciones en cuanto a su alineamiento horizontal y vertical.

Con la siembra del café y el consecuente incremento en la economía nacional, surgió la necesidad de nuevos medios de transporte, constituyendo el ferrocarril el medio más eficaz para el traslado de los artículos básicos hacia el mercado interior o

exterior. La carreta de tracción animal hizo de los caminos auxiliares, obligados de los ferrocarriles. Sin embargo, el aparecimiento del vehículo automotor y su inmediato desarrollo, planteó la necesidad de acondicionar e incrementar la red caminera.

La construcción y mantenimiento de la Red Vial en El Salvador se remonta a inicios del siglo XX, época en que estaba a cargo el Ministerio de Fomento dirigido por la Dirección General de Obras Públicas, a través de la sección de Caminos, Puentes y Calzadas, dejando de existir dicha sección en 1916, sustituyéndose por la Dirección General de Carreteras; en éste año se construye la que se considera la primera carretera en nuestro país, y es la que de San Salvador conduce al Puerto de la Libertad, debido a las transacciones comerciales que se daban en esa época, posteriormente a éste aparece la carretera Panamericana, su construcción se inició en 1920 y se terminó en 1942; fue la primera carretera regional de integración construida en el país y lo atraviesa de poniente a oriente, en una longitud de 307 kilómetros. Esta vía dio origen a la construcción de caminos alimentadores y con ellos, facilidades para los nuevos centros productores y consumidores. En el año de 1930 se construye la carretera Troncal del Norte que parte de San Salvador y conduce hacia la frontera con Honduras y luego nueve años después (1939) se construye la Ruta Militar que une San Miguel y Santa Rosa de Lima pasando por el Divisadero y uniendo la carretera Panamericana. Entre la década de los cuarenta e inicios de los cincuenta se construye la carretera el Litoral con una longitud de 315 kilómetros, esta carretera atraviesa la zona costera, la cual constituye una de las regiones más productivas del país, creándose posteriormente en 1963 la red Centroamericana conocida como “Programa Regional de Carreteras Centroamericanas”, pero fue hasta 1969 que da inicio la construcción de la red de carreteras hacia las diferentes fronteras con los países vecinos del área centroamericana, como resultado de éste programa se tiene la carretera que llega a Anguiatú pasando por Metapán; ver la evolución de la red vial salvadoreña en la figura 2.11.



**Figura 2.11**

Evolución de la red vial de El Salvador

Es importante mencionar que las carreteras de nuestro país tenían como períodos de diseño 20 años y casi todas ellas tenían una superficie de tierra o empedrada, luego se incorpora el Macadam, que es el que aún conservan muchas de ellas.

Posteriormente el Macadam fue reemplazado por el concreto asfáltico y mezclas en frío siendo la Dirección General de Caminos la entidad encargada del mantenimiento, construcción y reconstrucción de la red vial interdepartamental y rural. El pavimento asfáltico se usó inicialmente en las calles de la capital del país (San Salvador), para luego aplicarlo en las carreteras; la primera carretera asfaltada fue la que une San Salvador y Santa Tecla; enseguida, el desvío del puerto de La Libertad, el cual fue pavimentado con el sistema de “Macadam Hidráulico”.

Actualmente el Ministerio de Obras Públicas a través del Fondo de Conservación Vial (FOVIAL) da mantenimiento a las carreteras existentes, así para finales del año 2002 el FOVIAL logra reparar 168.8 Km. de carretera (7.5 por ciento de la red vial del país)

## **2.4.2. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LA RED VIAL DE EL SALVADOR<sup>1</sup>**

### **2.4.2.1 Según La Ley de Carreteras y Caminos Vecinales<sup>2</sup> (LCCV)**

Es la más explícita en definir y clasificar las vías terrestres de comunicación.

EL Art. 1 establece que “Las vías terrestres de comunicación y transporte de la República se clasifican en carreteras, caminos vecinales o municipales y calles”.

El Art. 2 establece que las carreteras son “las vías cuyo rodamiento las hace de tránsito permanente;...”

El Art. 3 define que “Atendiendo a su importancia y características geométricas, las carreteras se subdividen en:

- a) Especiales: que son todas aquellas que reúnen características superiores a las primarias.
- b) Primarias: las capacitadas para intensidades de tránsito superiores a dos mil vehículos promedio por día, con doce metros de plataforma, siete metros treinta centímetros de rodaje y un mínimo de siete metros noventa centímetros de rodaje en los puentes.
- c) Secundarias: las capacitadas para intensidades de tránsito comprendidas entre quinientos y dos mil vehículos promedio por día, con nueve metros cincuenta centímetros de plataforma, seis metros cincuenta centímetros de rodaje y un mínimo de siete metros cuarenta centímetros de rodaje en los puentes.
- d) Terciarias: aquellas cuya intensidad de tránsito está comprendida entre cien y quinientos vehículos promedio por día, con seis metros de plataforma,

---

<sup>1</sup> SecDel: Sistema de Asesoría y Capacitación para el Desarrollo Local, 2004

<sup>2</sup> Decreto Legislativo 463, septiembre de 1969.

revestimiento de materiales locales selectos y rodaje mínimo de seis metros cincuenta centímetros de rodaje en los puentes.

- e) Rurales: con capacidad para una intensidad de tránsito de cien vehículos promedio por día, con cinco metros de plataforma y un mínimo de tres metros de rodaje en los puentes o que sin llenar tales características, dichas carreteras hayan sido construidas por el Gobierno Central.”

EL Art. 4 define los caminos vecinales o municipales como “aquellos que no estando comprendidos en la clasificación del Art. anterior, comunican villas pueblos, valles, cantones o caseríos entre si o conectan éstos con cualquier carretera, los cuales en ningún caso podrán tener menos de seis metros cincuenta de ancho...”

#### **2.4.2.2 Según La Ley del Fondo de Conservación Vial<sup>3</sup> (FOVIAL)**

Asume las definiciones de LCCV y añade otros conceptos: En el Art. 3 numeral 2 sobre “definiciones” dice:

**“Red Vial Nacional Prioritaria:** Conjunto de carreteras pavimentadas y caminos no pavimentados bajo la competencia del Gobierno Nacional, cuyo propósito fundamental es comunicar adecuadamente a los municipios del país y éste con el resto de la región centroamericana”.

“La red vial nacional prioritaria se integra de la siguiente manera:

- a) Carreteras pavimentadas: las cuales se subdividen en especiales, primarias y secundarias, de conformidad a lo que establece la ley de la materia;
- b) Camino principal no pavimentado: el cual conecta el municipio con la principal carretera pavimentada o municipios entre si, así como otros tramos de prioridad nacional esenciales para el desarrollo agropecuario, turístico y económico del país.

---

<sup>3</sup> Decreto Legislativo 208, 30 de noviembre de 2000

- c) El conjunto de puentes y obras de paso comprendidos en las referidas carreteras y caminos.”

#### **2.4.2.3 Según El Ministerio de Obras Públicas (MOP)**

Agrega calificativos a las definiciones anteriores, de acuerdo al tipo de superficie, inclinación y otros. En este sentido, se habla de **terciaria mejorada**, si la vía posee una capa delgada de asfalto y **rural mejorada**, las que según sea la superficie de rodaje o pendiente de la vía, se clasifican en rural A o rural B.

#### **2.4.2.4 Según el Servicio Nacional de Estudios Territoriales SNET,**

Dependencia del gobierno central adscrita al Ministerio de Medio Ambiente, tiene su propia clasificación. Para el SNET, la red vial comprende:

- a) Camino pavimentado principal**
- b) Camino mejorado**
- c) De tránsito verano**
- d) Huella o herradura**

Con relación a las anteriores categorías, el SNET se refiere al Instituto Geográfico Nacional (IGN), como la fuente de la información calificada para ello. La información del SNET sin embargo, tiene la ventaja de tener cuantificada esta clasificación. Por ello, se han establecido como definiciones operativas las siguientes:

- a) Camino Pavimentado principal:** Esta categoría abarca las definiciones de la LCCV y del MOP/FOVIAL determinadas anteriormente: vía especial, vía primaria y vía secundaria. Por lo que consideraremos que “camino pavimentado principal” es la suma de las vías especiales más las primarias y las secundarias.
- b) Camino mejorado:** Son las vías no pavimentadas establecidas en la ley del FOVIAL, (terciarias y rurales) que conectan al municipio con la principal carretera pavimentada o municipios entre si.

**c) Caminos de verano:** Son los establecidos en la ley como caminos vecinales, que debido a las condiciones de la superficie de rodaje son intransitables durante la estación lluviosa.

**d) Caminos de huella:** Siempre son caminos vecinales y son los que solo pueden circularse a pie, o en animales de tracción o montura.

### **2.4.3. RED VIAL PRIORITARIA DE EL SALVADOR<sup>4</sup>**

Las vías de comunicación son parte importante de un territorio, ya que constituyen el sistema circulatorio de este, por lo que las posibilidades de desarrollo están condicionadas por la densidad, capacidad y calidad de las mismas; por ello la deficiencia de dicha red es la principal problemática que enfrenta El Salvador.

La red vial básica, que es la que une las zonas de interés económico, están centradas en términos de movilidad y accesibilidad que puede ser de personas y mercancías; que deben realizarse de forma rápida, confortable y segura contando con acceso directo a las distintas zonas o usos del área colindante.

La red vial (excluyendo las vías urbanas) está conformada por un total de 10120 Km. De carreteras. El 41.5% de la red prioritaria corresponde a carreteras pavimentadas, que conforman la red básica, tanto para conexiones internas como para exteriores con el resto de la región centroamericana.

Por dependencia administrativa el 53.5% de las carreteras forman parte de la red vial prioritaria, su construcción y mantenimiento depende del MOP, el resto de la red tiene un carácter local, es decir, municipal, y corresponde a su totalidad a la red no pavimentada.

La Región Occidental tiene la más alta densidad de carreteras: 0.55 Km. / Km<sup>2</sup>, y en ella sobresale Ahuachapán con la cifra de 0.66 Km. / Km<sup>2</sup> se destaca como el departamento con mayor densidad de caminos. La Región Central es la que tiene mayor extensión y constituye el asiento de muchos núcleos de población; esta zona

---

<sup>4</sup> Según el Plan de Ordenamiento y Desarrollo Territorial, año 2002

tiene una densidad de carretera de 043 Km. / Km<sup>2</sup>, el departamento de La Libertad es el de mayor densidad con 0.54 Km. / Km<sup>2</sup> y los departamentos de Cabañas y Chalatenango los de menor densidad con 0.36 y 0.34 Km. / Km<sup>2</sup> respectivamente. La Región Oriental es la que tiene menos densidad de caminos por kilómetro cuadrado; dentro de los departamentos, Morazán y La Unión son los que tienen menos densidad, con 0.25 y 0.21 Km. / Km<sup>2</sup> respectivamente.

El sistema vial de El Salvador está íntimamente ligado a las zonas de producción, consumo y distribución de los productos agropecuarios. La mayor parte del tráfico se da longitudinalmente de Occidente a Oriente y no de Norte a Sur, ya que la zona costera es eminentemente productiva, al igual que la franja horizontal central, la que además concentra los centros de consumo y distribución más importante del país.

#### **2.4.3.1 Corredores longitudinales de dirección Occidente-Oriente**

**Carretera Panamericana (CA-01)**, su recorrido se produce entre las fronteras de San Cristóbal (Guatemala) y El Amatillo (Honduras), con una longitud total de 353 Km. Dentro de El Salvador recorre paralelo a la Costa Pacífica, siendo la vía adecuada por trazado para conectar entre sí los principales centros urbanos y de actividad de El Salvador: Santa Ana, AM de San Salvador y San Miguel. A partir de San Miguel se orienta en sentido sureste hacia la Unión, desde donde toma dirección noreste para dirigirse a la frontera de Honduras (El Amatillo).

Esta carretera presenta condiciones geométricas y de trazado heterogéneo a lo largo de su recorrido, lo que unido a algunos rodeos (acceso a La Unión), está provocando en la actualidad la sustitución parcial de su funcionalidad en algunos tramos, como se comentará en la sección 2.4.3.3.

**Carretera del Litoral (CA-02)**, recorre El Salvador entre las fronteras de La Hachadura (Guatemala) y El Amatillo (Honduras), con trazado común con la CA-1, entre el entorno de La Unión y la frontera hondureña. Su es de 292 Km., descontando el tramo común con CA-1. Su funcionalidad, aparte de servir de paso al tráfico pesado de largo recorrido, sería la de conectar el Puerto de Acajutla, El Aeropuerto y la Zona Oriental (S. Miguel-La Unión). Sin embargo, sus mejores condiciones de trazado y estado de conservación que algunos tramos del sector



oriental de la CA-1, está produciendo que sustituya funcionalmente a ésta en las relaciones entre el AMSS y el oriente.

#### **2.4.3.2 Corredores Transversales de dirección Norte-Sur**

**Carretera CA-12**, entre Acajutla y la frontera de Anguiatú (Guatemala), en su recorrido presenta una longitud de 137 Km., y conecta el Puerto de Acajutla, con Sonsonate, Santa Ana y Metapán, ejerciendo una función potencial estructurante de la zona Occidental. Las condiciones geométricas y de trazado de la carretera son muy heterogéneas, con tramos de doble calzada (Acajutla-Sonsonate), que forma parte del itinerario de carretera de 4 carriles entre Acajutla y San Salvador, y otros con características de carretera primaria y secundaria.

**Carretera Troncal del Norte (CA-4)**, entre la Libertad (Corredor litoral) y el Poy (frontera norte con Honduras), en su recorrido por El Salvador discurre entre el Puerto de la Libertad (Corredor Pacifico), AMSS, (Carretera Panamericana), Apopa, Aguijares y la frontera, con un recorrido de 123 km. Presenta características de trazado bastante homogéneas, con la excepción del paso por San Salvador, y cumple la función de conexión interna de la Zona Central de El Salvador.

**Carretera CA-07**, también con vocación de conexión norte-sur, pero con un trazado inacabado, entre San Miguel y Perquín, con 67 Km. De recorrido, y con una funcionalidad muy distinta según tramos:

- Entre San Miguel y El Divisadero, conexión con Ruta militar (RN-18), forma parte de la ruta alternativa, y más directa, a la CA-1, entre San Miguel y la frontera de El Amatillo.
- Entre El Divisadero y Perquín, sin llegar a la frontera con Honduras por tanto, cumple una función estrictamente local, de conexión del Departamento de Morazán (Meanguera, Delicias, Gotera) con la red viaria básica nacional.

**Carretera CA-08**, el recorrido por El Salvador es entre el AMSS-Sonsonate y la frontera de Las Chinamas (Guatemala), con un recorrido de 135 Km. De condiciones de trazado y funcionalidad muy heterogénea, en su primer tramo, San Salvador-Sonsonate, se trata de una carretera de doble carril, formando parte del itinerario Acajutla-San Salvador (CA-12), entre Sonsonate y Ahuachapán donde discurre por territorio más agreste, de carril único y características de vía secundaria, tiene función de conexión local entre los Departamentos de Sonsonate y Ahuachapán; y a partir de esta ciudad forma parte de una alternativa potencial de la CA-1, entre Santa Ana y la frontera de las Chinamas con la RN-13.

**Carretera CA-03**, esta discurre entre Nueva Concepción y Chalatenango (48 Km.), con la evidente vocación de conformar una longitudinal norte de El Salvador, pero cuya función actual es estrictamente local departamental, de conexión de algunas de las principales ciudades de departamento de Chalatenango con la red básica nacional, a través de la CA-4.

Este conjunto de carreteras, con algunos tramos de antiguo trazado de CA-8 y CA-02 sustituidos por nuevos, representa el 53% de la red pavimentada del país.

#### **2.4.3.3 Rutas Nacionales (RN) de mayor Importancia**

**Autopista del Aeropuerto (RN-05)**, entre San Salvador y el Aeropuerto Internacional (43.5 Km.), carretera de doble calzada, en proceso de rehabilitación, con una función inicial clara de conexión del AMSS con el aeropuerto internacional, y adicional de alternativa a CA-1 Este, como conexión entre la panamericana y la carretera litoral. Ha sustituido en su funcionalidad a la RN-04, entre San Salvador y S. Juan Talpa (CA-2) de 35 km.

#### **Carreteras nacionales que absorben funciones del viario básico centroamericano:**

- **Ruta Militar (RN-18)**, entre CA-7 y CA-1, con una longitud de 37 Km., alternativa, junto a CA-7, al itinerario de CA-1 entre San Miguel y El Amatillo.

- **RN-17**, entre S. Miguel (CA-1) y CA-2 (15 Km.), que conforma asimismo un itinerario alternativo al trazado de CA-2, por Chirilagua y La Unión, en el acceso a El Amatillo, a través de San Miguel y la Ruta Militar.
- **RN-13**, entre Santa Ana y Ahuachapán (27 Km.), carretera en parte de doble calzada (Santa Ana-Atiquizaya), que junto con la CA-8 entre Ahuachapán y Las Chinamas, está sustituyendo funcionalmente en la conexión con Guatemala a la CA-1.

#### **2.4.3.4 Rutas Nacionales de conexión interna**

Son carreteras nacionales de conexión entre red básica, o de acceso a capitales de departamento o conexión de grandes poblaciones con la red básica, ver tabla 2.3. En conjunto representan el 21,4% del total de la red pavimentada, mayoritariamente secundaria.

#### **2.4.3.5 Red pavimentada departamental**

El resto de carreteras pavimentadas representan el 26% del total de las pavimentadas, y corresponden a carreteras departamentales, que generalmente no forman malla con la red principal y secundaria, y que conforman itinerarios de acceso a diferentes poblaciones o ciudades.

#### **2.4.3.6 Red no pavimentada**

La red vial prioritaria representa el 58.5% de vías no pavimentadas, que en algunos casos completan itinerarios básicos, como la longitudinal norte, o mallado de la red con otros tramos de vías pavimentadas, pero con una notable falta de calidad para el tráfico rodado, o suponen los únicos itinerarios de acceso de algunas poblaciones importantes a la red pavimentada.

<b>Código</b>	<b>Recorrido</b>	<b>Longitud en Km.</b>
RN-12	Entre CA-12 y CA-8 (por Juayúa),	12.5
RN-10	Entre CA-1 y CA-8, por lago de Coatepeque	22
RN-11	Entre CA-8 y Santa Isabel Ishuatán	23
RN-09	Antiguo trazado de CA-1, con funcionalidad estrictamente local entre Ciudad Arce y Santa Ana	28
RN-07	Orbital norte del AMSS, conectando la CA-1 y CA-4 (Apopa), pasando por Quezaltepeque y Nejapa	23
RN-01	Conexión exterior al AMSS, entre CA-4 (norte de Apopa) y CA-1 (San Martín)	19
RN-06	Entre la carretera litoral (CA-2) y AMSS (CA-1)	34
RN-08	Entre San Rafael Cedros (CA-1) y Sesuntepeque, por Ilobasco, que integra el departamento de Cabañas en la red básica nacional	41
RN-04	Entre Zacatecoluca (CA-02) y CA-1, por San Vicente	40
RN-14	Entre El Triunfo (CA-1) y CA-2 (entorno de Usulután)	32
RN-16	Entre CA-1 y CA-2 (El Tránsito)	28
RN-19	Entre CA-1/CA-2 y La Unión	10

**Tabla 2.3**  
Rutas Nacionales de conexión interna

#### **2.4.4. CLASIFICACIÓN DE LA RED VIAL BÁSICA DE EL SALVADOR SEGÚN LCCV/MOP/FOVIAL**

Las funciones que deben atender las vías de El Salvador son varias y en términos generales, las carreteras y calles urbanas pueden clasificarse en relación con las características de diseño y en forma muy directa de la sección transversal, funcionalmente en ocho grandes grupos, ver la tabla 2.4:

Para los objetivos de esta investigación solamente serán analizadas la red vial básica de El Salvador, la cual comprende las Carreteras especiales, primarias y secundarias (ver figura 2.12); porque es la que une las zonas de interés económico por su alta

demanda vehicular y por tanto son a las que se les da un mantenimiento periódico más frecuente.

<b>Vías Pavimentadas</b>	<b>Vías No Pavimentadas</b>
Especiales	Terciarias
Primarias	Rurales A
Secundarias	Rurales B
Terciarias Modificadas	
Rurales Modificadas	

**Tabla 2.4**  
Clasificación de de la red vial de El Salvador

#### **2.4.4.1 Carreteras especiales**

Las capacitadas para intensidades de tránsito superiores a dos mil vehículos promedio por día. Se trata de vías de doble superficie de rodamiento con una sección tipo de 30.60 m, que se distribuyen entre una mediana central de 8 m, y de superficie de rodamiento de 11.30 m, con dos carriles de 3.65 m, berma exterior de 3 m, e interior de 1 m, el ancho de derecho de vía de esta carretera es de 50m, ver tabla 2.5, figura 2.13 y fotografía 2.5. Estas vías representan el 10% de la red pavimentada, que corresponden a los mostrados en la tabla 2.6<sup>5</sup>, según itinerarios funcionales.

#### **2.4.4.2 Carreteras primarias**

Las capacitadas para intensidades de tránsito superiores a dos mil vehículos promedio por día. Carreteras con superficie de rodamiento única, con sección típica de 12 m, que se distribuye en dos carriles de 3.65 m y bermas de 2.35 m, ver tabla 2.5, figura 2.14 y fotografía 2.6. Representan el 25% del total de la red pavimentada, y se corresponden con las vías mostradas en la tabla 2.7<sup>6</sup>.

<sup>5</sup> Según los últimos proyectos ejecutados hasta 2006 por MOP.

<sup>6</sup> Según los últimos proyectos ejecutados hasta 2006 por MOP.

Clasificación de la vía	Especial			Primaria			Secundaria		
	Terreno plano	Terreno Ondulado	Terreno Montañoso	Terreno plano	Terreno Ondulado	Terreno Montañoso	Terreno plano	Terreno Ondulado	Terreno Montañoso
Criterio de diseño									
Velocidad de diseño (km. / h)	90	70	50	90	70	50	80	70	50
Pendiente máxima (%)	3.5	6	7	5	6	7	5	6	7
Radio mínimo (m)	327.46	191.07	127.45	250	200	80	150	100	60
Distancia mínimas entre curvas horizontales (m)	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Distancia mínima de visibilidad (m)	160	130	100	160	130	100	130	100	80
Ancho de la vía (m)	30.60	30.60	30.60	12.00	12.00	12.00	9.50	9.50	9.50
Ancho del pavimento (m)	7.30	7.30	7.30	7.30	7.30	7.30	6.50	6.50	6.50
Ancho de bermas (m)	Externo: 3.00, Interno: 1.00			2.35	2.35	2.35	1.50	1.50	1.50
Ancho de rodamientos en los puentes (m)	8.50	8.50	8.50	7.90	7.90	7.90	7.40	7.40	7.40
Separador central (m)	8	8	8	--	--	--	--	--	--
Ancho de la zona de derecho de vía (m)	50	50	50	30	30	30	20	20	20
Ancho de la zona de retiro (m)	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Carga de diseño para puentes	H20-S16	H20-S16	H20-S16	H20-S16	H20-S16	H20-S16	H15-S12	H15- S12	H15- S12
Tipo de pavimento	Concreto asfáltico			Tratamiento superficial doble o Concreto asfáltico			Tratamiento superficial simple		
Tratamiento de bermas	Tratamiento superficial doble			Material selecto compactado			Material selecto compactado		

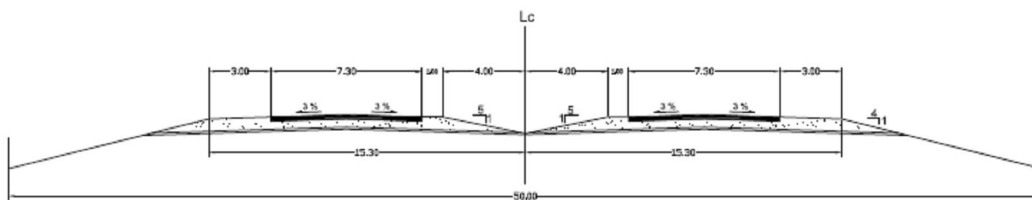
**Tabla 2.5**  
Clasificación de las vías según su diseño geométrico





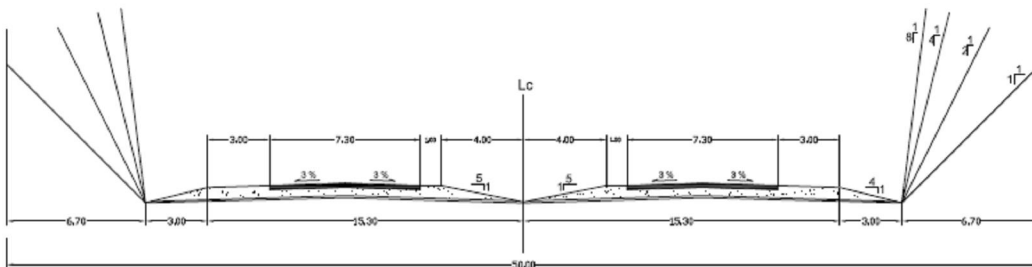
**Fotografía 2.5**

RN-07: Carretera Especial que conduce de Quezaltepeque-Nejapa-Apopa



ZONA DE DERECHO DE VIA 50.00mts

SECCIÓN TÍPICA DE  
RELLENO EN TANGENTE



ZONA DE DERECHO DE VIA 50.00mts

SECCIÓN TÍPICA DE  
CORTE EN TANGENTE

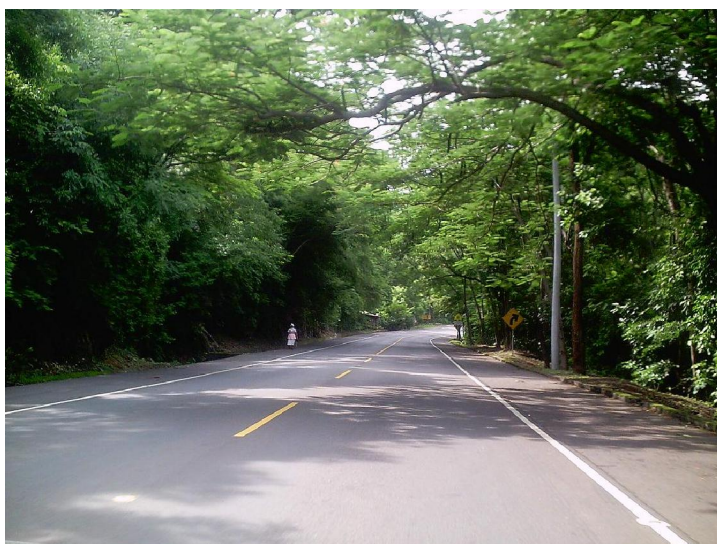
**Figura 2.13**

Sección típica en corte y en relleno de una carretera especial

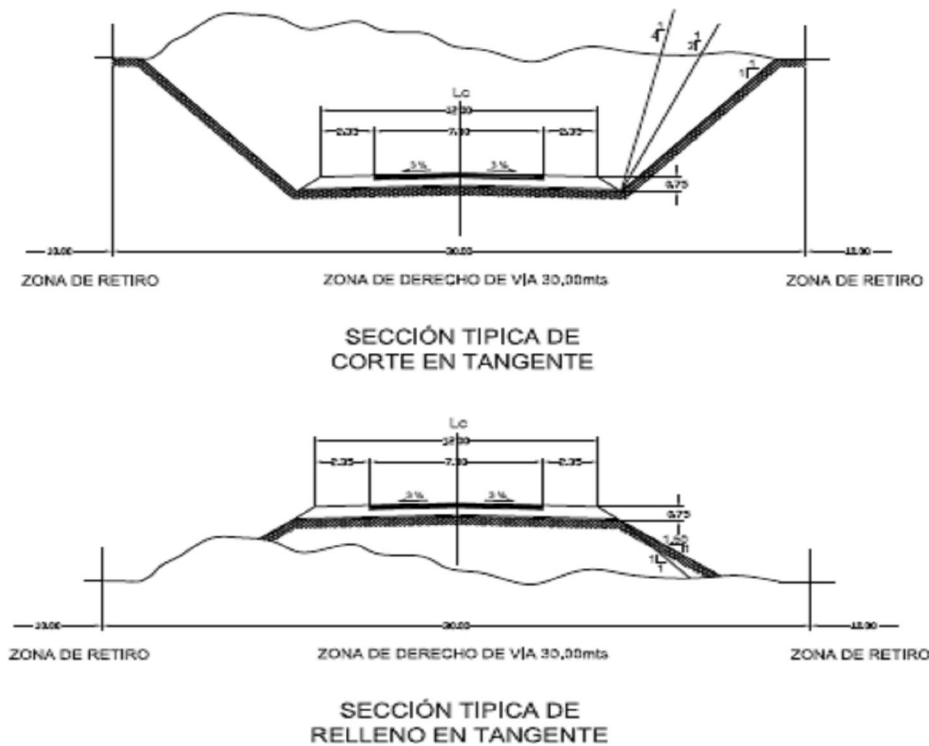


<b>Código</b>	<b>Recorrido</b>
CA-01	Entre el AMSS y Santa Ana
RN-13	Entre Santa Ana y Atiquizaya
CA-12	Entre Acajutla y Sonsonate
CA-08	Entre Sonsonate y CA-01
RN-05	AMSS y Aeropuerto Internacional
CA-01E	Salida de San Salvador hasta Ilopango
CA-01E	Entre San Martín y desvío a San Vicente (RN-04)
SAL-03	Entre Apopa y San Martín
RN-19	Entre CA-02 y La Unión
RN-07	Entre CA-01 y Apopa

**Tabla 2.6**  
Carreteras Especiales de El Salvador



**Fotografía 2.6**  
Carretera primaria CA-02: Carretera del Litoral: Cerca de los Túneles



**Figura 2.14**  
Sección típica en corte y en relleno de una carretera primaria

<b>Código</b>	<b>Recorrido</b>
CA-02	Entre frontera La Hachadura (Guatemala) e intersección con la RN-17, cerca de San Miguel
CA-07	Entre San Miguel y desvío El Divisadero (RN-18)
RN-18	Entre Desvío El Divisadero y CA-01
CA-04	Entre La Libertad y la frontera El Poy (Honduras), excepto AMSS hasta Apopa
CA-12	Entre Santa Ana y la frontera Anguiatú (Guatemala)
RN-13	Entre Atiquizaya y Ahuachapán
CA-08	Entre Ahuachapán y la frontera Las Chinamas (Guatemala)
CA-01	Entre desvío San Vicente (RN-04) y frontera El Amatillo (honduras)

**Tabla 2.7**  
Carreteras Primarias de El Salvador

#### **2.4.4.3 Carreteras secundarias**

Las capacidades para intensidades de tránsito comprendidas entre quinientos y dos mil vehículos promedio por día. La sección tipo de diseño de estas es de 9.50 m, que corresponden a una superficie de rodamiento de 7.50 m (3.25 por carril) y bermas de 1.50 m, el derecho de vía de estas carreteras es de 20 m, ver tabla 2.5, figura 2.15 y fotografía 2.7.



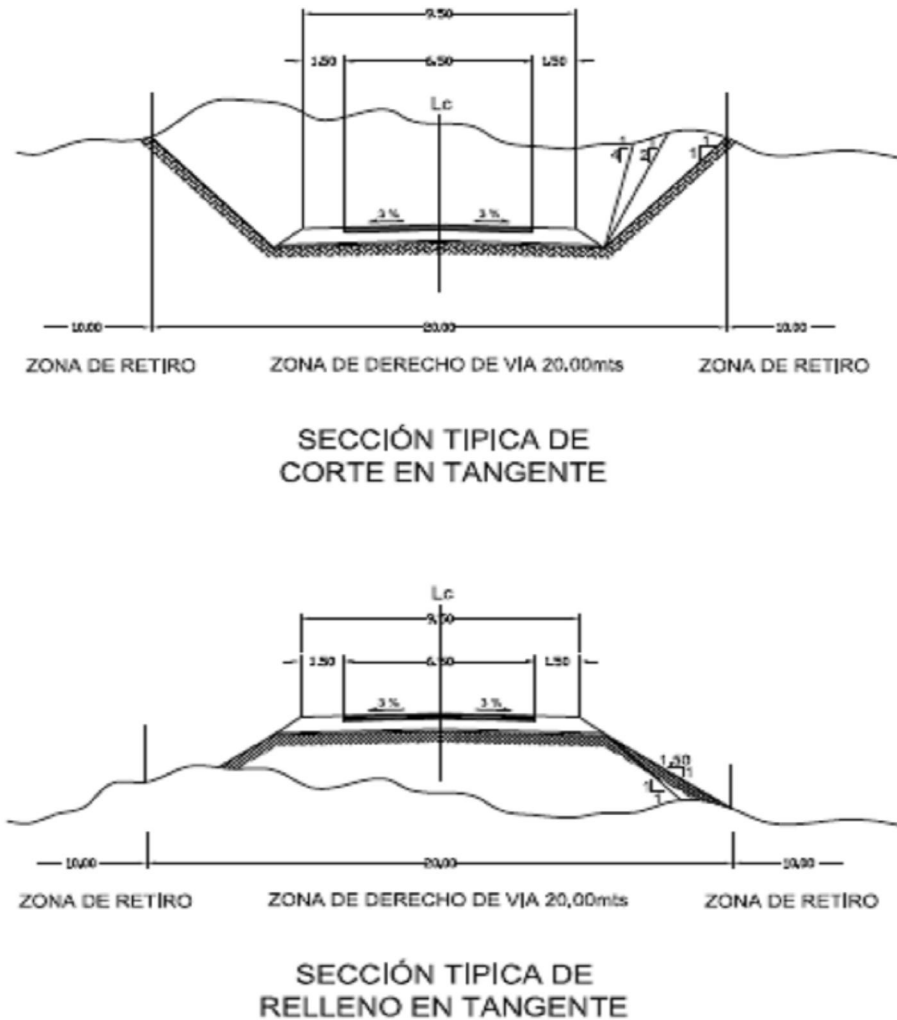
**Fotografía 2.7**

CA-01: Carretera Panamericana tramo Santa Ana-San Cristóbal,  
catalogado como vía secundaria

La red vial correspondiente a este tipo se supone es de el 46% de las pavimentadas. En general, no cabe hablar de itinerarios de estas características, pero destaca la existencia de una proporción elevada de itinerarios de nomenclatura centroamericana (CA), que se corresponden con esta sección-tipo.

También se pueden mencionar otras carreteras que son con nomenclatura nacional (RN) que conectan carreteras primarias (RN-14, que conecta CA-01/Ca-02); así como ciudades importantes, por ejemplo RN-08 que conduce a Sensuntepeque. Existen otras vías con nomenclaturas departamentales que conectan ciudades más pequeñas, ejemplo

la carretera CUS-18 que conduce a Suchitoto; así como a lugares turísticos, el ejemplo más notable es la carretera PAZ-04 que conduce a la Playa El Zapote (lugar turístico de gran importancia). En la Tabla 2.8<sup>7</sup> se resume las vías secundarias de más importancia en El Salvador.



**Figura 2.15**  
Sección típica en corte y en relleno de una carretera secundaria

<sup>7</sup> Según los últimos proyectos ejecutados hasta 2006 por MOP.

<b>Código</b>	<b>Recorrido</b>
CA-1	Entre la frontera de San Cristóbal y Santa Ana
CA-2	Entre el cruce con RN-17 y RN-19, en la proximidad de La Unión
CA-12	Entre Sonsonate y Santa Ana
CA-8	Entre Sonsonate y Ahuachapán
CA-3	En todo su recorrido actual, entre Nueva Concepción y Chalatenango
CA-7	Entre El Divisadero, cruce con Ruta militar, y su final actual en Perquín
--	Tramos sustituidos por nuevos trazados de CA-2 y CA-8
RN-12	Entre CA-12 y CA-8 (por Juayúa),
RN-10	Entre CA-1 y CA-8, por lago de Coatepeque
RN-01	Conexión exterior al AMSS, entre CA-4 (norte de Apopa) y Tonacatepeque
RN-09	Antiguo trazado de CA-1, con funcionalidad estrictamente local entre Ciudad Arce y Santa Ana
RN-06	Entre la carretera litoral (CA-2) y AMSS (CA-1)
RN-14	Entre El Triunfo (CA-1) y CA-2 (entorno de Usulután)
RN-16	Entre CA-1 y CA-2 (El Tránsito)
RN-08	Entre San Rafael Cedros (CA-1) y Sesuntepeque, por Ilobasco
RN-04	Entre AMSS y (CA-02) y CA-1, por San Vicente
CUS-18	Entre San Martín y Suchitoto
USU-09	Entre CA-01 y Berlín
SAM-01	Entre CA-02 y Playa El Cuco
USU-06	Entre CA-02 y Puerto El Triunfo
UNI-02	Entre CA-02 y Playa El Tamarindo
SAM-07	Entre CA-01 y Chapeltique
PAZ-03	Entre CA-02 y San Luís La Herradura
PAZ-04	Entre PAZ-03 y Playa El Zapote
SAN-02	Entre RN-10 y Cerro Verde
USU-14	Entre CA-01 y Jucuapa
SAM-04	Entre CA-01 y Chinameca
LIB-08	Entre CA-01 y San Juan Opico
USU-10	Entre CA-01 y Estanzuelas

**Tabla 2.8**  
Carreteras Secundarias de El Salvador

#### 2.4.5. ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA RED VIAL

Según la Unidad de Planificación Vial (UPV), la extensión de la red vial a la que se le da mantenimiento es de 10120 Km (excluyendo las vías urbanas) de caminos<sup>8</sup>. De conformidad a los datos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)<sup>9</sup>, el estado de la conservación de la red vial nacional mencionado antes es mostrado en la tabla 2.9:

Estado de Conservación Vial	
Calidad	Porcentaje
Bueno	14.3
Regular	40.1
Malo	45.6

**Tabla 2.9**

Estado de la conservación de la Red vial en El Salvador

Con respecto a la ley del FOVIAL, establece un nuevo concepto, el de Red Vial Nacional Prioritaria, definido como “El conjunto de carreteras pavimentadas y caminos no pavimentados bajo la competencia del Gobierno Nacional, cuyo propósito fundamental es comunicar adecuadamente a los municipios del país y a éste con el resto de la región centroamericana”.

El FOVIAL establece una subcategoría, llamada **Red Vial Nacional Prioritaria Mantenable**, definida como “el conjunto de vías de la Red Vial Nacional Prioritaria en buen y regular estado.” Esta definición será hecha periódicamente a partir de estudios técnicos elaborados por el mismo FOVIAL.

---

<sup>8</sup> Informe publicado en 2002

<sup>9</sup> Anuario estadístico de América Latina y el Caribe, edición 1999, Chile

Actualmente para el MOP/FOVIAL la Red Vial Prioritaria Mantenible es mostrado en la tabla 2.10<sup>10</sup>:

El FOVIAL desde su creación en 2001 ha aplicado en algunas vías un mantenimiento correctivo y a otras vías mantenimiento preventivo entre el año 2003 y el 2005, en la tabla 2.11 se describe algunas de las más importantes.

<b>Descripción</b>	<b>Institución</b>	<b>Artículo</b>	<b>Categoría</b>	<b>Subcategoría</b>
Red Vial Total 10120 Km.	MOP/FOVIAL	N° 3 Red vial prioritaria 53.5%	Pavimentada 41.5% 22.2% sumado total	Especiales 10%
				Primarias 25%
				Secundarias 45%
				Terciarias 5%
			Terciarias modificadas 15%	
			No pavimentada 58.5%	Terciarias 40%
	Rural "A" 29%			
	Rural "B" 31%			
	Municipalidades	N° 4 Caminos Vecinales 46.5%	No pavimentada 46.5% 77.8% sumado total	Ninguna subcategoría

**Tabla 2.10**

Estado de Mantenimiento prioritario por MOP/FOVIAL

<sup>10</sup> Unidad de Planeamiento Vial, septiembre 2002

<b>Código</b>	<b>Ruta</b>	<b>Recorrido</b>	<b>Tipo de mantenimiento</b>
CA-02E	Comalapa-Zacatecoluca	Km. 39-Km. 65	Escarificado + estabilización de base + Carpeta asfáltica
CA-04	Apopa-Quitasol	Km. 10-Km. 47	Fresado + recarpeteo
RN-09	Ciudad Arce- Santa Ana	Km. 40-Km. 66	Fresado + recarpeteo
CA-12N	Santa Ana-Anguiatú	Km 66-Km. 121	White topping

**Tabla 2.11**

Rehabilitación y mantenimiento de la red vial prioritaria

#### **2.4.6. INTENSIDAD DE TRÁFICO EN LA RED VIAL<sup>11</sup>**

El tráfico total en la red vial de El Salvador ha ascendido a 3243 millones de vehículo-Km, que se reparten en un 74.1% de vehículos ligeros<sup>12</sup>, un 7.8% de autobuses y un 18.1% de vehículos-Km de camiones destinados al transporte de carga. Se conoce el tráfico total en la red a partir del año 1991, por lo que es posible establecer su evolución, que ha significado un crecimiento anual acumulado (c. a. a) de los últimos 10 años del 7.7%.

La asignación que se produce de este tráfico sobre la red vial se representa en el figura 2.16, donde resulta evidente la concentración de tráfico en el entorno de San Salvador, especialmente en la carretera CA-1W (hacia occidente), entre la capital y la bifurcación con la autopista a Sonsonate (CA-8), y en la salida hasta San Martín (CA-01E). En la CA-1W, intensidades elevadas de tráfico se mantienen hasta Ciudad Arce (20,000 veh/día), y en la CA-01E se mantiene hasta San Rafael Cedros (11500 veh/día).

<sup>11</sup> Estimado por MOP para año 2001

<sup>12</sup> En esta clasificación, que se realiza a partir de los datos de aforo en la red del MOP, es posible obtener la asignación de pick-up a vehículos ligeros.



La autopista hasta Acajutla (CA-12S) presenta intensidades altas hasta Sonsonate (9000 a 10000 veh/día), descendiendo a los 6300 veh/día hasta Acajutla, pero con un 40% de pesados.

La autopista del aeropuerto (RN-05) supera los 40,000 veh/día en la salida de la ciudad, y en el entorno de los 20,000 veh/día hasta el cruce con CA-2, descendiendo a 12,000 veh/día en el tramo de acceso al Aeropuerto.

Otras carreteras primarias con intensidades altas de tráfico son la CA-4, entre La Libertad y CA-1 (7600 veh/día), y entre Apopa y Aguilares (en el entorno de 6500 veh/día). El tramo de doble calzada en la salida de San Salvador hasta Apopa, supera los 18000 veh/día.

La mayor intensidad de tráfico en la CA-2 se produce entre el cruce con la autopista del aeropuerto y Zacatecoluca (12000 veh/día), siendo apreciable la mayor intensidad de tráfico del corredor litoral entre el Aeropuerto y San Miguel (mínimo de 3700 veh/día), que en la CA-1, donde no se llegan a alcanzar los 2000 veh/día en algún tramo. En cuanto a las fronteras, destaca el equilibrio existente entre las tres fronteras occidentales con Guatemala (en el entorno de 2100 veh/día), y la de El Amatillo (2800 veh/día), todas ellas con una proporción elevada de pesados (del 30% al 40%).

La TPDA media de la red pavimentada es de 3532 veh/día, y presenta una evolución muy dinámica en la última década, con un crecimiento anual acumulado superior al 7%. La evolución del tráfico medio en la red presenta una tendencia creciente, pero claramente acelerada a partir del año 1998.

La red de carreteras especiales alcanza un TPDA, de 13,794 veh/día. El c. a. a. del último decenio<sup>13</sup> supera el 7%, pero en los últimos tres años el crecimiento medio es del 10% anual.

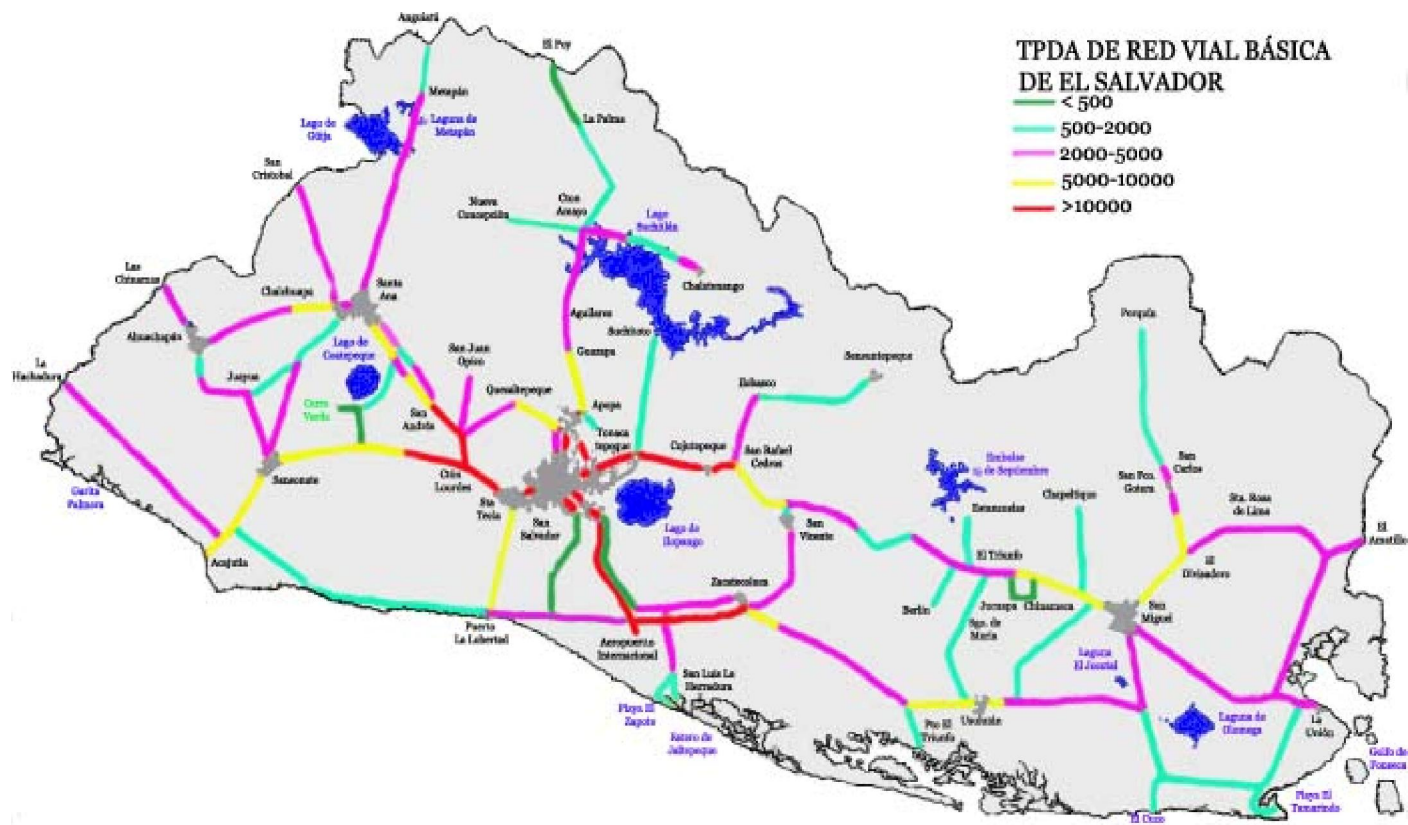
---

<sup>13</sup> Sobre los mismos tramos de red, aún cuando no fueran especiales en años anteriores.

La red de carreteras primarias alcanza un TPDA media de 3,684 veh/día en el año 2001, y observa un crecimiento más dinámico en los últimos 10 años, con un c. a. a. de casi el 9%, siendo también observable el mayor crecimiento de los últimos tres años.

Por último, la red de carreteras secundarias, el TPDA es de 2561 veh/día, si bien tiene un alto crecimiento (7.0%) se sitúa por debajo de las anteriores, especialmente desde 1998.

El mayor crecimiento de la intensidad de tráfico de las carreteras especiales y primarias, de mayor calidad, estaría midiendo una concentración de tráfico en las mismas, lo que es coherente con la elección de itinerarios más rápidos por los usuarios.



**Figura 2.16**

TPDA de la red vial básica de El Salvador

## **2.5 MANTENIMIENTO EN LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS**

### **2.5.1. COMPORTAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICO EN SU VIDA DE DISEÑO**

La vida de un pavimento comienza en el momento que finaliza su construcción, y esta inicia con un deterioro continuo y permanente, producido por la acción del tráfico y de la intemperie. Por ello es necesario conservarlos con el fin de que permanezcan seguras, cómodas y durables para los usuarios. El comportamiento del pavimento lo podemos dividir en tres fases<sup>14</sup> (ver figura 2.17):

- Fase de Consolidación
- Fase Elástica
- Fase de Fatiga

#### **2.5.1.1 Fase de Consolidación**

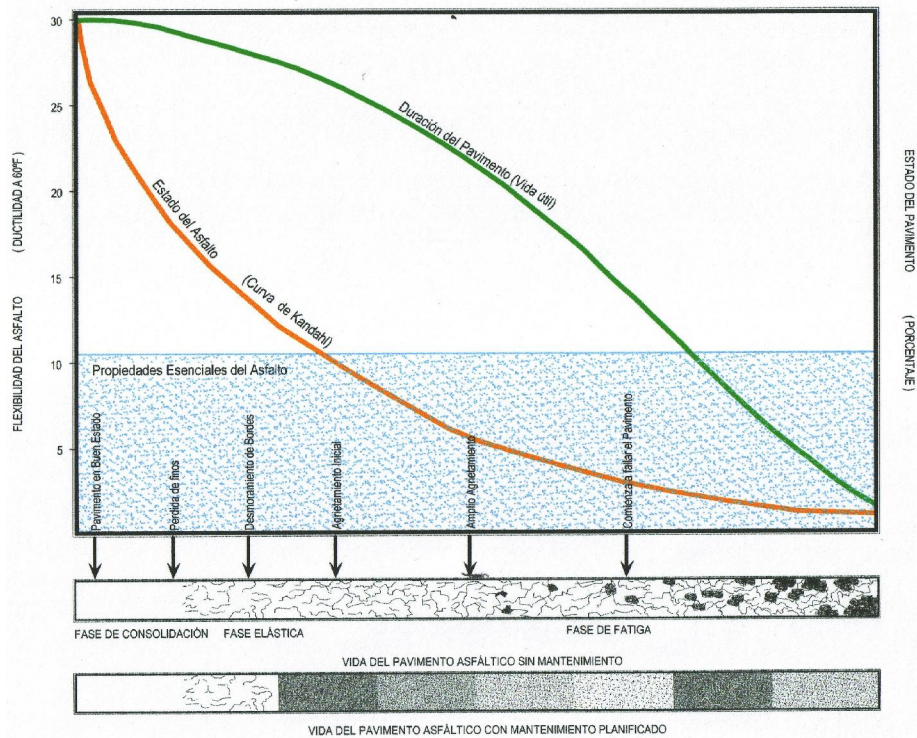
Es la fase inicial en la vida de un pavimento asfáltico, donde sus diversas capas sufren cierta consolidación, debido a las cargas transmitidas por las ruedas de los vehículos. Depende de la compactación que recibe sus diversas capas durante la construcción. Esta es una fase relativamente corta que tiende a estabilizarse rápidamente si es que ha recibido una compactación suficiente.

#### **2.5.1.2 Fase Elástica**

Inicia inmediatamente después de la fase anterior y corresponde a la vida útil del pavimento. Esta es provocada por cada rueda, en un movimiento vertical hacia abajo (deflexión), que se recupera después de pasar el vehículo (rebote).

---

<sup>14</sup> Estudios de los métodos de Rehabilitación de Pavimentos Flexibles en el área metropolitana de San Salvador, Tesis UES 1997



**Figura 2.17**

Comportamiento del Pavimento asfáltico de acuerdo a su edad

Durante la fase elástica no se presentan fallas generalizadas en el pavimento, salvo deformaciones o fallas locales por defectos de materiales, exceso de humedad, etc. En esta fase las deformaciones elásticas causadas por las cargas, producen esfuerzos de tensión en las capas asfálticas y de compresión en las capas granulares.

La vida de un pavimento depende de esta fase, lo cual está íntimamente ligado a las deflexiones que puede sufrir el pavimento. Los estudios de los pavimentos en servicio han demostrado que aquellos que presentan deflexiones reducidas, tienen generalmente una vida larga, aconteciendo lo inverso cuando estas son elevadas.

### 2.5.1.3 Fase de Fatiga

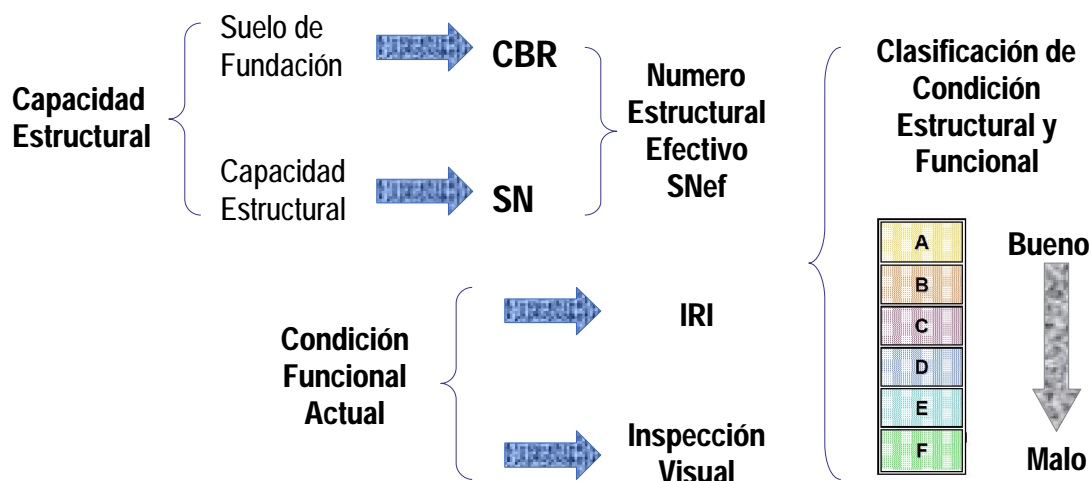
Es la fase final en la vida de la estructura. Las deflexiones causadas por el constante paso de las ruedas de los vehículos provocan tensiones de tracción en la carpeta

asfáltica, que vienen acumulándose desde la fase elástica hasta que las capas se rompen por fatiga después de cierto número de pasadas, momento a partir del cual comienza un colapso gradual en toda la vía requiriéndose prácticamente una reconstrucción de la misma. Los signos de la fase de fatiga inicia con la aparición de grietas longitudinales las cuales con el paso repetido del tránsito y la penetración de las aguas superficiales, al interior del pavimento, provocan el colapso de la estructura llegando el pavimento al final de su vida útil.

### **2.5.2. EVALUACIÓN DE DAÑOS**

En la evaluación de las condiciones estructurales y funcionales existentes del pavimento, es necesario analizar varios parámetros, útiles para la evaluación de la estructura existente, así como datos de diseño de una nueva carpeta, los cuales se ilustran a continuación. Ver figura 2.18

La capacidad estructural y funcional están relacionadas, el deterioro estructural del pavimento que se manifiesta con una disminución de su capacidad funcional, ya que hay un incremento en rugosidad, ruido y aun riesgo para los vehículos y ocupantes que lo transiten. No obstante hay otros tipos de fallas estructurales que pueden progresar sin que los usuarios lo noten, hasta etapas muy avanzadas. También puede haber una pérdida de capacidad funcional sin que implique pérdida de capacidad estructural, por ejemplo pérdida de fricción.



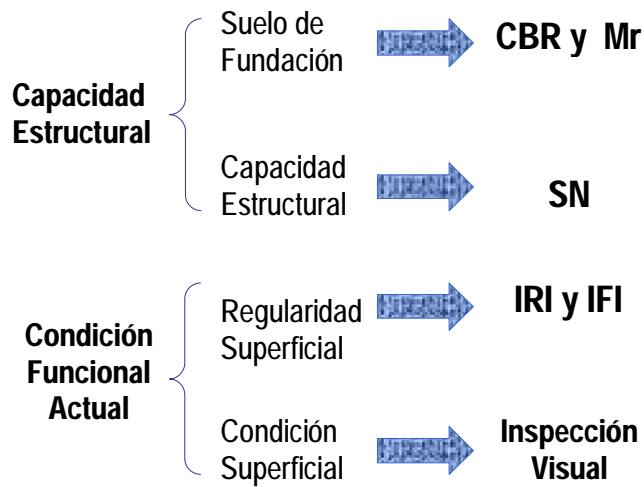
**Figura 2.18**

Sistema de Evaluación de los Pavimentos

La evaluación de la capacidad estructural para pavimentos asfálticos, se realiza en dos categorías: La primera, es la toma de deflexiones y la segunda incluye los procedimientos para encontrar espesores efectivos, en donde se usa relaciones entre esfuerzos de la subrasante, estructura del pavimento y cargas de tráfico.

Para determinar las condiciones funcionales existentes de un pavimento, se utilizan equipos que obtienen la perfilografía de la superficie, expresando el estado actual de la vía por medio del Índice de Regularidad Internacional (IRI).

Tanto la evaluación Estructural y funcional del pavimento deben tomarse en cuenta, para hacer una correcta evaluación de la situación actual de la carretera o tramo de estudio. Esto puede esquematizarse en la **figura 2.19**, mostrando lo que se evalúa para determinar la capacidad estructural y funcional de la carretera.



**Figura 2.19**

Evaluación de las Condiciones Existentes del Pavimento

### 2.5.2.1 Capacidad Estructural

#### 1. Capacidad de Soporte de la Subrasante (CBR %)

La forma para evaluar la capacidad estructural del suelo de fundación del pavimento es por la Relación de Soporte California (CBR), y esta normado por la AASHTO T-193 ó ASTM D 1883-73, este ensayo mide la resistencia que opone el suelo a la penetración de un pistón de 3 in<sup>2</sup> (19.4 cm<sup>2</sup>) de área en una muestra de suelo de 6 in. (15 cm.) de diámetro y 5 in. (12.5 cm.) de altura, a una velocidad de 1.27 mm/min. (0.5 in/min.). La Fuerza necesaria para que el pistón penetre dentro del suelo se mide a determinados intervalos de penetración; estas fuerzas medidas, se comparan con las que se necesitan para producir iguales penetraciones en una muestra que sirve de patrón (piedra triturada bien graduada).

$$CBR = \frac{\text{Fuerza necesaria para producir una penetración de 2.5 mm en el suelo}}{\text{Fuerza necesaria para producir una penetración de 2.5 mm en la muestra patrón}} \times 100$$

Los valores de carga unitaria que pueden utilizarse en la ecuación son (ver Tabla 2.12):



Penetración		Carga Unitaria Patrón		
mm	in	MPa	Kg/cm <sup>2</sup>	psi
2.54	0.1	6.90	70.00	1000
5.08	0.2	10.30	105.00	1500
7.62	0.3	13.10	133.00	1900
10.16	0.4	15.80	162.00	2300
12.70	0.5	17.90	183.00	2600

**Tabla 2.12**

Valores de Carga Unitaria para la Penetración del método CBR

La relación nos da un valor que se indica en porcentaje en el cual podemos determinar la condición del suelo de fundación ver Tabla 2.13.

Capacidad de Soporte de la Subrasante CBR %	Condición
100 % - 80 %	Excelentes materiales para bases
80 % - 50 %	Buenos materiales para bases
50 % - 30 %	Buenos materiales para sub-bases
30 % - 20 %	Muy Buenos materiales para sub-rasantes
20 % - 10 %	Buenos a Regulares materiales para sub-rasantes
10 % - 5 %	Malos materiales para sub-rasantes
5 % - 0 %	Muy malos materiales para sub-rasantes

**Tabla 2.13**

Condición del suelo con respecto a los valores del CBR

Con el CBR se puede realizar una clasificación del tipo de suelo presente, estos datos son tomados del instituto del Asfalto ver Tabla 2.14.

CBR	Sistema de Clasificación	
	Unificado	AASHTO
0 % - 3 %	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3 % - 7 %	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7 % - 20 %	OL, CL, ML, SC, SM <sub>u</sub> <sup>**</sup> , SP	A2, A4, A6, A7
20 % - 50 %	GM <sub>d</sub> <sup>+</sup> , GC, W, SM <sub>d</sub> <sup>+</sup> , SP, SP	A1b, A2-5, A3, A2- 6
> 50 %	GW, Gm <sub>u</sub> <sup>**</sup>	A1-a, A2-4, A3

**Tabla 2.14**

Clasificación de los suelos con respecto al CBR

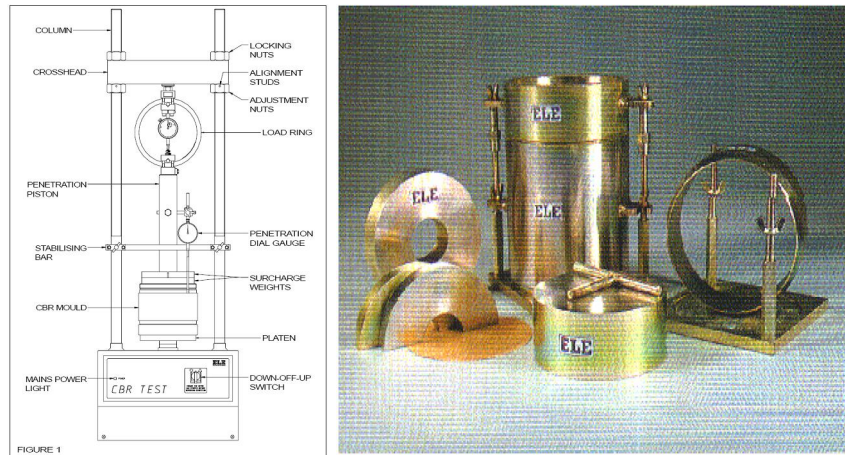
\* d = LI 25% y IP < 5

\*\* u = Caso contrario

El Equipo necesario para el ensayo del CBR es el siguiente (ver Figura 2.20):

- Prensa de Ensaye
- Molde
- Disco espaciador
- Pisón
- Cargas
- Pistón de penetración
- Aparato para medir expansión

El Método CBR insitu es un método adecuado para determinar la capacidad de soporte de un material en el lugar donde será sometido a las sollicitaciones de la estructura que soportará. Debería realizarse cuando se presenten materiales dudosos y en movimientos de tierra importantes (ver **Fotografía 2.8**).



**Figura 2.20**  
Equipo para ensayo de CBR



**Fotografía 2.8**  
Equipo para el Ensayo de CBR In Situ

## 2. Módulo de Resiliencia ( $M_r$ )<sup>5</sup>

En el Método AASHTO (1986 y 1993), el módulo de resiliencia reemplaza al CBR como variable para caracterizar la subrasante, sub-base y base. El módulo de resiliencia es una medida de la propiedad elástica de los suelos que reconoce a su vez las características no lineales de su comportamiento. El módulo de Resiliencia puede ser usado directamente para el diseño de pavimentos flexibles. Este método presenta ensayos dinámicos y de repetición de cargas, que son pruebas que demuestran en mejor forma el comportamiento y lo que sucede debajo de los pavimentos en lo que respecta a tensiones y deformaciones.

## 3. Capacidad Estructural del Pavimento (SN)

Número que evalúa la calidad del paquete estructural de un pavimento. El método AASHTO emplea el concepto de Numero Estructural (SN), que representa la capacidad de un pavimento para soportar las solicitaciones del tráfico (ver tabla 2.15). Se determina como la suma ponderada de los espesores por los coeficientes estructurales, determinados experimentalmente. Para el cálculo del SN se utiliza la siguiente ecuación:

$$SN = R_1 (D_0 - D_{1.5H})^{R_2} * H^{R_3} \quad \text{Ecuación 1}$$

H= espesor total de la estructura del pavimento

$D_0$  = Deflexión Central

$D_{1.5H}$  = Deflexión a distancia 1.5 veces del espesor total de la estructura

$R_1$  = Coeficientes

Para las mediciones de las deflexiones para el cálculo del SNef existe una variedad de equipos, llamados deflectómetros que comprenden un grupo de métodos de evaluación estructural no destructivos (NDT), estos mismos nos pueden presentar datos

---

<sup>15</sup> Manual Centroamericano para diseño de Pavimentos SIECA, Cáp. 4 Pág. N° 9

importantes como el Módulo Resiliente de la subrasante, y coeficientes estructurales de cada capa que compone el pavimento. Estas pruebas se basan en la deflexión de la deformación de un pavimento, que es la representación de una respuesta total del sistema, ante una aplicación de una carga externa. La interpretación del estado estructural de un pavimento se realiza midiendo el desplazamiento vertical (deflexión) que presente este bajo una carga normalizada.

<b>Capacidad Estructural de Pavimentos SN</b>	<b>Condición Estructural</b>
SN < 2	Mala
2 < SN < 4	Media
4 < SN < 10	Buena
SN > 10	Excelente

**Tabla 2.15**  
Condición de la estructura con respecto al SN

A continuación se presentan los equipos para la evaluación del comportamiento estructural del pavimento (ver Tabla 2.16).

### **2.5.2.2 Condiciones Funcionales**

Las características funcionales de una vía son de gran importancia, ya que determinan las condiciones de seguridad y comodidad de los usuarios, como también repercuten el aspecto económico, en lo que es costos de operación de los vehículos y de mantenimiento de las carreteras, por eso es de suma importancia conocer el estado superficial de la carretera. El Índice de Regularidad Internacional (IRI), el Índice de Fricción Internacional (IFI), y la Inspección visual, son métodos que nos ayudan a evaluar la condición funcional del pavimento, y estos se describirán a continuación.

Equipo	Tipo de Carga	Valor obtenido	Descripción	Aplicación	Ventajas	Desventajas
Viga Benkelman	Estática	$d_0$ y $d_s$	Deflectómetro mecánico simple. Una palanca suspendida de un bastidor, transmite la deflexión vertical del punto de medida a un comparador	Determinación estática de la deflexión elástica recuperada del pavimento Determinación de la deformada originada por la carga con relación al punto de medida fija. Determinación del radio de curvatura de un pavimento	Facilidad de uso Bajo costo de equipo Amplio y extendido uso	Dificultad para asegurar que los soportes frontales no estén en la cuenca de deflexión La dificultad o inhabilidad para determinar la forma y el tamaño de la cuenca de deflexiones Pobre repetibilidad de las medidas Intensivo en mano de obra y laborioso montaje
Deflectografo Lacroix	Cuasi-Estática	$d_0$ y cuenco	Equipo de Alto rendimiento para la medida de deflexiones en los pavimentos, este es una automatización de la viga Benkelman	Medida y registro de las deflexiones de un firme de forma cuasicontinua bajo la carga de un eje tipo camión. Obtención de la línea de influencia de la deflexión en cada punto de medida.		Costo del Equipo
Deflectómetro de impacto DYNATEST FWD (KUAB)	Dinámica	$d_0$ y cuenco	Equipo constituido por una masa que se deja caer por gravedad, desde una altura determinada, sobre una placa, provista de un sistema de distribución, que transmite la carga de manera uniforme a la superficie sobre la que se apoya.	Evaluación de la capacidad estructural de pavimentos flexibles, semirígidos y rígidos. Evaluación de la transferencia de cargas en juntas de pavimentos de concreto. Control de ejecución de coronación de explanada y capas granulares.	Rápido (hasta 60 pruebas/hora) Repetibilidad Alta Equipo robusto Registro de la Cuenca de Deflexión Registro de la eficiencia de transferencia de carga y posible existencia de vacíos Simula mejor las cargas del vehículo Aplicación de diferentes valores de carga	
Dynalect	Vibración	$d_0$ y cuenco	Se induce una vibración armónica en el pavimento por medio de un generador de carga dinámica por la rotación de una o varias masas excéntricas o por la acción de una bomba hidráulica. Las deflexiones inducidas por los aparatos vibratorios son medidas con transductores de velocidad llamados geófonos.	El Dynalect genera una cuenca de deflexión completa en cada condición de prueba. Sin embargo, la magnitud y la frecuencia cargante es fija, estas son sus limitaciones mayores	Rápido, repetibilidad alta, equipo robusto Registro de la cuenca de deflexión Registro de eficiencia de transferencia de carga y posible existencia	La precarga estática es grande con relación a la carga dinámica (puede modificar propiedades de los materiales por confinamiento) Difícil coincidir frecuencia de ensayo con frecuencia de vehículos. Baja frecuencia de aplicación de carga Costo del Equipo
Road Rater	Sinusoidal	$d_0$ y cuenco	El Road Rater es un aparato que mide deflexiones dinámicas para las bases de los pavimentos flexibles. El principio básico de operación del Road Rater es impartir una carga dinámica y medir el movimiento resultante del pavimento con sensores de velocidad.	Estos datos, se ajustan propiamente a la temperatura, esta información puede usarse para determinar la esperanza de vida de un pavimento y estimación del espesor de la carpeta de rodadura existente		

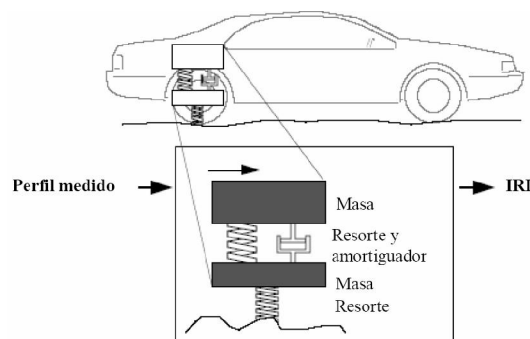
**Tabla 2.16**

**Equipos de Evaluación y Diagnostico Estructural de los Pavimentos <sup>16</sup>**

<sup>16</sup> Fuente: Evaluación y Diagnostico Estructural de Pavimentos por Javier Ortiz Moscoso  
Equipos de Auscultación. <http://www.cedex.es/cec/document/auscul.htm#eqaus>

## 1. Índice de Regularidad Internacional (IRI)<sup>17</sup>

La definición del IRI se estableció a partir de conceptos asociados a la mecánica vibratoria de los sistemas dinámicos, todo ello, en base a un modelo que simuló el movimiento de la suspensión acumulada por un vehículo (modelo de cuarto de carro normalizado, Golden Quarter Car, ver Figura 2.21) al circular por una determinada longitud de perfil de la carretera, a una velocidad estándar de 80Km/h.



**Figura 2.21**

Modelo de cuarto de carro normalizado. (Golden Quarter Car)

La Regularidad puede definirse como el conjunto de efectos causados en los vehículos por variaciones del perfil sobre el teórico de proyecto. El análisis de la regularidad superficial es importante dado que se producen vibraciones y movimientos en los vehículos que provocan:

- Incomodidad de los pasajeros
- Desgaste de las partes mecánicas
- Cargas dinámicas en el pavimento reduciendo su vida útil
- Resistencia a la rodadura incrementando el consumo de combustible
- Perturbaciones en el control del vehículo y en la resistencia al deslizamiento

<sup>17</sup> Determinación del Índice de Regularidad Internacional. Artículo creado por Ing. Edwin Ricardo Alvarenga del Depto. Investigación y Desarrollo del Ministerio de Obras Públicas, 2005

Como indicador de la Regularidad de los pavimentos el más extendido es el Índice de Regularidad Internacional (IRI) con longitud de evaluación de 100 m, aunque se debe considerar que en casos especiales es necesario utilizar otras longitudes de evaluación u otros indicadores como la Regla de 3 metros o el Análisis Espectral, ya que pueden ser interesantes para comprender ciertas patologías del pavimento.

La medición de la regularidad de los pavimentos, para efectos de control de calidad y recepción de los proyectos de infraestructura vial en el país, se realiza bajo la especificación AASHTO PP37-02, "Standard Practice for Quantifying Roughness of Pavements". Dicha especificación indica que el valor de IRI se determina longitudinalmente por carril, en sentido del tránsito y calculado cada 100 m (0.1 Km), para ambas rodaderas (interna y externa), el promedio de los valores de IRI (rodadera interna y externa), es registrado como la regularidad de la sección del pavimento y se reporta en unidades de IRI, m/Km, aproximadamente a un decimal (0.1 m/Km).

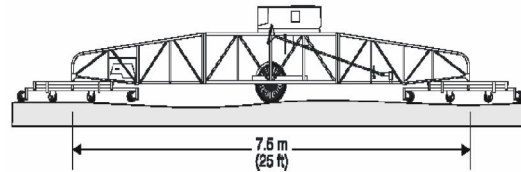
De igual manera para la medición de la regularidad es considerado lo establecido en el Apéndice E del Highway Performance Monitoring System Field Manual (Measuring Pavement Roughness) del Office of Highway Policy Information de la FHWA, el cual menciona que los valores de IRI deben ser obtenidos cuando existan buenas condiciones climáticas, preferiblemente cuando la superficie de la carretera se encuentre seca. Así mismo la medición deberá determinarse en sectores homogéneos, que correspondan a un pavimento de estructuración uniforme y que no es dividido por puentes, líneas férreas, cruces de calles y otros, que puedan alterar el perfil longitudinal del camino e incrementar el valor del IRI.

A continuación se presentan los diferentes equipos, para la medición del índice de regularidad (IRI) de los pavimentos.

***Perfilógrafos (Profilographs):*** Los perfilógrafos tienen una rueda sensible, montada al centro del marco para mantener el movimiento vertical libre (ver figura 2.22). La desviación de un plano de referencia, establecido por el marco del perfilógrafo,



se registra en papel según el movimiento de la rueda sensible. Los perfilógrafos pueden calcular desviaciones muy ligeras de la superficie y ondulaciones en aproximadamente 6.0 m (20 pies) en longitud.



**Figura 2.22**

Perfilógrafo de California

***Equipos Tipo Respuestas (RTRRM):*** Los equipos Tipo Respuestas, (Response Type Road Roughness Meters, RTRRM), llamados también “Medidores de Camino”, son adecuados para el monitoreo rutinario de un red pavimentada y para proporcionar una visión global de la condición y el mantenimiento necesario. Los equipos RTRRM miden los movimientos verticales del eje trasero de un automóvil o el eje de un remolque relativo al marco del vehículo. Los medidores se instalan en los vehículos con un transductor de desplazamiento localizado entre la mitad del eje y el cuerpo del automóvil o remolque (ver Figura 2.23). El transductor detecta pequeños incrementos de movimientos relativos entre el eje y el cuerpo del vehículo.



**Figura 2.23**

Equipo Tipo Respuesta (Bump Integrator, BI)

***Nivel y Estadía (Road and Level):*** Es conocido como perfilómetro manual, se considera para la evaluación de la regularidad de la superficie de rodadura de proyectos de gran magnitud, pero es impracticable y de alto costo. Sin embargo, este tipo de equipo tiene una gran precisión y puede obtener una medida exacta del perfil del pavimento (ver figura 2.24).



**Figura 2.24**

Nivel y Estadía

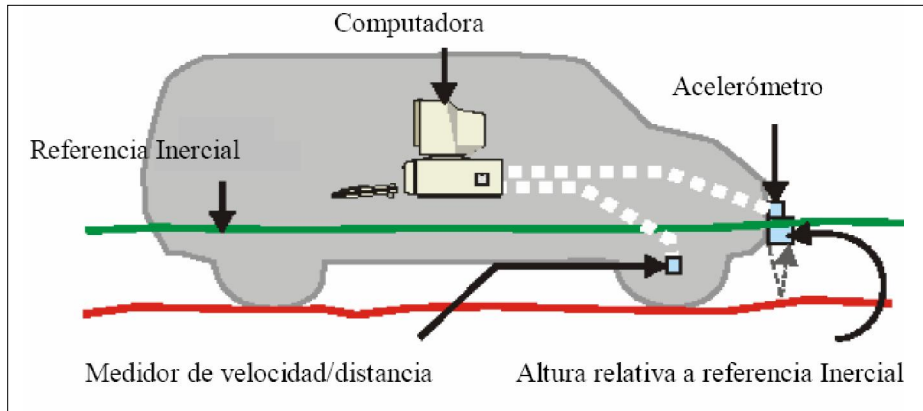
***Dipstick:*** Los equipos Dipstick pueden usarse para obtener una cantidad relativamente pequeña de medidas del perfil. El dipstick consiste en un inclinómetro

apoyado en dos apoyos separados por 305 mm (12 plg), los cuales registran la elevación de un apoyo relativo a la elevación del otro. El operador conduce el Dipstick sobre una sección de un pavimento premarcada, rotando el instrumento alternadamente sobre cada apoyo. Se registran las lecturas secuencialmente mientras el operador recorre la sección. El dispositivo registra 10 a 15 lecturas por minuto. El software de análisis es capaz de proporcionar un perfil exacto a  $\pm 0.127$  mm ( $\pm .005$  plg). El Dipstick comúnmente es utilizado para medir un perfil para calibración de instrumentos más complejos, tal como el RTRRM, así mismo para la verificación de resultados obtenidos con los perfilómetros Inerciales (ver Figura 2.25).



**Figura 2.25**  
Equipo Dipstick

***Perfilómetro Inercial (Inertial Profilometer):*** Los equipos de referencia inercial son equipos que producen medidas automáticas y de alta calidad del perfil del camino. Estos equipos producen medidas continuas del perfil longitudinal a altas velocidades a través de la creación de una referencia inercial, integrada por acelerómetros colocados en el vehículo utilizados para obtener el movimiento vertical del mismo y sensores de “no contacto” (p. ej.: Láser) utilizados para medir el desplazamiento relativo entre el vehículo y la superficie del pavimento. (Ver Figura 2.26 y Fotografía 2.9)

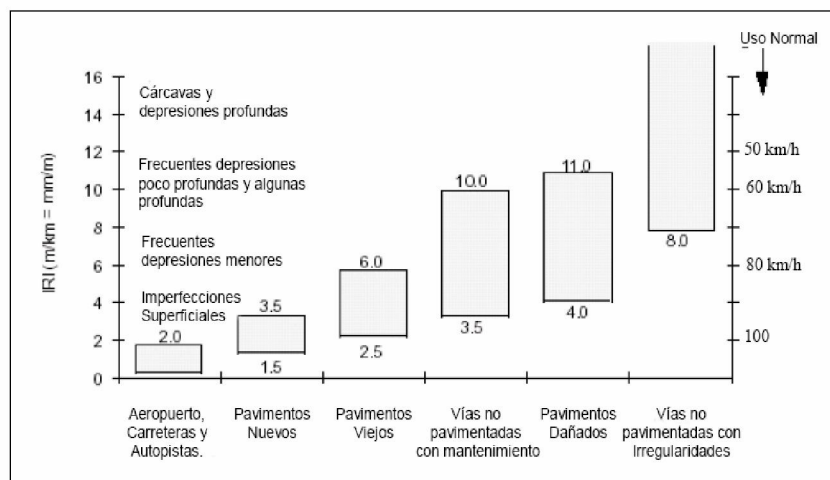


**Figura 2.26**  
Componente del equipo Perfilómetro Inercial



**Fotografía 2.9**  
Perfilómetro Inercial Láser

A continuación se presenta la Figura 2.27 para la evaluación del IRI, esta escala de medición es propuesta por el Banco mundial.



**Figura 2.27**

**Escala de Regularidad para pavimentos (IRI)**

## 2. Índice de Fricción Internacional (IFI)<sup>18</sup>

El Índice de Fricción Internacional, designado como IFI, es el segundo de una serie de indicadores internacionales que definen el estado de una carretera. El desarrollo de indicadores internacionales comenzó con el IRI o Índice de Regularidad Internacional (de Solminihac, 1989 y The World Bank, 1986). Así hablar de un pavimento de IFI significa que el pavimento, esté donde esté, presenta las mismas características de adherencia y textura, con independencia del tipo de pavimento que sea y del equipo de medida que se haya empleado para obtenerlo.

El valor del Índice de Fricción depende de una serie de factores, algunos inherentes a la carretera, mientras que otros son responsabilidad del usuario (como la velocidad y el estado de las llantas) o de la naturaleza (lluvia, nieve, hielo sobre la carpeta, etc.). La medida de la fricción está en función de la velocidad y cantidad de agua que exista sobre el pavimento, además del tipo y del estado del pavimento.

<sup>18</sup> Sistema de Evaluación de pavimentos. Versión 1.0 [www.imt.mx/Espanol/Publicaciones/pubtec/pt208.pdf](http://www.imt.mx/Espanol/Publicaciones/pubtec/pt208.pdf)



Los valores de fricción para un pavimento mojado (Tabla 2.17) y seco (Tabla 2.18), obtenidos con el péndulo TRRL, y producto de la experiencia Europea, nos sirven como apoyo para sugerir un valor de referencia con respecto a la fricción.

<b>Vehículo Pavimento</b>	<b>C2, C3, C4</b>	<b>B1, B2</b>	<b>T2 - S2, T3 - S2</b>	<b>T3 - S2 - R2, T3 - S2 - R4</b>
Rígido	0.50	0.45	0.45	0.50
Flexible	0.50	0.50	0.45	0.45
Poroso	0.45	0.45	0.40	0.40
Lechadas	0.50	0.55	0.55	0.45
Sellos	0.50	0.45	0.45	0.40

**Tabla 2.17**

Límites permisibles del Coeficiente de Fricción para pavimento Mojado

<b>Vehículo Pavimento</b>	<b>C2, C3, C4</b>	<b>B1, B2</b>	<b>T2 - S2, T3 - S2</b>	<b>T3 - S2 - R2, T3 - S2 - R4</b>
Rígido	0.80	0.85	0.80	0.80
Flexible	0.80	0.85	0.85	0.85
Poroso	0.75	0.85	0.85	0.85
Lechadas	0.80	0.90	0.80	0.85
Sellos	0.85	0.90	0.75	0.80

**Tabla 2.18**

Límites permisibles del Coeficiente de Fricción para pavimento seco

Con base en los valores recomendados en la Tabla 2.17 y Tabla 2.18, se sugiere aplicar los siguientes valores mínimos de índice de fricción:

- a. Pavimentos flexibles en condiciones secas: 0.80 mínimo
- b. Pavimentos flexibles en condiciones húmedas: 0.50 mínimo

### *3. Inspección Visual.*

Esta es una de las herramientas más poderosas en la evaluación de daños en los pavimentos y forma parte esencial de toda la investigación. La inspección visual se realiza generalmente en dos etapas:

***Inspección visual inicial:*** En este caso se pretende obtener una inspección general del proyecto y definir los límites de secciones homogéneas, en las que se tengan tipos y niveles similares de deterioro o bien se sectoriza el pavimento a estudiar tomando como referencia puntos singulares de fácil identificación, generándose de esta forma tramos de trabajo que serán objeto, en la inspección visual detallada, de un análisis más minucioso. Generalmente esta tarea se realiza sobre un vehículo conduciendo a baja velocidad abarcando toda la longitud de la vía.

***Inspección visual detallada:*** Esta etapa consiste en inspeccionar la vía caminando sobre ella, tomando todas las medidas de seguridad necesarias. El trabajo es realizado sobre secciones homogéneas o sobre los tramos sectorizados. Se realiza un levantamiento de daños tomando nota detallada de las *fallas encontradas en la superficie*, y se anotan observaciones adicionales como; estado del drenaje (conformación de cunetas, estado de banquetas, etc.), aspectos geométricos (pendientes, curvaturas, terraplenes, etc.), carril más deteriorado, exudaciones y situación de accesos, la existencia o no de cordones cunetas o situación de los desagües (zanjas, entubamientos). De ser necesario se realizarán tareas de nivelación para la verificación e individualización del estado real de las cunetas y accesos.

Los diferentes modos y tipos de falla se describen en función de su severidad, frecuencia y localización, de esta forma se tendrá una herramienta importante a la hora de fijar la estrategia de rehabilitación. Se tendrá de todas las fallas o situaciones especiales una base de fotos convenientemente identificadas, como antecedentes. Con esta forma de trabajo, se van identificando sectores con sus diferentes fallas, para después encontrando la solución a adoptar que involucre a las distintas tipologías de fallas.



Las fallas a las que se hacen referencia son:

- Deformaciones longitudinales.
- Deformaciones transversales, (ahuellamiento, hundimiento, abultamientos).
- Fisuración.
- Desprendimientos-desintegración superficial, (peladuras, baches,
- Desmoronamientos, rotura de bordes, parches).

### **2.5.3. FALLAS EN LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS**

#### **2.5.3.1 Condiciones que deben cumplir los pavimentos**

De manera general se puede decir que, la capacidad de cualquier elemento estructural depende de:

- SU RESISTENCIA (Capacidad de soportar las cargas de servicio)
- SU DURABILIDAD (Capacidad de soportar la acción del medioambiente)
- SU APTITUD DE SERVICIO (Capacidad de soportar deformaciones)

Teniendo en cuenta dichas características, se puede decir que un elemento estructural deja de prestar un buen servicio cuando:

- a. Se rompe por la acción de las cargas o por la degradación del medio. (disminuye su resistencia y su durabilidad)
- b. Sufre deformaciones incompatibles con su función ya sea por la acción de las cargas o por la inestabilidad interna. (La aptitud de servicio ya no es la adecuada para lo que se diseño)

El adecuado comportamiento de cualquier estructura, en nuestro caso la estructura de un pavimento, depende principalmente de tres aspectos básicos:

- a. De las consideraciones hechas al momento de su cálculo

- b. De los adecuados controles de calidad que se observen en su construcción
- c. De las tareas de mantenimiento realizadas durante su vida útil

En la etapa de diseño de la estructura de un pavimento pueden tomarse consideraciones que a la larga no sean acordes a la realidad al momento de construirlo o que sean cambiantes durante su vida útil, como por ejemplo: las cargas a las que estará expuesto el pavimento a lo largo de su vida útil pueden no haberse valorado de manera adecuada o presenten incrementos no previstos o usos no considerados (calles de bajo tráfico que por el crecimiento urbanístico llegan a soportar densidades de tráfico elevadas), de igual manera puede que la calidad de los materiales con que se construye un pavimento sea inferior a la considerada al momento de su diseño provocando que la estructura así construida presente una resistencia no adecuada para cumplir con las solicitaciones previstas; o que considerando tareas periódicas de mantenimiento dentro de la proyección de vida de la estructura, estas no se lleven a cabo o se realicen de manera no adecuada o tardíamente.

La tabla 2.19 muestra las diferentes solicitaciones a las que está expuesto un pavimento durante su vida de servicio. Por todas estas razones es de esperar que antes de que un pavimento cumpla con su vida útil, este presente fallas de diversos tipos. El conocimiento de la tipología de las fallas que se presentan en los pavimentos permitirá conocer las causas que las provocaron y así poder determinar la forma más adecuada de tratarlas.

### **2.5.3.2 Origen y Clasificación de las fallas en los pavimentos**

Un aspecto importante al analizar las fallas de un pavimento, es conocer el origen de la falla. Básicamente los pavimentos fallan por tres causas principales: (1) porque no logran resistir las cargas o las solicitaciones de carga a las que están expuestos en alguna etapa de su vida útil, en cuyo caso se dice que el pavimento presenta insuficiencia estructural; (2) porque no se construyó adecuadamente, ya sea porque los procesos constructivos no se realizaron adecuadamente o porque se utilizaron materiales de baja calidad y (3) la repetición prolongada de las cargas de tráfico generan efectos de fatiga

en los materiales que constituyen la estructura del pavimento, esto es un factor del tiempo de servicio de la estructura y de la durabilidad de los materiales.

<b>Solicitud</b>	<b>Influencia</b>
Cargas	<p>Las cargas son las fuerzas del vehículo ejercidas en el pavimento. Puesto que una de las funciones primarias de un pavimento es distribución de carga, el diseño del pavimento debe advertir las cargas previstas del tráfico en su vida de diseño.</p> <p>Las cargas, las fuerzas de los vehículos ejercidas en el pavimento (ej. carros, maquinaria pesada, los aeroplanos, etc.), se pueden caracterizar por las cargas del neumático, las configuraciones del eje y del neumático, repetición de la carga, distribución del tráfico a través del pavimento y velocidad del vehículo.</p>
Intemperie	<p>Un pavimento debe funcionar dentro de su ambiente. El ambiente puede variar grandemente a través de la localización de un proyecto de carreteras y puede también variar grandemente a través de tiempo en cualquier lugar.</p>
Temperatura	<p>La temperatura actúa en los pavimentos de dos maneras principales. Primero, los extremos de la temperatura pueden afectar la reología de la carpeta asfáltica, en segundo lugar, las variaciones de la temperatura pueden hacer el pavimento expandirse y contraerse. A pesar que en nuestro medio no ocurren variaciones extremas de temperatura, los cambios graduales de la misma influyen grandemente en el comportamiento de las mezclas asfálticas.</p>
Acción del agua	<p>La acumulación de la humedad en cualquier capa estructural del pavimento puede causar grandes problemas. El ingreso de agua hacia las diferentes capas inferiores que conforman el pavimento puede causar el colapso temprano de la estructura, esto se pone de manifiesto mas drásticamente en la capa base.</p>

**Tabla 2.19**

Diferentes solicitudes que se ve expuesto un pavimento

Las fallas pueden afectar cualquier capa en la estructura de un pavimento y dependiendo en cual de ellas se generen o que características del pavimento se vean afectadas pueden clasificarse en: fallas Superficiales o Fallas Funcionales, que afectan principalmente las características de confort y seguridad de los usuarios de la vía, y las

fallas estructurales que afectan el adecuado comportamiento del pavimento para resistir de manera correcta las cargas de tráfico. La Tabla 2.20 muestra las diferentes formas en las que se pueden clasificar las fallas.

#### **2.5.4. TIPOS DE DAÑOS EN LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS**

Las fallas en los pavimentos pueden presentar diversas tipologías que pueden tener la misma causa, estas tipologías no son más que manifestaciones visibles en la estructura del pavimento que nos pueden dar una idea de que es lo que está fallando en nuestra estructura. Los tipos de daños en los pavimentos asfálticos se pueden clasificar en cuatro grandes familias las cuales son:

##### **2.5.4.1 Fisuras y Grietas:**

Son una serie de fracturas en la carpeta de rodadura y se presentan de forma longitudinal, transversal, o combinadas. Estas se pueden originar por una carga excesiva, fatiga, cambios de temperatura, daños por humedad, procesos de contracción o deficiencias en la carpeta asfáltica, base, sub-base o subrasante.

##### **2.5.4.2 Deformaciones Superficiales:**

Se define como cualquier cambio en la forma original de la superficie de un pavimento flexible, puede ser causada por deficiencia en la carpeta asfáltica o de las capas inferiores. En el primer caso el daño puede ser causado por exceso de asfalto, exceso de agua o la utilización de agregado liso y redondeado. En el segundo caso puede ser por la deformación plástica de la capa o por espesor insuficiente de la base. Se manifiesta con ahuellamiento, ondulaciones, hundimientos, hinchamientos, etc.

Parámetro de Clasificación	Descripción	
Por las causas que las provocan	Insuficiencia Estructural	Se trata de pavimentos contruidos con materiales de menor resistencia a la necesaria o con materiales de buena calidad, pero con espesores insuficientes. En términos generales esta es la falla que se produce cuando las combinaciones de la resistencia al esfuerzo cortante de cada capa y sus respectivos espesores no son suficientes para establecer un mecanismo adecuado que soporte las cargas a las que serán sometidos.
	Defectos Constructivos	Se trata de pavimentos posiblemente bien proporcionados y formados por materiales suficientemente resistentes, pero en cuya construcción se han producido errores o defectos que llevan al fallo del pavimento.
	Efectos de fatiga	Se trata de pavimentos que originalmente estuvieron quizá en condiciones apropiadas, pero que por la prolongada repetición de las cargas del transito sufrieron efectos de fatiga, degradación estructural y, en general, pérdida de resistencia de la carga, pero resultan claramente influidas por el tiempo de servicio y el envejecimiento del ligante De igual manera dependiendo de que parte de la estructura de un pavimento se vean afectadas por las fallas pueden clasificarse en: Fallas de Superficie y Fallas de Estructura.
Por las características que se ven afectadas	Funcionales o Superficiales	Las Fallas Superficiales afectan principalmente las características funcionales de un pavimento, como: confort, seguridad y durabilidad; se presentan con fallas localizadas en su superficie que repercuten de forma negativa en la calidad de servicio prestado al usuario. Estas son relativamente leves, cuando un pavimento ha perdido su función inicial. Estos fallos se deben principalmente a la acción abrasiva del tráfico, al envejecimiento y a los agentes atmosféricos, aunque algunas veces se puede deber al empleo de materiales inadecuados o a una mala ejecución.
	Estructurales	Estas pueden originarse por el rompimiento de una o varias capas en la estructura del pavimento. También puede fallar el cuerpo de un terraplén o el suelo que lo soporta. Cuando estas se encuentran muy avanzadas pueden obstaculizar el paso vehicular por la carretera. Las fallas estructurales las podemos dividir en fallas en la base y en la sub-base

**Tabla 2.20**

Origen y Clasificación de las fallas en los pavimentos

### 2.5.4.3 Desintegración:

Es la ruptura del pavimento en fragmentos pequeños y sueltos o también la disgregación de las partículas del agregado integrante de la muestra. Normalmente es causado por deficiencias del asfalto, por oxidación, acción del agua o por la mala operación de los equipos de construcción. Se manifiesta como baches, desprendimientos, pérdida del agregado de la superficie.

### 2.5.4.4 Otros Deterioros:

Estos daños los podemos dividir en 2 grupos, en deterioros en la superficie y deterioros en la estructura (ver la tabla 2.21 y tabla 2.22), a continuación presentaremos los más relevantes.<sup>19</sup>

Tipología de Deterioro	Clasificación del daño	
Deterioro en la superficie	Desprendimientos	- Bache superficial, Foto 2.10 - Pérdida de la capa de Rodadura, Foto 2.11 - Pérdida de base, Foto 2.12
	Alisamientos	- Exudaciones del Asfalto, Foto 2.13 - Desgaste de áridos, Foto 2.14
	Exposición de Agregado	- Exposición de agregados, Foto 2.15
Deterioro en la Estructura	Deformaciones	- Rodaderas, Foto 2.16 - Hundimientos, Foto 2.17 - Baches profundos, Foto 2.18 - Ondulaciones, Foto 2.19
	Agrietamientos	- Grietas longitudinales, Foto 2.20 - Grietas Transversales, Foto 2.21 - Piel de Cocodrilo, Foto 2.22 - Fisuras en Bloques, Foto 2.23

**Tabla 2.21**  
Clasificación de daños en pavimentos Asfálticos

<sup>19</sup> Para mayor información de los tipos de daños consultar la SIECA en Catalogo de Daños de los Pavimentos

Tipo de Deterioro o Defecto		Afecta a la capacidad		Causa	
		Estructural	Funcional	Asociada a cargas	No asociada a cargas
Agrietamiento	Por fatiga	X		X	
	En bloque	X			X
	Juntas y bordes	X			X
	Deslizamiento	X		X	
	Reflexión	X		X	X
	Transversales	X			X
Deformaciones	Ahuellamiento			X	
	Corrugaciones		X		X
Desintegración	Baches	X	X	X	
	Perdida de Agregado		X		X
	Perdida de Ligante		X		X
Perdida de Fricción	Pulimento del agregado		X	X	
	exudación		X		X

**Tabla 2.22**

Tipología de los deterioros en pavimentos y posibles causas

**DETERIOROS DE LA SUPERFICIE.**



**Fotografía 2.10**

Bache superficial. Calle Arce, entre la 15-17 Av. Norte, enfrente de edificio Figueroa, San Salvador



**Fotografía 2.11**

Pérdida de la capa de Rodadura. 47 Av. Sur entre la prolongación Calle Arce y Juan Pablo II, San Salvador



**Fotografía 2.12**  
Pérdida de base. Prolongación calle Arce  
entre 41-43 Av. Norte



**Fotografía 2.13**  
Exudación de Asfalto



**Fotografía 2.14**  
Desgaste de agregados. Intersección  
prolongación Calle Arce 43 Av., San  
Salvador



**Fotografía 2.15**  
Exposición de agregados. 43 Av. sur entre  
prolongación Calle Arce y Juan Pablo  
segundo, San Salvador



## DETERIOROS ESTRUCTURALES



**Fotografía 2.16**

Rodaderas: Tomada en Boulevard del Ejercito a la altura de la fabrica de cajas La Cartonera, San Salvador



**Fotografía 2.17**

Hundimiento: Tomada en calle los Tanques, colonia Dolores contiguo a colonia las Lomitas II, San Salvador



**Fotografía 2.18**

Baches profundos: Tomada en Calle Arce, entre la 19Av y 21Av Norte



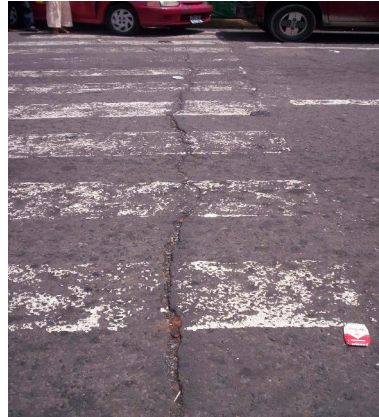
**Fotografía 2.19**

Ondulaciones: Catalogo de deterioros de Pavimento Flexible, del CDCI



**Fotografía 2.20**

Grietas longitudinales: Tomada en Calle Arce, entre la 21Av y 23Av Norte



**Fotografía 2.21**

Grietas Transversales: Tomada en Calle Arce, intersección 11Av sur



**Fotografía 2.22**

Piel de Cocodrilo: Tomada en 43 Av. sur entre prolongación Calle Arce y alameda Roosevelt



**Fotografía 2.23**

Fisuras en Bloques: Tomada en avenida Scout de El Salvador entre prolongación Calle Arce y 1ª calle poniente

## **2.5.5. MANTENIMIENTO EN LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS**

### **2.5.5.1 Introducción**

La vida de un pavimento comienza en el momento que finaliza su construcción, y esta inicia con un deterioro continuo y permanente, producido por la acción del tráfico y de la intemperie. Por ello es necesario conservarlos con el fin de que permanezcan seguras, cómodas y durables para los usuarios.

Toda obra vial tiene como objetivos principales: (1) Proporcionar una adecuada resistencia al deslizamiento para garantizar la seguridad de circulación de los vehículos, (2) Contar con una superficie cuya regularidad sea acorde a los trazados y a las velocidades de circulación, (3) Contar con suficiente resistencia estructural. Es por ello que una mezcla asfáltica de procurar optimizar tanto la Estabilidad de la mezcla, su durabilidad y la resistencia a la fatiga. La Tabla 2.23 muestra las principales características funcionales que se buscan satisfacer en un proyecto vial.

Los indicadores más significativos en el proceso normal de deterioro de un pavimento son:

**(1) Fallas**, implican deformaciones permanentes ya sea longitudinales o transversales, fisuras y grietas, desprendimientos, etc.

**(2) Adherencia entre neumático/pavimento**. Pérdida de adherencia de los vehículos, pérdida de la textura superficial de la carpeta asfáltica, etc.

**(3) Deformaciones del pavimento bajo cargas**. Deflexiones excesivas o colapsos de secciones del pavimento.

La falta de atención en estos indicadores trae como consecuencia el pago de costos de reparación excesivos, y la inacción puede traer como consecuencia:

- a. Se perjudica el comportamiento global de la estructura
- b. La intensidad del deterioro puede aumentar a tal grado de involucrar equipos de mayor envergadura y mayor diversidad.
- c. Aumento del personal necesario para llevar a cabo las labores de reparación
- d. Se puede llegar a aumentar las áreas dañadas.
- e. Los daños pueden llegar a afectar todas las capas del pavimento, llegando a trabajos de mayor profundidad pudiendo alcanzarse hasta la subrasante.
- f. Son inevitables las interrupciones del tránsito por caminos alternativos o son excesivamente lentas las velocidades de circulación disminuyéndose los tiempos de traslado.
- g. Son mayores los materiales que intervienen en las obras de reparación (mayor diversidad de los mismos), mayor en número y en volumen, ya que muchas veces se encuentran estructuras dañadas en casi todas sus capas.

<b>Propiedades Funcionales de las Mezclas Asfálticas</b>
<b>Seguridad</b> Resistencia al deslizamiento Regularidad transversal Visibilidad (marcas viales)
<b>Comodidad</b> Regularidad Longitudinal Regularidad Transversal Visibilidad Ruido
<b>Durabilidad</b> Capacidad de Soporte Resistencia a la Desintegración Superficial
<b>Medio Ambiente</b> Ruido Capacidad de ser Reciclado
<b>Trabajabilidad</b>

**Tabla 2.23**  
Propiedades Funcionales de las Mezclas Asfálticas

Un buen diseño y construcción de un pavimento asfáltico tiene que proporcionar una superficie de rodadura uniforme; que transfiera las cargas esperadas, y que requerirá mantenimiento sólo rutinario para su vida de diseño. Si consideráramos que los pavimentos, se conservaran en su condición original, duraría teóricamente para siempre; pero en la práctica no es así, los efectos del tráfico y de la intemperie hacen que el pavimento se deteriore.

El mantenimiento es el que permite que el pavimento opere satisfactoriamente durante su vida de diseño, convirtiéndose en una actividad esencial; siempre y cuando sea en el tiempo apropiado y pueden usarse procedimientos constructivos adecuados para su preservación. El mantenimiento no sólo conserva la superficie del pavimento, si no que previene su uso acelerado. No debe considerarse como una acción temporal, pero si como una inversión en la estructura del pavimento y un seguro contra la renovación de la costosa construcción del pavimento.

#### **2.5.5.2 Definición de Mantenimiento de los Pavimentos**

Al definir el mantenimiento algunos lo llaman mejoramiento del pavimento. Otros incluyen sólo el trabajo que guarda el pavimento en su condición de construcción original. Teniendo éstos conceptos, se propone las siguientes definiciones:

*“El Mantenimiento del pavimento es el trabajo que se realiza para guardarlo bajo las condiciones normales del tráfico y fuerzas de la naturaleza, manteniéndole como sea posible en su condición de construcción original”<sup>20</sup>*

*“El Mantenimiento del pavimento es el conjunto de tareas de limpieza, reemplazo y reparación que se realizan de manera regular y ordenada en una carretera, para asegurar su buen funcionamiento y la prolongación de su vida de servicio, al máximo compatible con las previsiones de diseño y construcción de la obra”<sup>21</sup>*

---

<sup>20</sup> Asphalt in Pavement Maintenance MS-16 Third Edition

<sup>21</sup> Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras Proyecto SIECA-USAID 596-0181.20, Guatemala, Diciembre del 2,000

### **2.5.5.3 Clasificación de los tipos de Mantenimiento**

Los tipos de mantenimiento se pueden clasificar por su comportamiento y por administración. Mantenimiento Preventivo, Mantenimiento Correctivo y Mantenimiento de Emergencia, los primeros dos se aplican en la fase elástica del pavimento y el último se da en la fase de fatiga.

El mantenimiento puede ser preventivo, correctivo, o de emergencia. Aunque los tres tipos de mantenimiento son importantes, el mantenimiento preventivo es el más rentable y ofrece las técnicas más eficientes para prolongar la vida de servicio del pavimento. A continuación se presenta sus definiciones.

#### *1. Mantenimiento Preventivo*

Consiste en la restitución de aquellas características de los pavimentos que evoluciona a lo largo del tiempo (Disminución de la rugosidad, degradación de la regularidad superficial y de la impermeabilidad). Este tipo de mantenimiento debe de permitir una compensación de los inevitables efectos de la degradación. El mantenimiento Preventivo, generalizado y bien realizado, reduce en gran medida el Mantenimiento correctivo. Por lo tanto, se debe intervenir a tiempo, es decir, antes de la aparición de los problemas.

#### *2. Mantenimiento correctivo*

Se realiza para restaurar las características de los pavimentos cuando se han presentado problemas importantes, tanto si estos han sido originados por un defecto de construcción o se debe a un retraso injustificado en el mantenimiento preventivo. Pero es evidente que un mantenimiento Preventivo cuidadoso puede evitar el mantenimiento correctivo. Pero por desgracia, la escasez de un presupuesto dedicado al mantenimiento no lo permite, Por eso es que el mantenimiento correctivo siempre queda reducido a un mantenimiento puntual, esto es, reparaciones localizadas

---

### *3. Mantenimiento de Emergencia*

Se realiza durante una situación de emergencia, como una ruptura o un hoyo severo que necesita reparación inmediata, también se aplica reparaciones temporales diseñadas para proteger la superficie hasta que se realice una reparación permanente.

#### **2.5.5.4 Mantenimiento Vial en El Salvador**<sup>22</sup>

En nuestro país anteriormente el mantenimiento que se tenía no era aplicado en función preventivo, si no que generalmente se realizaba un mantenimiento correctivo el que era realizado atendiendo a la crítica del usuario, razón por la cual muchas técnicas orientadas a detectar y corregir defectos menores en las vías, no habían podido ser utilizadas. Ahora los trabajos de mantenimiento que se están realizando para la conservación vial están agrupados en dos grandes categorías mantenimiento rutinario y mantenimiento periódico, estas están establecidas por el Fondo de Conservación Vial (Fovial), teniendo como objetivo realizar un manteniendo apropiado en la vía. Estos mantenimientos se refieren desde la limpieza de la vía hasta mantenimiento superficiales al pavimento, los cuales se detallan a continuación:

##### *1. El Mantenimiento Rutinario.*

Comprende todas aquellas actividades requeridas para conservar una vía de regular a buen estado, las cuales se repiten una o más veces al año. También, incluye aquellas labores de reparación vial destinadas a recuperar elementos menores dañados, deteriorados o destruidos, tal como los barandales de puentes, obras de drenaje menores, señalización vertical y horizontal, muros de retención y actividades afines.

Con respecto al mantenimiento del pavimento, en esta etapa se realizan mantenimientos preventivos y algunos correctivos.

Las actividades normalmente consideradas en la vía son:

---

<sup>22</sup> Manual Centroamericano de Mantenimiento para Carreteras, SIECA

- Desmonte del Derecho de Vía
- Limpieza de Cunetas Revestidas
- Limpieza de Cunetas de Tierra
- Limpieza de Alcantarillas
- Reperfilado de carreteras no pavimentadas
- Reperfilado con Compactación de carreteras
- Reperfilado con Compactación de hombros
- Limpieza, Reacondicionamiento y Reposición de Señales Verticales
- Limpieza y Restitución de Defensas Metálicas
- Mantenimiento de Señalización Horizontal
- Conservación de Puentes
- Limpieza de la Superficie de rodadura
- Reposición de viletas u ojos de gato.
- Conservación de Alcantarillas

Las actividades normalmente consideradas en el pavimento son:

- Bacheo en superficies de rodadura y Hombros Granulares
- Sello de Juntas y Grietas en Pavimentos y Hombros de Concreto Hidráulico
- Sello de Fisuras y Grietas en Pavimentos y Hombros Asfálticos
- Bacheo en carreteras y Hombros de Mezclas Asfálticas
- Bacheo de Tratamientos Superficiales y Hombros Tratados
- Reemplazo de Losas de Concreto Hidráulico

## *2. El mantenimiento periódico.*

Abarca las obras de conservación vial que se repiten en períodos de más de un año para mantener la vía a un nivel de servicio de regular a buen estado. Asimismo, abarca las mejoras geométricas requeridas para una sección puntual, también, está considerada la colocación de sobre capas sobre pavimentos deteriorados existentes, para evitar perder las condiciones originales del camino, por deterioros ocasionados por las acciones de la naturaleza y por los usuarios del camino.



Este tipo de mantenimiento su objetivo principal es preservar el pavimento, en el cual se aplica mantenimiento preventivo, correctivo y algunas rehabilitaciones puntuales.

Las obras de mantenimiento periódico incluyen:

- Reposición de balasto en carreteras no pavimentadas.
- Aplicación de sellos sobre pavimentos asfálticos
- Aplicación de tratamientos especiales tales como lechada Asfáltica.
- Colocación de sobre capas de asfalto (recarpeteo) sobre el pavimento existente con el objeto de restaurarla a su estado original.
- Aplicación de tratamientos especiales tales como el reciclaje de pavimentos existentes.

En el país se tiene el Mantenimiento de Emergencia el cual tiene una función diferente al término expuesto anteriormente, la cual definimos a continuación:

### *3. El Mantenimiento de Emergencia*

Son las actividades y las intervenciones aplicadas en forma urgente que se realizan como consecuencia de fuerza mayor, tal como el caso de desastres naturales, con el propósito de habilitar la vía permitiendo así el paso vehicular.

## **2.6 MEZCLAS ASFÁLTICAS**

### **2.6.1. MEZCLAS ASFÁLTICAS**

Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90% de agregados pétreos gruesos y finos, un 5% de polvo mineral y otro 5% de ligante asfáltico. El ligante asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en el costo total de la misma. Los tipos de materiales asfálticos pueden clasificarse en tres tipos: cementos asfálticos, Emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados, sus usos más comunes y características se describen en la tabla 2.24.

### **2.6.1.1 Cementos asfálticos (asphalt cement)**

El asfáltico es un material que procede del petróleo. Es semi-sólido, usado para hacer mezclas asfálticas en caliente, y para tratamientos superficiales, riegos de sellado, y sello de grietas. Los varios sistemas de calificación del asfalto son utilizados para especificar el cemento asfáltico por su dureza, viscosidad, y características de funcionamiento deseadas. Los aditivos y/o los modificantes se pueden combinar con el cemento asfáltico para cambiar sus características, ver tabla 2.25.

### **2.6.1.2 Asfalto diluido o de reducción (cutback asphalt)**

Los Asfaltos que son licuados con solventes de petróleo son llamados “de reducción (cutback).” Cuando ellos se extienden en el camino o pavimento, el solvente se evapora, dejando el cemento asfáltico detrás. Estos asfaltos se elaboran y clasifican según el tiempo de curado: *curado rápido* (RC), conteniendo una nafta como el solvente, y *curado medio* MC, con un solvente similar al Kerosén. Un tercer tipo, *curado lento* (SC), normalmente no se llaman de reducción porque su solvente, es como el petróleo de combustible pesado, no se añade sino se abandona durante el proceso del refinamiento, ver tabla 2.25.

### **2.6.1.3 Asfaltos emulsificados (asphalt emulsion)**

Los Asfaltos emulsificados son mezclas líquidas de cemento asfáltico, agua, y agente emulsificante. En una emulsión de asfalto, se suspenden glóbulos diminutos de asfalto en agua usando a un agente emulsificante. El Asfalto emulsificado se gradúa según el tiempo que toma la “rotura” o emerger la suspensión, y se les llama de *rotura rápida* (RS), rotura medio (MS), y rotura lenta (SS). Las emulsiones asfálticas son de dos tipos: las aniónicas y catiónicas. En las emulsiones aniónicas, los glóbulos de asfalto tienen una carga eléctrica negativa. En las emulsiones catiónicas, los glóbulos están cargados positivamente, ver tabla 2.25.

Existen diferentes tipos de carpeta asfálticas y diferentes parámetros para clasificarlos, como lo son: por la fracción de agregado empleado en la mezcla, por la temperatura en que se coloca en obra, por los huecos en la mezcla y otras. La tabla 2.26 muestra la clasificación extendida de las mezclas asfálticas.

Las diferentes técnicas de mantenimiento superficial hacen uso de los materiales asfálticos descritos anteriormente, y estas tienen un principal objetivo que es mantener la vida útil del pavimento, manteniendo sus condiciones de servicio y apariencia en buen estado. En el cual las principales funciones que presentan son:

- Proporcionar una superficie de desgaste
- Sellar grietas de superficie
- Impermeabilizar la superficie
- Mejorar la fricción y el drenaje de la superficie
- Reducir el efecto del intemperismo y el envejecimiento
- Mejorar la apariencia de la superficie

### **2.6.2. TRATAMIENTOS SUPERFICIALES**

Los tratamientos superficiales tienen como principal objetivo mantener las condiciones de servicio del pavimento y su buen estado alargando así su vida útil, este término cubre generalmente todas las aplicaciones de asfalto, con o sin agregados a cualquier tipo de camino o superficie de pavimentos, pero cuyo espesor final es por lo general inferior a 25 mm (una pulgada).

Los tratamientos superficiales varían desde una simple y ligera aplicación de cemento asfáltico, sobre los cuales distribuyen agregados pétreos, hasta mezclas con espesores de hasta 2.5 cm. Todos los tratamientos superficiales sellan y prolongan la vida de los caminos, teniendo cada uno propósitos especiales.

De acuerdo a la aplicación o a su preparación, los tratamientos superficiales pueden clasificarse de varias maneras, la tabla 2.27 muestra los tratamientos superficiales y los riegos de sellado mas utilizados en la actualidad.

<b>Material Asfáltico</b>	<b>Vehiculo para su aplicación</b>	<b>Usos mas comunes</b>	<b>Características</b>
Cemento Asfáltico	Calor	Se utiliza en la elaboración en caliente de carpetas, morteros y estabilizaciones, así como elemento base para la fabricación de emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- puesta en obra a temperaturas muy superiores a la temperatura ambiente.</li> <li>- Rangos de temperatura de colocación alrededor de los 150 grados Centígrados</li> </ul>
Emulsión Asfáltica	Agua	Se utiliza en la elaboración en frío de carpetas, morteros, riegos y estabilizaciones.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Compuestos por cemento asfáltico y un solvente.</li> <li>- El tipo de solvente puede ser nafta, gasolina o queroseno.</li> <li>- Se clasifican según su velocidad de fraguado.</li> </ul>
Asfaltos Rebajados	Solventes	Se utiliza en la elaboración en frío de carpetas y para la impregnación de bases y subbases hidráulicas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cemento asfáltico, agua y emulsificantes o surfactantes.</li> <li>- Se clasifican según su tiempo de fraguado o tiempo de rotura.</li> <li>- Pueden ser aniónicas o catiónicas.</li> <li>- Aniónicas carga de glóbulos de asfalto negativas.</li> <li>- Catiónicas carga de glóbulos de asfalto positiva.</li> </ul>

**Tabla 2.24**  
Tipos de Materiales Asfálticos



<b>Parámetro de Clasificación</b>	<b>Tipo de Mezcla</b>	<b>Descripción</b>
<b>Fracción del agregado empleado</b>	Masilla	Constituida básicamente por polvo mineral mas un ligante asfáltico.
	Mortero	Lo componen agregado Fino mas masilla asfáltica
	Concreto	Compuesto por agregado grueso mas mortero asfáltico.
	Macadam	Agregado grueso mas ligante asfáltico.
<b>Temperatura de puesta en obra</b>	En Frío	El ligante suele ser una emulsión asfáltica o asfaltos fluidificados (descontinuándose su uso) y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente.
	En Caliente	Se fabrican con asfaltos a temperaturas en el rango de los 150 grados centígrados. La puesta en obra se realiza a temperaturas muy superiores a la ambiente.
<b>Huecos en la Mezcla</b>	Cerradas	Proporción de vacíos < 6%
	Semicerradas	Proporción de vacíos entre el 6% y 10%
	Abiertas	Proporción de vacíos entre el 12% y el 20%
	Porosas	Proporción de vacíos superior al 20%
<b>Tamaño Máximo del Agregado</b>	Gruesas	Tamaño máximo del agregado excede los 10 mm
	Finas	Mezclas formadas básicamente con agregado fino, polvo mineral y ligante asfáltico pudiendo denominarse también como mortero asfáltico.
<b>Estructura del agregado</b>	Con esqueleto mineral	Esqueleto mineral resistente, la resistencia se debe al rozamiento interno de los agregados.
	Sin esqueleto mineral	Sin esqueleto mineral resistente y su resistencia se debe exclusivamente a la cohesión de la masilla.
<b>Granulometría</b>	Continuas	Cantidad muy distribuida de distintos tamaños de agregado en el uso granulométrico.
	Discontinuas	Cantidad limitada de tamaños de agregado en el uso granulométrico.

**Tabla 2.26**  
Clasificación de las Mezclas Asfálticas

Tipo de construcción	Descripción y usos	Tipo de Materiales	Sugerencias constructivas
<b>Tratamiento Superficial Simple (Surface treatments single Chip Seal)</b>	De los métodos de mantenimiento de bajo costo este es el más importante. Provee una superficie para todo tipo de climas, renueva pavimentos intemperizados, mejora la resistencia al deslizamiento, la demarcación de carriles y sella pavimentos.	<b>Cementos Asfálticos</b> Viscosidad (AC-5, AC-25) Penetración (120-150, 200-300) <b>Emulsiones Asfálticas</b> Aniónicas (RS-1, RS-2) Catiónicas (CRS-1, CRS-2)	Aplicación de riego. Muchos tipos de textura. En la construcción se debe utilizar agregados limpios y duros, y calibrar adecuadamente el equipo.
<b>Tratamiento Superficial Doble</b>	Dos aplicaciones de ligante y de agregado. para la segunda aplicación de agregados se emplea un tamaño menor al correspondiente a la primera. Durable, aporta algo de nivelación, disponible en varias texturas	<b>Cementos Asfálticos</b> Viscosidad (AC-5, AC-25) Penetración (120-150, 200-300) <b>Emulsiones Asfálticas</b> Aniónicas (RS-1, RS-2, HFRS-2) Catiónicas (CRS-1, CRS-2)	Ver tratamiento superficial simple
<b>Tratamiento Superficial Triple</b>	Tres aplicaciones de ligante y de tres tamaños de agregado. Provee un pavimento flexible, de hasta 20 mm de espesor. Provee nivelación al tiempo que una superficie de sellado muy resistente al desgaste.	<b>Cementos Asfálticos</b> Viscosidad (AC-5, AC-25) Penetración (120-150, 200-300) <b>Emulsiones Asfálticas</b> Aniónicas (RS-1, RS-2, HFRS-2) Catiónicas (CRS-1, CRS-2)	Aplicación de riego en tres capas
<b>Cape Seal</b>	Combina un tratamiento superficial simple con una lechada asfáltica. Provee, para reducir el hidropelaje; la superficie áspera, pero al mismo tiempo dispone de una resistente matriz de arena para durabilidad. Los valores de fricción pueden ser mayor que a los correspondientes a la mezcla asfáltica convencionales en caliente	<b>Emulsiones Asfálticas</b> Aniónicas (RS-2, SS-1h, QS-1h) Catiónicas (CRS-2, CSS-1, CQS-1)	Aplicar un tratamiento superficial simple, luego del curado barrer el material suelto y aplicar la lechada asfáltica. Para formar la matriz, hacer el enrase sobre la superficie del agregado. Evitar el exceso de lechada (esto cubre la textura áspera deseado con los agregados)
<b>Sellado Doble (Sándwich Seal)</b>	Mejora la resistencia al deslizamiento, sella pavimentos	<b>Emulsiones Asfálticas</b> Aniónicas (RS-2, HFRS-2) Catiónicas (CRS-2) Usualmente se le adiciona polímeros	Extender el agregado de mayor tamaño, distribuir la emulsión, y luego cubrir con el agregado menor, para trabar el agregado mayor.
<b>Riego de Imprimación (Prime Coat)</b>	Las imprimaciones son, típicamente, aplicaciones de riego de asfalto de baja viscosidad sobre una base granular, en preparación para la colocación de una mezcla asfáltica, se utiliza para bacheos, recubre y liga partículas sueltas, endurece la superficie de la base, impermeabiliza la superficie de la base, provee adhesión entre la base y la mezcla asfáltica	<b>Emulsiones Asfálticas</b> Aniónicas (SS-1, SS-1h, MS-2) Catiónicas (CSS-1, CSS-1h, CMS-2) <b>Asfalto Diluido</b> MC-30, MC-70, MC-250	Para que el riego de imprimación cumpla con su objetivo este debe penetrar en la base. Cuando la base consiste de materiales finos, será necesario realizar una escarificación en la zona a imprimir.
<b>Riego de Liga (Tack Coat)</b>	Un riego de liga es una muy ligera aplicación de riego de emulsión asfáltica diluida. Se usa para unir la superficie de pavimento existente y la capa de refuerzo	<b>Emulsiones Asfálticas</b> Aniónicas (RS-1, SS-1, SS-1h) Catiónicas (CRS-1, CSS-1, CSS-1h)	Para evitar una rotura prematura, siempre se agrega el agua a la emulsión y no la emulsión al agua. El riego de liga se debe aplicar en áreas donde se pueda pavimentar en el mismo día.
<b>Sello de Grietas (Crack Sealants)</b>	Esta tarea de mantenimiento puede considerarse correctiva o preventiva. En cualquier caso, la técnica de sellado es la misma.	<b>Emulsiones Asfálticas</b> Aniónicas (SS-1, SS-1h) Catiónicas (CSS-1, CSS-1h)	Antes de que las fisuras sean selladas, el material suelto en las fisuras debe de ser removido.

**Tabla 2.27 (a)**

**Tratamientos Superficiales y Riegos de Sellado<sup>24</sup>**

<sup>24</sup> Fuente: Asphalt Institute MS-19 y MS-16

Tipo de construcción	Descripción y usos	Tipo de Materiales	Sugerencias constructivas
<b>Riego de Sellado (Seal Coat)</b>	Es una aplicación de emulsión asfáltica sobre una superficie asfáltica existente. Se emplea para mejorar la apariencia estética, suavizar las diferencias en la textura superficial y provee una membrana impermeable que retarda el proceso de intemperización	<b>Emulsiones Asfálticas</b> Aniónicas (SS-1, SS-1h) Catiónicas (CSS-1, CSS-1h)	Para evitar que quede material adherido a los neumáticos de los vehículos, debe permitirse que el riego de sellado cure completamente antes de la liberación del tránsito.
<b>Riego Pulverizado (Fog Seal)</b>	Es una ligera aplicación de riego de ligante aplicado a la superficie de un tratamiento superficial en una mezcla abierta o una superficie de mezcla en caliente intemperizada. Funciona parcialmente como sellador de fisuras, reduce el desprendimiento, y enriquece superficies intemperizadas	<b>Emulsiones Asfálticas</b> Aniónicas (SS-1, SS-1h) Catiónicas (CSS-1, CSS-1h)	Aplicado con regadores, con o sin cubierta de arena. Diluir la emulsión en agua con la finalidad de lograr la cobertura sin agregar ligante en exceso.
<b>Sellado con Arena (Sand Seal)</b>	Restaura la uniformidad de la superficie. En la ciudad, facilita el barrido de las calles y mejora la visibilidad de la demarcación horizontal. Revitaliza pavimentos secos, intemperizados; reduce el desprendimiento.	<b>Emulsiones Asfálticas</b> Aniónicas (RS-1, RS-2, MS-1, HFMS-1) Catiónicas (CRS-1, CRS-2)	Aplicación de riego, mas una capa de arena. Compactar con rodillos neumáticos. Evitar exceso de ligante.
<b>Lechada Asfáltica (Slurry Seal)</b>	Empleada en el mantenimiento de aeropuertos y calles de ciudad, donde no es tolerable el agregado suelto. Sella, llena depresiones menores, provee una superficie fácil de barrer. La lechada líquida se aplica con una caja distribuidora provista de una enrasadora con tiras de goma.	<b>Emulsiones Asfálticas</b> Aniónicas (SS-1, SS-1h, QS-1h) Catiónicas (CSS-1, CSS-1h, CQS-1h)	Ensayar la mezcla de emulsión y agregados para alcanzar la trabajabilidad, la velocidad de rotura y la durabilidad deseadas. Calibrar el equipo previamente al inicio del proyecto.
<b>Lechadas Asfálticas Modificadas (Microsurfacing)</b>	Recapado (resurfacing) de alto desempeño empleado en el mantenimiento de carreteras, calles urbanas y aeropuertos, donde se requiere una superficie durable y resistente a la fricción. Rápida corrección de la superficie del camino	<b>Emulsiones Asfálticas</b> Catiónicas (CSS-1h) modificada con polímeros	Deberá requerirse un diseño de mezcla. Calibrar el equipo previamente al inicio del proyecto. Para una correcta aplicación se necesitara personal experimentado.
<b>Atenuador de Polvo (Dust Palliative)</b>	Donde hay bajos volúmenes de tránsito, y no se puede justificar la colocación de una mezcla asfáltica, se utiliza en emulsión asfáltica o un asfalto diluido como agente de control del polvo.	<b>Emulsiones Asfálticas</b> Aniónicas (MS-1, HFMS-1, SS-1, SS-1h) Catiónicas (CSS-1, CSS-1h) <b>Asfalto Diluido</b> MC-30, MC-70, MC-250, SC-70, SC-250	Se riega el material diluido con un distribuidor de asfalto. Se recomienda pequeñas secciones de prueba.
<b>Protección de Asfalto (Mulch Treatment)</b>	Este se utiliza para proteger las siembras que se utilizan para protección de erosión, generando una membrana en el área de la semilla del cultivo, también se utiliza para anclar paja o heno a un área sembrada	<b>Emulsiones Asfálticas</b> Aniónicas (SS-1, SS-1h) Catiónicas (CSS-1, CSS-1h)	El área ser tratada debe ser razonablemente lisa, de modo que sea posible un recubrimiento uniforme.

**Tabla 2.27 (b)**  
Tratamientos Superficiales y Riegos de Sellado<sup>25</sup>

<sup>25</sup> Fuente: Asphalt Institute MS-19 y MS-16



## **2.7 GENERALIDADES DE LAS LECHADAS ASFÁLTICAS**

### **2.7.1. RESEÑA HISTÓRICA**

El origen de las lechadas asfálticas como un método de pavimentación es aun debatible a pesar lo que se manifiesta en muchas publicaciones de la industria, en el continente Europeo la técnica es aplicada desde los años 20's. Fue en Francia a finales de esa década donde se empezaron a utilizar emulsiones de relleno de fraguado lento. Sin embargo el origen de las lechadas asfálticas como las conocemos hoy en día pudo haber estado en Alemania.

#### **2.7.1.1 Primera y segunda generación**

En la década de los 30's el famoso Dr. Oberbach diseño un producto que fue conocido como "Schlämme", resultado de mezclar agregado húmedo con asfalto 80/100 y agua, La idea era un proceso de mezcla en frío. La consistencia de la mezcla era fluida, esto la hacia fácil de esparcir con escobas, squeegees and spreader boxes. El Schlämme demostró ser una nueva y prometedora técnica para el mantenimiento de la superficie de los caminos y marco el inicio del desarrollo de las lechadas. Sin embargo se luchaba por alcanzar la consistencia adecuada en inusuales condiciones hasta que se lograba la mezcla correcta. Este proceso demandaba un constante movimiento de la mezcla para parar el rompimiento por carga mineral durante el transporte, esto requería del uso de agregado de granulometría muy fina y altos contenidos de filler. El primer proceso de mezcla húmeda fue completado en el aeropuerto de Berlín-Staaken en 1936. En 1938 los Estados Unidos de América comenzó con experimentaciones en el tema, aunque el mas extenso interés en los sellos de lechada asfáltica comenzó a inicios de los años 60's cuando los emulsificantes formaron parte de la mezcla.

Hasta tanto que las maquinas que eran capaces de producir y extender las lechadas simultáneamente aparecieran en el mercado europeo. El Schlämme Alemán compitió con las plantas mezcladoras de lechadas donde las emulsiones aniónicas de rompimiento lento eran utilizadas.

A finales de los 40's, el equipo para lechadas asfálticas comenzó a hacerse mas pronunciado en el mantenimiento de carreteras, no obstante no fue hasta 1955 la California-Fresno Asphalt Company construyo una maquina para tratar de asegurar la credibilidad del producto, surgió la primer máquina de proceso continuo. El primer camión con una maquina de proceso continuo montada sobre el fue construida por Young Slurry Seal Incorporated.

El hecho de ser capaz de mezclar y extender las lechadas al mismo tiempo revolucionó esta técnica a gran escala, permitiendo el uso de agregados más grueso y emulsiones con mejor adaptación en la velocidad de rompimiento.

Estas maquinas de doble propósito se introdujeron en Europa a inicios de los años 60's, Francia y España fueron los primeros dos países en utilizarlas, desarrollándose luego en Suiza, Reino Unido, Alemania y Holanda.

La primera generación de lechadas asfálticas, primera fase que se puede fechar entre 1962 y 1965, presento tres países pioneros: Alemania, España y Francia. En Alemania se utilizaban agregados muy finos involucrando graduaciones con tamaño máximo de agregado de 2-3 mm, con contenidos de filler que rondaban los 8-12%, esta cantidad de finos fue suficiente para proveer de una capa con una capacidad impermeabilizante significativa. Francia utilizaba mezclas con agregado natural y piedra triturada en proporciones arriba del 50/50 en la búsqueda no solo de rangos de granulometría sino también buscando mejorar la trabajabilidad de las lechadas asfálticas. España prefirió utilizar graduaciones con tamaño máximo de agregado de 4 mm solamente con piedra triturada.

La emulsión utilizada en esta fase inicial era aniónica y de rompimiento muy lento, con un contenido de asfalto del 60% con penetración de 180/220, un asfalto blando que se utilizo en Francia y un grado 80/100 en España como resultado del clima mas calido. En una segunda etapa se perfecciono la utilización de los aditivos dentro de las emulsiones, cuya función era retardar la velocidad de rompimiento y al mismo tiempo proveer una mayor adhesión entre las emulsiones y el agregado.

El comportamiento de los sellos de lechada asfáltica en esta fase no fue del todo satisfactorio, presentándose problemas de derramamiento y poca durabilidad.

Tabla 2.28 muestra la calificación que recibían los sellos de lechada asfáltica en Europa, razones que limitaron su campo de aplicación a:

- Sellos e impermeabilización de la carpeta de rodadura.
- Técnica de mantenimiento en calles de bajo y moderado tráfico.
- Aplicación en calles urbanas.

Durante estos años, fue España el país que mas avanzo en el desarrollo de las lechadas asfálticas, debido a que era el país Europeo que mas extensamente utilizaba la técnica y también a que su tecnología se encamino a desarrollar tipos de lechadas (clasificándolas en base a su granulometría y proporcionamiento) que se adaptasen a velocidades de tráfico específicas.

<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>COMPORTAMIENTO</b>
FRICCION - A BAJA VELOCIDAD - A ALTA VELOCIDAD	BUENO MUY POBRE
IMPERMEABILIZACION	BUENA
REDUCCION DE RUIDO	BUENA
PROPIEDADES OPTICAS - EN SUPERFICIE SECA - EN SUPERFICIE MOJADA	BUENA POBRE
DURABILIDAD	POBRE
COSTOS DE IMPLEMENTACION	BUENA

**Tabla 2.28**

Comportamiento de las Lechadas Asfálticas en la década de los 60's

### **2.7.1.2 Tercera generación**

Fue en la década de los 70's en donde una nueva generación de lechadas aparecieron en el mercado como consecuencia del considerable esfuerzo de investigación encaminado a mejorar las propiedades de los sellos de lechada asfáltica tradicionales y específicamente su durabilidad y su comportamiento bajo tráfico denso y rápido.

Estas nuevas lechadas conocidas en Europa como MAC (Micro Asphalt Concrete) y en US como microsurfacing, presentaron las siguientes características:

- a) Emulsiones modificadas con polímero, como resultado de la incorporación de polímeros dentro del asfalto, modificando su reología, presentando muy baja susceptibilidad térmica y muy alta cohesión, todo esto necesario para soportar las cargas sin deformación incluso para altas densidades de tráfico, mejorando la adherencia entre la emulsión y el agregado, mejorando a su vez la estabilidad de la mezcla y proveyendo de una mejor resistencia a la abrasión.
- b) La utilización exclusiva de piedra triturada de alta dureza y resistente a la abrasión, con tamaños máximos de agregado de hasta 11 mm (Alemania y Francia) o 12.5 mm (España), obteniendo texturas ásperas que mejoraron la fricción entre capas y el comportamiento del pavimento a altas velocidades.

El primer Microsurfacing fue desarrollado en Francia, a mediados de los años 70's. La compañía SCREG diseño su SEAL-GUM un Microsurfacing que fue posteriormente mejorado por la firma alemana RASCHIG la cual comercializo el producto RALUMAC.

Este método aun con un considerable desarrollo internacional, no tuvo sin embargo éxito resolviendo el problema del efecto de la calidad desigual del asfalto y los agregados, afectando la correcta velocidad de rompimiento y la cohesión de la mezcla.

A principio de los años 80's el centro de investigación español ESM preparo una nueva emulsión que resolvió la mayoría de los problemas iniciales. El Microsurfacing así

obtenido llamado MACROSEAL desarrollado por la firma ELSAMEX, ha logrado gran renombre internacional y muchos países de Europa y América han aplicado este método con mucho éxito.

### **2.7.1.3 Cuarta generación**

El mas moderno desarrollo de los microsurfacing surgió como resultado de la incorporación de fibras dentro de la mezcla y fueron España y Francia sus pioneros, aunque buscando diferentes objetivos, ver tabla 2.29.

## **2.7.2. TRATAMIENTOS SUPERFICIALES CON LECHADAS ASFÁLTICAS**

### **2.7.2.1 Definición**

El asfalto es un excelente impermeabilizante y sellador. Durante miles de años ha servido para ese propósito. Los babilónicos usaron asfalto para mantener unidas rocas para formar caminos y encauses de agua.

Los tratamientos superficiales con lechadas asfálticas conocidos como Slurry Surfacing son el resultado de aplicar agregado graduado, emulsión asfáltica, filler y agua junto a varios aditivos para fabricar un material de mezcla en frío que cure rápidamente. "Lechada" en si mismo es un término reológico que significa totalmente dispersó. Las Lechadas son métodos comunes para movilizar materiales sólidos. (Las lechadas de carbón son un ejemplo de esto).

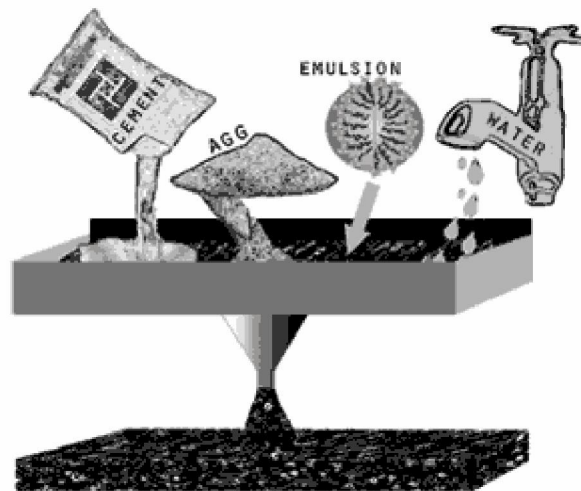
De manera que los tratamientos superficiales con lechada son una mezcla de agregados y asfalto aplicado en un estado de lechada física.

La Figura 2.29 muestra en que consisten los tratamientos superficiales con lechadas en general.

GENERACION	PERIODO	CARACTERISTICAS
<b>1ra</b>	1920, Alemania (Schlâmme) 1960-1965, España y Francia	<ul style="list-style-type: none"> <li>Û Agregados muy finos (2-3 mm)</li> <li>Û Emulsión Aniónica de rompimiento lento.</li> <li>Û Utilizado como impermeabilizante y para mejorar la microtextura.</li> </ul>
<b>2ª</b>	1965-1978, España y Alemania	<ul style="list-style-type: none"> <li>Û Tamaño máximo de agregado: 4-6 mm.</li> <li>Û Emulsión catiónica de rompimiento controlado.</li> <li>Û Aditivos que controlaban la velocidad de rompimiento.</li> <li>Û Apertura al tráfico en 30 min.</li> <li>Û Utilizados como sellos e impermeabilizantes, como mantenimiento en calles de tráfico medio y bajo, y aplicación en calles urbanas.</li> </ul>
<b>3ra</b>	1978, Francia (SEAL-GUM) 1979, Alemania (RALUMAC) 1982, España (MACROSEAL)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Û Tamaño máximo agregado 12 mm, con roca 100% triturada</li> <li>Û Emulsión asfáltica modificada con polímero</li> <li>Û Mejora en la susceptibilidad térmica y la resistencia a la abrasión</li> </ul>
<b>4ª</b>	1988, España y Francia	<ul style="list-style-type: none"> <li>Û Francia: 0.1-0.2% de fibra, utilizada para aumentar la fricción y en reparaciones de fisuras clasificadas.</li> <li>Û España: 0.5-1.0% de fibra, utilizadas para mejorar la flexibilidad de la carpeta y aumentar la resistencia a los esfuerzos de tensión.</li> </ul>

**Tabla 2.29**

Desarrollo de las lechadas asfálticas y países que las Desarrollaron



**Figura 2.29**

Esquema que muestra el concepto de Slurry Surfacing en general<sup>26</sup>

### **2.7.2.2 Clasificación de los tratamientos superficiales con lechadas asfálticas**

#### *1. Lechadas asfálticas convencionales (Slurry Seal)*

Es una aplicación de espesor delgado, de aproximadamente 1 a 1.5 veces el tamaño máximo de agregado utilizado. Estas lechadas pueden o no ser modificadas con polímeros. Si son modificadas, generalmente la modificación se realiza mediante un látex cuya función es ayudar a crear resistencia temprana a los esfuerzos y aumentar su flexibilidad. Incrementando el punto de ablandamiento de la carpeta.

Las mezclas para este tipo de aplicación están basadas en agregados de pequeño tamaño y limitadas a un tamaño máximo aproximado de 8mm.

---

<sup>26</sup> The ABCs of Slurry Surfacing, by Glynn Holleran. 2001

## *2. Lechadas asfálticas modificadas (microsurfacing)*

Es una aplicación capaz de corregir deformaciones menores de forma y usualmente contiene asfalto modificado. Este tipo de material puede ser utilizado como un rellador de rodaderas, pueden colocarse con múltiples tamaños de agregado fabricándose con tamaños máximos de agregado de hasta 10 mm.

La modificación con polímero permite el uso de agregado mas grueso sin el peligro de segregación y su alta cohesión le permite soportar capas mas espesas sin peligro de deformación. La modificación con polímeros para cada mezcla puede incluir EVA y látex, estos proveen una mayor resistencia al rodamiento, permitiendo colocar capas de hasta 50-75mm de espesor.

Existe a menudo gran confusión en cuál es la diferencia entre los microsurfacing y las lechadas asfálticas convencionales (slurry seal). Los primeros se presentan a veces como una clase de lechada asfáltica superior.

Las lechadas asfálticas convencionales son una aplicación fina de aproximadamente 1-1.25 veces el tamaño máximo del agregado. El microsurfacing es una aplicación de mayor espesor, 2-3 veces el tamaño máximo del agregado.

En síntesis esto es lo que los diferencia, el resto son detalles asociados a cómo esto es alcanzado conduciendo a una tecnología entera de tipos de emulsificantes y al empleo de materiales especiales como polímeros y aditivos.

### **2.7.2.3 Aplicaciones de los tratamientos con lechadas**

#### *1. Aplicación de las Lechadas asfálticas convencionales*

Las lechadas asfálticas convencionales son utilizadas generalmente para:



- Proporcionar una superficie de rodadura adecuada para el tráfico
- Un sello resistente contra el agua
- Corregir pequeñas irregularidades superficiales.
- Reducir el ruido en las carreteras
- Como carpeta de rodadura donde los límites de peso son restrictivos (puentes, pasos a desnivel)
- Restaurar la textura superficial del pavimento
- Como sello para grietas menores de superficie.

## *2. Lechadas asfálticas modificadas.*

Los microsurfacing incorporan polímeros que refuerzan la mezcla final y emulsificantes especiales que proporcionan un curado rápido y permiten tiempos cortos de apertura al tráfico. Estos son utilizados para:

- rellenar rodaderas
- correcciones menores de forma
- En aplicaciones de tráfico intenso
- Ensanchamiento de hombros
- Todas las aplicaciones de las lechadas asfálticas convencionales

### **2.7.2.4 Características de las Lechadas Asfálticas Modificadas.**

- a) Debido a sus propiedades de rápido rompimiento los microsurfacing pueden ser aplicados en una amplia gama de temperaturas y condiciones ambientales, alargando eficazmente las condiciones del pavimento.
- b) Particularmente conveniente para aplicaciones nocturnas en calles y carreteras de alto tráfico así como en aeropuertos.
- c) Aplicado a temperatura ambiente los microsurfacing tienen bajos requerimientos de energía, es medioambientalmente saludable ya que no

contiene ningún contaminante.

- d) En pavimentos asfálticos puede ser utilizado como rejuvenecedor de la superficie, como sellante o como relleno de rodaduras.
- e) Puede aplicarse en capas delgadas de rompimiento rápido, permitiendo una apertura al tráfico de generalmente una hora.
- f) Las lechadas modificadas con polímeros curan y desarrollan resistencia mas rápidamente que los sellos de lechadas asfálticas convencionales, permitiendo a los microsurfacing ser colocados en mayores espesores y rellenar rodaderas no tratadas.
- g) En aplicaciones tan delgadas como 3/4" (9.5 mm) los microsurfacing pueden aumentar el contraste en la calzada, restaurar las características superficiales y aumentar la vida de servicio de la carreteras de alto trafico.

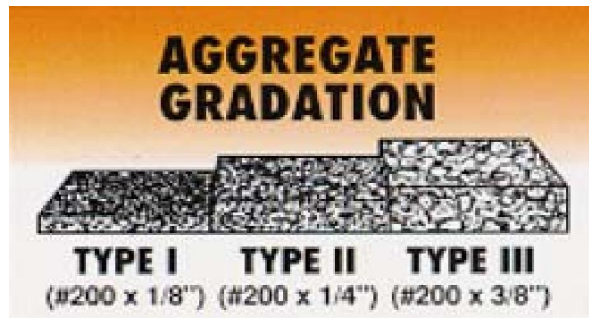
### **2.7.3. MATERIALES COMPONENTES DE LAS LECHADAS ASFÁLTICAS**

Como es obvio el desempeño que se alcanza se debe a la calidad de los materiales y a su adecuado diseño: Agregados, emulsión, aditivos, polímeros.

#### **2.7.3.1 Los Agregados**

La superficie que se consigue esta en función del tamaño y clasificación de los agregados.

ISSA utiliza tres tipos de graduaciones de agregados, según se muestra en la Tabla 2.30; pero graduaciones más grandes y mas pequeñas han sido utilizadas. La Figura 2.24 muestra esquemáticamente los tres tipos de graduación en base al espesor alcanzado.



**Figura 2.30**

Esquema de las carpetas de rodadura según la graduación de los agregados en las aplicaciones de Slurry Surfacing.

Malla	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tolerancia
3/8 (9.5 mm)	100	100	100	-
# 4 (4.75 mm)	100	90-100	70-90	± 5%
# 8 (2.36 mm)	90-100	65-90	45-70	± 5%
#16 (1.18 mm)	65-90	45-70	28-50	± 5%
#30 (600 µm)	40-65	30-50	19-34	± 5%
#50 (330 µm)	25-42	18-30	12-25	± 4%
#100 (150 µm)	15-30	10-21	7-18	± 3%
# 200 (75 µm)	10-20	5-15	5-15	± 2%

**Tabla 2.30**

Especificaciones de granulometría para agregados según tipo<sup>27</sup>

<sup>27</sup> Recommended Performance Guidelines For Emulsified Asphalt Slurry Seal. ISSA A105 (revisada). 2005

### *1. Granulometría tipo I.*

Las mezclas realizadas con la graduación tipo I son las más finas, y se utilizan generalmente para lograr una penetración máxima de las grietas y para áreas de tráfico de baja intensidad, por ejemplo: campos de aviación y parqueos. Esta mezcla se puede también utilizarse como tratamiento previo al recubrimiento con mezclas en caliente o para ser utilizados con los chips seal.

### *2. Granulometría tipo II*

Es el tipo más común de granulometría utilizada. Se emplea en mezclas utilizadas para corregir daños moderados a severos por pérdida de agregado, oxidación de la carpeta o pérdida de asfalto y para proveer mayor resistencia al deslizamiento. Esta mezcla puede ser utilizada para tráfico de moderada y alta densidad.

### *3. Granulometría tipo III*

Es empleada para mezclas que se utilizaran como correctoras de irregularidades superficiales y para aplicaciones en tráfico de alta densidad.

En Europa la graduación de los agregados se efectúa en base al tamaño máximo de los mismos, en la Tabla 2.31 puede apreciarse los tipos de granulometría empleados en Alemania.

<b>TIPOS</b>	<b>0/11</b>	<b>0/8</b>	<b>0/5</b>	<b>0/3</b>
<b>% &gt; 11.2 mm</b>	10	-	-	-
<b>% &gt; 8 mm</b>	15	10	-	-
<b>% &gt; 5 mm</b>	-	15	10	-
<b>% &gt; 2 mm</b>	45-70	45-65	40-65	20-50
<b>% &lt; 0.09 mm</b>	6-12	6-12	6-14	6-16

**Tabla 2.31**  
Clasificación típica utilizada en Alemania<sup>28</sup>

### **2.7.3.2 Las Emulsiones**

El tipo y la compatibilidad de la emulsión son la clave para un desempeño óptimo de la mezcla en las lechadas asfálticas como en todo tipo de aplicación en frío, estas pueden ser clasificadas en:

- a. Emulsiones de fraguado lento
- b. Emulsiones de fraguado rápido
- c. Emulsiones modificadas con polímero de fraguado rápido
- d. Emulsiones para Microsurfacing

El tipo de emulsión determina, en gran medida, el tiempo de rompimiento y de curado.

#### *1. Emulsiones de Fraguado Lento*

Las emulsiones de fraguado lento incluyen compuestos de amonio cuaternario, aminos grasos o los ácidos grasos. Usualmente poseen poca compatibilidad y problemas de recubrimiento, pero siempre serán de solidificación lenta cuando ellos dependan principalmente de la evaporación del agua para su rompimiento o la curación. Pueden

<sup>28</sup> Proceeding of the 29th annual Convention. International Slurry Surfacing Association. New Orleans, February. 1991

ser aniónicas o catiónicas. Tiempos de apertura al tráfico de 3-6 horas son usuales aun bajo buenas condiciones. Por esta razón ellas pueden utilizarse solamente para aplicaciones de sellos de lechada convencional (slurry seal).

## *2. Emulsiones de Fraguado Rápido*

Las emulsiones de fraguado rápido utilizan emulsificantes superiores usualmente de la familia de las aminoamidas (aminoácido natural). La compatibilidad es de nuevo un problema, pero puede ser solucionado, en la mayoría de los casos, en la fase del diseño de la mezcla. Estos emulsificantes son catiónicos y reaccionan con los agregados utilizados. El tiempo de apertura al tráfico varía de 1-4 horas, dependiendo de las condiciones. Ellos son convenientes solamente para Sellos de lechada (slurry seal).

## *3. Emulsiones Modificadas con Polímeros*

Los sistemas de fraguado rápido modificados con polímeros poseen un polímero añadido. Estos pueden hacerse mezclando un polímero con el asfalto previo al emulsificante o también añadiendo un polímero látex dentro de la "sopa del sistema" o post-molienda (algunas veces se utiliza pos-añadido pero esto tiende a hacer lento el sistema y presentar problemas de estabilidad). Los tiempos de apertura al tráfico son similares a las emulsiones de fraguado rápido no modificadas, pero la presencia del polímero permite que estas sean utilizadas para sellos de lechada convencionales o para lechadas asfálticas modificadas indiferentemente (en climas calidos).

## *4. Emulsiones para microsurfacing*

Las emulsiones para microsurfacing siempre poseen polímeros y están basadas en sistemas de fraguado rápido. Estas pueden utilizarse con aditivos como un desencadenante para la ruptura. La mayoría de emulsificantes para microsurfacing son imadazolines. Estas son mas reactivas con los agregados y presentan mayor compatibilidad y los problemas de recubrimiento deben ser cuidadosamente tratados en el diseño de mezclas.

### **2.7.3.3 Los Aditivos**

Estos pueden ser sólidos (cemento o limos) o líquidos (surfactantes) y son añadidos con el agua para retardar o acelerar las reacciones de la mezcla (curado o ruptura).

### **2.7.3.4 Los Polímeros**

Los polímeros rigidizan la mezcla y le proporcionan mayor flexibilidad. Esto implica mayor resistencia a las deformaciones y a los agrietamientos. Un punto de ablandamiento mas alto y una mayor viscosidad permiten un contenido mas alto aglutinante (emulsión) en la carpeta, películas (capas) mas espesas y también alta durabilidad. Efecto de los polímeros en las mezclas asfálticas:

- Incrementan el punto de ablandamiento
- Incrementan la viscosidad de la carpeta
- Disminuyen la susceptibilidad térmica
- Incrementan la elasticidad
- Incrementan la cohesión
- Incrementan los esfuerzos de tensión y flexión a bajas temperaturas.





# ***Capítulo III***

---

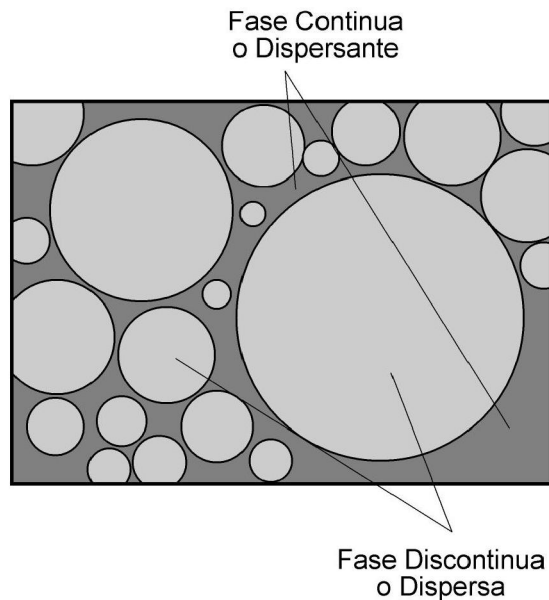
***Análisis de los Materiales  
Componentes del Sistema  
Microsurfacing***



### 3.1. TEORÍA DE LAS EMULSIONES

Podemos definir una emulsión como una *“dispersión fina, más o menos estabilizada de un líquido en otro no miscibles<sup>1</sup> entre sí”*, el cual se unen por un emulsificante (llamado también emulgente, surfactante o tenso activo).

Las emulsiones están formadas por dos fases, llamadas fase continua (dispersante) y fase discontinua (dispersa). Esto puede apreciarse en la Figura 3.1. Representación esquemática de una emulsión.



**Figura 3.1.**  
Representación Esquemática de una Emulsión

Generalmente el tamaño de la fase discreta tiene una dimensión lineal entre un nanómetro y una micra. Son estos tamaños tan pequeños los que le dan a las emulsiones sus importantes e interesantes propiedades. La ciencia que trata sobre las emulsiones es multidisciplinaria, ya que involucra física, química, biología, etc.

---

<sup>1</sup> no miscibles: que no puede formar con otro cuerpo una mezcla homogénea

Existen varios tipos de dispersiones de partículas de diferentes tamaños en diferentes tipos de medios; entre estas dispersiones se encuentran las emulsiones, las cuales son dispersiones de un líquido en otro. En la Tabla 3.1 se muestran los diferentes tipos de dispersiones que existen:

<b>Fase</b>	<b>Fase</b>	<b>Sistema</b>
Gas	Líquido	Aerosoles, Niebla y Roció
Gas	Sólido	Smoke, Aerosol
Líquido	Gas	Espuma
Líquido	Líquido	Emulsión, Solución Coloidal
Líquido	Sólido	Sol, Solución Coloidal, Gel, Suspensión
Sólido	Gas	Espumas Sólidas (Piedra Poma), Zeolitas
Sólido	Líquido	Gel, Emulsión Sólida
Sólido	Sólido	Aleación

**Tabla 3.1.**  
Diferentes Tipos de Dispersiones

### **3.2. CLASIFICACIÓN DE LAS EMULSIONES**

No existe un principio de clasificación de las emulsiones aceptado por todos. Sin embargo, puede decirse que es posible establecer un cierto número de clasificaciones diferentes en función de los criterios de selección utilizados.

#### **3.2.1 CLASIFICACIÓN SEGÚN EL ORIGEN**

Según esta clasificación las podemos dividir en Emulsiones Naturales y Artificiales. El prototipo de las emulsiones naturales es la leche de los mamíferos, y es donde se da origen la palabra emulsión (del latino *emulgere*, ordeñar). Con lo que respecta las emulsiones artificiales mencionaremos algunos usos de empleo: productos cosméticos, farmacéutica, agroalimentarias, de conservación, metalúrgica, etc.

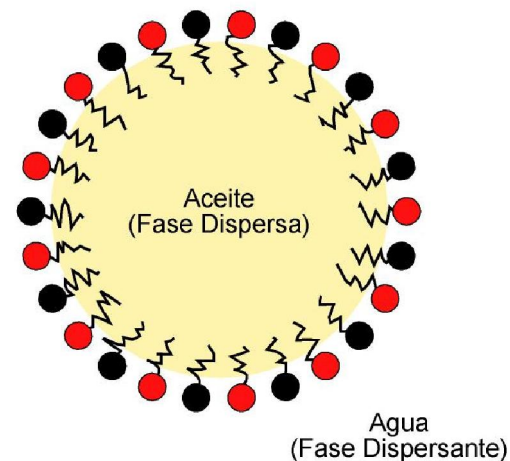
### 3.2.2 CLASIFICACIÓN SEGÚN LA CARGA ELÉCTRICA

Estas las podemos clasificar en tres categorías: aniónica, catiónica y no iónica. En la práctica, las dos primeras son las más ampliamente utilizadas en la construcción y mantenimiento de carreteras. Las denominaciones aniónica y catiónica se refieren a las cargas eléctricas que rodean a las partículas de asfalto.

### 3.2.3 CLASIFICACIÓN SEGÚN EL TIPO

Estas las podemos dividir como emulsiones Directas, Emulsiones Inversas y Emulsiones Múltiples.

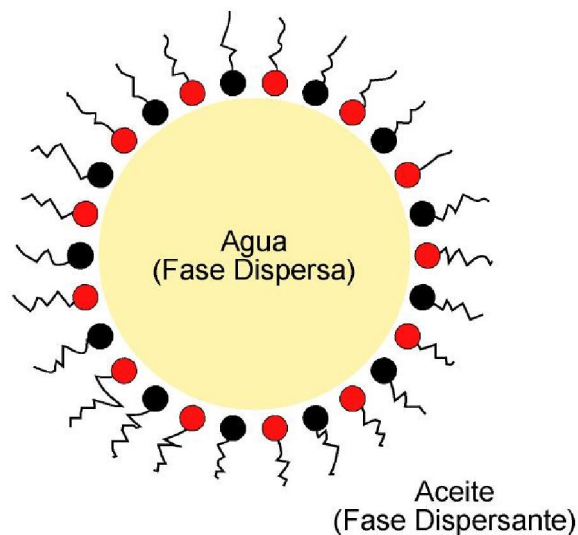
- a. *Emulsiones Directas*: Son denominadas de tipo Acuoso. La fase dispersa es lipofílica (aceite vegetal o mineral); la fase dispersante es hidrofílica (agua), estas se identifica por la abreviatura L/H (ver Figura 3.2). Las emulsiones asfálticas pertenecen a este grupo, también se utiliza para pinturas, líquidos fitosanitarios y un gran número de otros productos.



**Figura 3.2.**

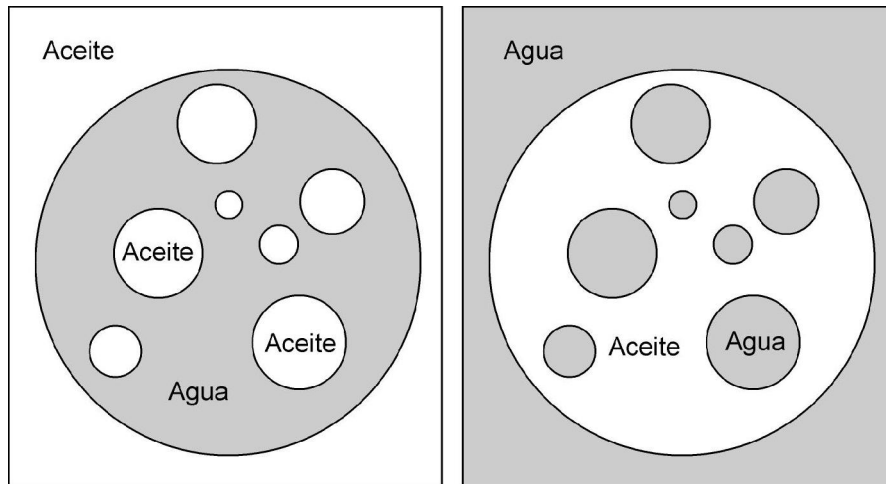
Representación esquemática de una emulsión tipo acuosa

- b. *Emulsiones Inversas*: Se denominan de tipo aceitoso. Contrariamente al caso anterior, la fase dispersa es hidrofílica y la fase continua es lipofílica, su abreviación es H/L (ver Figura 3.3). Entre las utilidades más importantes podemos mencionar la industria alimenticia (margarinas y mantequilla), metalúrgicas (grasas lubricantes y fluidos hidráulicos), farmacéuticas y cosméticas.
- c. *Emulsiones Múltiples*: Son identificadas por la abreviación H/L/H, Estas son emulsiones L/H en las que las propias gotas de aceite contienen glóbulos hidrófilos más pequeños (ver Figura 3.4). Esta configuración permite la separación de dos fases miscibles por una fase inmiscible. Al estar separadas dos fases por una fase líquida inmiscible, es posible utilizar a este tipo de emulsiones como membranas líquidas. Estas membranas se pueden usar para separar o extraer compuestos de la fase externa hacia la fase interna, pudiéndose incluso concentrar a los compuestos extraídos.



**Figura 3.3.**

Representación esquemática de una emulsión tipo aceitosa



**Figura 3.4.**

Esquema de diferentes Emulsiones Múltiples L/H/L y H/L/H

### **3.2.4 CLASIFICACIÓN SEGÚN TAMAÑO DE LAS PARTICULAS.**

Por este método se han dividido en dos tipos en emulsiones y microemulsiones. En la fase dispersa de la emulsión se tiene un umbral mínimo de 0.1 micras. Sin embargo, es posible obtener dispersiones liquido-liquido en las que el tamaño de las partículas de la fase dispersa es alrededor de 100 veces más pequeño. Este tipo de emulsión se denomina microemulsión. Ver tabla 3.2

### **3.2.5 CLASIFICACIÓN SEGÚN LA PROPORCIÓN DE LAS FASES**

Está establecido que, cualquiera que sea el sistema de ensamblaje, es imposible ensamblar esferas del mismo diámetro si ocupan más del 74.02% del volumen total que las contiene. Basándose en este cálculo, algunos teóricos han pensado que por encima de esta concentración, una emulsión tendría que romper, o al menos, sufrir un brusco cambio de sentido (fenómeno de inversión). Pero no se han tenido en cuenta al menos dos parámetros fundamentales: de un lado, la fase dispersa es raramente monogranular

(partículas del mismo diámetro) y de otro, las partículas del líquido disperso pueden no ser perfectamente esféricas. En consecuencia, el volumen de la fase continua puede ser notablemente reducido y se habla de emulsiones que contiene hasta el 99% de fase dispersa.

<b>Las dos granulometrías de la emulsión</b>		
	<b>Emulsiones</b>	<b>Microemulsiones</b>
Tamaño característico de las partículas	1 a 20 micras	0.01 a 0.005 micras
Aspecto visual	Opacas	Transparentes o azuladas (efecto Tyndall)
Viscosidad	Elevada, en función de la concentración de fase dispersa	Muy baja, independiente de la fase aceitosa
Estabilidad	Variable y dependiente del tiempo	Muy alta, incluso permanente por ser termodinámicamente estable
Cantidad de tenso activos	Baja a medianamente elevada (0.1 a 10% del tota)	Alta (15 a 25% del total)
Energía de dispersión requerida	Alta (necesidad de un potente equipo dinámico o estático)	Baja (posible formación espontánea)

**Tabla 3.2.**

Características de las dos granulometrías de la emulsión



### **3.3 EMULSIONES ASFÁLTICAS**

#### **3.3.1 HISTORIA DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS**

La emulsión asfáltica es, sin duda, la forma más económica, menos contaminante, y de menor consumo energético que existe para aplicar asfalto en la carretera. Se tiene referencias del uso de emulsiones o dispersiones de alquitrán en agua para la pavimentación de carreteras desde principios del siglo XX, no es hasta 1922 cuando aparece la primera patente de una emulsión asfáltica.

El objetivo que se perseguía al utilizar emulsiones era conseguir que la puesta en obra del ligante hidrocarbonado, bien sea procedente del petróleo o de la hulla, pudiera realizarse a temperatura ambiente sin necesidad de calentarlo. Estas primeras emulsiones eran de naturaleza aniónica, se empleó en lugar de los usuales caminos fabricados con material pétreo, como una alternativa para evitar el polvo cuando transitaban los vehículos.

Desde 1951, cuando aparecen en el mercado los emulsionantes catiónicas, que confieren a la emulsión una casi universalidad de uso (ya sea con cualquier tipo de agregado como en cualquier condición meteorológica), las emulsiones asfálticas alcanzan su pleno desarrollo y lo siguen haciendo.

#### **3.3.2 DEFINICIÓN DE EMULSION ASFÁLTICA**

La emulsión de asfalto es una dispersión del asfalto en el agua que necesita para su formación, el empleo de una energía mecánica de aislamiento del ligamento y de un agente tensoactivo o emulsificante.

##### **3.3.2.1 El estado coloidal**

El tema de la ciencia coloidal cubre una gran gama de rango de materiales desde la cerveza hasta los materiales que constituyen los caminos, estos tienen en común en que

las partículas sólidas o líquidas (fase discontinua) están distribuidas en líquidos o gases (fase continua). Los sistemas son coloidales si el tamaño de la partícula cae dentro del rango de 0.001 a 1 micra, cuando una partícula es mayor de una micra los sistemas se encuentran en dispersión y las propiedades volumétricas son más importantes que las interfaciales mismas; así una emulsión asfáltica es en parte coloidal y en parte dispersión; por tanto una dispersión coloidal posee propiedades de una mezcla. Las emulsiones asfálticas son distribuciones de un semisólido en una fase líquida.

### **3.3.2.2 Formación de una emulsión asfáltica.**

La base de la emulsificación es la creación de partículas pequeñas de asfalto (1-5 micras) que son cubiertas con un químico que permite a las partículas permanecer separadas. La emulsión sin embargo debe romper posterior a las películas de asfalto para poder ejecutar su función de cubrimiento, resistencia al agua, adherencia, etc. Así la mayor parte de la química de la emulsión es casi regulada. Cuando extendemos esto a las interacciones con el agregado, se vuelve más complicado.

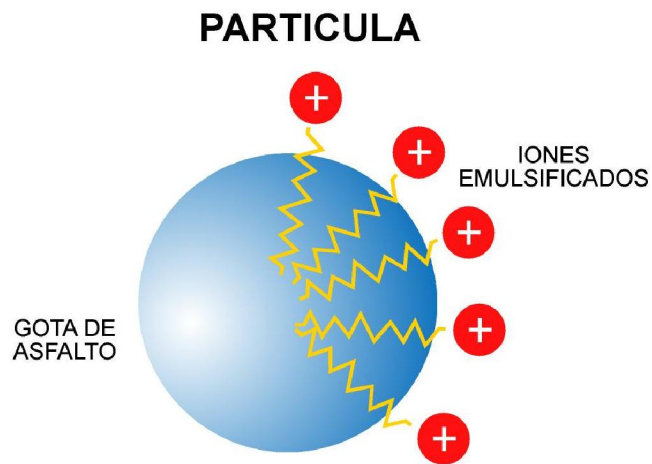
Casi siempre las combinaciones de los emulsificantes y aditivos serán más efectivas que solo los emulsificantes. En los casos de asfalto, ya el mezclado es hecho por el fabricante.

### **3.3.2.3 Doble capa**

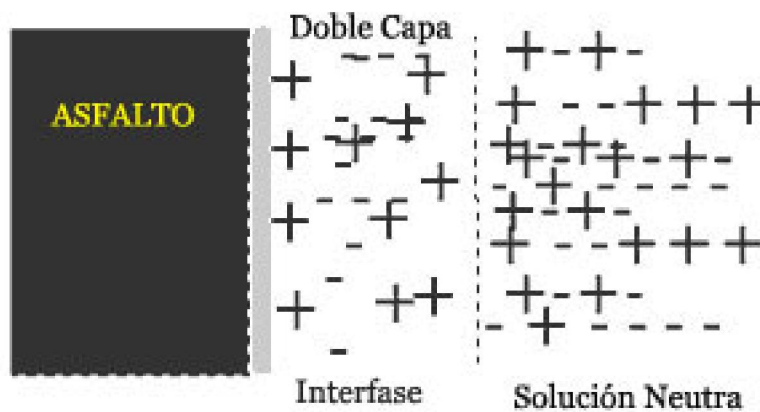
Las partículas emulsificadas tienen iones emulsificantes que se disuelven en parte en el asfalto y parte en el agua (ver figura 3.5). Esto crea una carga en la superficie, tal como dos partículas se acercan el uno al otro y son repelidas entre ellas. Sin embargo, las partículas no pueden existir en un estado y esto debe ser equilibrado por los iones opuestos. Así cada partícula prepara una doble capa (ver figura 3.6). La carga es neutralizada encima del espesor de esta capa.

En la interfase, la densidad de la carga, es medida por el potencial zeta que determina la estabilidad de la emulsión. El espesor de la doble capa (ver la figura 3.6),

es determinado así por el tamaño molecular del emulsificante, su habilidad al disolverse en el asfalto y en la fase de agua; es decir, su HLB (Balance Lipofílico/Hidrofilico). A mayor número el emulsificante será más en la fase de agua, a menor número será más en el asfalto, así quiere un número bajo de HLB. El HLB muestra la habilidad del emulsificante al maximizar su presencia en la interfase.



**Figura 3.5.**  
Partícula de un asfalto emulsificado catiónico



**Figura 3.6.**  
Interfase entre asfalto y fase agua de una doble capa

Cuando es usado el HLB, se tiene en mente que no es una medida de estabilizar el poder. Debe ser usado en conjunto con el potencial zeta, que determina el tamaño de la carga de repulsión, de aquí su estabilidad. El emulsificante que se escoja estará basado en el potencial zeta y en la interacción con los agregados (ver tabla 3.3). La doble capa y la superficie de carga pueden ser manipuladas. Todos los sistemas emulsivos están equilibrados. Es decir, el espesor de la doble capa y la densidad de la superficie de carga están en función del tiempo.

Teniendo solamente un pequeño porcentaje del emulsificante agregado disponible en la interfase significa que el sistema puede estar inestable. Si la densidad de superficie de carga es insuficiente, la solución podría flocular o coalescer, o en términos comunes, las partículas en las emulsiones podrían golpearse uno en contra de otro y combinarse. Usando cloruro de calcio, un emulsificante no iónico, o un emulsificante mezclado con el asfalto, podría resolver el problema de floculamiento y coalescencia.

<b>Tipo</b>	<b>Concentración (%)</b>	<b>potencial Zeta (mv)</b>	<b>cambio Agregado (mv)</b>	<b>HLB</b>
CRS RC 400/401/405	0.25-0.5	100-140	-14 a -80	16-18
CMS/CSS 500/501/502/505	0.8-1.5	20-80	-14 a -80	18-20
CQS 300/301/305	1.0-1.8	22-50	-30 a -80	17-19
Para micro 200/201/205	1.0-1.8	40-60	-40 a -80	15-16
Coemulsificante 705	0.3-0.5	22	-14 a -60	20
SS/MS RC 1000	1.0-1.5	-30	evaporación y la absorción	

**Tabla 3.3.**  
Relación del emulsificante con el potencial zeta y los agregados

#### **3.3.2.4 Formación de películas**

La aplicación de las emulsiones confía en su habilidad de formar las películas en los agregados. Básicamente la formación de películas en el medio las partículas son coalescentes, sin agua entrampada.

La formación de la película es una función de los factores cinéticos tales como la temperatura, viscosidad y estabilidad interna, y factores termodinámicos tales como la energía interfacial. Las películas se formarán más despacio a bajas temperaturas, con partículas grandes y mayor viscosidad. Agregando solventes o agentes coalescentes ayudará a la rápida formación de la película especialmente si se está trabajando a temperaturas bajas. La adhesión puede reforzarse por agentes aditivos inyectados en el asfalto.

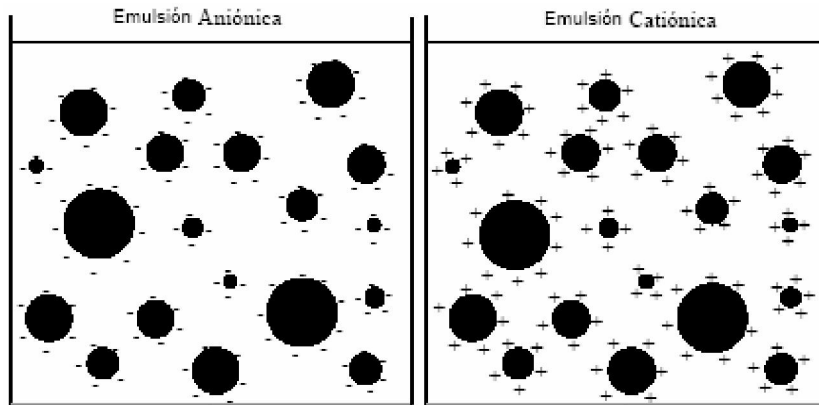
### **3.3.3 CLASIFICACIÓN DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS**

#### **3.3.3.1 Clasificación según la carga eléctrica:**

Las emulsiones asfálticas se clasifican en tres categorías: catiónica, aniónica y no iónica. En la práctica los dos primeros son ampliamente utilizados en la construcción y mantenimiento de carreteras. Las no iónicas pueden ganar en importancia a medida que la tecnología de las emulsiones avance. Las denominaciones aniónica y catiónicas se refieren a las cargas eléctricas que rodean a las partículas de asfalto, ver la figura 3.7. Este sistema de identificación se basa en una ley de electricidad básica, las cargas iguales se repelan y las cargas opuestas se atraen.

Cuando una corriente eléctrica circula a través de un líquido en el que están sumergidos dos polos (un ánodo y un cátodo), el ánodo se carga negativamente y el cátodo se carga positivamente. Si una corriente eléctrica pasa a través de una emulsión que contiene partículas de asfalto cargadas negativamente, estas migrarán al ánodo, de aquí el nombre de emulsión aniónica. A la inversa, en el caso de las emulsiones con partículas de asfalto cargadas positivamente, dichas partículas migrarán hacia el cátodo, se trata

de una emulsión catiónica. En el caso de las emulsiones no iónicas, las partículas de asfalto son eléctricamente neutras y no emigran a polo alguno.



**Figura 3.7.**

Representación esquemática de una emulsión aniónica y de una catiónica

### **3.3.3.2 Clasificación según su velocidad de coalescencia:**

Esta se basa en la velocidad con que las gotas de asfalto coalescen, esto se juntan restaurando el volumen del cemento asfáltico. Los términos RS (rapad setting), MS (medium setting), SS (slow setting) y QS (quick setting) han sido adoptados para simplificar y normalizar esta clasificación. Son solo términos relativos que implican respectivamente rotura rápida, rotura media, rotura lenta y rotura ultra rápida. La tendencia a coalescer esta íntimamente relacionada con la rapidez con que la emulsión se vuelve inestable y rompe tras entrar en contacto con la superficie del agregado. Una emulsión RS tiene poca o ninguna capacidad para mezclarse con los agregados; es de esperar una emulsión MS que se mezcle con agregado grueso y no se mezcle con agregado fino; y las emulsiones SS y QS se diseñen para mezclarse con agregados finos, esperándose que la QS rompa más rápidamente que la SS.

### **3.3.3.3 Clasificación según su viscosidad y cemento asfáltico:**

Las emulsiones se identifican con una serie de números y letras que aluden a la viscosidad de las emulsiones y la consistencia de la base del cemento asfáltico. La letra “C”, encabezando el tipo de emulsión, identifica a una emulsión catiónica. La ausencia de la “C” indica a las emulsiones aniónicas, según las especificaciones de la ASTM (*American Society for Testing and Materials*) y de la AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*). Por ejemplo, RS-1 es una emulsión aniónica y CRS-1 es una emulsión catiónica.

Los números en la clasificación indican la viscosidad relativa de la emulsión. Por ejemplo, una emulsión MS-2 es más viscosa que una emulsión MS-1. La “h” incluida en algunos grados significa simplemente que la base asfáltica es más consistente (o dura, *hard*). La “s” significa que la base asfáltica es más blanda (*soft*).

Las letras “HF” que preceden a algunos de los grados de las emulsiones aniónicas indican alta flotación (high float), medida con el ensayo de flotación. Las emulsiones de alta flotación tiene características de gel, impartidas por la adición de ciertas sustancias químicas; estas características permiten la formación de una película de asfalto más gruesa alrededor del agregado, impidiendo la separación del asfalto de las partículas del agregado. Estos grados de emulsiones se usan principalmente para mezclas de planta en caliente y en frío para sellados y para mezclas en caminos.

Muchos fabricantes pueden no proveer todos los grados de la emulsión. La comunicación y la planificación entre usuario y productor facilitan el servicio y provisión de un grado de emulsión dado.

Las emulsiones de rotura ultra rápida QS han sido desarrolladas para lechadas asfálticas (*slurry seal*). Las emulsiones catiónicas CQS son ampliamente utilizadas por su versatilidad con un vasto rango de agregados y por sus características de rápida rotura. Muchos países emplean especificaciones para emulsiones CQS y QS para aplicaciones con lechadas. Estas especificaciones son similares a los requisitos para

CSS-1h SS-1h de la ASTM y AASHTO, con la excepción que no exige el ensayo de mezcla con cemento.

Para el microaglomerado (*microsurfacing*) se utiliza una emulsión a menudo denominada CSS-1h-p. Al igual que para las emulsiones ultrarrápidas QS, las emulsiones para microaglomerado deben de cumplir con los requisitos de la ASTM y AASHTO, para CSS-1h, con la excepción del ensayo de mezcla con el cemento.

También el uso en expansión de asfaltos modificados con polímeros ha contribuido a una nueva familia de grados de emulsiones. Para designar emulsiones modificadas normalmente se agrega una letra (usualmente P, S ó L) al final del grado (por ejemplo, HFRS-2P).

Las especificaciones para emulsiones catiónicas (ASTM D2397, AASHTO M208) permiten, para algunos grados la incorporación de solventes.

### **3.4 PROPIEDADES DE LAS EMULSIONES**

Las propiedades de las emulsiones asfálticas pueden clasificarse en dos grupos:

#### **3.4.1 PROPIEDADES INTRÍNSECAS**

Son aquellas propiedades que le son propias, y que no dependen de los productos minerales con los que se emplean. Estas propiedades son la viscosidad, cohesión y la estabilidad al almacenamiento.

##### **3.4.1.1 Viscosidad**

La Viscosidad es la propiedad de un material sometido a una tensión cortante en oponer resistencia a la velocidad de deslizamiento de unas capas sobre otras.



### 1. *Parámetros que influyen en la viscosidad*

- a. *Concentración de la emulsión:* La viscosidad de las emulsiones asfálticas aumenta de manera exponencial con el contenido del asfalto. Así para contenidos de ligantes entre 50 y 65%, el aumento de la viscosidad es poco importante al aumentar la concentración. Por el contrario, cuando el contenido de ligante sobrepasa el valor de 65%, un pequeño aumento de la concentración de ligante trae consigo un aumento importante de la viscosidad, que puede hacer difícil la fabricación y el empleo de las emulsiones muy concentradas.
- b. *Viscosidad de la fase dispersante:* La fase dispersante está constituida esencialmente por agua enriquecida con jabón emulsificador. Debido a esto, la viscosidad de esta fase no es la del agua, es más elevada y está relacionada con el tipo de jabón. Algunos jabones pueden llegar a formar geles que aumentan de manera considerable la viscosidad de la fase acuosa y por tanto de la emulsión.
- c. *Sal en el asfalto:* La viscosidad de una emulsión fabricada con un asfalto que contenga una apreciable cantidad de sal soluble experimenta una importante evolución desde el momento de su fabricación. Este fenómeno relacionado con la diferencia de presión osmótica<sup>2</sup> entre la fase acuosa y los glóbulos de asfalto, hace que la emulsión pueda no ser bombeada.  
Con el fin de limitar el incremento de viscosidad se recomienda restablecer el equilibrio osmótico introduciendo sal soluble (usualmente cloruro sódico) en la fase acuosa. Es conveniente vigilar el comportamiento al almacenamiento de estas emulsiones.
- d. *Temperatura:* La viscosidad de la emulsión varía de manera apreciable con la temperatura. Este comportamiento recibe el nombre de susceptibilidad térmica. Para todos los ligantes incluyendo las emulsiones, la susceptibilidad térmica no es constante cualquiera que sea la temperatura. Para uso en frío, se recomienda

---

<sup>2</sup> Paso de disolvente pero no de soluto entre dos disoluciones de distinta concentración separadas por una membrana semipermeable.

que la viscosidad de la emulsión sea tal que no varíe en más del 30% si la temperatura baja de 20 a 10° C o si sube de 20 a 40° C.

*2. Otros parámetros que influyen en la viscosidad de la emulsión son:*

- a. El tipo de fase dispersa: Origen del asfalto (penetración), presencia o no de diluyentes (petróleo, aceite fluxado)
- b. La naturaleza de la fase continua: Tipo y cantidad de emulsificante
- c. La distribución granulométrica: Tamaño de los glóbulos y proceso de fabricación (tipo de molino)

### **3.4.1.2 Cohesividad**

La cohesión interna del ligante, puede definirse como la resistencia al corte del ligante. Depende de varios factores, siendo el más importante la viscosidad. La cohesividad presenta un valor óptimo que corresponde con un rango de viscosidad dada y que depende de la temperatura. Así por debajo de una cierta temperatura el ligante, bajo el efecto de una acción mecánica, se convierte en producto demasiado duro, “quebradizo”; por el contrario, si la temperatura sobrepasa un determinado valor, el ligante se vuelve demasiado fluido, es demasiado “blando” para resistir a los esfuerzos de tracción.

### **3.4.1.3 Estabilidad de Almacenamiento**

En las emulsiones de asfalto, las gotas de aceite son relativamente grandes. Debido a que el área de la superficie es grande por gota, la energía por gota es alta y no puede ser compensada por sus contribuciones de entropía<sup>3</sup>. La estabilidad de un semejante sistema disperso está caracterizado por como serán dispersados, como está su superficie cargada, y como son las partículas pequeñas. Los mecanismos de estabilidad de más

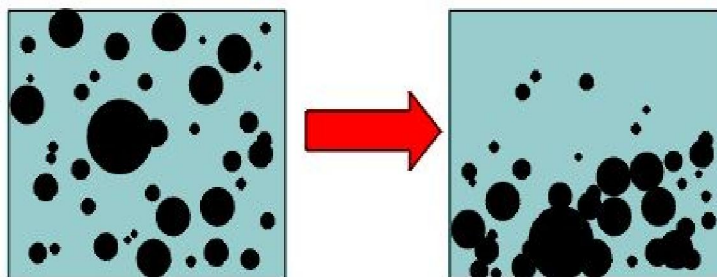
---

<sup>3</sup> Magnitud termodinámica que mide la parte no utilizable de la energía contenida en un sistema.

interés para las emulsiones asfálticas son: la sedimentación, floculación, coalescencia, inversión y maduración de Ostwald.

- a. *Sedimentación:* La sedimentación de una emulsión determina cuanto tiempo puede ser guardado, ver figura 3.8. Esto es probado por un ensayo de separación simple. Hay varios mecanismos que afectan a la sedimentación. La proporción es determinada por la densidad y el tamaño de la partícula. La flotación depende de la densidad. Al incrementar la densidad, disminuye la flotación porque las partículas tienen que desplazar más líquido al flotar. Este factor (mecanismo) puede ser cambiado por el cambio de la densidad del agua con el cloruro de calcio.

El movimiento browniano es otro mecanismo que afecta la sedimentación. Este es una clase de mezclado interno, pero puede acelerarse la proporción de floculación, que hace la mezcla más gruesa porque las partículas colisionan. Para la estabilidad, en un mayor sistema disperso, la sedimentación puede ser lenta al principio, algo que hace la emulsión gruesa, que alterará la proporción de sedimentación.



**Figura 3.8.**

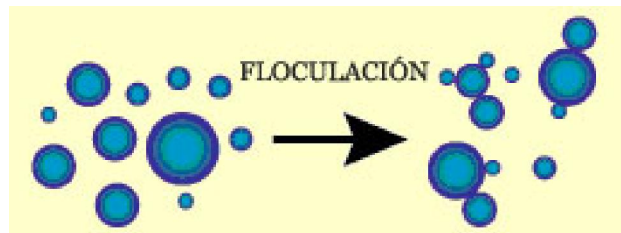
Sedimentación en una emulsión asfáltica

- b. *Floculación:* Cuando dos partículas se acercan una a otra, varios tipos de interacciones pueden ocurrir. Hay dos maneras principales que las interacciones

puedan ocurrir en la floculación. El primero es la colisión eficiente. Este es la probabilidad de que un par de partículas colisionantes chocarán juntas. El segundo es la fuerza de tales agregaciones una vez ellos se formen.

Casi todas las interacciones son de rango corto. En la doble capa el espesor es crítico en estas interacciones. El gelificado de la capa bajará las colisiones entre las partículas, haciendo la floculación más difícil. El movimiento o transporte varia dependiendo del bombeo, cortado y cambios de temperatura. El método de adhesión varia dependiendo del potencial zeta, del espesor de la doble capa y del tipo del emulsificante.

La cinética de la floculación será determinada por el balance de estos factores, de aquí es calentada una emulsión, que puede reducir el cortado, reduciendo la floculación. El rango de floculación en relación a la coalescencia final, es también crítica desde que se determina el entrapamiento del agua (inversión) en las partículas floculadas finales. El agua en las partículas floculadas incrementará dramáticamente la viscosidad y mientras esto pueda reducir la sedimentación, el puede hacer la emulsión final fuera de la especificación, así retardará el rango de curación. Las partículas floculadas actúan como si ellos son partículas grandes y se establecen más rápido que las partículas solas (ver figura 3.9).

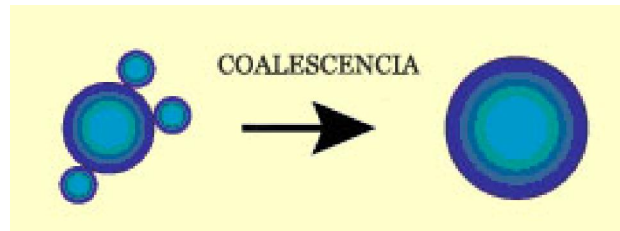


**Figura 3.9.**

Floculación en una emulsión asfáltica

- c. *Coalescencia:* La coalescencia de las partículas floculadas es en función de la superficie de carga y factores tales como el cortado y la temperatura. Es el siguiente paso de la floculación y ocurre porque una forma esférica es

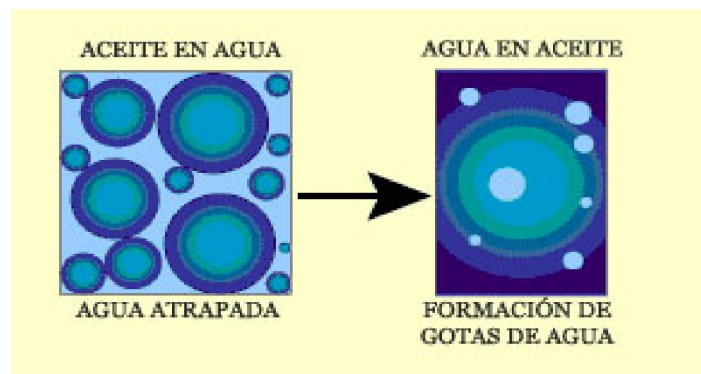
energéticamente baja. A este escenario los efectos de corte pueden ser usados al romperse las partículas floculadas o causa coalescencia. Ver figura 3.10.



**Figura 3.10.**

Coalescencia en una emulsión asfáltica

- d. *Inversión:* En el entrapamiento del agua, las partículas de la emulsión vienen juntas tan rápidamente que el agua queda atrapada. Esto ocurre en los sistemas rápidamente coalescentes, especialmente aquellos con muchas mezclas de emulsiones altas (ver figura 3.11) o emulsiones que son inestables.
- e. *Maduración de Ostwald:* Una emulsión puede ser estable contra la floculación y coalescencia con el tiempo, pero todavía puede ponerse grueso con más tiempo. Esto causará el incremento de la sedimentación, la cual es un fenómeno relacionado a la dependencia de la solubilidad en el radio de las gotas. El rango de la maduración de Ostwald depende de la química del asfalto y puede ser ajustada al ser agregado solventes parafínicos al asfalto. La proporción es una constante que depende de la tensión interfacial.



**Figura 3.11.** Inversión en una emulsión asfáltica

### **3.4.2 PROPIEDADES EXTRÍNSECAS**

Son aquellas que se encuentran relacionadas con su comportamiento en los diferentes campos en los que son utilizadas. Se trata de la velocidad de rompimiento, potencial zeta y la adhesividad.

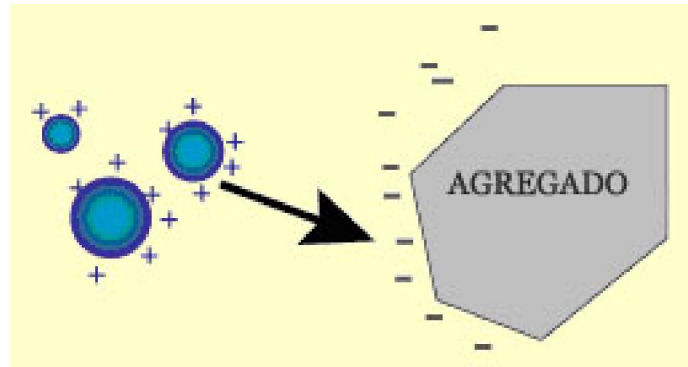
#### **3.4.2.1 Velocidad de Rompimiento**

La velocidad de rompimiento está controlada básicamente por el tipo específico y concentración del emulsificante. Sin embargo, hay otros factores enumerados más adelante, que juegan también un importante rol en el rompimiento de la emulsión. Con el fin de alcanzar resultados óptimos, es necesario controlar todos esos factores para satisfacer los requerimientos específicos del uso en obra de las emulsiones asfálticas.

##### *1. Rompimiento*

Cuando la doble capa de una emulsión queda destruida, la emulsión rompe. Los mecanismos que contribuyen a la destrucción de la doble capa son la floculación y coalescencia, lo cual son acelerados por la evaporación, cortado del asfalto, etc., la interacción con el agregado.

La interacción con el agregado es importante para las emulsiones de caminos porque él “describe” la interacción química entre la emulsión y el agregado. Los mecanismos de interacción del agregado no se comprenden completamente, pero parece que involucra las partículas de la emulsión estable siendo atraído a la superficie del agregado donde el emulsificante de la solución volumétrica interactúa con las cargas negativas (ver figura 3.12). Esta interacción con las cargas negativas cambia el equilibrio de las partículas emulsificantes y la emulsión queda desestabilizada. Esto a su vez lleva a la deposición del asfalto hacia la superficie del agregado. Aquí es donde el humedecimiento y la formación de la película se tornan crítico. El rango de formación de la película determina la adhesión y formulación del emulsificante que determinará el rango de rompimiento.



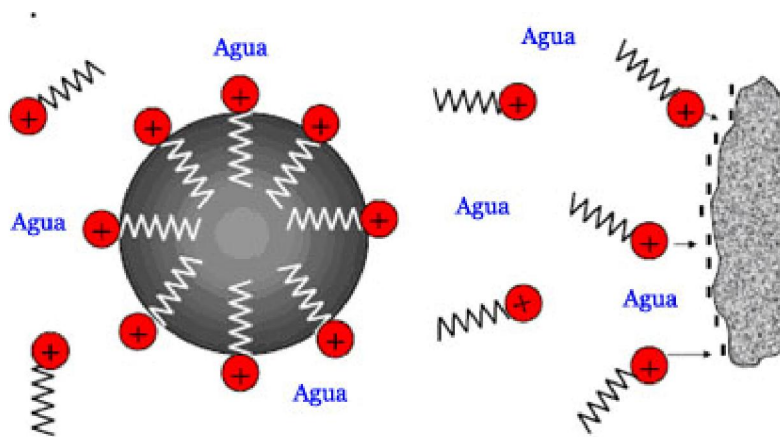
**Figura 3.12.**

Interacción entre las cargas del emulsificante y las cargas de la superficie del agregado

La floculación interna y la coalescencia también tendrán un efecto. Dentro de la formación de la película, las partículas están en proximidad y estos mecanismos la acelerarán. Sin embargo, si los mecanismos aceleran demasiado rápido, el agua será atrapada y la formación de la película de la mezcla podrán disminuirse. La parte volumétrica de la emulsión, la cual es lejana de la superficie del agregado, romperá por floculación y coalescencia. En el slurry y microsurfacing, el rango será controlado por los aditivos.

## *2. La química del rompimiento*

Ahora se explicará lo que toda esta química significa con respecto al microsurfacing. Se tiene una gota de asfalto rodeada de esas moléculas emulsificantes cargadas positivamente, la presencia de moléculas emulsificantes en exceso flotan alrededor de la fase de agua; sin embargo, incluso están presentes en algunas cantidades en la más baja dosificación en el microsurfacing.

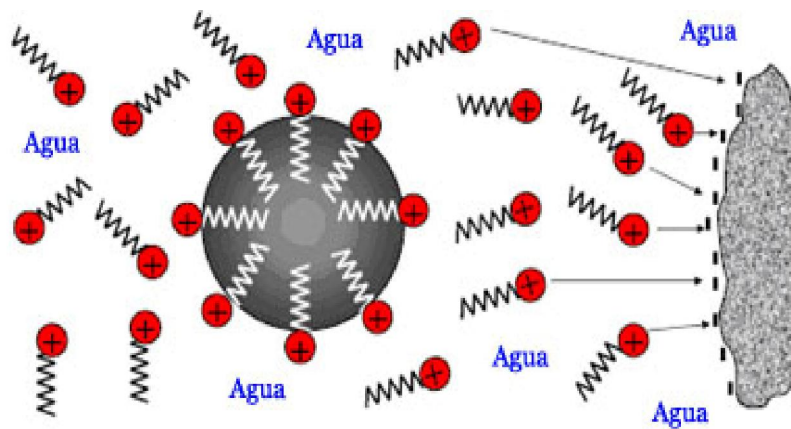


**Figura 3.13.**  
Esquema del rompimiento químico

En la figura 3.13 a la derecha se tiene una partícula de agregado cargado negativamente, anteriormente se explicó que las gotas de asfalto alrededor de las cargas positivas son repelidas por las otras cargas positivas. Usando la misma teoría, las cargas positivas son atraídas a las cargas negativas; así las cargas positivas en las moléculas del emulsificante son atraídas por las cargas negativas a la superficie de agregado.

Cuando se mezcla la emulsión y el agregado, lo primero que sucede es que se dan algunos excesos de moléculas emulsificantes, lo cual no impiden que una gota de asfalto llegue a unirse con algunos de estos sitios negativos en la partícula del agregado, y esta neutraliza efectivamente estos sitios. Lo siguiente que sucede es que las moléculas emulsificantes que están incrustados en las gotas de asfalto arrastran éstas gotas al agregado. Cuando ellos llegan allí, la carga positiva en la cabeza de grupo emulsificante se une con la carga negativa en el agregado, y desestabiliza las gotas de asfalto depositándose en la superficie del agregado. El proceso se describe como “rompimiento de la emulsión”, y es un componente del que se puede haber oído como un rompimiento químico; por tanto se toma ventaja de la química al producir el rompimiento del sistema.





**Figura 3.14.**

Esquema de la aceleración del rompimiento químico

En la figura 3.14 se tienen más de estas moléculas emulsificantes en exceso en la fase de agua. Hay más de estas moléculas para neutralizar más de estos sitios negativos en las partículas del agregado, así que la atracción de las moléculas emulsificadas incrustadas en las partículas de asfalto no son tan grandes y del proceso entero toma mucho más tiempo hasta que comienza a romper.

Hay dos maneras para poder aumentar este exceso de emulsificante en la fase de agua. Una manera es usando retardantes en la mezcla, los retardantes mezclados son típicamente del mismo emulsificante donde el cual la emulsión fue fabricada. Así se está agregando precisamente más de estas moléculas emulsificantes al mismo sistema.

La otra manera de aumentar la cantidad de exceso de emulsificante en el sistema es incrementar la cantidad de solución de jabón cuando la emulsión es producida, esta adición aumenta la estabilidad de la emulsión. Cuando se aumenta la estabilidad global del sistema, producirá tiempos de mezcla más largos porque existe una química de rompimiento y las velocidades de la reacción química sucede más rápido al calentar un poco el sistema y se consigue superar dicha estabilidad; así la emulsión fabricada probablemente use esta técnica que ayuda a retrasar el sistema cuando se aumenta la temperatura a lo largo de la estación de pavimentado.

### 3. Medición del índice de rompimiento

El propósito del índice de rompimiento es apreciar la estabilidad de las emulsiones frente a los finos silíceos perfectamente definidos. El método consiste en medir la cantidad de finos necesarias para hacer romper completamente una cantidad definida de emulsión. La tabla 3.4 muestra el índice de rompimiento para los microsursacing:

Clase	Índice de rompimiento
Rápida	<100
Media	80 a 140
Lenta	>120

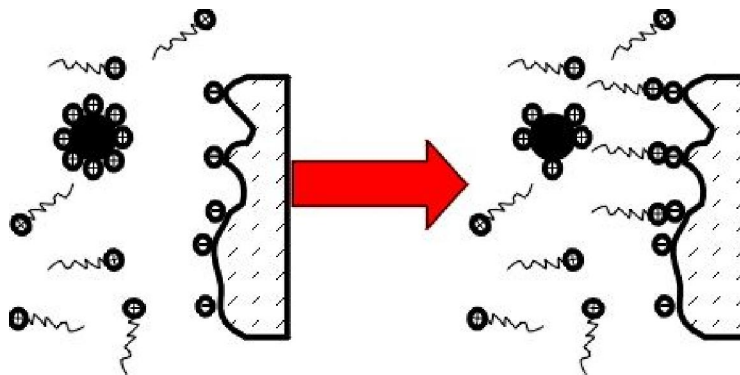
**Tabla 3.4.** Medición del índice de rompimiento

*a. Rompimiento aniónico:* Una emulsión aniónica tiene una carga negativa como tiene casi todo mineral, esto no puede ser una atracción electrostática. Así para una emulsión aniónica el rompimiento requiere que las partículas consigan acercarlos el uno al otro y que la fuerza de repulsión sea vencida por las fuerzas de atracción que existen entre todas las partículas. Este es un mecanismo de proceso lento que indica agruesamiento de las partículas mas pequeñas dentro de las más grandes y las partículas más grandes son microscópicas (ver figura 3.9). Estos normalmente rompen dentro de dos pasos que son floculación y coalescencia, ver figura 3.10.

Esto puede ocurrir para forzar a las partículas a que se junten de alguna manera, puede ser una fuerza externa tal como el bombeado de alto corte llevando fuera el agua por calentamiento; hirviendo o empujando las partículas juntándolas por congelado. El rompimiento puede ocurrir también si la emulsión es condensada dentro de una área muy pequeña por sedimentación o asentamiento.

*b. Rompimiento catiónico:* Las emulsiones catiónicas tiene una carga positiva y una reacción directa y más rápida entre la emulsión y un agregado y el pavimento es posible, ver figura 3.15. El tamaño de la carga o potencial zeta afecta la estabilidad, por ejemplo a más grande la carga mayor es la repulsión, pero como el agregado está cargado negativamente a mayor potencial zeta es más rápida la reacción.

Así es posible estabilizar una emulsión catiónica del mismo modo que hace a una emulsión de más rápido rompimiento. El otro mecanismo es el de evaporación que también está disponible pero aquí la emulsión que es estabilizada llega ser más lenta, y se forma al romperse lo cual el equilibrio debe ser desestabilizado. Después se completa la parte electrostática de la reacción la emulsión, y esta confiará en la floculación y coalescencia al completarse el rompimiento (ver figura 3.9 y 3.10). Cuando el rompimiento es completado el agua debe quedar evaporada por el residuo del asfalto al acabar la fuerza total.



**Figura 3.15.**

Reacción del emulsificante con el agregado

#### *4. Curado*

El curado de una película de emulsión es a menudo confundido con el rompimiento. El curado simplemente es la pérdida de agua de la película y del volumen de la emulsión. El rango de curado son dependientes del contenido de agua, rango de evaporación y

difusión del agua a través de la mezcla curada. En sistemas con fuertes diferencias de energía entre la superficie del agregado y la mezcla emulsificada, una fuerza extra tiende a empujar el agua fuera de la interfase agua/agregado. Esto es aplicable a los microsurfacing. A la luz de este rango de curado, el cambio del emulsificante relativo al agregado es una llave al problema.

### *5. Factores que afectan el curado*

Ahora se explicará la química de estos sistemas para aplicarlos al curado. Algunos de los factores más obvios que afectan la proporción de curado en el material son el contenido de agua, tiempo de mezcla del sistema, pH de la emulsión y tamaño de partícula de la emulsión.

- a. *Contenido de agua:* A más agua que se coloque en el sistema, más agua tiene que salir y lleva más tiempo para el curado en el sistema. El agua solamente es agregada a la mezcla para lograr la consistencia apropiada, el agua no deberá ser usada para intentar extender el tiempo de mezcla; debe usarse un retardante, aumentar la dosificación del emulsificante en la emulsión o cambiar la cantidad o tipo de relleno mineral. Sí se usa alumina, se puede aumentar la cantidad usada para conseguir más tiempo de mezcla.

En la mayoría de sistemas normalmente el agua no es muy efectiva de manera que en todo caso incrementa el tiempo de mezcla lo que normalmente sucede; sin embargo, la mezcla se vuelve con apariencia de sopa y se segrega, el agregado es más pesado y cae en el fondo y el exceso de agua flota sobre la emulsión. Esto significa que en lugar de estar regularmente dispersando el asfalto a lo largo de la mezcla, este ahora está concentrado en la capa de encima dejando el resto de la mezcla con tan bajo contenido de asfalto residual. La capa rica de asfalto de encima entonces es susceptible al despojamiento por el tránsito y el pavimento puede tender a fracturarse.

- b. *Tiempo de mezcla:* Una emulsión más estable da más tiempo de mezcla, pero esto resultará en mayor tiempo de curado. Teniendo esto presente se quiere diseñar el sistema para la cantidad mínima de tiempo de mezcla la que puede ser real. Por ejemplo, si se está pavimentando en una carretera en la noche, no se tendrá temperaturas altas o por el sol en el pavimento para proporcionar el curado. Debido a esto probablemente no se querrá mucho más tiempo de mezcla que el que toma para todo el mezclado en el molino mezclador (pugmill), al hacerlo dentro de la caja extendedora (spreader box), y entonces será aplicado sobre la carretera. Se puede necesitar más de unos pocos segundos para unir las capas de texturas pero a causa de que no se necesitan cantidades excesivas de trabajo de mano en este caso, no se necesita toneladas de tiempo de mezcla. Si no hay satisfacción con la duración del tiempo del material de curado, se debe tomar una mezcla de la lanzada, permanecer en el lugar donde se tiró la muestra y mezclarlo hasta que rompa. Si no hay alguien alrededor haciendo el trabajo manual cuando la mezcla rompa, entonces probablemente se tiene tiempo de mezcla excesivo.
- c. *pH de la emulsión:* Cambiando el pH de la emulsión puede cambiar la proporción en el sistema, bajando el pH de la emulsión puede acelerar la proporción de curado de agregados silicios o cargados negativamente. Subiendo el pH de la emulsión puede acelerar la proporción de curado para los agregados calcáreos cargados positivamente.
- d. *Tamaño de la partícula de la emulsión:* Las emulsiones de tamaño de partículas más grandes, exhiben tiempos de curado más largos que las emulsiones de tamaño de partículas más pequeñas.

#### *6. Otros factores que afectan el rompimiento y curado*

Otros factores que afectan las velocidades de rompimiento y curado de las emulsiones asfálticas son:

- a. **Absorción del agua:** Un agregado de textura áspera, poroso, acelera el tiempo de rotura al absorber agua de la emulsión.
- b. **Contenido de humedad de los agregados:** Si bien los agregados húmedos pueden facilitar el recubrimiento, tienden a hacer más lento el proceso de curado al incrementar el tiempo necesario para la evaporación.
- c. **Condiciones climáticas:** La temperatura, la humedad y la velocidad del viento tienen influencia en la velocidad de evaporación del agua, en la migración del emulsificante y en las características de liberación del agua. Las altas temperaturas pueden originar la formación de “piel” en tratamientos superficiales (*chipp seal*), atrapando el agua y retardando el curado. Recientemente se han desarrollado formulaciones químicas para romper rápidamente a bajas temperaturas.
- d. **Fuerzas mecánicas:** La presión de los rodillos y hasta cierto punto el tráfico a baja velocidad, desalojan el agua de la mezcla y ayudan a lograr, la cohesión, el curado y la estabilidad de la mezcla.
- e. **Superficie específica:** Una mayor superficie específica de los agregados, particularmente finos en exceso o agregado sucio, acelera el rompimiento de la emulsión.
- f. **Química de superficies:** la intensidad de la carga de la superficie del agregado, en combinación con la intensidad de la carga del emulsificante, puede influir marcadamente en la velocidad de rompimiento, en particular en el caso de las emulsiones catiónicas. Iones de calcio y de magnesio presentes en la superficie del agregado pueden reaccionar con - y desestabilizar a – ciertos emulsificantes aniónicos, acelerando el rompimiento.

- g. Temperatura de la emulsión y del agregado: El rompimiento se demora cuando las temperaturas de la emulsión y del agregado son bajas. Esto es particularmente evidente en el caso de los microsurfacing.
- h. Tipo y cantidad de emulsificante: El emulsificante empleado en la elaboración de la emulsión determina las características de rotura de los grados de emulsiones para sellados y para mezclas.

Estos factores deben ser considerados en la determinación del tiempo de trabajo luego de que la emulsión ha sido distribuida o ha sido mezclada con el agregado en la obra.

#### **3.4.2.2 Potencial zeta**

El potencial zeta es un concepto importante para comprender desde el o como resultado de el, la mayoría de propiedades de flujo de la emulsión.

El potencial zeta es un potencial eléctrico entre la superficie de la partícula de asfalto y la solución masa. El potencial zeta es determinado por el emulsificante absorbido dentro de la superficie del asfalto, por una doble capa de iones y el contenido existente en la solución que rodea cada partícula de asfalto. La forma de la doble capa depende de la concentración y de la densidad iónica del emulsificante y el pH.

Un potencial zeta grande indica una gran capa doble, más rápido movimiento y gran repulsión entre las partículas, mientras más grande es la repulsión produce mayor estabilidad. El pH afecta la manera en la cual el asfalto absorbe el emulsificante y esto es crítico para la doble capa y al potencial zeta.

Incrementando la concentración del emulsificante comprime la doble capa; esto en hecho disminuye el potencial zeta pero aumenta la cantidad de emulsificante, incrementando la estabilidad por la protección coloidal. Por esta razón siempre es mejor escoger el emulsificante para una mejor aplicación que intentando el rompimiento lento o hacerlo más rápido para ajustar la concentración del emulsificante.

En las emulsiones catiónicas no es a menudo posible el hacer un colocado lento usando un emulsificante de colocado rápido debido al alto potencial zeta de tales emulsificantes.

El potencial zeta puede ser medida con la ayuda de un zetámetro cuyo principio consiste en someter la emulsión a estudiar a la electroforesis<sup>4</sup> y a anotar el desplazamiento de las partículas bajo un campo eléctrico dado. Se ha establecido que las emulsiones catiónicas rápidas tienen un potencial zeta de 100 a 130 mV, mientras que en el caso de las emulsiones catiónicas superestables su potencial zeta es de aproximadamente 20 mV. Este concepto de potencial zeta presenta pues, un gran interés tanto para la investigación como para la puesta a punto de formulaciones de emulsiones.

La medida de movilidad electroforética de las emulsiones permiten sacar las siguientes conclusiones: cuanto más elevado sea el potencial zeta del emulsificante catiónico, más catiónica es la emulsión catiónica y más elevada será su velocidad de rompimiento. De manera inversa, un bajo valor de potencial zeta es señal de una emulsión estable que presenta una baja velocidad de rompimiento.

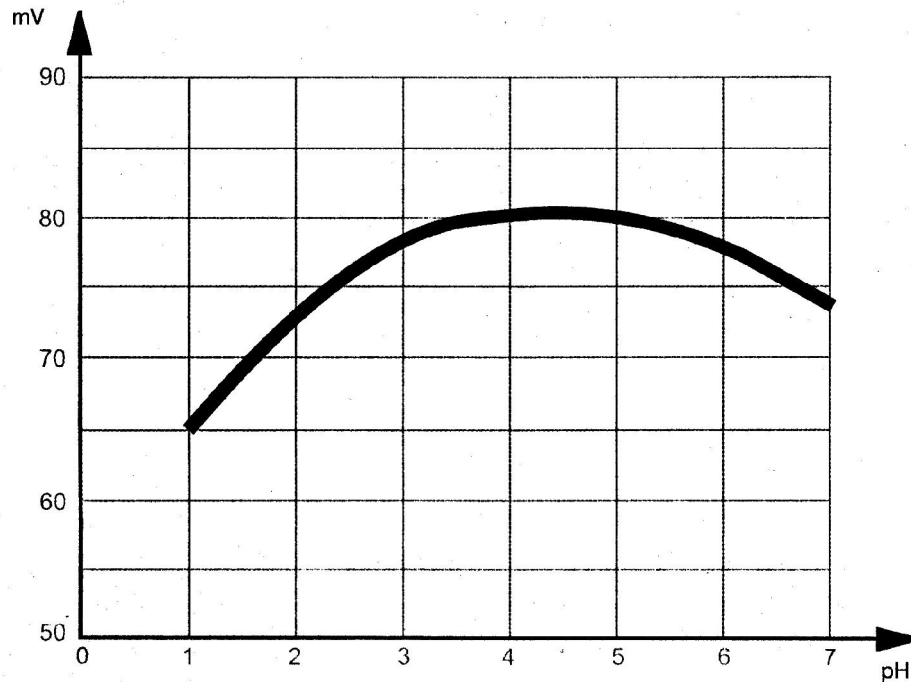
El comportamiento de la emulsión es similar a la que puede observarse cuando se ponen en contacto la emulsión y los agregados. En efecto, prácticamente todos los agregados tiene una pequeña carga negativa que atrae a los glóbulos de asfalto cargados positivamente. La velocidad de rompimiento de la emulsión sobre los agregados es directamente proporcional al potencial zeta de la emulsión utilizada que depende a su vez del potencial del emulsificante. Además hay que hacer notar que el potencial zeta está en función a la vez de la concentración del emulsificante y el pH de la solución considerada.

La figura 3.16 demuestra que para un surfactante dado y una concentración determinada el potencial zeta alcanza un máximo para un pH igual a 4; por último, el potencial zeta de los emulsificantes normalmente utilizados varían entre 15 y 150 mV.

---

<sup>4</sup> Migración de sustancias por la acción de un campo eléctrico





**Figura 3.16.**

Gráfico de relación milivoltios (mV) contra pH

### 3.4.2.3 Adherencia

La adherencia es la resistencia tangencial que se produce en la superficie de contacto de dos cuerpos cuando se intenta que uno deslice sobre otro.

En las emulsiones asfálticas solamente es satisfactoria si cumplen estas dos condiciones:

- a. Que el ligante puede entrar en contacto con los cuerpos presentes, especialmente con los agregados. Para conseguir esto el ligante debe ser, no solo suficientemente “líquido”, lo que ocurre prácticamente siempre (salvo circunstancias anormales tales como la presencia de sal en el asfalto, por

ejemplo), sino que el ligante debe ser “mojante”, lo que es más difícil en la emulsiones catiónicas que en las aniónicas. Esta primera condición de la adhesividad se denomina adherencia activa.

- b. Es preciso también, si la primera condición ha sido cumplida, que los componentes “unidos” entre sí (el ligante y el agregado), no se separen en presencia de un agente perturbador, por ejemplo, el agua; este efecto se manifiesta en particular en presencia de partículas finas como los fillers, bajo la acción del tráfico. Esta segunda condición se denomina adherencia pasiva.

<b>Material</b>	<b>Emulsión catiónica</b>	<b>Emulsión aniónica</b>
Material electropositivo (caliza, basaltos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reacción entre el agregado calizo y el ácido.</li> <li>• Formación de un carbonato de amina insoluble</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Atracción de las gotas de asfalto cargados negativamente.</li> <li>• Formación de un jabón cálcico insoluble</li> </ul>
Material electronegativo (sílice, granito, cuarcita)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Atracción de las gotas de asfaltos cargados positivamente</li> <li>• Formación de un silicato de amina insoluble</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se produce atracción ni reacción alguna.</li> <li>• No existe adhesividad</li> </ul>

**Tabla 3.5.**

Relación de adherencia entre el agregado mineral y el ligante asfáltico

En lo que concierne a las emulsiones de asfalto la adherencia del par agregado/ligante se explica en la tabla 3.5.

De hecho, la mayor parte de los agregados utilizados en las técnicas de carreteras están constituidos por materiales mixtos, lo que explica la utilización casi exclusiva de las emulsiones catiónicas.

### 3.4.3 OTRAS CARACTERÍSTICAS DE LAS EMULSIONES

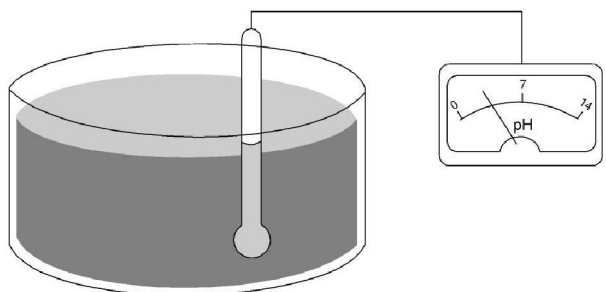
#### 3.4.3.1 pH de las emulsiones

##### 1. Definición

Es la medida del estado de acidez de una solución que contiene un ácido, una base o una mezcla de los dos. Su valor está ligado con la concentración del catión hidrogeno (o protón), representado por  $[H^+]$ . La teoría sobre la disociación iónica demuestra que el pH de las emulsiones acuosas varía de 0 a 14, las soluciones ácidas tienen un pH entre 0 y 7 y las soluciones básicas tienen un pH entre 7 y 14; la neutralidad se obtiene para pH igual a 7, es el caso del agua pura.

##### 2. Principio de la medida

Un galvanómetro (graduado en unidades de pH), ver la figura 3.17, mide la diferencia de potencial entre un electrodo de referencia y un electrodo de medida, inmerso en la solución. Hoy los pH-metros modernos no poseen más que un solo electrodo que aúna las dos funciones. Por eso el aparato es fácil de utilizar y hace que su empleo sea muy interesante para el fabricante de emulsión.



**Figura 3.17.**

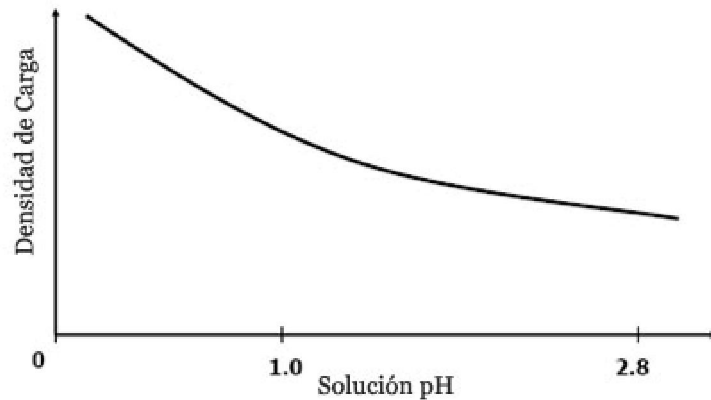
Esquema de empleo del uso del pH-metro

### *3. Rangos de empleo*

Las emulsiones tradicionales que están destinadas a un empleo específico presentan un pH comprendido normalmente entre 2 y 3. Para un microsurfacing se recomienda no formular jabones demasiados ácidos ( $\text{pH} < 2$ ); en efecto, un exceso de acidez ocasiona, por un lado, una corrosión importante en todo aquel material que se encuentre en contacto con la emulsión, y por otro un alargamiento del tiempo de rompimiento no aconsejable y a menudo una degradación de la adhesividad frente a la mayor parte de los materiales.

#### *4. Estudio de los efectos que causa el cambio del pH en los agregados para microsurfacing*

- a. *Bajando el pH de la emulsión lleva a un rango de curado más rápido para los sistemas de agregados silíceos:* La solución típica de pH para una emulsión micro es alrededor de 2. ¿Que sucede cuando se baja el pH antes que se incremente la densidad de carga positiva alrededor de la densidad de carga positiva circundantes a las gotas de asfalto? Se piensa que la densidad de carga clase de nubes de carga que rodean a aquellas moléculas emulsificantes; al incrementar la densidad de estas nubes, se incrementa la fuerza de atracción de las cargas positivas a las cargas negativas en la partícula del agregado, esto resulta en un curado más rápido en el sistema, ver la figura 3.18.
- b. *Subiendo el pH de la emulsión lleva a un rango de curado más rápido para los sistemas de agregados de piedra caliza:* El agregado de piedra caliza reacciona con la emulsión ácida expulsando iones de calcio dentro del sistema, los iones de calcio estabilizan la emulsión y el sistema de mezcla es más grande y los pavimentos curan lentamente. Incrementando el pH de la emulsión significa menos emulsión ácida, expulsando menos iones de calcio dentro del sistema; por tanto hay menos estabilidad en la emulsión y el tiempo mezcla del sistema es menor, dando un curado de pavimento más rápido.



**Figura 3.18.**

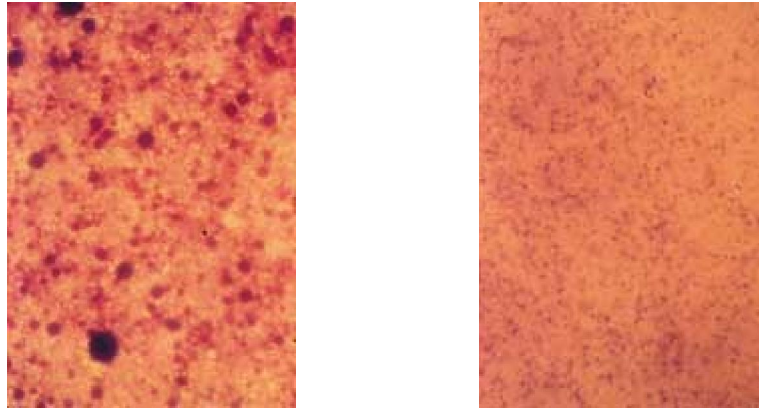
El incremento del pH conlleva al incremento de la densidad de carga de las partículas

La cal es hecha de piedra caliza; así que lo que está pasando es la misma reacción que veremos más adelante en la sección 3.11.3 sobre “Estudio de aditivos más comúnmente usados”. Cuando los átomos de carbonato (en este caso, los agregados de piedra caliza) reaccionan con la emulsión ácida, los iones de calcio son liberados cuando la emulsión se estabiliza. Otra vez, a más estabilidad de emulsión es más grande el tiempo de mezcla y más grande el tiempo de curado. Si se sube el pH de la emulsión en este mismo sistema, entonces hay menos ácido en la emulsión así son formados menos iones de calcio y se liberan dentro del sistema. Esto significa que hay menos de un efecto estabilizante en el sistema, para que se tenga un curado más rápido.

#### **3.4.3.2 Tamaño de la partícula de la emulsión**

Cuando se hace una emulsión, el asfalto se corta dentro de diminutas gotas; sin embargo, todas estas gotas no terminan siendo del mismo tamaño, ver la figura 3.19. Con un instrumento llamado analizador de partículas, se puede medir la distribución del tamaño de las partículas de una emulsión. Lo que se busca es primero una buena y firme distribución, esto significa que todas las gotas de asfalto están cerca del mismo

tamaño. Se tiene un punto para el tamaño medio de las partículas que es alrededor de 4-6 micras, en adición el 90% de las partículas deben ser menor que 7-8 micras.



**Figura 3.19.**

La foto de la izquierda describe una emulsión asfáltica gruesa, mientras que la foto de la derecha describe una emulsión asfáltica fina

La tendencia con el tamaño de la partícula es que la emulsión de tamaño más pequeño exhibe tiempos de curado más cortos. Esto es porque hay más superficie de energía libre guardada en una gota de asfalto más pequeña que en una más grande y por consiguiente una más manejable fuerza para liberar la energía por coalescencia o por coagulación dentro de una partícula de asfalto.

#### *1. Determinación del diámetro medio de las partículas*

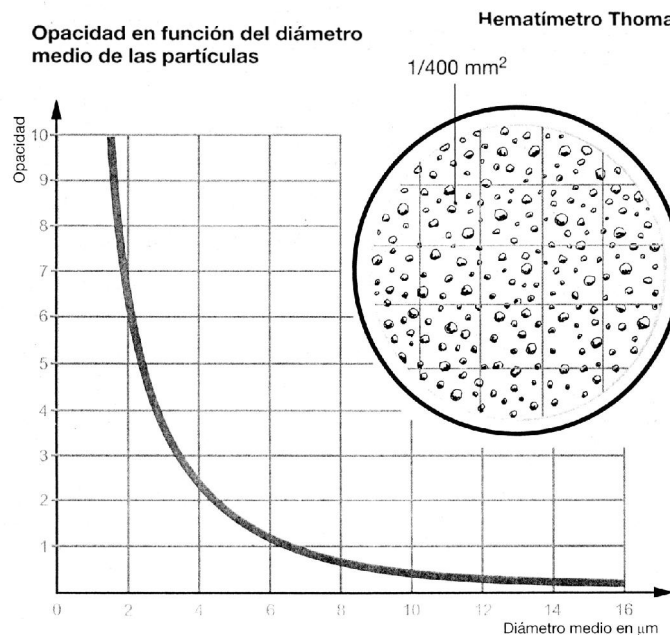
Existen varios métodos para determinar el diámetro medio de los glóbulos de asfalto de una emulsión. En todos los casos, se pretende evaluar la finura de dispersión del asfalto en el agua. Los métodos más utilizados son los siguientes:

- a. Opacímetro:* Este sencillo método tiene la ventaja de poder utilizarse en las fábricas para controlar la finura de dispersión de las fabricaciones industriales. La opacidad de una suspensión está relacionada con el diámetro medio de las

partículas, por los que es posible evaluar este diámetro mediante una medida de opacidad, ver la figura 3.20.

El uso de este método demuestra que es prudente, antes de nada proceder a un calibrado y reservar este procedimiento a controles de fabricación para asegurar que un mismo tipo de emulsión no varíe de forma significativa de un fabricante a otro.

- b. *Hematímetro Thoma*: No suministra la granulometría de las partículas y no permite conocer el diámetro medio más que después de haber medido la concentración de la emulsión con otro método. Además este método se basa en la hipótesis de que todas las partículas tengan el mismo diámetro, lo que no es verdad, ver la figura 3.20.



**Figura 3.20.**

Gráfico de relación de opacidad contra diámetro medio en el opacímetro y visualización de las partículas con el hematímetro de Thoma

- c. *Contador Coulter*: Este aparato suministra directamente la distribución granulométrica de los glóbulos. En efecto el contador Coulter tiene la ventaja de contar el número de partículas cuyo volumen es superior al valor determinado; de este modo, haciendo variar este valor, es posible contar las partículas en un amplio rango de volumen.

## 2. *Variables afectantes en el tamaño de las partículas*

Antes de reducir el tamaño de la partícula de una emulsión en el molino coloidal, se hablará acerca de otras variables que afectan el tamaño de las partículas.

- a. *Temperatura del asfalto*: La viscosidad debe ser menor que 200 cP la temperatura en la entrada del molino, esta pauta de viscosidad asegura que la temperatura del asfalto es lo bastante alta para que el asfalto se ablande cuando entra en el molino para ser cortado efectivamente.
- b. *Temperatura de la solución*: La viscosidad del asfalto a la temperatura de salida de la emulsión es menor que 20000 cP. La solución va a enfriar al asfalto cuando entren en contacto en el molino, si la solución vigente está fría dentro del molino puede enfriar al asfalto debajo de la viscosidad donde pueda ser cortado apropiadamente; esta pauta de viscosidad ayuda a poner una temperatura del jabón bastante alta, para que esto no pase.
- c. *Química del asfalto*: Algunos asfaltos tienen componentes que son difíciles para emulsificar y un asfalto puede requerir más emulsificantes que otro y que consiga el mismo tamaño de la partícula. Por difícil de emulsificar un asfalto, agregando algunos de los emulsificantes al asfalto puede ayudar a hacer una mejor emulsión; pero si se tiene un emulsificante que contenga agua en el, no debe hacerse esto.



Si absolutamente se tiene que usar ese asfalto, otra química de emulsificante puede ser más satisfactorio que emulsificar el componente problemático, si es factible se puede cambiar la fuente de asfalto.

Existen otras variables que pueden afectar el tamaño de las partículas en una emulsión asfáltica entre las que podemos mencionar:

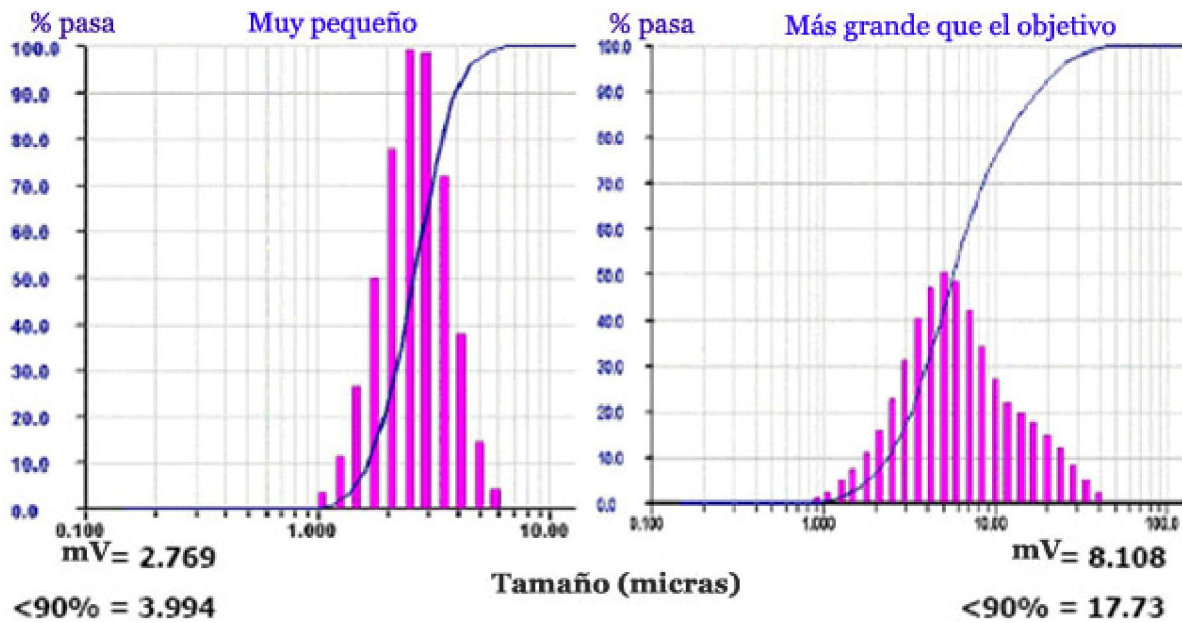
- a. *Condición del molino:* por ejemplo la existencia de partes desgastadas o tambaleantes, las cuales no cortarían efectivamente el asfalto.
- b. *Cavitación<sup>5</sup> del molino:* Si el molino está cavitando, entonces hay zonas dentro de él donde ninguna emulsificación está teniendo lugar, incrementando la resistencia a la presión en el molino puede ayudar a eliminar esto.
- c. *Abertura del molino vs. Tiempo de resonancia:* Finalmente si todas las otras variables chequeadas arriba están bien, entonces ajustamos la abertura del molino lo que puede proporcionar beneficios. Lo importante, es que si se disminuye la abertura del molino, el rango de flujo de materiales a través de la abertura se incrementará al tiempo que el asfalto pasa en la abertura puede reducirse siendo sujetado a corte. Esto podría resultar en ningún cambio del tamaño de la partícula o peor aún, en el incremento del tamaño de la partícula. Lo primero que se pueda desear probar es bajar el rango de producción de emulsión o incrementar la resistencia a la presión en el molino a su actual ubicación de abertura, forzando al asfalto a gastar más tiempo en la abertura siendo cortado; esto puede reducir el tamaño de la partícula.

En la figura 3.21 se muestra la distribución del tamaño de la partícula de dos emulsiones microsurfacing hecha exactamente con la misma fórmula, la única diferencia en ellos es el tamaño de las partículas. La emulsión de izquierda tiene esa distribución buena y firme, la que se busca. El promedio es alrededor de 2.8 micras y el 90% de las partículas

---

<sup>5</sup> Formación de burbujas de vapor o de gas en el seno de un líquido, causada por las variaciones que este experimenta en su presión.

son menores y cercanos a 4. Esta emulsión tiene el tamaño de la partícula más pequeña igual que el tamaño objetivo.



**Figura 3.21.**

Distribución del tamaño de las partículas dentro de una emulsión asfáltica

La emulsión de la derecha tiene una distribución muy ancha, tiene partículas que van del tamaño alrededor de 1 hasta cerca de 40; también, se ha excedido ambos tamaños objetivos para el promedio y 90% de nivel. Usando exactamente la misma mezcla de formulación, la emulsión en la izquierda es mezclada en un rompimiento y duró 150 segundos y el tránsito estuvo listo en 2 horas; la emulsión en la derecha todavía se estaba mezclando en 240 segundos y el tránsito todavía no estaba listo cuando se detuvo la prueba de cohesión a 4 horas.

Aunque igual la emulsión de la derecha tiene una distribución más ancha y más grande que el tamaño de la partícula objeto, puede ser la emulsión perfecta para alguien que necesita mucho tiempo de mano de obra y que no se considere acerca del tiempo de retorno del tránsito. Lo importante a recordar es que sí el contratista no está satisfecho

con la proporción del curado, el tamaño de la partícula es algo que el fabricante de la emulsión puede ser capaz de reducir en orden para acelerar las cosas.

#### **3.4.4 PRUEBAS DE CALIDAD**

El asfalto emulsificado deberá ser para tráfico rápido, emulsión de asfalto modificada con polímeros, conforme a los requerimientos especificado en la AASHTO M208 ó ASTM D2397 para CSS-1h. Las pruebas de calidad se analizan detenidamente en capítulo IV, sección 4.2.3. “Caracterización de las emulsiones asfálticas”.

#### **3.5 VENTAJAS DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS**

En el numeral 3.3 se consideraron los fundamentos de las emulsiones. Reiterando las emulsiones asfálticas son dispersiones de asfalto en el agua y estabilizados por un sistema químico. De todas las ventajas de las emulsiones, fluyen directamente de este factor.

Como una manera de comparación, ellos serán confrontados a los asfaltos rebajados y a los asfaltos en caliente.

Se tiene en mente que la razón de porque se usa asfalto en las aplicaciones de caminos es porque es impermeable y se adhiere al agregado. Llevarlo de una forma que se pueda aplicar a los requisitos al ser reducida la viscosidad. Esto puede ser hecho por:

- a. Calentándolo
- b. Haciendo una solución con un solvente tal como kerosén o nafta
- c. Haciendo una emulsión

Las principales áreas de ventajas de las emulsiones son relacionadas a que pueden ser resumidas en términos de:

- a. Conservación de energía/Control de polución/Seguridad
- b. Versatilidad
- c. Facilidad de uso
- d. Desempeño

### **3.5.1 CONSERVACIÓN DE ENERGÍA**

#### **3.5.1.1 Evitan pérdida de combustible**

Los asfaltos rebajados pueden contener algo arriba del 50% de kerosén o gasolina, las emulsiones asfálticas contienen del 0-2%. Así hay una economía significativa en el uso de productos de combustible puros.

En un rebajado el solvente es agregado solamente para reducir la viscosidad del asfalto a un nivel donde el puede ser vertido y rociado; es de esperar que este evapore en la atmósfera, de hecho si esto no ocurre el asfalto es demasiado blando. En una emulsión las características de viscosidad son determinadas por la fase de agua y de aquí la viscosidad es baja, solamente el agua evaporará fuera.

#### **3.5.1.2 Reducen la energía de requerimiento<sup>6</sup>**

Comparado una emulsión con un rebajado del mismo contenido de sólidos:

##### *1. Rebajados*

El toma cerca de 700 KJ al procesar un litro de asfalto para pavimentación acordado por el Instituto del Asfalto (IA). Agregando que esta es la energía del cortador agregada. Esta es 40,000 KJ por litro; para un 60% de rebajados la energía total requerida es: 16,700 KJ = (700+0.4\*40,000) por litro.

##### *2. Emulsión*

---

<sup>6</sup> Fuente: Informe de la US EPA 450/2-78-004 enero de 1978.

Es requerido 567 KJ para producir un litro de emulsión. El requisito de energía del emulsificante al producir un litro de emulsión es 584 KJ, esto lleva a un total de 1151 KJ por litro de emulsión, comparado con los 16700 KJ para el rebajado. La mayoría de energía está en el combustible perdido.

Hay otro ahorro sin embargo y está en el calentado en el camino. Al rociar un litro de emulsión al ambiente requiere 41 KJ por litro, al rociar un rebajado requiere un extra de 127 KJ por litro por calentado. Hoy en día las reducciones han sido prohibidas por la alta contaminación ambiental y por consumo excesivo de recursos energéticos.

#### **3.5.1.3 Control de polución**

El kerosén y humos de aceites de gas son gases de casa verde. En un rebajado ellos se evaporan dentro del aire y se vuelven en contaminantes, los rebajados son diseñados de esta manera. En una emulsión no hay tal evaporación.

#### **3.5.1.4 Seguridad**

Las emulsiones están basadas en el agua, ellos no tienen punto de llama, no son inflamables o explosivos. Los barriles de emulsión contenidos en el sol no se expandirán o estallarán. Siendo basada en agua, las emulsiones no propone algún riesgo de salud a los trabajadores y usados en frío ellas no pueden causar quemaduras.

Los derramamientos por época no son de importancia medioambiental, si un derramamiento ocurre de forma de agua la emulsión romperá y se asentará en el fondo, una masa inorgánica inofensiva. El césped y otras vidas de plantas pueden crecer a través de él. Un derramamiento a un lado del camino realmente fomentará el crecimiento de las plantas por conservación de la humedad y calor en el terreno de las plantas pueden simplemente romper a través de él.

### **3.5.2 VERSATILIDAD**

Las emulsiones tienen muchas aplicaciones diferentes, ellos pueden con la selección apropiados, ser usadas por una gama amplia de aplicaciones. Pero la misma emulsión que es rociada en cantidades grandes por la aplicación de sellado puede ser usado para trabajos de parcheo pequeños. Ellos pueden almacenarse en los tambores por largos períodos y así ser usados en áreas remotas.

### **3.5.3 FACILIDAD DE USO**

La aplicación de emulsiones para aplicaciones especializadas, requerirán equipos especializados tales como un rociador; sin embargo, para pequeños trabajos de emulsiones siendo manejadas directamente del tambor pueden ser vertidos o rociados a mano. Para pequeños trabajos de parcheo, sellado de grietas; pequeñas cantidades de mezcla en frío solamente el equipo más básico es requerido, por ejemplo un riego puede ser retirado a paladas, puede ser usado para sellar veredas y áreas pequeñas tales como terrenos de una escuela, etc.

### **3.5.4 DESEMPEÑO**

Las emulsiones asfálticas son sofisticados sistemas químicos, esto crea la oportunidad de introducir sistemas que satisfacen las condiciones de aplicación y de materiales disponibles. Las ventajas comparadas con los rebajados o asfaltos en caliente son como resultado de esto.

Las ventajas de desempeño pueden ser resumidas como:

1. Mejoramiento en adhesión a los agregados
2. Extensión de rangos de condiciones de aplicación
3. Economía de materiales
4. Durabilidad

#### **3.5.4.1 Adherencia**

Los agregados pueden ser clasificados por su tipo mineralógico, sin embargo cuando la humedad está presente todo el agregado tiene una carga negativa neta. Si una emulsión catiónica es usada en el mecanismo de ruptura es por una reacción químico física con el agregado en el cual la lámina de partículas emulsificadas electrostáticamente está fuera y en la superficie del agregado. A mayor carga en los agregados es mayor la reacción. Esto puede ser controlado por el sistema emulsificante.

Así la emulsión hace un enlace químico fuerte, el resto del rompimiento es por floculación y coalescencia en la emulsión, el cual el agua es evaporada y las partículas se acercan y se juntan formando grupos de partículas entonces finalmente llegan a ser el asfalto. La naturaleza fina de las partículas del asfalto hace este proceso a nivel rápido y a baja viscosidad lo que hace el proceso pasar a temperaturas ordinarias. Al final del proceso el material residual es el asfalto con el que se empezó.

Con un rebajado la capa es puramente física y un agente adhesivo es necesitado para los agregados de alta carga de superficie, esto también aplica para un asfalto en caliente. Con los rebajados la pérdida de kerosén es lenta y puede tomar años, esto deja un asfalto que es blando y sujeto al sangrado en épocas más calurosas.

#### **3.5.4.2 Rango de condiciones**

Porque una emulsión está basada de agua, los agregados no necesitan estar secos para la aplicación; de hecho es una ventaja si ellos están húmedos. Los rebajados cubrirán los agregados bien húmedos; porque el kerosén tiene una gran diferencia de energía de superficie, ellos no se mezclan. El asfalto en caliente se comporta similarmente al rebajado.

A más bajas condiciones de temperatura la viscosidad y la humedad del agregado forman un enlace que depende de la viscosidad y la habilidad de formar una película continua. La viscosidad de emulsión es baja por lo tanto el humedecimiento puede

ocurrir a temperaturas bien por debajo de los 10° C; para un rebajado a más alto nivel de kerosén son requeridos de 20-30% y para asfalto solamente, pueden ser usadas a más alta temperatura.

Los inconvenientes del alto contenido de cortado son que el asfalto residual es aun virtualmente más suave asegurando después el sangrado. Para el asfalto el rango de pérdida de temperatura es tal que la viscosidad aumenta a una proporción muy rápida, y tiene que ser estimado que el asfalto alcanzará la temperatura del camino en aproximadamente 2.5 minutos, esto da un poco de tiempo para la penetración o humedecimiento que ocurre virtualmente asegurando el agregado despojando o la desintegración del parche en un corto tiempo.

#### **3.5.4.3 Economía de materiales**

Una más baja viscosidad de emulsión que tiene una buena adherencia, no solamente mejorará la adherencia; pero cubrirá mejor el agregado que el asfalto en caliente o incluso que el del rebajado. Esto significa que menos emulsión es requerida en muchos casos que en asfaltos en caliente o rebajados, este puede ser de 5-10% dependiendo de la situación.

Por ejemplo en parcheo de penetración la emulsión llenará los vacíos más fácilmente y no llega a tenderse en las capas de la superficie, esto puede economizar el asfalto y crear un parche que no es blando o probable al sangrado.

Al sellar la emulsión sube a los lados del agregado creando una buena ligadura, en calles residenciales éstas pueden ahorrar un 10% en requisitos de ligadura; para trabajos en carreteras o áreas remotas deben ser tomadas en cuenta otras consideraciones.

#### **3.5.4.4 Durabilidad**

Los emulsificantes en el asfalto están presentes en muy pequeñas concentraciones. Sin embargo, el trabajo ha sido llevado fuera mostrando que los emulsificantes pueden



tener un beneficio positivo en la durabilidad, que es resistente a la oxidación del asfalto. También es relativamente fácil al incorporar a la emulsión aditivos al mejorar la durabilidad sin afectar otras propiedades.

### **3.5.5 RESUMEN**

La mayor ventaja de las emulsiones asfálticas está relacionada a sus propiedades físicas y químicas. Hay una manera práctica de almacenar, transportar y aplicar el asfalto, esto ahorra energía y materiales y son simples al usarse.

## **3.6 COMPONENTES DE LA EMULSION ASFALTICA**

Una emulsión asfáltica consiste de tres ingredientes básicos: asfalto, agua y un agente emulsificante. En algunas ocasiones la emulsión puede contener otros aditivos como: estabilizantes, mejoradores de recubrimiento, mejoradores de adherencia o agentes de control de rompimiento. Es sabido que el agua y el asfalto no se mezclan, excepto en condiciones cuidadosamente controladas, utilizando equipos de alta especialización y aditivos químicos.

### **3.6.1 ASFALTO**

#### **3.6.1.1 Química básica del asfalto**

El asfalto es una mezcla de muchos tipos químicos, es la composición química del asfalto la que determina sus propiedades en lo que a término de uso es escogido. Esto porque el asfalto es hecho de un componente polar y no polar en asociación compleja, la interacción de componentes polares determina las propiedades mecánicas y estructurales.

La química del asfalto producida depende de dos parámetros principales: la fuente de crudo y el proceso de fabricado (refinación, ver la figura 3.22). Las principales fuentes

de crudo son: Estados Unidos, Medio Oriente, Europa Oriental, regiones de África, el Caribe (ej. Venezuela y México), Mar del Norte, regiones de Asia y Micronesia (ej. Indonesia y Papua Nueva Guinea). Todos juntos son más de 1500 fuentes de crudo. Ellos tiene diferentes niveles de materiales bituminosos, por tanto, la química puede ser básicamente parafínica, nafténica (cadenas rectas o anillos) o aromáticos. Esto afectará las propiedades del asfalto e influirá en los métodos de fabricación y aplicaciones. Los crudos son clasificados como pesados, medios o ligeros; dependiendo del nivel de los materiales bituminosos.

### **3.6.1.2 Composición elemental y molecular**

El asfalto es derivado de materiales orgánicos producidos en procesos que han abarcado millones de años. Ellos no son una sola especie química pero sí una mezcla compleja de moléculas orgánicas que varían ampliamente en la composición desde hidrocarburos saturados no polares hasta sistemas de anillos altamente condensados. Ellos también contienen cantidades de trazas de metales, principalmente vanadio y níquel. Aunque todos los asfaltos son predominantemente carbono e hidrógeno, la mayoría contienen un átomo discreto (S, N, O); porque los átomos discretos a menudo imparten funcionalidad y polaridad, ellos tienen un efecto desproporcionado en las propiedades.

La correlación con los grupos químicos discretos está cercana a lo imposible debido a la amplia diversidad, por esta razón, el asfalto es normalmente considerado como la consecuencia de la fracción; este es normalmente basado en la polaridad y hay varias maneras de expresar esto. En el SHRP el está asociado más tradicionalmente a los asfáltenos, resinas y aceites y no a sus fases. Esto puede usarse para conceptualizar los sistemas como sistemas de solución/gel o un continuo de especies polares y no polares.

Los modelos son útiles en la conceptualización que puede ocurrir y llevar a la comprensión valiosa que probablemente tienda en su conducta.

### *1. Modelo coloidal*

Este es modelo tradicional donde las partículas sólidas asfaltenas están dispersadas en la fracción maltena. Los asfaltenos están en el centro de la miscelas y que están peptizadas<sup>7</sup> por las fracciones aromáticas polares absorbidas de los maltenos. En una solución de asfalto los asfaltenos están totalmente dispersados; en un tipo gel las miscelas no están totalmente dispersadas. Las soluciones de asfalto son newtonianas, el gel de asfaltos no son newtonianas.

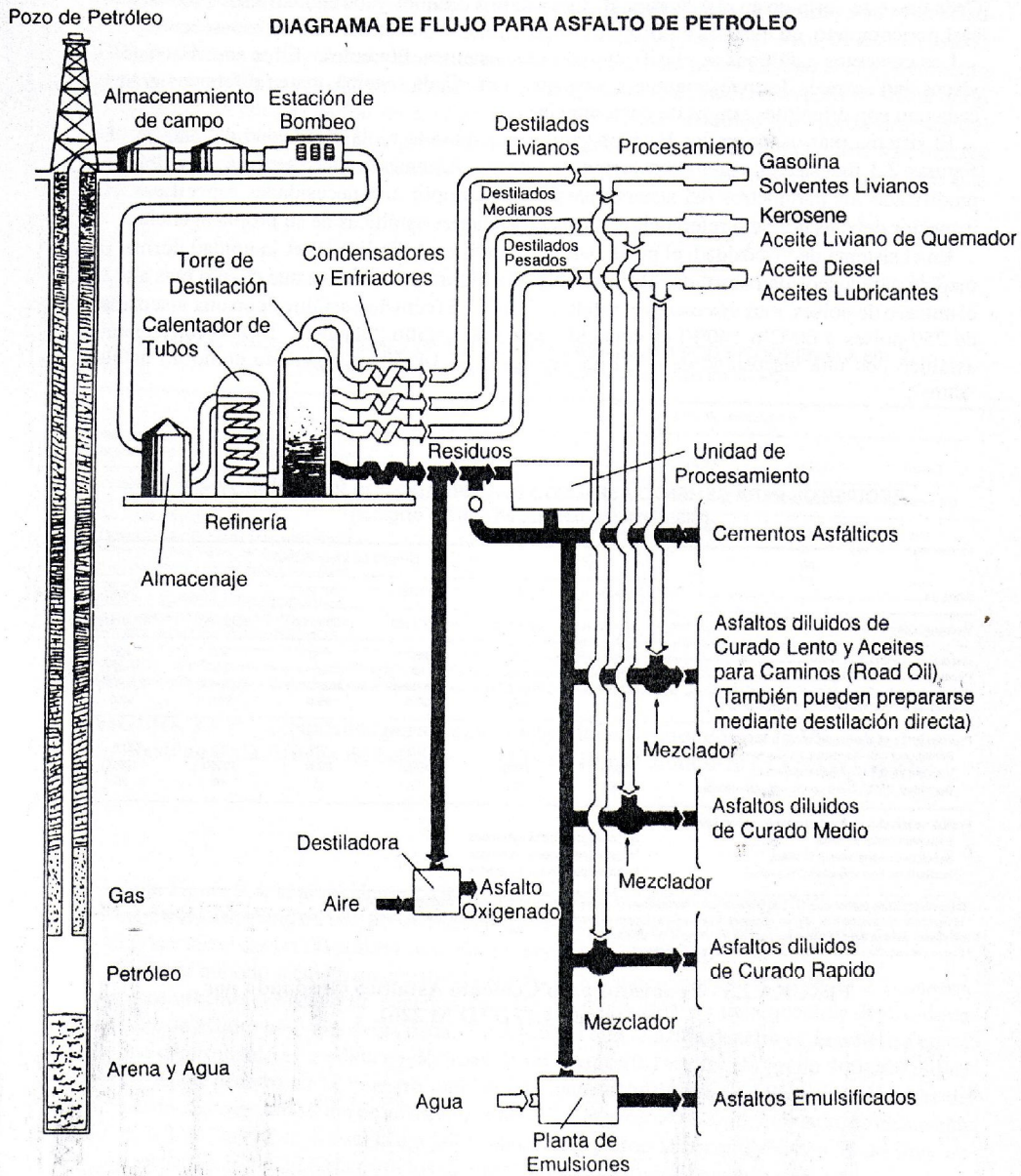
Los asfaltos reales exhiben un poco de ambas características de solución y de gel. Generalmente los asfaltos son newtonianos a temperaturas más altas que 60° C, a temperaturas más baja ellos exhiben una conducta no newtoniana. Esto hace que el asfalto se coloque en frío. Este colocado parece estar relacionado con la estructuración del asfalto, esta estructura es debida a la orientación molecular a la superficie del agregado y ordenada en el volumen de asfalto debido a las interacciones de las especies polares. Este modelo es útil para conceptualizar los efectos en la emulsión, las partículas gelificadas son difíciles de dispersar y emulsificar.

### *2. Microestructural*

El modelo microestructural es una variante del modelo coloidal. El asfalto es un material continuo polar y no polar que es homogéneo, la misma mezcla compatible que consiste de una variedad de especies moleculares que son mutuamente disueltas o dispersadas. Esto crea áreas de orden o estructura dependiendo de la concentración del material polar. La sola diferencia entre los asfaltenos y las resinas es en la polaridad y así el grado de asociaciones de potencial. La estructuración así depende tanto de la química del asfaleno como de su concentración, la proporción resinosa es menos interactiva y los aceites en absoluto no son interactivos.

---

<sup>7</sup> Dispersión de las partículas finas de una sustancia igualmente por todas partes de la otra sustancia al crear un estado intermedio entre una suspensión y una solución coloidal.



**Figura 3.22.**  
Esquema del refinamiento del asfalto

### **3.6.1.3 Métodos de fabricación (refinación) y sus efectos**

Los principales métodos usados para la fabricación del asfalto son cinco:

- a) Fracción del crudo por aceite destilado bajo presión atmosférica (con vapor)
- b) Destilación al vacío
- c) Refinamiento con solvente
- d) Rectificación con soplador de aire
- e) Mezclado

Los asfaltos derivados del proceso del literal a y b podrían ser llamados de manejo directo, el refinamiento con solventes produce materiales que son ajustados con las proporciones de diferentes materiales y así ser cambiados; ej.: el asfalto con propano precipitado tiene un alto contenido de resina, el soplado cambia la química. El método usado tendrá así un impacto en la emulsibilidad, y la interacción química que el asfalto puede tener con una superficie de piedra dada.

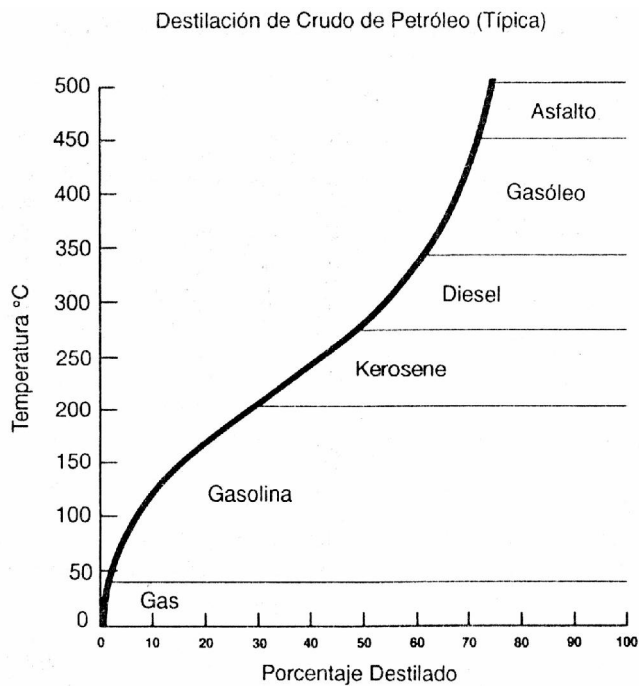
En el proceso de refinación de crudo para asfalto como se explicó en el párrafo anterior estos pueden ser mezclados para ajustar sus propiedades químicas. Los procesos de refinamiento del asfalto más comúnmente utilizados son la destilación al vacío y refinamiento con solventes. La destilación al vacío consiste en separar el asfalto del crudo mediante la aplicación de calor y vacío; en el proceso con extracción de solvente, se remueven más gasóleos del crudo (ver figura 3.23) dejando así un asfalto residual.

### **3.6.1.4 Clasificación de los asfaltos**

Los asfaltos de pavimentación se pueden clasificar bajo tres tipos generales:

- a. Cemento asfáltico
- b. Asfalto rebajado
- c. Asfalto emulsificado

Cada uno de las clasificaciones dadas y sus respectivos usos se detallan en el capítulo 2, numeral 2.6.1



**Figura 3.23.**

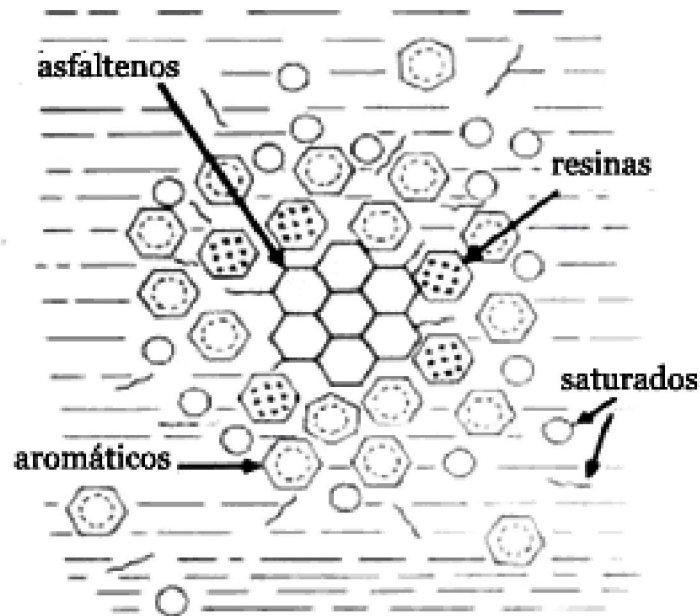
Productos y temperaturas típicas de destilación

Los cementos asfálticos utilizados para las emulsiones asfálticas se clasifican bajo tres sistemas diferentes, ellos son: viscosidad (AASHTO M226), viscosidad después de envejecimiento (AASHTO M226) y penetración (AASHTO M20).

### 3.6.1.5 Propiedades químicas y físicas

#### 1. *Propiedades Químicas del asfalto:*

Básicamente el asfalto está compuesto de varios hidrocarburos y algunas trazas de azufre, oxígeno, nitrógeno, y otros elementos explicados anteriormente. El asfalto cuando es disuelto en un solvente como el heptano, puede separarse en dos partes principales: asfaltenos y maltenos, ver figura 3.24.



**Figura 3.24.**

Estructura básica del asfalto

Los asfaltenos no se disuelven en el heptano, una vez separados de los maltenos son usualmente de color negro o pardo oscuro y se parecen al polvo grueso del grafito; este le da al asfalto su color y dureza.

Los maltenos se disuelven en el heptano, son líquidos viscosos compuestos de resinas y aceites. Las resinas por lo general son líquidos pesados de color ámbar o pardo oscuro, mientras los aceites son de color más claro. Las resinas proporcionan las cualidades adhesivas (pegajosidad) en el asfalto, mientras que los aceites actúan como un medio de transporte para los asfaltenos y las resinas.

La proporción de asfaltenos y maltenos en el asfalto puede variar debido al sinnúmero de factores, incluyendo altas temperaturas, exposición a la luz y al oxígeno, tipo de agregado usado en la mezcla del pavimento, y espesor de la película de asfalto en las partículas de agregado. Las reacciones y cambios que pueden ocurrir incluyen:

evaporación de los compuestos más volátiles, oxidación (combinación de moléculas de hidrocarburos con moléculas de oxígeno), polimerización (combinación de dos o más moléculas para formar una sola masa más pesada) y otros cambios químicos que pueden afectar considerablemente las propiedades del asfalto. Las resinas se convierten gradualmente en asfaltenos, durante estas reacciones, y los aceites se convierten en resinas, ocasionando así el aumento de la viscosidad del asfalto.

## *2. Propiedades físicas del Asfalto:*

Las propiedades de mayor importancia para el diseño, construcción, y mantenimiento de carreteras son: durabilidad, adhesión, susceptibilidad a la temperatura, envejecimiento y endurecimiento.

- a. *Durabilidad:* es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento.
- b. *Adhesión y Cohesión:* Adhesión es la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación. Cohesión es la capacidad del asfalto de mantener firmemente, en su puesto, las partículas de agregado en el pavimento terminado.
- c. *Susceptibilidad a la temperatura:* Todos los asfaltos son termoplásticos; esto es, se vuelven mas duros (mas viscosos) a medida que su temperatura disminuye, y mas blandos (menos viscosos) a medida que su temperatura aumenta; es una de las propiedades más importantes del asfalto. Esta varía entre asfaltos de petróleo de diferente origen, aun si los asfaltos tienen el mismo grado de consistencia.
- d. *Endurecimiento y Envejecimiento:* Los asfaltos tienden a endurecerse en la mezcla asfáltica durante la construcción, y también en el pavimento terminado. Este endurecimiento es causado principalmente por el proceso de oxidación (el asfalto combinándose con el oxígeno), el cual ocurre más fácilmente a altas



temperaturas (como las temperaturas de construcción) y en películas delgadas de asfalto (como la película que cubre las partículas de agregado).

### 3.6.1.6 Pruebas para determinar las propiedades del Cemento Asfáltico

En esta parte se mencionaran las pruebas necesarias para determinar y medir las siguientes propiedades: viscosidad, penetración, punto de inflamación, endurecimiento y envejecimiento, ductilidad, solubilidad, peso específico. Ver tabla 3.6:

Propiedad	Nombre de Equipo de Prueba	ASSHTO	ASTM
Viscosidad	Viscosímetro de Tubo Capilar en un baño de temperatura constante	T201	D2170
	Saybot Furol, a temperaturas altas	T202	D2171
Penetración	Ensayo de Penetración	T49	D5
Punto de Inflamación	Ensayo de Copa abierta de Cleveland	T48	D92
	Ensayo de Pensky-Martens	T73	D93
Endurecimiento y Envejecimiento	Prueba película delgada en horno	T179	D1754
	Prueba giratoria de película delgada en horno	T240	D2872
Ductilidad	Prueba de Ductilidad	T51	D113
Solubilidad		T44	D2042
Peso específico	Picnómetro	T228	D70

**Tabla 3.6.**

Pruebas para determinar las propiedades del Cemento Asfáltico

### **3.6.2 AGUA PARA LA EMULSIÓN**

El agua es otro componente de la emulsión asfáltica. Su contribución a las propiedades deseadas en el producto final no puede ser minimizada. El agua puede contener minerales u otros elementos que afecten la producción de las emulsiones asfálticas estables. Consecuentemente, el agua potable puede no ser adecuada para las emulsiones asfálticas.

El agua encontrada en la naturaleza puede ser inadecuada debido a las impurezas, sea en solución o en suspensión coloidal. Preocupa particularmente la presencia de iones de calcio y magnesio. Estos iones favorecen la formación de una emulsión catiónica estable. De hecho, frecuentemente se adiciona cloruro de calcio a las emulsiones catiónicas, con el objeto de aumentar la estabilidad durante el almacenamiento. Estos mismos iones, sin embargo, pueden ser perjudiciales para emulsiones aniónicas. Y esto se debe a que las sales de calcio y de magnesio, insolubles en agua, se forman en la reacción con sales de sodio y potasio, solubles en agua, normalmente utilizadas como emulsificantes. De igual forma, aniones de carbonatos y bicarbonatos pueden facilitar, gracias a su efecto “amortiguador”, la estabilización de emulsiones, pero pueden desestabilizar emulsiones catiónicas al reaccionar con emulsificantes compuestos de hidroclouros de aminas solubles en agua.

Aguas que contienen partículas no debieran utilizarse en la elaboración de emulsiones. Dichas aguas pueden ser particularmente perjudiciales para las emulsiones catiónicas. Comúnmente tales partículas están cargadas negativamente, y absorben rápidamente los agentes emulsificantes, desestabilizando la emulsión. El uso de aguas impuras puede resultar en un desequilibrio en los componentes de la emulsión, lo que debe afectar adverso al desempeño o causar una rotura prematura.

#### *1. Contenido de agua*

Esta característica fundamental de una emulsión permite conocer el porcentaje de asfalto de la emulsión. La determinación directa del contenido de agua da por simple

diferencia, el porcentaje de ligante contenido en una emulsión dada; el contenido de ligante influye directamente sobre numerosas características tales como la viscosidad, la estabilidad al almacenamiento, la velocidad de rompimiento así como la adherencia, descrita en el numeral 3.4 de este capítulo. Las categorías comerciales de la emulsión son las mostradas en la tabla 3.7:

<b>Categoría</b>	<b>Contenido de agua</b>
50%	50%
55%	45%
60%	40%
65%	35%
69%	31%

**Tabla 3.7.**

Diferentes categorías comerciales en las emulsiones asfálticas

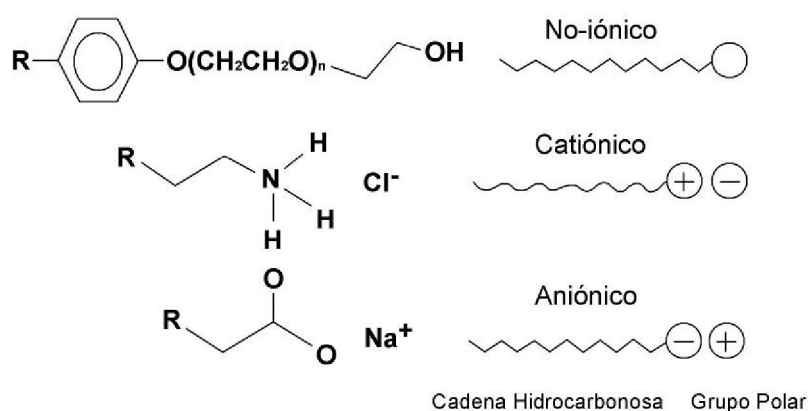
Ante una necesidad en una obra, el contenido de agua puede tener un valor no conforme a lo establecido en la tabla 3.7. En este caso la modificación debe ser aprobada por el ingeniero a cargo del proyecto.

### **3.6.3 AGENTES EMULSIFICANTES**

Las propiedades de las emulsiones asfálticas dependen en gran medida de los agentes químicos utilizados como emulsificantes. El emulsificante es un agente tenso-activo o surfactante. El agente emulsificante mantiene las gotitas de asfalto en suspensión estable y controla el tiempo de rotura. Es también el factor determinante en la clasificación de las emulsiones como aniónicas, catiónicas y no-iónicas.

Utilizando una definición general, los agentes químicos tenso-activos o emulsificantes son sustancias solubles en agua, cuya presencia en la solución cambia marcadamente las propiedades del solvente y de las superficies con las que entran en contacto. Se clasifican por la forma en que se disocian o ionizan con el agua. En lo que hace a la

estructura, poseen un equilibrio molecular entre una larga cadena lipofílica hidrocarbonada y una cabeza polar hidrofílica, ver figura 3.25. Los surfactantes o emulsificantes son adsorbidos en la interfase entre líquidos y gases o líquidos y sólidos. Tienen a concentrarse entre la interfase de modo que los grupos hidrofílicos se orientan hacia la fase más polar y los grupos lipofílicos hacia la fase menos polar. La molécula o ión emulsificante actúa como un puente entre las dos fases.



**Figura 3.25.** Estructura de un emulsificante

Básicamente, hay tres tipos de emulsificantes que son clasificados según sus características de disociación en el agua:

### 3.6.3.1 Emulsificantes catiónicos:

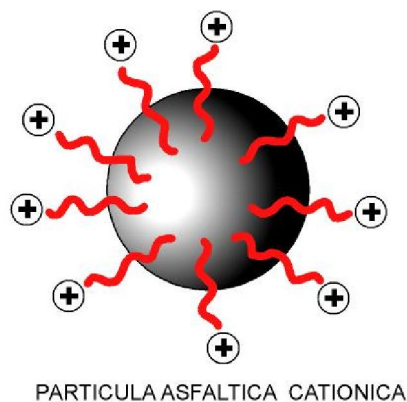
Son aquellos en los que el grupo polar y electrovalente de hidrocarburos es parte del ión cargado positivamente (ver la figura 3.26), cuando el compuesto se ioniza. Fórmula química Catiónica:  $CH_3 (CH_2)_n NH_3^+ Cl^-$

Los agentes emulsificantes catiónicos, en su mayoría, son aminas grasas, por ejemplo: diaminas, imidazolininas y amidoaminas. Las aminas se convierten en jabón al reaccionar con un ácido usualmente ácido clorhídrico. Otro tipo de agente emulsificante, las sales grasas cuaternarias de amonio, se emplea para producir emulsiones catiónicas. Son

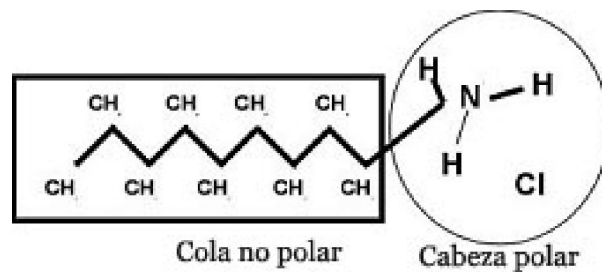
sales solubles en agua, y no requieren la adición del ácido. Son agentes emulsificantes estables y efectivos.

En la figura 3.27 se muestra la estructura de una molécula catiónica. Una parte de la molécula del emulsificante es la cabeza del grupo, dicha cabeza de grupo es hidrofílica ya que es afín al agua, porque el agua es una molécula polar y esta parte de la molécula emulsificante también es polar. Esta es la parte de la molécula que aporta la carga positiva y hace la emulsión catiónica. En esta etapa los emulsificantes catiónicos están ligeramente cargados positivamente, esto es debido a la repartición ineficiente de electrones de la cabeza polar. Cuando un emulsificante catiónico está reaccionando con ácido, la reacción causa estos lazos al cambio que resulta en una plena fuerza de carga positiva en la cabeza de grupo. Esta carga será exactamente balanceada por las cargas libres en la fase de agua, esta será el ión cloro del ácido clorhídrico.

La otra parte de una molécula emulsificante es la cola del grupo. La cola del grupo es lipofílica ya que tiene afinidad al aceite o grasa, por lo tanto es una hidrocarbonatada (esta hecho a propósito de hidrógeno y átomos de carbón). Esta parte de la molécula del emulsificante es un hidrocarbón.



**Figura 3.26.** Una emulsión catiónica



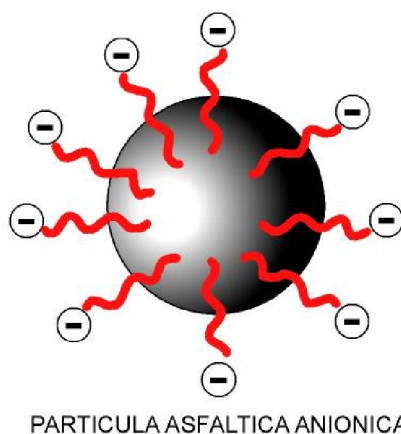
**Figura 3.27.** Estructura de un emulsificante catiónico

### 3.6.3.2 Emulsificantes aniónicos

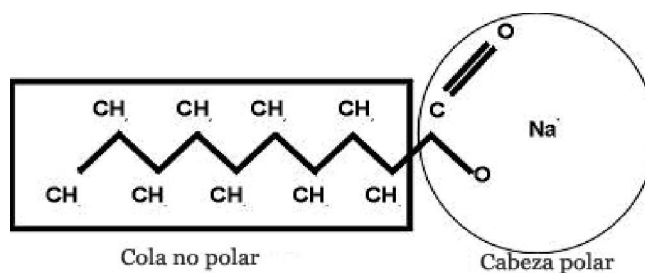
Aquellos en los que el grupo polar electrovalente de hidrocarburos es parte del ión cargado negativamente ver la figura 3.28, cuando el compuesto se ioniza. Fórmula química Aniónica:  $\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_n \text{COO}^- \text{Na}^+$ .

Los agentes emulsificantes aniónicos más comunes son los ácidos grasos, que son productos derivados de la madera, como aceites (resinas, lignitas, etc.). Los emulsificantes aniónicos son saponificados (convertidos en jabón) al reaccionar con hidróxido de sodio (KOH) o hidróxido de potasio (NaOH).

La figura 3.29 muestra un esquema de una molécula aniónica. La cola no polar es lipofílica y se encuadra al interior del asfalto. El extremo polar es hidrofílico y este proporciona la solubilidad en el agua. El número y densidad de las moléculas emulsificantes que hacen esto, impartirán una carga a la superficie de la partícula del asfalto. Esta carga será exactamente balanceada por las cargas libres en la fase de agua, esta será el ión sodio o potasio de la sal.



**Figura 3.28.** Una partícula aniónica



**Figura 3.29.** Estructura de un emulsificante aniónico

### 3.6.3.3 Emulsificantes no-iónicos

En los que el grupo hidrofílico es covalente y polar, se disuelve sin ionización.

La fórmula química no-iónica es la siguiente:  $\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_n \text{COO} (\text{CH}_2 \text{CH}_2 \text{O})_x \text{H}$ , la cual se esquematiza en la figura 3.25.

El agente emulsificante es, de los componentes individuales de la emulsión asfáltica, el más importante. Para ser un agente eficaz, el emulsificante debe ser soluble en agua y poseer un adecuado equilibrio entre las propiedades hidrofílicas y lipofílicas. El agente emulsificante, empleado en combinación con un asfalto aceptable, agua de buena calidad y adecuados procedimientos mecánicos, es el factor principal en la

emulsificación, la estabilidad de la emulsión y en el desempeño de la aplicación final del camino.

Cada fabricante tiene su propio procedimiento para el empleo de los emulsificantes en la producción de emulsiones asfálticas. En la mayoría de los casos, el emulsificante se combina con el agua con anterioridad a su incorporación al molino coloidal. Sin embargo, puede ser combinado con el cemento asfáltico inmediatamente antes de ingresar en el molino coloidal.

#### **3.6.3.4 Papel del emulsificante**

- a. *Imparte estabilidad:* Un emulsificante hace la emulsión más estable. Esto significa que el emulsificante guarda a la emulsión de un posterior separamiento que fuera dentro de las dos fases. Este punto es importante para un sistema slurry y microsurfacing, algo que hace el medio en el sistema más estable y este sistema tendrá el tiempo de mezcla más largo. Si alguna cosa desestabiliza el sistema (o lo hace menos estable) tendrá menos tiempo de mezcla.
- b. *Imparte carga:* Los emulsificantes dan carga a la emulsión (aniónica o negativa, catiónica o positiva). La mayor parte del slurry y microemulsiones son designados CSS los cuales se ponen para catiónicas de colocado lento. El catión bajo la emulsión es positivamente cargado. Para una emulsión designada SS, para colocado lento, pero no se antepone la letra C, entonces las emulsiones son aniónicas o la emulsión es cargada negativamente.
- c. *Imparte características de curado:* Típicamente se usa una química diferente de emulsificantes para hacer emulsiones de colocado lento, que de colocado medio y rápido. Los diferentes emulsificantes son hechos de diferentes materias primas. A causa de esto, las moléculas de los emulsificantes están formadas diferentemente dándonos diferentes características de colocado. Este no siempre es el caso, sin embargo, por conveniencia una alta dosificación de emulsificante CRS, es usualmente usado al hacer emulsiones CMS.



### **3.6.4 AGENTES MODIFICADORES (POLÍMEROS)**

#### **3.6.4.1 Definición**

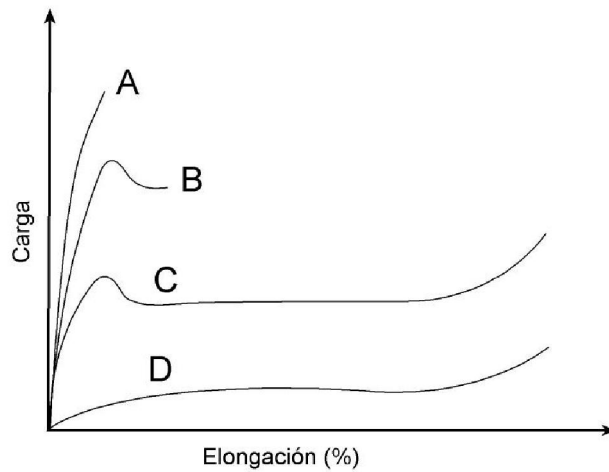
Cuando se habla de un polímero, se habla de una sustancia química compuesta de monómeros o unidades que se repiten de forma ordenada, las propiedades del polímero dependen principalmente de la estructura química de las unidades que lo componen, el número de unidades que conforman la cadena y de la secuencia al conformarse los distintos tipos de unidades.

#### **3.6.4.2 Clasificación**

Los polímeros de acuerdo a su comportamiento se clasifican en dos principales familias:

- a. *Plastómeros:* Los materiales Plastómeros son los que tienen una alta dureza y pueden resistir a la deformación. Son llamados plastómeros porque ellos exhiben flujo plástico o deformación irreversible cuando cierta fuerza producida es excedida. Tales materiales exhiben algunas propiedades elastoméricas y tendrán alguna recuperación debajo de esta fuerza producida. Por esta razón tales materiales son buenos para la resistencia a la deformación a altas temperaturas aplicadas donde la base del asfalto puede ser suave.

La figura 3.30 muestra las diferentes conductas de los materiales. Los plastómeros son semejantes a las conductas a las curvas A, B y C. los elastómeros son a la D. Ejemplo son EVA (Etilo Acetato de Vinilo), EMA (Etileno Acrilato de Metilo), PE (Polietileno), PP (Polipropileno), poliestireno.



**Figura 3.30.**

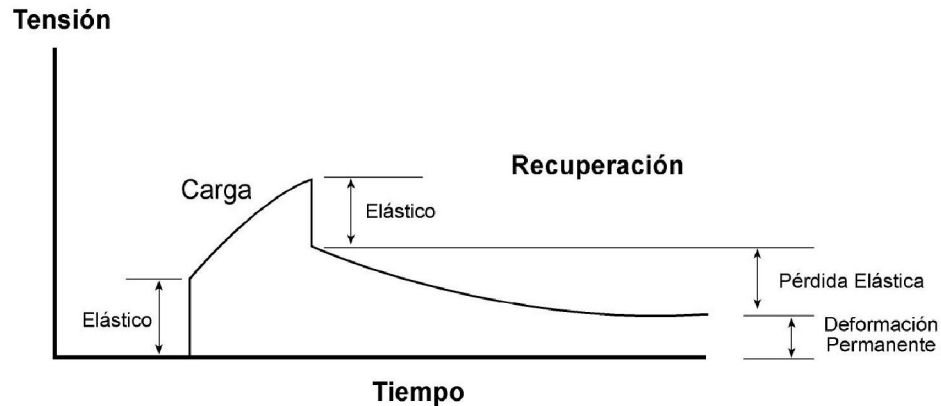
Gráfica de comportamiento plastómero de un polímero

La figura 3.30 muestra las curvas de alargamiento de carga para los polímeros que se dan:

- a) Fractura quebradiza,
  - b) Fractura dúctil,
  - c) Flujo plástico
  - d) Conducta elastomérica
- b. *Elastómeros:* Los polímeros elastómeros son los que tienen un alto nivel de recuperación elástica. A diferencia de los verdaderos materiales elásticos, los materiales elastómeros absorben la energía prolongándose o estirándose. Ellos tienen una estructura que entonces les permitirá recuperarse.

Esta función depende del tiempo, es decir, aunque allí pueda haber alguna recuperación instantánea, una conducta realmente elástica, la mayoría de la recuperación será con el tiempo. Por esta razón tales materiales son más usados en deflexión de pavimentos o en trabajos de grietas.

Al ver la figura 3.31, esto muestra las etapas de tensión como en el ejemplo es tensionado para entonces librarlo. La recuperación es parte elástica, elastomérica e irreversible.



**Figura 3.31.**

Gráfica de comportamiento elastomérico de un polímero

Entre ellos se encuentran los copolímeros de Estireno-Butadieno como SBS (Estireno Butadieno Estireno), SBR (Estireno Butadieno Rubber), TPE (Terpolímero de etileno), Hule reciclado, Látex (SBR, Natural, Neopreno).

En muchos países los materiales elastoméricos son escogidos cuando ellos dan la recuperación elástica así como mayor resistencia al agrietamiento y a la deformación y tienen un punto alto de ablandamiento y bajo punto de Fraas<sup>8</sup> así ellos cubren para tiempos calientes y fríos.

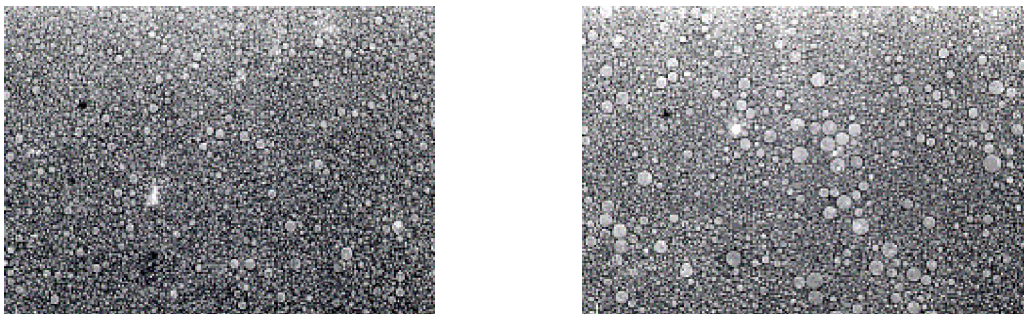
#### **3.6.4.3 Métodos de fabricación**

La adición de los polímeros pueden ser agregados a la emulsión de diferentes maneras:

<sup>8</sup> Es la medida de quiebre del asfalto a bajas temperaturas. Es un ensayo que nos da la indicación de agrietamiento del asfalto a bajas temperaturas.

- a. Premezclado en la solución de jabón: Esta es la ruta normal para el neopreno y el látex natural, pero también puede ser usado para el SBR. Este método limita el látex como el nivel de pH y otros problemas de compatibilidad que se vuelven importantes. El límite es usualmente 3%.
- b. Comolido: El látex es medido en el jabón exactamente en línea antes de la molienda. Este método usualmente lleva a más alta viscosidad de la emulsión como la condensación es alterada por la aplicación de cortado en la emulsión de látex, ver en la figura 3.32.
- c. Post adición: Altos niveles de látex, arriba del 20%, puede ser agregado; sin embargo, este método reduce la viscosidad. También la emulsión no es muy estable al almacenamiento y requerirá mezclado antes del uso, ver en la figura 3.33.

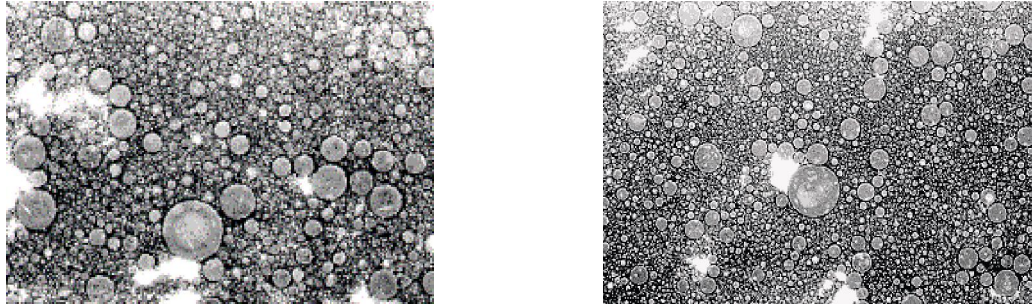
Para casi todas las aplicaciones de látex en caminos son satisfactorias, y es escogido la cual dependerá de la aplicación final y las propiedades necesarias del ligamento. Las emulsiones modificadas con SBS, EVA y EMA son usadas para algunos sellados y aplicaciones industriales y para esto es necesario premezclar el polímero con el asfalto. El látex agregado por la comolienda dará las mejores dispersiones de látex en la emulsión y en la película de asfalto final polimerizado.



**Figura 3.32.**

A la izquierda látex (3  $\mu\text{m}$  de  $\varnothing$ ), a la derecha SBS (5  $\mu\text{m}$  de  $\varnothing$ ).

Ambas comolido al 3%



**Figura 3.33.**

A la izquierda látex (20  $\mu\text{m}$  de  $\emptyset$ ), a la derecha SBS (15  $\mu\text{m}$  de  $\emptyset$ ).

Ambas post añadidos al 3%

La fabricación de ligamentos modificados con polímeros requiere la formulación correcta y los polímeros, aditivos y asfaltos correctos. Un molino coloidal (ver figura 3.34) es normalmente requerido en otros sistemas que permite un alto cortado de los polímeros dentro del asfalto. Los polímeros son normalmente prehumedecidos con el asfalto modificado antes del molido, ver la figura 3.35:

#### **3.6.4.4 Usos de los polímeros**

Se ha explicado que los polímeros tienen moléculas mucho más grandes que las que el asfalto tiene. Esto les permite tener propiedades únicas que pueden impartirse al asfalto. La eficiencia con el cual ellos pueden lograr esto depende de la compatibilidad del asfalto-polímero, la cantidad de polímero agregado y el tipo de polímero. Pero en general podemos decir que un polímero de tipo plástico rígido produce un ligamento de asfalto-polímero rígido, un polímero elástico ahulado produce una mayor flexibilidad de la ligadura de polímero de asfalto.

Así los polímeros son usados para:

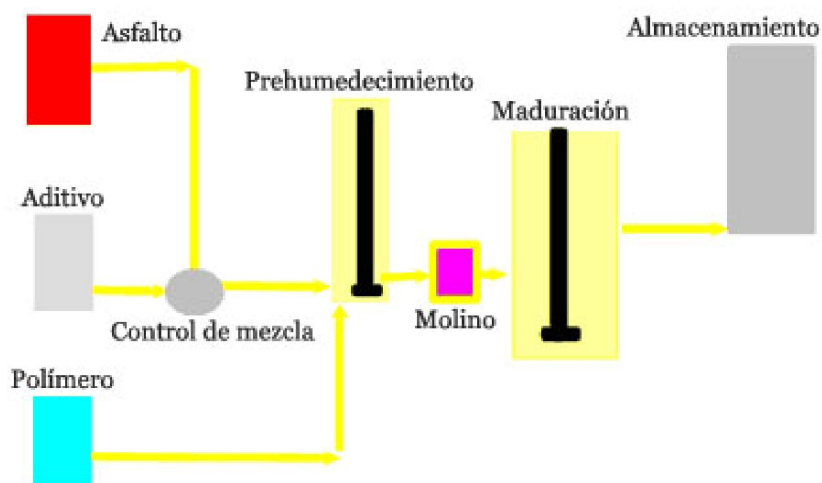
- a. Incrementar el Punto de Ablandamiento: El punto de flujo es más alto y así la susceptibilidad al sangramiento disminuye.

- b. Incrementar la viscosidad del ligamento: La resistencia al flujo es más alto a cualquier temperatura dada, así el espesor de la película en el agregado puede ser más alto y además con el mejoramiento subsiguiente en la resistencia a la deformación.



**Figura 3.34. .**

Figura donde muestra un molino coloidal



**Figura 3.35.**

Proceso de fabricado de asfaltos modificados con polímeros

- c. Disminuir la susceptibilidad térmica: El ligamento tiene mayor rigidez a altas temperaturas y menor rigidez a bajas temperaturas, esto hace que sus propiedades sean mucho más uniformes con la temperatura.
- d. Incrementar las propiedades elastoméricas: Es la habilidad de absorber la energía y elongación con la tensión, y después recuperar esta fuerza removida. Conduce al mejoramiento de la deformación y resistencia al agrietamiento.
- e. Incrementar la cohesión o la fuerza interna: Esto reduce la deformación por fractura bajo el tráfico y el aumento de la retención de los agregados.
- f. Incrementar la fuerza de tensión y la flexibilidad a bajas temperaturas: Conduce al mejoramiento de la resistencia al agrietamiento y menores probabilidades de fractura a bajas temperaturas.

#### **3.6.4.5 Relación con el Microsurfacing**

Los tipos principales de lechadas asfálticas son los slurry seal y microsurfacing. Cada uno tiene su lugar y áreas de aplicación. El factor que distingue un slurry seal de un microsurfacing es el espesor en el que el material será aplicado. En general un slurry seal se pone solamente de uno a uno y medio del espesor de agregado. El Microsurfacing por otro lado está constituido de capas múltiples.

Los problemas que se relacionan al slurry seal y por consiguiente al desempeño del espesor de las capas son:

- a) Adherencia y cohesión
- b) Resistencia a la abrasión
- c) Resistencia al sangrado
- d) Durabilidad.

Para el microsurfacing la misma lista aplica pero es necesario agregarles las consideraciones de resistencia a la deformación, sobre todo en rodadura. Los microsurfacing son a menudo colocados en volúmenes altos, en caminos de tráfico alto y así la dureza y resistencia al desgaste por el tráfico llegan a ser más importantes.

### **3.7 EMULSIÓN ASFALTA MODIFICADA**

#### **3.7.1 DEFINICIÓN Y OBJETIVOS DE LA MODIFICACIÓN DEL ASFALTO**

Son el producto de la disolución o la incorporación en el asfalto, de un polímero o de hule molido de neumáticos, que son sustancias estables en el tiempo y a cambios de temperatura, que se le añaden al material asfáltico para modificar sus propiedades físicas y reológicas, y disminuir su susceptibilidad a la temperatura y a la humedad, así como a la oxidación.

Los modificadores producen una actividad superficial iónica, que incrementa la adherencia en la interfase entre el material pétreo y el material asfáltico, conservándola aún en presencia del agua. También aumentan la resistencia de las mezclas asfálticas a la deformación y a los esfuerzos de tensión repetidos y por lo tanto a la fatiga y reducen el agrietamiento, así como la susceptibilidad de las capas asfálticas a las variaciones de temperatura. Estos modificadores por lo general se aplican directamente al material asfáltico, antes de mezclarlo con el material pétreo.

##### **3.7.1.1 Modificación del asfalto**

La modificación del asfalto es una nueva técnica utilizada para el aprovechamiento efectivo de los asfaltos en la pavimentación de las vías terrestres. Esta técnica consiste en la adición de polímeros a los asfaltos convencionales con el fin de mejorar sus características mecánicas, es decir, su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y del tránsito (peso vehicular).



Los objetivos que persiguen la modificación de los asfaltos con polímeros, es contar con ligantes más viscosos a temperatura elevadas para reducir las deformaciones permanentes (rodaderas), de las mezclas que componen las capas o superficies de rodamiento, aumentando la rigidez. Por otro lado disminuir el fisuramiento por efecto térmico a bajas temperaturas y por fatiga, aumentando su elasticidad. Finalmente contar con un ligante de mejores características adhesivas.

### **3.7.1.2 Estructura de los asfaltos modificados**

Los asfaltos modificados están constituidos por dos fases, una formada por pequeñas partículas de polímero hinchado y otra por asfalto. En las composiciones de baja concentración de polímeros existe una matriz continua de asfalto en la que se encuentra disperso el polímero; pero si se aumenta la proporción de polímero en el asfalto se produce una inversión de fases, estando la fase continua constituida por el polímero hinchado y la fase discontinua correspondiente al asfalto que se encuentra disperso en ella. Esta micromorfología y las interacciones existentes entre las moléculas del polímero y los componentes del asfalto parecen ser la causa del cambio de propiedades que experimentan los asfaltos modificados con polímeros.

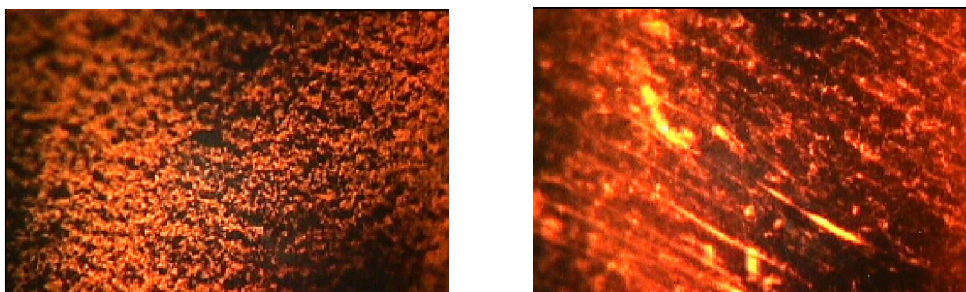
El efecto principal de añadir polímeros a los asfaltos es el cambio en la relación de viscosidad-temperatura (sobre todo en el rango de temperaturas de servicio de las mezclas asfálticas) permitiendo mejorar de esta manera el comportamiento del asfalto tanto a bajas como a altas temperaturas.

### **3.7.1.3 Compatibilidad**

La compatibilidad entre el asfalto y el polímero es un importante problema para el desempeño, una baja compatibilidad resulta en un pobre uso del polímero y en propiedades inferiores (ver figura 3.36). La compatibilidad requiere de un diseño y optimización de la formulación, seleccionando cuidadosamente el asfalto base (es necesario que los polímeros sean compatibles con el material asfáltico), el tipo de polímero, la dosificación, la elaboración y las condiciones de almacenaje; esto debe ser

hecho en el laboratorio y con respecto a las necesidades de las propiedades de campo; también puede ser observado por el rango de separación del polímero del asfalto.

Cada polímero tiene un tamaño de partícula de dispersión óptima para mejorar las propiedades reológicas, donde por encima de este el polímero sólo puede actuar como un relleno mineral, tal como el cemento, cal, talco, sílice, etc.; y por debajo de ésta, pasan a estar muy solubilizados y aumentan la viscosidad, sin mejorar la elasticidad y la resistencia.



**Figura 3.36.**

A la izquierda un sistema compatible, a la derecha un sistema incompatible. Ambos con polímero SBS

Si un polímero se añade a dos diferentes asfaltos, las propiedades físicas de los productos finales, pueden ser muy diferentes. Para mayor efectividad, el polímero debe crear una red continua de trabajo en el asfalto; para que esto ocurra, la química del polímero y del asfalto necesita ser compatible.

Los polímeros compatibles producen rápidamente un asfalto estable, usando técnicas convencionales de preparación. El polímero puede venir en polvo, en forma de píldoras, o en forma de bolitas, la temperatura de mezclado depende del tipo de polímero utilizado.

Algunos productores de asfalto polimerizado utilizan procesos especiales para lograr la compatibilidad entre el polímero y el asfalto (el asfalto puede ser hecho compatible con el polímero con el uso de aditivos). Cuando la tecnología es apropiada, las propiedades

del ligante pueden reducir el efecto de las rodaderas, el desprendimiento de los pétreos, el agrietamiento térmico o fluencia de la mezcla, así como el incremento en la vida útil del pavimento, debido a una mayor estabilidad y resistencia a la fatiga.

#### **3.7.1.4 Aplicaciones de un asfalto modificado**

Un asfalto modificado puede ser aplicado de diferentes maneras, dependiendo del uso y necesidades que requieran cubrir. A continuación se describen algunas aplicaciones del asfalto modificado:

- a. *Concreto asfáltico:* Se caracteriza por reducir la deformación permanente, mayor resistencia a la fatiga, uso de capas más delgadas y mejor resistencia a la post compactación. Se aplica en pavimentos de pistas de aeropuertos donde las exigencias son muy elevadas, también el “asfalto rodado” donde la reflexión de fisuras es muy usual (tránsitos muy intensos, alta carga de tránsito y elevado peso).
- b. *Mezclas abiertas:* Se caracteriza por la menor post compactación y retención del agua y mejor adhesividad del agregado. Se aplica en pavimentos de drenaje o donde las cargas de tránsito no sean elevadas.
- c. *Membrana absorbedora intercaladora de esfuerzos:* Se caracteriza por la capacidad para absorber movimientos horizontales producidos por grietas de varios milímetros, mantenimiento de las propiedades elásticas en un amplio rango de temperaturas, buena adhesividad a la vieja y nueva capa de asfalto y posibilita utilizar capas asfálticas más delgadas.
- d. *Tratamientos superficiales:* Se caracteriza por su mejor retención del agregado, su mayor rango de usos incluidos por caminos de tránsito pesado, su mejor resistencia a la tracción y por su formulación de asfaltos diluidos y emulsiones. Se aplica en asfaltos diluidos modificados para ser usado en tratamientos superficiales o riego de liga.

### **3.7.2 ASFALTOS MODIFICADOS QUÍMICAMENTE**

Los métodos de las normas ASTM, AASHTO y ASA son usados para la caracterización juntamente con los métodos de la ISSA donde sea apropiado.

Un método fue desarrollado para la valoración de la emulsión usando un microscopio visible. Este involucra un microscopio de transmisión óptica con una cámara fijada y una habilidad de magnificar de 100 a 500 veces. La emulsión es diluida con agua destilada en una proporción de 10 partes de emulsión por una parte de agua, la emulsión es dejada en un depósito microscópico tipo deslizable y el operador rápidamente enfoca a través de 3 campos. Una fotografía es tomada a cada punto de enfoque y las partículas son contadas basadas según tamaños en la ampliación conocida. La distribución del tamaño de las partículas son trazadas entonces, esto puede hacerse manualmente con una graticula<sup>9</sup> en una pieza de ojo.

La reducción relativa el tamaño de la partícula puede ser también observada bien como un efecto de la floculación y coalescencia, también puede tomarse las dimensiones con el tiempo al observar la conducta de la floculación y la coalescencia.

Se ha establecido una correlación estrecha entre la susceptibilidad al corte de las emulsiones con el aumento del tamaño de las partículas. Los efectos tixotrópicos<sup>10</sup> son tomados en cuenta permitiendo a la emulsión recobrar y restableciendo la curva de viscosidad. Los materiales susceptibles al corte no sufren histéresis<sup>11</sup>.

---

<sup>9</sup> Una rejilla de líneas finas en el foco de un instrumento óptico, usado para determinar la escala o posición del que está siendo visto.

<sup>10</sup> Fluido propio cuando es meneado o agitado y retorna a un estado de gel cuando este es colocado

<sup>11</sup> Fenómeno por el que el estado de un material depende de su historia previa. Se manifiesta por el retraso del efecto sobre la causa que lo produce

### 3.7.2.1 Experimentación para asfaltos modificados

- a. *Resina de asfalto soplada:* Es hecha de una excelente emulsión inicial de tamaño de partículas finas, pero es reducido la estabilidad de almacenamiento y el tamaño de la partícula se agruesa dramáticamente con el tiempo. La emulsión fue probada para la susceptibilidad al corte y esto se estableció como un problema.

En todos los otros aspectos el asfalto da buenos resultados, ejemplo: adhesión propiedades de la lechada, colocados y curados fueron aceptados. La distribución del tamaño de las partículas inicial ha mostrado que el 98% partículas menor que 3 micras y un alto porcentaje de una micra o menos, esto indicaría que las propiedades interfaciales y el uso de un coemulsificante pueden dar mejoras. En el campo los efectos de la modificación en el micro son que mejoran los tiempos de tráfico como la estructura de la cohesión fue rápida, ver tabla 3.9.

- b. *Asfalto soplado:* Esto fue para la aplicación de un fragmentación sellante (Chip seal). En este problema el alto contenido de asfalto en la emulsión pierde la viscosidad y al parecer el contenido de ligamento en almacenamiento. Las partículas según su tamaño han mostrado que el material estaba siendo hecho de un estado dispersado/coloidal, esto fue aceptable, pero el cortado fue causando flotación y coalescencia que llevan a la separación.

Esto fue observado debido al proceso de soplamiento reduciendo el contenido de aceite aromático en el asfalto y reduciendo la densidad de carga del emulsificante en la interfase, o por lo menos una ruptura en el equilibrio de la distribución del emulsificante entre las fases. Este material fue inyectado con aceite aromático, esto superó el problema.

- c. *Asfalto comúnmente denominado alquitrán:* Este material fue usado para emulsiones generales y exhibieron una reducción de la estabilidad con el tiempo. Los materiales comúnmente denominados alquitrán son altos en

resinas pero bajo en aceites aromáticos. Esto permite una buena emulsión inicialmente, pero se observó que el emulsificante emigró fuera del asfalto creando inestabilidad con el tiempo. Un más alto aceite aromático superó los problemas.

El microsurfacing hecho de este material fue generalmente aceptable, ver la tabla 3.9, sin embargo alguna susceptibilidad térmica se notó bajo condiciones calientes. Un agente péptico fue probado en el asfalto pero no tuvo éxito, trabajaron mezclando con otras fracciones de refinerías.

- d. *Emulsiones de crudo pesado para microsurfacing:* Es manejado directamente para la base de asfalto de crudo pesado con niveles altos de asfaltenos. Este no tuvo problemas para las emulsiones normales, pero para las emulsiones hechas para aplicaciones de microsurfacing, los resultados fueron una pobre emulsificación, las emulsiones gruesas con baja estabilidad y un pobre cubrimiento.

Un chequeo de equipo mostró que el corte fue más bajo en el molino de laboratorio comparado con la producción unitaria, esto da un incremento en el tamaño de la partícula y así pobre estabilidad. Como aquí no hubo problemas aparentemente para las emulsiones normadas por las emulsiones producidas en el laboratorio o en el molino de planta, la compatibilidad del emulsificante para el microsurfacing era sospechosa a causa de la pobre estabilidad; como este es un crudo pesado con alto contenido de asfalteno (>25%) era sospechosa que la dispersión de los asfaltenos podría haber sido un problema. El emulsificante fue mezclado con el asfalto previo al molido y esto produjo resultados satisfactorios, también las propiedades del microsurfacing fueron aceptados; el efecto del emulsificante en el asfalto parece dar una mejor dispersión por el efecto del surfactante y más bajo tamaño de partículas en cualquier molino, ver la tabla 3.9.

- e. *Material de crudo ceroso:* La composición y experimentación no indicaron problemas con la emulsión. Sin embargo, los problemas fueron experimentados con algunas de las emulsiones colocadas, estructuración de

la cohesión y las propiedades en el microsurfacing. La adición de los polímeros se dirigió en gran parte a estos problemas, ver la tabla 3.8:

<b>Tipo</b>	<b>Condiciones (° C)</b>	<b>Tiempo de apertura al tráfico (minutos)</b>
Resina de asfalto soplado, antes	20-25	45
Resina de asfalto soplado, después	18-20	40
Crudo pesado, líquido viscoso	15-25	60
Crudo ceroso	25-35	180
Asfalto denominado alquitrán, mezclado	28-35	50

**Tabla 3.8.**

Diferentes tipos de bases de asfaltos en el desempeño en campo

### **3.7.2.2 Aditivos o agentes modificadores del asfalto**

Los materiales asfálticos son ampliamente usados en la fabricación de carreteras y, a pesar de que su tiempo de vida no es grande, son suficientes para fabricar mezclas capaces de resistir la acción conjunta del tráfico y de los agentes ambientales. Sin embargo, en algunos casos en que las mezcla asfálticas están sometidas a condiciones muy drásticas debidas al tráfico, a la orografía del tramo carretero, a severas condiciones climáticas, etc., se deterioran muy rápidamente y aparecen rodaderas, disgregaciones, fisuras por fatiga, etc.

Debido a esto hay que recurrir al empleo de mezclas asfálticas especiales con mejores características. En algunos casos, como por ejemplo en las deformaciones plásticas, se pueden resolver los problemas utilizando agregados con mejor forma granulométrica, con mayor rozamiento interno empleando asfaltos más duros, reduciendo el contenido de asfalto, etc.

Hay que tener en cuenta que generalmente ello va en detrimento de otras propiedades, como pueden ser la flexibilidad y la resistencia a la fatiga. En aquellos casos en que no sea posible corregir el problema cambiando los parámetros de formulación, hay que recurrir al empleo de agentes modificadores los cuales posean mejores propiedades en todo el intervalo de temperaturas de servicio y con menor susceptibilidad a la temperatura. En la actualidad existen numerosos aditivos o agentes modificadores que se incorporan a los asfaltos para mejorar alguna de sus propiedades, entre los que destacan:

- a. *Activantes:* Se emplean para mejorar la adhesividad del asfalto con el material pétreo. Para agregados silíceos o ácidos, en general, se utilizan bases orgánicas o nitrogenadas; si son del tipo calcáreo y el asfalto tiene un valor ácido bajo, se recurre a ácidos grasos.
- b. *Asfaltos naturales:* Disminuyen la susceptibilidad térmica y aumenta la cohesión del asfalto. Los principales tipos utilizados son el asfalto de Trinidad y la glinsonita.
- c. *Fibras naturales o sintéticas:* Interaccionan físicamente con el asfalto aumentando fundamentalmente la resistencia a la tracción y flexión. Se han empleado amianto, vinílicas, acrílicas, etc. Se añaden mediante dispositivos de reparto en el momentote puesta de obra y crean una especie de malla que se entrelaza con el asfalto y los agregados.
- d. *Alquitranes:* Buscan aumentar la adhesividad del asfalto añadiendo alquitrán y disminuir la susceptibilidad térmica y el rápido envejecimiento. Son productos bituminosos semisólidos o líquidos que resultan de la reconstrucción del residuo que se obtiene de la destilación del carbón de hulla. Dan buenos resultados en tratamientos superficiales y anticarburantes, por su resistencia a los disolventes derivados del petróleo.



- e. *Látex poliméricos:* Son elastómeros que se comercializan en forma de emulsiones ya sea catiónicos o aniónicos; son fácilmente miscibles con emulsiones de ambos tipos. La mezcla de látex y emulsión produce al romperse la emulsión, un asfalto-caucho. Se han empleado con éxito en la fabricación de mezclas asfálticas densas o drenantes, lechadas asfálticas, tratamientos superficiales y riego de imprimación.
  
- f. *Materiales poliméricos:* Mejoran las propiedades mecánicas y reológicas, disminuyen la susceptibilidad térmica y en los tiempos de aplicación de carga, aumentan la resistencia a la deformación permanente y a la rotura en un campo más amplio de temperaturas, tensiones y tiempos de carga, mejoran la adhesividad de los agregados. Los tipos utilizados son los termofijos (resinas epóxicas, poliuretanos, poliésteres) y los termoplásticos como el cloruro de polivinilo (PVC), polietileno y el poli-isobutilenos, SBR (hule estireno-butadieno), EVA (etileno-acetato de vinilo) y SBS (estireno-butadieno-estireno), hule natural y artificial. Estos también pueden utilizarse en combinaciones especiales que tiene la característica de ser tratamientos muy específicos y costosos: alquitrán-vinilo, alquitrán-epoxi, asfalto-epoxi y alquitrán-poliuretano.

Algunos plásticos y hules de desperdicio también se han usado para modificar asfaltos, pero más bien han servido como cargas, no tanto como generadores de la adecuada morfología requerida para que el compuesto tenga un buen desempeño. Sin embargo, se empieza a utilizar hule de llanta (ya reticulado) para conferirle al asfalto buenas propiedades mecánicas. Esto reduce considerablemente los costos ya que el hule de llanta es un material de desecho que produce bastante contaminación. En este caso, además de mejorar significativamente al asfalto, se obtiene una ganancia ecológica al reutilizar las llantas ya usadas.

### **3.7.3 PRINCIPALES MODIFICADORES UTILIZADOS EN EL ASFALTO**

Los principales modificadores utilizados en los materiales asfálticos son:

- a. *Asfalto modificado con polímero tipo I (ASTM D5976)*: Es un modificador de asfalto que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas tanto a altas como a bajas temperaturas. Es fabricado con base en bloques de estireno, en polímeros elastómeros radiales de tipo bibloque o tribloque, mediante configuraciones como Estireno-Butadieno-Estireno (SBS) o Estireno Butadieno (SB), entre otras. Se utiliza en mezclas asfálticas para carpetas delgadas y carpetas estructurales de pavimento con elevados índices de tránsito y de vehículos pesados, en climas fríos y cálidos, así como elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales. Ver tabla 3.9 de las propiedades físicas requeridas para asfalto modificado por polímero tipo I.

<b>Descripción</b>		<b>I-A</b>	<b>I-B</b>	<b>I-C</b>	<b>I-D</b>
Penetración 25°C, 100 gramos, 5 segundos	Min.	100	75	50	40
	Máx.	150	100	75	75
Penetración 4°C, 200 gramos, 60 segundos	Min.	40	30	25	25
	Máx.	2000	2000	2000	2000
Viscosidad 60°C, p	Min.	1250	2500	5000	5000
	Máx.	2000	2000	2000	2000
Punto de reblandecimiento, Anillo y bola °C	Min.	43°	49°	54°	60°
	Máx.	218	218	240	240
Punto de encendido, °C	Min.	218	218	240	240
Solubilidad en Tricloroetileno, %	Min.	99.0	99.0	99.0	99.0
Separación, Diferencia de anillo y bola, °C	Min.	2.2	2.2	2.2	2.2
	Máx.	2.2	2.2	2.2	2.2
<b>Penetración después de Residuo RTFO</b>					
Recuperación Elástica 25°C	Min.	45	45	45	50
	Máx.	20	15	13	13
Penetración 4.0°C, 200 gramos, 60 segundos	Min.	20	15	13	13
	Máx.	20	15	13	13

**Tabla 3.9.**

Pruebas para determinar propiedades del polímero tipo I

- b. *Asfalto modificado tipo II (ASTM D5840)*: Es un modificador de asfalto que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas a bajas temperaturas. Es fabricado con base a polímeros elastómeros lineales, mediante una configuración de caucho de Estireno, Butadieno-Látex o Neopreno-Látex. Se utiliza en todo tipo de mezclas asfálticas para pavimentos en los que se requiera mejorar su comportamiento de servicio, en climas fríos y templados, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales. Ver tabla 3.10 de las propiedades requeridas para asfalto modificado por polímero tipo II.
  
- c. *Asfalto modificado tipo III (ASTM D5841)*: Es un modificador de asfaltos que mejora la resistencia a las rodaderas de las mezclas asfálticas, disminuye la susceptibilidad del cemento asfáltico a la temperatura y mejora su comportamiento a altas temperaturas. Es fabricado con base a un polímero de tipo elastómero, mediante configuraciones como Etil-Vinil-Acetato (EVA) o polietileno de baja o alta densidad, entre otras. Se utiliza en climas calientes, en mezclas asfálticas para carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales. Ver tabla 3.11 de las propiedades requeridas para asfalto modificado por polímero tipo III.
  
- d. *Hule molido de neumáticos (ASTM D6114)*: Es un modificador de asfaltos que mejora la flexibilidad y resistencia a la tensión de las mezclas asfálticas reduciendo la aparición de grietas por fatiga por cambios de temperatura. Es fabricado con base en el producto de la molienda de neumáticos. Se utiliza en carpetas delgadas de granulometría abierta, tratamientos superficiales. Ver tabla 3.12 y tabla 3.13 de las propiedades requeridas para hule molido de neumáticos.

Descripción		II-A	II-B	II-C
Penetración 25°C, 100gramos, 5 segundos	Min.	100	70	80
Viscosidad 60°C, P	Min.	800	1600	1600
Viscosidad 135°C, cSt	Máx.	2000	2000	2000
Ductilidad 4°C, 5cpm, centímetros	Min.	50	50	25
Punto de encendido, °C	Min.	240°	240°	240°
Solubilidad en Tricloroetileno, %	Min.	99.0	99.0	99.0
Rigidez, 25°C, 50 cpm centímetros-Kg.	Min.	85	125	125
Tenacidad, 25°C, 50 cpm centímetros-Kg.	Min.	55	85	85
<b>Penetración después de residuo de RTFO</b>				
Viscosidad 60°C, P	Máx.	4000	8000	8000
Ductilidad 4°C, 5cpm, centímetros	Min.	25	25	8
Rigidez, 25°C, 50 cpm centímetros-Kgr.	Min.			125
Tenacidad, 25°C, 50 cpm centímetros-Kgr.	Min.			85

**Tabla 3.10.**

Pruebas para determinar propiedades del polímero tipo II

Descripción		III-A	III-B	III-C	III-D	III-E
Penetración 25°C, 100 g, 5 seg.	Min.	30	30	30	30	30
	Máx.	130	130	130	130	130
Penetración 4°C, 200 g, 60 seg.	Min.	48	35	26	18	12
	Min.	150	150	150	150	150
Viscosidad 135°C, cSt	Máx.	1500	1500	1500	1500	1500
Punto de reblandecimiento, Anillo y bola °C	Min.	51°	54°	57°	60°	63°
Punto de encendido, °C separación	Min.	218°	218°	218°	218°	218°
<b>Penetración después de residuo de RTFO</b>						
Pérdida, %	Máx.	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Penetración, 4°C, 200 g, 60 seg.	Min.	24	18	13	9	6

**Tabla 3.11.**

Pruebas para determinar propiedades del polímero tipo III

<b>Descripción de la prueba del Ligante “A”</b>		<b>Tipo I</b>	<b>Tipo II</b>	<b>Tipo III</b>
Viscosidad rotacional aparente 175°C cP	Min.	1500	1500	1500
Ensaye modificado de D-2196 Método A	Máx.	5000	5000	5000
Penetración 25°C, 100 g, 5 seg.	Min.	25	40	50
Método de ensaye D-5, 0.1 mm	Máx.	75	75	100
Penetración 4°C, 200 g, 60 seg., 0.1 mm	Min.	10	15	25
<b>Método de ensaye D-5</b>				
Punto de reblandecimiento °C, Método D-36	Min.	57.2	54.4	51.7
Resistencia 25°C, % Método 5329	Min.	25	20	10
Punto de encendido °C Método D-93	Min.	232.2	232.2	232.2
<b>Prueba al residuo de la película delgada TFO Método D-1754</b>				
Retención de la penetración a 4°C del método	Min.	15	75	75
D-5 con respecto al original				

**Tabla 3.12.**

Pruebas para determinar propiedades del hule molido de neumáticos

El ligante asfáltico y las propiedades de la mezcla pueden ser diseñadas eligiendo el polímero correcto para determinada aplicación, y asegurándose que es compatible con el asfalto base. En general se eligen elastómeros para proporcionar una mayor resiliencia, y flexibilidad al pavimento, mientras el resultado con los plastómeros generan una mezcla de alta estabilidad y rigidez. Los resultados obtenidos de un proceso de modificación del asfalto dependen altamente de la concentración, peso molecular, composición química y orientación molecular del polímero, así como de la fuente del crudo, del proceso de refinación y del grado del asfalto que se utiliza.

Descripción	Clima caliente Tipo I		Clima tem- lado Tipo II		Clima frío Tipo III	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Promedio de máxima temperatura en el mes más caliente del año	43°C	>43°C	27°C	43°C	>27°C	27°C
Promedio de mínima temperatura en el mes más frío del año	-1°C	<-1°C	-9°C	-1°C	<-9°C	-9°C

**Tabla 3.13.**

Temperaturas de los tipos de ligantes empleados para hule molido de neumáticos

### 3.7.4 PRINCIPALES MODIFICADORES DEL ASFALTO

Los ligamentos modificados con polímeros inició su desarrollo en Europa en la década de los 80's de los cauchos naturales y sintéticos en su primera generación. No fue hasta la segunda generación de polímeros sintéticos, como el SBS (estireno-butadieno-estireno) y el EVA (etileno-acetato de vinilo) fueron los modificadores de ligamentos que más común se utilizaron a nivel mundial. La aceptación de estos ligamentos modificados ayudó para dar un mantenimiento más durable y la necesidad de proporcionar propiedades al ligamento de soportar las cargas de tráfico en las superficies de pavimentos.

Los modificadores más comúnmente utilizados son el SBS, EVA y el caucho desmenuzado, otros modificadores de asfaltos que se usan en una forma de aplicación especializada, incluyen el PE (polietileno), neopreno y otras resinas epóxicas. Los modificadores de polímeros tales como las emulsiones de látex SBR (hule estireno-butadieno) basados en agua y el caucho natural son comúnmente usados en emulsiones asfálticas para aplicaciones de sellados y slurry surfacing, que en la sección 3.7.5 se describirá con más amplitud. Durante los últimos años han sido introducidos nuevos modificadores de asfaltos como el PBD (polibutadieno) y el EMA (metacrilato de etilo),

con el propósito de proporcionar el mejoramiento del desempeño de la mezcla que no contemplan otros modificadores y por tanto difieren de las características de otras mezclas dando ventajas en aplicaciones específicas sobre otros modificadores; a continuación se describen los modificadores de asfaltos más utilizados:

#### **3.7.4.1 SBS (estireno-butadieno-estireno)**

El SBS es un copolímero de bloque que está compuesta de estireno en un 30% y butadieno en 70%, estos presentan diferentes arreglos entre ellos se mencionan dos: lineal y radial. Los asfaltos modificados basados en SBS son usualmente muy elásticos, sin embargo esto depende de la cantidad de polímero en el asfalto modificado, el tipo de SBS usado, la naturaleza del asfalto y el método o magnitud de mezclado usado en la fabricación. Los asfaltos modificados basados en SBS son bastantes fáciles de fabricar mezclando el polvo de polímero SBS en el asfalto usando de bajo a medio corte de mezclado y en caliente.

El contenido del SBS en el asfalto modificado varía considerablemente en operaciones de rociado dependiendo de la aplicación. El rociado de sellado trabaja alrededor de 1% al 3% y da mejoras en las propiedades de retención del agregado, del 4% al 6% es usado para el primer cubrimiento de dos capas de membrana de aplicación de esfuerzo (SAM), seguido de una segunda capa de 1% de aplicación de SBS. La aplicación de la membrana intercaladota de esfuerzos exige una muy alta elasticidad; por tanto el contenido de SBS que se usa es de 8%. Las aplicaciones de rellenos de agrietamientos están comprendidas usualmente en concentraciones de SBS de cerca del 15%.

#### **3.7.4.2 EVA (etileno-acetato de vinilo)**

Del mismo modo que el SBS, este presenta diferentes arreglos entre el más importante es el radial. Se considera que este tipo de polímero es Plastómero y hacen que el ligamento modificado actúe más rígido que el asfalto convencional; este rasgo es particularmente útil en aplicaciones de asfalto donde ellos encuentran más uso. Sin

embargo, la posibilidad de desplazamiento debido al debilitamiento por fractura del ligamento modificado ha sido un problema para aplicaciones de sellados.

Los polímeros EVA son fácilmente mezclados dentro del asfalto bajo simple mezclado de corte y en caliente; así con más asfaltos modificados ellos deben ser compatibles con el asfalto a usar para asegurar las propiedades óptimas que se desean. La separación del polímero EVA del ligamento modificado es un problema en el proceso de almacenamiento.

Aunque el EVA encuentre una aplicación en trabajos de sellados, particularmente proporciona una alta resistencia al corte, a la pérdida de agregados; las mejores aplicaciones son en el asfalto de graduación abierta y para la previsión de la resistencia de la deformación en asfalto de graduación densa.

#### **3.7.4.3 PBD (polibutadieno)**

El PBD es un nuevo modificante y es un polímero elastomérico y cuando es adecuadamente incorporado al asfalto proporciona una firme y fuerte cohesión y adherencia del ligamento. El PBD ha sido usado extensivamente en aplicaciones que van de rociado de sellado a través de graduaciones abiertas y asfalto de graduación densa. Los ligamentos modificados basados en PBD son fabricados de un alto equipo de corte de mezclado y muestra la separación del polímero no deseado durante el almacenamiento y mezclado.

#### **3.7.5 MODIFICACIÓN DEL ASFALTO CON LÁTEX SBR**

Actualmente en una época en la que los pavimentos viales se encuentran sometidos a exigencias cada vez mayores. El fuerte incremento de los volúmenes de tráfico, cargas más pesadas y mayor presión de los neumáticos son factores que contribuyen a un deterioro más rápido de las capas de rodadura. Las consecuencias son problemas como el ahuellamiento (rodadera) por deformación plástica del ligante asfáltico, rompimiento por diferencias térmicas y también por fatiga, así como desprendimientos de agregados.



La incidencia de estos problemas se ha podido reducir considerablemente mediante el empleo de ligantes modificados y emulsiones bituminosas con polímeros en general, y con elastómeros de SBR en particular.

Aquí se presentan los beneficios resultantes de la incorporación de látex SBR tanto por la modificación del asfalto a emplear en mezcla asfáltica en caliente como de las emulsiones bituminosas, que se emplean en aplicaciones en frío como los microsurfacing y los tratamientos superficiales. La versatilidad de empleo de este tipo de polímero en dispersión acuosa, la inversión relativamente baja necesario para su incorporación, así como su dosificación igualmente reducida con respecto a otros polímeros (1 a 3% sobre el asfalto), lo convierte en la mejor solución a utilizar para afrontar los problemas arriba mencionados y en mejorar así la calidad y durabilidad de su infraestructura vial.

#### **3.7.5.1 Modificación con látex SBR, ventajas y desventajas**

La modificación con látex sintéticos de estireno butadieno de altos sólidos y polimerizados en frío (en adelante SBR) es un proceso relativamente sencillo para mejorar las características del asfalto tales como la resistencia a las deformación permanente a altas temperaturas, flexibilidad a baja temperatura y una mayor resistencia a la fatiga y al agua, junto a una mejor adhesión lo cual ayuda a minimizar la pérdida de agregado. La incorporación del elastómero de SBR en niveles de 2 al 3% sobre el contenido del asfalto, genera una red elastomérica que permite aumentar la viscosidad (resistencia a las rodaderas) del ligante, sin volverlo rígido (buen comportamiento a la fatiga) ni quebradizo (resistencia a los ciclos térmicos día/noche e invierno/verano).

Sin embargo, el problema más importante que afecta a la gran mayoría de polímeros (no solamente el SBR) al modificar en caliente es su limitada compatibilidad con muchos tipos de ligantes asfáltico. Para solventar esta dificultad se ha propuesto diversas alternativas, tales como el empleo de polímeros de menos peso molecular, uso

de solventes orgánicos, etc. que como contrapartida pueden afectar el rendimiento de la mezcla modificada.

La versatilidad de uso de los látex SBR permite la modificación mediante mezcla directa:

- a. Con asfalto a alta temperatura a manera de premezcla modificada
- b. En la línea de producción del asfalto (inyección directa), también a alta temperatura
- c. Con emulsiones asfálticas

#### **3.7.5.2 Modificación del asfalto en caliente**

- a. *Modificación del asfalto:* El látex SBR puede mezclarse directamente con el asfalto a aproximadamente 170° C utilizando diversos métodos de mezcla. Tan solo debe asegurarse que el agua contenida en el látex pueda evaporarse convenientemente. El método más usual suele ser la mezcla directa con la agitación a presión atmosférica y utilizando un sistema de extracción de efluentes.
- b. *Modificación directa del asfalto:* La adición del látex puede realizarse directamente en la línea de producción de asfalto, con las ventajas logísticas que conlleva, al evitar la producción de asfalto modificado y su almacenaje (y por tanto los problemas de incompatibilidad y degradación térmica a los que se ha hecho referencia anteriormente).

#### **3.7.5.3 Modificaciones de emulsiones asfálticas**

Al ser un polímero finamente disperso en el agua, el látex de SBR es el modificador polimérico de más fácil empleo para la modificación de las emulsiones asfálticas. Con una mínima inversión, cualquier fabricante de emulsiones asfálticas puede empezar de manera prácticamente inmediata a modificar directamente con el látex SBR sus

productos mediante la adición directa a la emulsión terminada o a la fase acuosa en el momento de la molienda, lo cual no es posible si se propone hacer lo mismo empleando polímeros sólidos. Esta adición directa en las plantas de emulsiones permite al fabricante ahorrarse el tener que invertir en molinos de alto cizallamiento, necesarios para modificar el asfalto en caliente con polímeros sólidos como paso previo a la emulsión. También se evitan problemas de almacenamiento del asfalto previamente modificado en caliente, los problemas de compatibilidad mencionados anteriormente, los aumentos de viscosidad del asfalto y la degradación térmica del polímero en el asfalto modificado. Además, con una adecuada formulación de emulsificantes, es posible fabricar emulsiones modificadas estables al almacenamiento y que presentan el comportamiento de rotura necesario para la aplicación requerida.

#### *1. Red polimérica en la emulsión asfáltica:*

Las microfotografías de la figura 3.37 en la izquierda y derecha corresponden a una emulsión a la cual se le añadió un 5% de látex de SBR. En la foto de la izquierda de la figura 3.37 tomada a 100 aumentos durante la primera fase de secado pueden apreciarse algunas gotas individuales de asfalto en la esquina inferior derecha. La foto de la derecha de la figura 3.37 (obtenida tras el secado, aumentado 400 veces) muestra claramente la red de látex envolviendo las gotas de asfalto, la fina estructura polimérica de la foto de la derecha se mantuvo intacta, incluso tras exponerla durante 30 minutos a temperaturas de 180° C.

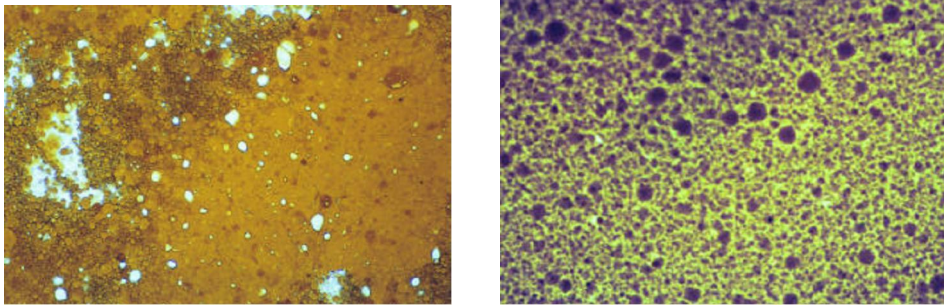
La formación de esta estructura es la que confiere a la emulsión asfáltica modificada las ventajas señaladas anteriormente, permitiendo mejorar la calidad y rendimiento en tratamientos superficiales, mortero asfáltico y microsurfacing.

#### *2. Mejoramiento en la reología del residuo de la emulsión:*

Se determinaron las propiedades reológicas del residuo seco de emulsiones modificadas (obtenido a temperatura ambiente) mediante el empleo de un DSR (Dynamic Shear

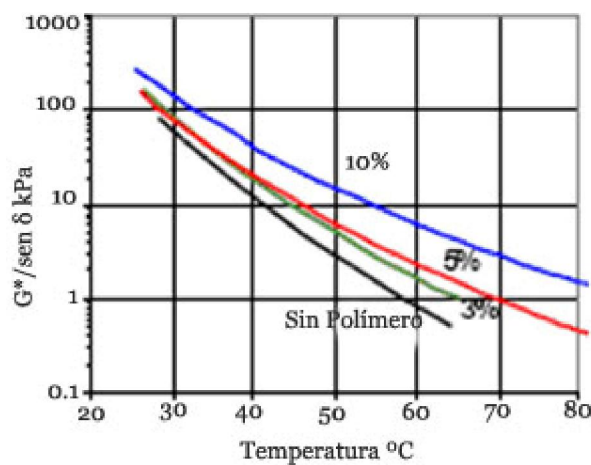
Rheometer) en un rango de temperaturas entre 25 y 90° C. Se prepararon y evaluaron muestras que contenían un 0, 3, 5 y 10% de látex SBR sobre el contenido sólido.

En la figura 3.38 puede apreciarse de manera clara el aumento de la temperatura de resistencia al ahuellamiento (rodadera),  $T_r$  (temperatura donde  $G^*/\text{sen } \delta = 1 \text{ kPa}$ ) desde 58° C hasta 65° C, 69 y 88° C con la adición de 3, 5 y 10% de látex sintético SBR, respectivamente.



**Figura 3.37.**

En la izquierda se muestra en la microfotografía la fase temprana del curado en la emulsión, en la derecha la microfotografía de la red polimérica formada en el asfalto después de completarse el secado de la emulsión



**Figura 3.38.**

Valores de  $G^*/\text{sen } \delta$  para residuos de emulsiones asfálticas modificadas con cantidades variables de látex SBR.

### *3. Morfología de la estructura de látex en el microsurfacing:*

Se preparó una muestra de microsurfacing mezclando 100 g de agregado, 12 g de emulsión asfáltica al 65% con un 3% (sólido sobre sólido) de látex sintético de SBR, 10 g de agua y 1 g de cemento. El tiempo de mezcla fue de aproximadamente dos minutos a temperatura ambiente.

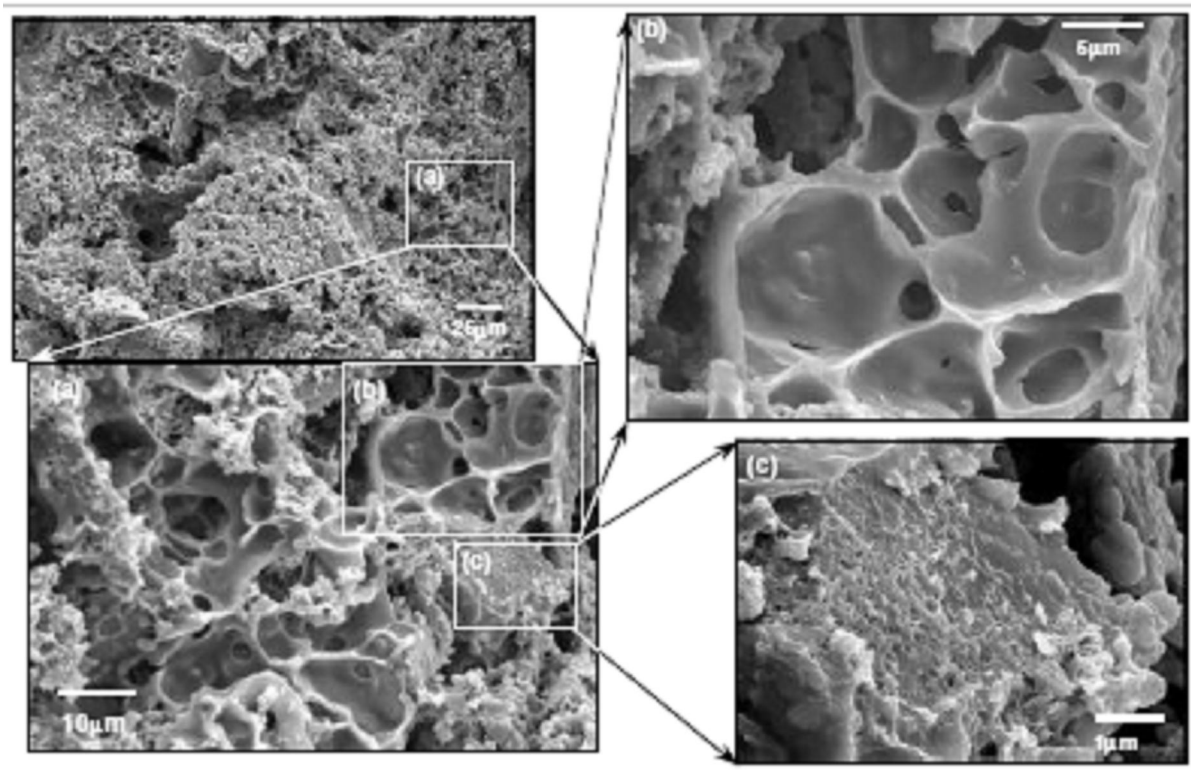
La mezcla de agregado/emulsión fue curada empleando el método normado para la medición de la cohesión, la cohesión medida fue superior a 25 Kg-cm después de una hora. La muestra del microsurfacing se dejó curar un mes y luego se fracturó para poder analizar la sección transversal.

Las microfotografías mostradas en la figura 3.39 (a y b) muestran claramente la estructura de panal de abeja que el polímero de SBR forma alrededor de las partículas de asfalto. Algunas partículas de látex polimerizado se adhieren también a la superficie de los agregados como se aprecia en la figura 3.39 c. Tanto el polímero de látex como las partículas de cemento se mantiene en la fase acuosa. Asimismo, consideramos altamente probable que no sea el polímero puro, sino una combinación polímero-cemento la que forme esas estructuras.

Este comportamiento difiere radicalmente del observado en las emulsiones modificadas mediante el procedimiento de modificación previa en caliente con polímeros sólidos, y es uno de los motivos del uso tan extendido a nivel mundial de látex de SBR se utilizan en emulsiones asfálticas en general y en microsurfacing en particular.

### *4. Resistencia al ahuellamiento del compuesto emulsión/cemento:*

La velocidad de secado del residuo de emulsión para microsurfacing (complejo: emulsión modificada-cemento) fue más lenta que la de la emulsión CRS empleando por lo menos un día para secar completamente. La emulsión secó más rápidamente sin cemento.



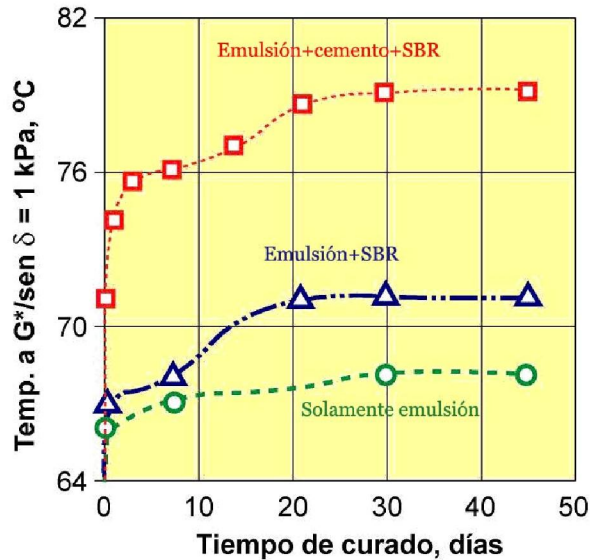
**Figura 3.39.**

Microfotografía del espécimen de microsursing mostrando (b) panal de abejas de polímero SBR formado alrededor de partículas de asfalto (c) algunos polímeros adheridos a la superficie del agregado

El reómetro DSR fue nuevamente empleado para determinar las propiedades reológicas del residuo del microsursing. La temperatura de resistencia al ahuellamiento  $T_r$  (temperatura donde  $G^*/\text{sen} = 1 \text{ kPa}$ ) fue determinada en función del tiempo de curado de la emulsión sola, de la emulsión con cemento y de la emulsión con 3% de látex SBR.

La emulsión fue fabricada a base de un asfalto (AC-20) y la  $T_r$  se incrementó ligeramente de  $66^\circ \text{C}$  a  $68^\circ \text{C}$  después de un mes. Los resultados pueden observarse en la figura 3.40. La adición de cemento proporciona un incremento gradual de la  $T_r$  hasta  $71^\circ \text{C}$  en el lapso de tres semanas; sin embargo, eso se debe principalmente a una rigidez ya que el ángulo de fase se incrementó de  $82^\circ$  a  $88^\circ$  a la temperatura  $T_r$ . El valor de  $T_r$

se incrementa rápidamente a 76° C dentro de días cuando el látex SBR esta presente en la mezcla. El ángulo de fase a la temperatura  $T_r$  se mantiene constante en valores de 77-78°, confirmando que el ligante modificado con SBR mantiene su elasticidad.



**Figura 3.40.**

Temperaturas de resistencia al ahueamiento de la emulsión asfáltica, emulsión más concreto y emulsión, cemento y 3% de látex SBR (sólido a sólido)

### 3.8 AGREGADO MINERAL

#### 3.8.1 DEFINICIÓN

Agregado, también conocido como roca, material granular, o agregado mineral, es cualquier material mineral duro e inerte, en forma de partículas graduadas o fragmentadas. Los agregados típicos incluyen arena, grava, piedra triturada, escoria y polvo de roca. El agregado constituye entre el 90 y el 95 por ciento, en peso, y entre el 75 y el 85 por ciento, en volumen, de la mayoría de las estructuras de pavimento.

### 3.8.2 CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS

Las rocas se dividen en tres tipos generales: sedimentarias, ígneas, y metamórficas (ver tabla 3.14). Esta clasificación está basada en el tipo de formación de cada roca.

- a. *Rocas sedimentarias:* Son aquellas que se forman por la acumulación de sedimentos (partículas finas) en el agua, o a medida que el agua se deposita. Dos términos que usualmente se aplican a rocas sedimentarias son silíceos y calcáreos. Rocas sedimentarias silíceas son aquellas que contienen un porcentaje alto de sílice. Aquellas rocas que contienen un alto porcentaje de carbonato de calcio (calizas) son llamadas calcáreas.
  
- b. *Rocas Ígneas:* Constan de material fundido (magma que se ha enfriado y solidificado). Hay dos tipos de rocas ígneas: extrusivas e intrusivas. Las rocas ígneas extrusivas son formadas a partir del material que se ha vertido afuera, sobre la superficie terrestre, durante una erupción volcánica o alguna actividad geológica similar. La roca resultante tiene una apariencia y estructura vidriosa, debido a que el material se enfría rápidamente al ser expuesto a la atmósfera. Las rocas intrusivas, por otro lado, se forman a partir del magma que queda atrapado en las profundidades de la corteza terrestre. Al ser atrapado en la corteza, el magma se enfría y endurece lentamente, permitiendo la formación de una estructura cristalina. En consecuencia, la roca ígnea intrusiva es cristalina en estructura y apariencia. Los movimientos terrestres y los procesos de erosión traen rocas intrusivas a la superficie terrestre.
  
- c. *Rocas Metamórficas:* Son generalmente, rocas sedimentarias o ígneas que han sido transformadas por proceso de intensa presión y calor dentro de la tierra, y también por reacciones químicas. Muchos tipos de rocas metamórficas presentan un rasgo característico: los minerales están alineados en capas o planos paralelos. Las rocas metamórficas que exhiben este tipo de estructura se denominan foliadas; pero no todas las rocas metamórficas son foliadas.



### 3.8.3 FUENTE DE AGREGADOS

Los agregados usados en los pavimentos asfálticos se clasifican, generalmente, de acuerdo a su origen. Esto incluyen: agregados naturales, procesados y sintéticos o artificiales.

- a. *Agregados naturales:* Son aquellos que son usados en su forma natural, con muy poco o ningún procesamiento. Ellos están constituidos por partículas producidas mediante procesos naturales de erosión y degradación.

Los principales tipos de agregado natural usados son la grava y la arena. La grava se define como partículas de tamaño igual o mayor que 6.35 mm (1/4 in). La arena se define como partículas de un tamaño menor que 6.35 mm (1/4 in) pero mayor que 0.075 mm (No 200). Las partículas de un tamaño menor que 0.075 mm (No 200) son conocidas como relleno mineral (filler), el cual consiste principalmente de limo y arcilla.

- b. *Agregados procesados:* Son aquellos que han sido triturados y tamizados antes de ser usados. Existen dos fuentes principales de agregados procesados: gravas naturales que son trituradas para volverlas mas apropiadas, para la mezcla asfáltica del pavimento, y fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes que deben ser reducidas de tamaño antes de ser usados en la pavimentación.
- c. *Agregados sintéticos:* Los agregados sintéticos o artificiales no existen en la naturaleza. Ellos son el producto del procesamiento físico o químico de materiales. Algunos son subproductos de procesos industriales de producción como el refinamiento de metales. Otros son producidos mediante el procesamiento de materias primas, para ser usadas específicamente como agregado. Los agregados sintéticos manufacturados son relativamente nuevos en la industria de la pavimentación. Estos tipos de agregados son típicamente livianos y de alta resistencia al desgaste y han sido utilizados en la

pavimentación de cubiertas de puentes y así en pavimentos donde se requiere la máxima resistencia al deslizamiento.

<b>Clasificación general de las rocas</b>		
<b>Clase</b>	<b>Tipo</b>	<b>Familia</b>
Sedimentarias	Calcáreas	Caliza Dolomita
	Silíceas	Arcilla esquistosa Arenisca Horsteno Conglomerado Breccia
Metamórficas	Foliadas	Gneis Esquisto Anfibolita Pizarra
	No foliadas	Cuarcita Mármol Serpentina
Ígneas	Intrusivas (de grano grueso)	Granito Sienita Diorita Garbo Periodotita Piroxenita Hornablendita
	Extrusivas (de grano fino)	Obsidiana Pómez Tufa Riolita Traquita Andesita Basalto Diabasa

**Tabla 3.14.**

La clasificación de los agregados según el tipo de roca

### 3.8.4 PROPIEDADES DEL AGREGADO

- a. *Graduación y tamaño de partículas:* La granulometría es el factor que indica la rugosidad y uniformidad del tratamiento superficial. Los agregados a usar en el microsurfacing deben cumplir las granulometrías de la tabla 2.30 en base al estándar ISSA A143 y ASTM D6372.
- b. *Limpieza:* Los agregados deben estar muy limpios, ya que materiales indeseables como arcilla, partículas blandas, materia orgánica, película adherente de arcilla y otros, pueden generar que el asfalto no se adhiera a la superficie del agregado. Un ejemplo es la arcilla ya que la presencia de finos activos da lugar a verdaderas dificultades en la envoltura consumiendo mucho aditivo y además por la acción del agua y del tránsito, puede provocar un posible reemulsiónamiento del asfalto por tanto su destrucción. El ensayo de equivalente de arena (AASHTO T176 ó ASTM D 2419) es un método para determinar la limpieza de los agregados.
- c. *Dureza y solidez:* Las características de dureza y rugosidad de los agregados se encuentran íntimamente relacionados con la resistencia a la abrasión debiendo exigir mayores grados de dureza cuanto mayor sea el tamaño de los agregados, así como en tratamientos en zonas de elevada intensidad de tránsito o en tratamientos correctores de deslizamiento, donde están destinados a proporcionar una capa de rodadura con una microtextura importante; durante la producción, colocación, compactación y vida de servicio. El ensayo de desgaste por la máquina de Los Ángeles, (AASHTO T96 ó ASTM C131) mide la resistencia del agregado al desgaste y a la abrasión.

Los agregados de comportamiento no conocido deben someterse al ensayo de solidez, sirve para estimar su solidez cuando son sometidos a la acción del clima o en otras aplicaciones, proporciona información útil para juzgar la solidez cuando no se dispone de información adecuada de registros de servicio de

material expuestos a condiciones climáticas actuales. El ensayo de solidez (sanidad) (AASHTO T104 ó ASTM C88) determina los efectos de la sal y la acción del congelado-descongelado en el agregado.

- d. *Forma de la partícula:* La forma de la partícula afecta la trabajabilidad de la mezcla de pavimentación durante su colocación. La forma de la partícula también afecta la resistencia de la estructura del pavimento durante su vida. Las partículas irregulares y angulares generalmente resisten el desplazamiento (movimiento) en el pavimento, debido a que tienden a entrelazarse cuando son compactadas. El mejor entrelazamiento generalmente con partículas de bordes puntiagudos y de forma cúbica, producidas, casi siempre, por trituración. En el microsurfacing el agregado debe ser 100% de proceso de trituración de la roca madre, si se usa una grava que deba ser más grande que el tamiz N° 4 (4.75 mm) para poder ser triturado, tendrá como mínimo el 90% de las partículas por lo menos con una cara triturada. El ensayo que mide la forma de la partícula es ASTM D692.

- e. *Textura superficial:* La textura superficial de los agregados es otro factor que determina no solo la trabajabilidad y resistencia final de la mezcla de pavimentación, sino también las características de resistencia al deslizamiento en la superficie del pavimento. Algunos consideran que la textura superficial es mucho más importante que la forma de la partícula. Una textura áspera, como la de papel de lija, aumenta la resistencia en el pavimento debido a que evita que las partículas se muevan unas con respecto a otras, y a la vez provee un coeficiente alto de fricción superficial que hace que el movimiento del tránsito sea más seguro.

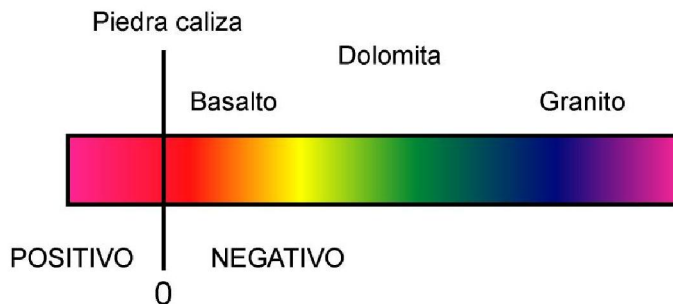
Adicionalmente, las películas de asfalto se adhieren más fácilmente a las superficies rugosas que a las superficies lisas. Para el agregado de microsurfacing, el trituramiento de estos agregados produce texturas superficiales rugosas en las caras fracturadas, así como cambio en la forma de la

partícula. No existe un método directo para evaluar la textura superficial, es tan solo una característica como la forma de la partícula.

- f. Capacidad de absorción:* Todos los agregados son porosos, y algunos mas que otros. La cantidad de líquido que un agregado absorbe cuando es sumergido en un baño determina su porosidad. En el caso de los microsurfacing, la absorción de la parte polar del jabón por parte del agregado, provoca la ruptura de la emulsión, haciendo que los glóbulos de asfalto se adhieran a las partículas del material pétreo, aún en presencia de humedad. Este fenómeno, en la mayoría de los casos, mejora la adherencia y permite una mejor distribución de la mezcla dentro del pavimento. Los ensayos empleados para determinar la absorción de los agregados son: el equivalente centrífugo de kerosén (CKE) (California Highway Test No 30-B), la gravedad específica (AASHTO T84 ó ASTM C128) y el peso unitario (AASHTO T19 ó ASTM C29).
- g. Afinidad con el asfalto.* La afinidad de un agregado con el asfalto es la tendencia del agregado a aceptar y retener una capa de asfalto. Las calizas, las dolomitas y el mármol son conocidas como lipofílicas porque tienen alta afinidad con el asfalto y resisten los esfuerzos del agua por separar al asfalto de sus superficies. Los agregados hidrofílicos tienen alta afinidad con el agua. Por consiguiente, tienden a separarse de las películas de asfalto cuando son expuestos al agua. Los agregados silíceos (cuarcita y algunos granitos) son ejemplos de agregados susceptibles al desprendimiento (ver tabla 3.15). El ensayo que mide la afinidad del asfalto con el agregado es el azul de metileno (ISSA TB145).
- h. Carga del agregado:* Se necesita conocer un poco acerca de los agregados para entender como interactúa el asfalto y el agregado. Como en la mayoría de cosas en la naturaleza, muchos agregados están cargados negativamente (agregados ácidos). La piedra caliza es la excepción, está cargada positivamente (agregados básicos o alcalinos), ver la figura 3.41:

Agregados	Afinidad	Reacción con el asfalto
Cuarcita	Lipofilica	Resisten los esfuerzos del agua por separar el asfalto de sus superficie
Granito		
Arenisca		
Piedra caliza	Hidrofílica	Tienden a separar las películas de asfalto al exponerse al agua
Dolomita		
Mármol		

**Tabla 3.15.**  
Afinidad de diferentes tipos de agregados con el asfalto



**Figura 3.41.**  
Banda que muestra la carga de los agregados

La clasificación de las rocas tiene en cuenta la proporción de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) ó carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), ver la tabla 3.16: las ácidas son las que tienen 66% de  $\text{SiO}_2$  ó 34% de  $\text{CaCO}_3$ ; intermedias, las que contienen entre 52 a 66% de  $\text{SiO}_2$  ó de 34 a 48% de  $\text{CaCO}_3$ ; y las básicas, las que contiene menos de 52% de  $\text{SiO}_2$  ó más de 48% de  $\text{CaCO}_3$ .

### 3.8.5 PRUEBAS DE CALIDAD

El agregado mineral usado será del tipo y grado específico del uso particular del microsurfacing. Los agregados serán fabricados de piedra triturada tales como el granito, escoria, piedra caliza, finos triturados u otro agregado de alta calidad, o la combinación de ellos. Asegurar que el material este totalmente triturado al 100% del

agregado origen para ser usada en la graduación. Esté agregado estará libre de arcilla, material orgánico, bolas de arcilla, película adherente de arcilla o polvo, u otro material deletéreo. Los requisitos de calidad que deben cumplir los agregados a utilizar en sistemas de microsurfacing se describen detalladamente en el capítulo 4, sección 4.2.2.

<b>Rocas ácidas</b>	<b>Rocas intermedias</b>	<b>Rocas básicas</b>
Granito	Sienita	Gabro
Granodiorita	Traquita	Basalto
Granito porfido	Traquiandesita	Peridotito
Riolita	Diorita	Piroxenita
Dacita	Andesita	Diabasa
Cuarcita	Fonolita	Dolerita

**Tabla 3.16.**

Clasificación de las rocas según el contenido de  $\text{SiO}_2$  ó  $\text{CaCO}_3$

### **3.9 RELLENO MINERAL (FILLER)**

#### **3.9.1 OBJETIVO DEL RELLENO MINERAL**

El relleno mineral, si es requerido, será de alguna marca reconocida de cemento Pórtland de no entrada de aire o de cal hidratada que este libre de grumos. Este puede ser aceptado bajo una inspección visual. El tipo y cantidad de relleno mineral necesarios deberá ser determinados por el diseño de mezcla de laboratorio y serán considerados como parte de la graduación del agregado. Un incremento o disminución de menos que 1% puede ser permitido cuando el microsurfacing esta siendo colocado si es encontrado que es necesario para mejorar la consistencia o tiempo de ajuste.

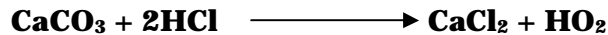
Este sirve para tres grandes propósitos en el microsurfacing. El relleno mineral siendo muy básico y ayuda a la iniciación de la reacción entre el agregado y la emulsión, actúa como un agente tixotrópico donde ayuda a la prevención de la segregación de los

agregados, también ayuda a los agregados proporcionándoles uniformidad a los materiales graduados que pasan el tamiz N° 200.

Otras características que el relleno mineral da es que actúa como espesante, formando parte del cemento flexible asfáltico en las mezclas. Reduce el endurecimiento por envejecimiento y la fragilidad. También es útil para mejorar la cohesión de materiales inertes secundarios. Generalmente se utiliza cal o cemento Pórtland hasta en un 1% sin descartarse el uso de otros productos (por ejemplo fibras). El relleno le otorga mayor trabajabilidad a la mezcla y evita que los finos segreguen hacia la parte inferior de esta. El ensayo de análisis de tamiz del relleno mineral (AASHTO T37 ó ASTM D546) asegura la consistencia del agregado mineral.

### **3.9.2 LA QUÍMICA DEL RELLENO MINERAL**

La cal (o cemento) reacciona con la emulsión ácida que suelta iones de calcio en el sistema, los iones de calcio estabilizan la emulsión y el tiempo de mezcla del sistema es más grande. La cal (o cemento) tiene alto pH, donde combinada con la emulsión ácida (pH bajo) el pH de la emulsión cambia desestabilizando la emulsión y el sistema rompe más rápido.



Se revisa la química de los rellenos minerales en un sistema microsurfacing, En muchos países los contratistas usan cemento o cal como su relleno mineral. La cal es 100% carbonato de calcio, el cemento es también carbonato de calcio pero contiene algunos otros ingredientes también.

En esta primera reacción, cuando el carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) que está presente en la cal o el cemento, reacciona con el ácido (HCl) en la emulsión catiónica formando cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ), el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Lo más importante a recordar sobre esta reacción es que los iones del calcio en el cloruro de calcio tienen



un efecto estabilizante en la emulsión. Cuanto más estable la emulsión, más estable es el sistema y más grande es el tiempo de mezcla.

Hay también otra reacción conveniente que ocurre en la mezcla. La cal y el cemento tienen un pH alto y la emulsión catiónica tiene un pH bajo. Tanto en la segunda reacción, el relleno mineral está intentando cambiar el pH de la emulsión de bajo a alto y lo cuál desestabiliza la emulsión y la quiere hacer romper. Este cambio del pH es otro componente del rompimiento químico. Una vez más se está utilizando la química para hacer que el sistema se rompa.

Por ejemplo, si se tiene un sistema que el 1% del cemento dé 60 segundos de tiempo de la mezcla y el 2% del cemento dé 120 segundos de tiempo de la mezcla, entonces se sabe que la primera reacción está tomando precedente sobre la segunda reacción. El cemento tiene estos otros ingredientes y no contribuyen en la reacción a los iones del calcio. Tanto teóricamente, si cambiado de 2% de cemento a 2% de cal se debería conseguir más de 120 segundos de tiempo de mezcla. Si se fuera de 1% de cemento a 2% de cemento pierde tiempo de mezcla, entonces se sabe que la segunda reacción está tomando precedencia.

El punto importante a recordar aquí no son estas reacciones; pero que se pueden ajustar al tiempo de mezcla variando la cantidad o el tipo de relleno mineral que se utiliza. El otro punto importante es porque siempre están ocurriendo estas dos reacciones, esto dependerá de los materiales que se están utilizando y de que manera se necesita ajustar la dosificación del relleno mineral para alcanzar los resultados que se desean. Para un conjunto de materiales, aumentando el relleno aumentará el efecto estabilizador en la emulsión y se conseguirá más tiempo de mezcla. Para otro conjunto de materiales incrementando el relleno, acelerará el cambio del pH y desestabiliza más rápida la emulsión dándole menos tiempo de la mezcla. Todo depende del sistema y se puede hallar solamente por prueba y error. Es recomendado hacer de esto en una pequeña escala en el laboratorio, no en una escala grande en un proyecto.

### **3.10 AGUA DE MEZCLADO**

El agua forma una parte importante de un Slurry estable y su porcentaje de la mezcla total es un factor principal determinando la consistencia del mismo Slurry. Es introducido de tres maneras: como humedad alrededor en el agregado, prehumedecido con agua, y como uno de los dos principales componentes constituyentes de la emulsión.

El agua para llenar el tanque de la máquina Slurry puede ser obtenido de cualquier fuente que sea potable y no es necesario sujetarse a pruebas de laboratorio, aunque conociendo el pH del agua es provechoso manteniendo un balanceado pH en la mezcla. Serán evitados las aguas saladas o aguas contaminadas con cieno.

Para dar una combinación de agregado y emulsión estable, el slurry será formado sobre un rango de límite de concentraciones de agua prehumedecida, ej., de 6 al 11 % del peso del agregado seco. El slurry que contiene menos del 6% de prehumedad de agua también podría estar rígido al esparcirse, y aquellos conteniendo más del 11% podrían quedar inestables, como se evidencia en el asentamiento del agregado y el flotamiento del asfalto y los finos. El control total del agua prehumedecida, mientras no sea un problema, es muy importante, y la operación de la máquina sobre el rango medio permisible es el recomendado al 9%. El funcionamiento a más del 11% será rechazado.

En adición a los efectos subsecuentes sobre el slurry, la humedad presente en el agregado suministrado a la mezcla tiene un efecto significativo sobre la proporción de la masa al cual son dados los agregados.

El asfalto emulsificado también agrega agua al slurry. Puesto que la emulsión es de 35 a 43% de agua, el contenido del agua total de un slurry estable está normalmente dentro del rango aproximado del 12 al 20% del peso del agregado seco.

### **3.11 ADITIVOS QUIMICOS**

#### **3.11.1 OBJETIVOS GENERALES DE LOS ADITIVOS**

Hay ciertos aditivos a considerar para problemas específicos, la fuente del problema tiene que ser definida claramente al escoger el aditivo correcto. El aditivo es aplicado en el caso de que la emulsión no cumpla el ensayo de mezcla con cemento, esto podría producir un rompimiento prematuro, lo que haría inaceptable la mezcla. Este componente, cuya naturaleza química es bastante compleja tiene por misión facilitar la envoltura de la emulsión y regular la velocidad de rompimiento de la misma, siendo por ello condición indispensable que los agregados se pongan en contacto con el aditivo antes que con la emulsión; de lo contrario se produciría el rompimiento de esta en la caja mezcladora. El aditivo actúa de la siguiente manera:

- a. Disminuye la tensión superficial agregado-emulsión, permitiendo un mojado perfecto y homogéneo de la arena (relleno mineral), a la vez que mejora la adhesividad del agregado-ligante.
- b. Crea una película sobre la superficie del agregado que actúa de barrera protectora, regulando el rompimiento de la emulsión y actuando a la vez, sobre la viscosidad de la lechada.

La dosificación del aditivo exigirá normalmente la realización en laboratorio de un cierto número de ensayos para definir la cantidad más apropiada del mismo, que permita una fácil puesta en obra y una rápida apertura al tránsito. Dicha proporción es en función de numerosas variables, entre las que se pueden citar:

- a. Temperatura del agregado
- b. Temperatura ambiente
- c. Temperatura de la emulsión
- d. Contenido de finos
- e. Influencia del cemento

En el caso para el microsurfacing los aditivos son agregados para ajustar la trabajabilidad del slurry y/o modificar las características del colocado y curado. Los aditivos pueden ser agregados a la mezcla de la emulsión o en alguno de los componentes materiales al proporcionar el control de las propiedades de tráfico rápido. Ellos deben ser incluidos como parte del diseño de mezcla y ser compatible con los otros componentes de la mezcla.

### **3.11.2 TIPOS DE ADITIVOS APLICADOS PARA EL MICROSURFACING**

Los aditivos pueden presentarse en la forma de aditivos secos, aditivos líquidos y relleno mineral. En ocasiones raras un aditivo puede ser agregado como un relleno mineral, este es usado únicamente al mejorar la graduación de los agregados.

- a. *Aditivos secos:* Cristales de sulfato de aluminio, sulfato de amonio y otras sales inorgánicas son los comúnmente utilizados. Estos materiales se alimentan a través de las máquinas alimentadoras sobre el 1% del peso de los agregados secos.
- b. *Aditivos líquidos:* Sulfato de aluminio líquido, aminas y otros materiales líquidos son los comúnmente utilizados. Estos materiales son agregados en el rango de hasta el 1% del peso del agregado seco dependiendo de las concentraciones dadas del material.
- c. *Relleno mineral:* Cemento Pórtland, cal hidratada, polvo de piedra de cal, ceniza volante u otros rellenos que reúnen los requisitos de la ASTM D242, pueden ser utilizados como un relleno mineral. Un relleno mineral es siempre un aditivo seco, pero no todos los aditivos secos son rellenos minerales y algunos se disuelven en agua. Esta distinción es importante porque algún relleno mineral podría ser agregado al peso del agregado seco para los propósitos de determinar requisitos del asfalto. *El relleno mineral es incluido como parte del peso del agregado, y la concentración de cada uno de los otros ingredientes de un slurry*

*son usualmente expresados como un porcentaje de la combinación de peso del agregado seco y el relleno mineral. Es importante usar exactamente la misma cantidad de relleno en el actual trabajo de campo como en el diseño de la mezcla.*

Si es usado el relleno, podría tener una parte importante en la reacción química que determina el asentamiento y las propiedades finales del slurry, y de la composición química del fillers similares que pueden tener bastantes diferencias.

También se utiliza otros tipos de aditivos de donde escoger, para los problemas a los que se dirigen; entre ellos se citan algunos de la gran lista los más comúnmente utilizados en la tabla 3.17.

### **3.11.3 ESTUDIO DE ADITIVOS MÁS COMÚNMENTE USADOS**

- a. *Efectos del sulfato de aluminio:* El sulfato de aluminio es usado para extender el tiempo de mezcla. La sal soluble en agua que, cuando es agregado a la mezcla, contribuyen los iones de aluminio al sistema. Estos iones tienen un plano más grande del efecto estabilizador en la mezcla que los iones de calcio que le proporcionan el cemento o la cal. En adición al gran efecto estabilizador de los iones de aluminio, la alumina tiene un pH bajo como la emulsión. Así, si el relleno mineral es dejado fuera del sistema completamente, entonces aquí no puede haber un efecto desestabilizador causado por un cambio de pH del filler y ninguna de ambas aluminas de las cuales resulten un mayor tiempo de mezcla. Esta técnica es comúnmente usada en caliente, en climas secos. Como es mencionada la velocidad de calor en una reacción química así en un clima caliente un rompimiento químico puede causar que el sistema también sea rápido. Que al dejar fuera al relleno mineral, este al tomar el pH cambia parte de la química del rompimiento. Esto retarda el sistema bajando algo; entonces el efecto estabilizador de la alumina en el sistema se retarda, bajando un poco más. Se tiene la parte del rompimiento químico que es proporcionado cuando las moléculas emulsificantes cargadas positivamente se unen a las gotas de asfalto

con los lugares negativos en las partículas de agregado. En condición de que el clima seco provea un mecanismo de rompimiento adicional como la evaporación del agua en la emulsión. Esto algunas veces es llamado rompimiento atmosférico o de evaporación.

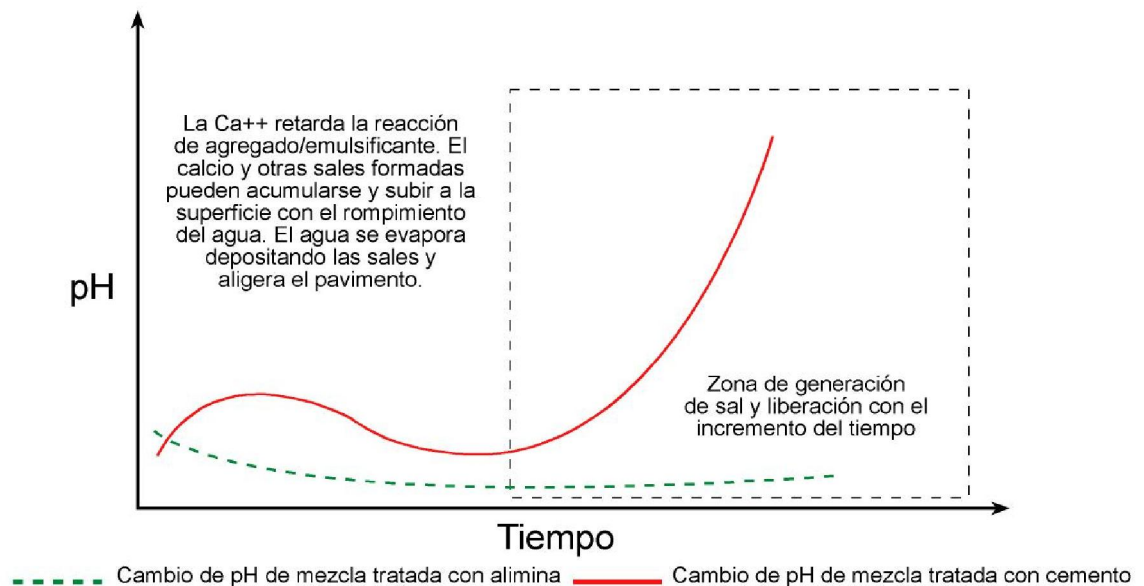
<b>Aditivo químico</b>	<b>Aplicación</b>	<b>Ventajas</b>
Cloruro de calcio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Densifica la fase de agua</li> <li>• Comprime la doble capa</li> <li>• Reduce la presión osmótica en la sal del asfalto</li> <li>• Reduce la tendencia a invertirse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduce la sedimentación</li> <li>• Reduce la viscosidad</li> <li>• Controla la viscosidad</li> <li>• Expulsa el agua atrapada en la película de la mezcla</li> </ul>
Aditivo mezclado para CQS (derivado de lignita)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La coemulsificación</li> <li>• Crea una mayor densidad de carga en las partículas emulsificadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incrementa la estabilidad</li> <li>• Incrementa la repulsión de las partículas</li> </ul>
Emulsificantes no iónicos		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite mayor densidad del emulsificante en la interfase asfalto/agua.</li> </ul>
Agentes gelificantes o espesantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gelifica la fase de agua parcial o completamente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incrementa la resistencia a la sedimentación</li> </ul>
Aceites aromáticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminuye el tamaño de la partícula</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incrementa la solubilidad del emulsificante en el asfalto</li> <li>• Incrementa la estabilidad</li> </ul>

**Tabla 3.17.**

Diferentes tipos de aditivos para problemas específicos

Los efectos de la alumina son representados por las líneas rayadas verdes, mostradas en la figura 3.42; con un sistema conteniendo sulfato de aluminio, el pH comienza a bajar y no cambian con el tiempo.

La línea continua roja muestra el cambio del pH visto en un sistema que contiene cemento o cal, mostrada en la figura 3.42. El pH comienza a bajar cuando la emulsión todavía es estable y mezclable, entonces, por tiempo extendido el pH baja de la emulsión mezclando con un pH alto de relleno mineral que comienza a desestabilizar la mezcla, el pH sube y la emulsión rompe.



**Figura 3.42.**

**Cambio del pH del sulfato de aluminio y del relleno mineral**

Del lado izquierdo de esta figura explica, lo que se puede haber visto en campo como parecida a una sustancia blancuzca sobre un pavimento curado. Los iones estabilizados formados de la reacción del relleno mineral y el ácido en la emisión vienen de las sales, estas sales pueden subir a la superficie con el rompimiento del agua y secado dando esto al pavimento una apariencia blancuzca.





# *Capítulo IV*

---

*Metodología de Diseño  
para Sistemas de Microsurfacing*



## 4.1 FILOSOFIA DE DISEÑO

El desempeño de un sistema de Microsurfacing esta directamente relacionado con el correcto diseño de la mezcla y a su vez éste es dependiente de la calidad de los materiales y de como estos interactúan entre si durante y después del curado. Cada sistema de microsurfacing posee características propias, las cuales son dependientes de las características individuales de cada material, por consiguiente, se puede considerar cada sistema como único.

Comparadas con las mezclas en caliente, los sistemas de lechadas asfálticas son significativamente más complejos puesto que estos son sistemas químicos con multicomponentes<sup>1</sup> en los cuales el ligante debe endurecerse por la combinación de reacciones químicas y por evaporación.

La International Slurry Surfacing Association, en su boletín técnico ISSA A143 “Guía de Desempeño Recomendado para Microsurfacing”, define estos sistemas como: *“...una mezcla de emulsión asfáltica modificada con polímetro, agregado mineral, relleno mineral, agua y otros aditivos, adecuadamente proporcionados, mezclados y esparcidos sobre una superficie de pavimento...”*. En relación a su comportamiento el diseño del sistema proporcionara una mezcla que debe *“...ser capaz de esparcirse en espesores como secciones variables (calzadas, rodaderas, raspaduras, y otras irregularidades de la superficie de un pavimento) la cual, después de curar<sup>2</sup> y consolidarse con el trafico inicial, resistirá la compactación a lo largo de todos los rangos de tolerancias de diseño para los contenidos de asfalto establecidos y para cualquier espesor...”* encontrados en un proyecto. De igual manera. *“El producto final deberá mantener una superficie resistente a la fricción (un coeficiente alto de fricción húmeda) en secciones de espesor variable a lo largo de toda la vida de servicio del sistema...”*.

*“La mezcla deberá clasificarse dentro de los sistemas de fraguado ultra-rápido, esto significa que deberá ser capaz de aceptar tráfico después de un corto periodo de tiempo de haber sido colocada...Normalmente, estos sistemas se diseñan para*

---

1 Ver. Materiales componentes de las lechadas asfálticas. Capitulo II. Sección 2.7.3.

2 Ver Capitulo III. Sección 3.4.2. Propiedades extrínsecas de las emulsiones asfálticas.

*soportar el paso del tráfico sobre un espesor de superficie de ½ pulgada (aprox. 12.7 mm) después de una hora de haber sido colocada a una temperatura de 24°C y con un 50% ó menos de humedad”.*

El departamento de transporte de California, en su Informe “*Slurry Seal / Microsurface Mix Design Procedure*” y en base a un estudio realizado a 21 agencias de transporte estatales y 19 agentes industriales en los Estados Unidos de América, reporta que en sistemas de Microsurfacing pueden presentarse varios problemas durante y después de su construcción que se asocian con mas frecuencia a:

- a. Durante la construcción: la calidad de la mano de obra (mayor frecuencia), al tiempo de curado, al control de mezclado (proporción adecuada de agua, emulsión, agregado y filler) y otras de menor frecuencia como los controles de tráfico, controles de la emulsión, gradación del agregado y tiempo de fraguado
- b. Después de Construido: Reflexión de grietas, Rodaderas, desprendimiento de agregado, laminación, Humedad, exudación de asfalto y otras de menor frecuencia.

En base a los problemas observados al implementar sistemas de Microsurfacing y a los factores relacionados con los mismos, éstos pueden presentarse en dos fases muy bien diferenciadas. La primera que engloba los problemas que pueden ocurrir a corto plazo, los cuales suceden durante la construcción o inmediatamente después de la construcción; mientras que la segunda agrupa las dificultades que se presentan a largo plazo, que son características de una mezcla ya curada y en servicio.

Las dificultades de corto plazo son el resultado de diseños inapropiados, aperturas prematuras al tráfico, malos procesos constructivos, y de las condiciones pre-existentes del pavimento; de igual manera, los problemas que se presentan en esta fase pueden deberse a repentinos cambios de temperatura y humedad. Ambos, la temperatura y humedad influyen en el tiempo de curado y fraguado de la mezcla.

En base a lo anteriormente establecido, el procedimiento de diseño de mezcla para sistemas de microsurfacing y de lechadas asfálticas en general, debe tener en cuenta las fases reales de desarrollo por las que el sistema debe pasar hasta constituir una superficie apta para soportar las cargas de tráfico y así poder estimar el comportamiento que tendrá durante su vida de servicio. El procedimiento completo de diseño para un sistema cualquiera debe de considerar ensayos que puedan determinar las características de la mezcla para poder predecir su comportamiento a corto plazo y de igual manera debe de proporcionar métodos que simulen las condiciones de campo a las que se vera expuesto el sistema después de colocado y curado para poder estimar su comportamiento a largo plazo.

Se puede generalizar el desarrollo de un sistema de Microsurfacing en base a cinco etapas muy bien definidas, las cuales son: (1) Mezclado, (2) Colocado, (3) Curado, (4) Apertura al tráfico inicial, (5) Comportamiento de servicio.

Las primeras cuatro fases agrupan las características a corto plazo que deben presentar los sistemas de microsurfacing, estas deben establecer si una mezcla puede ser mezclada sin dificultades (compatibilidad), si presenta una buena consistencia que permita colocarla a través de las maquinas de proceso continuo sin problemas (consistencia, trabajabilidad), cuanto tiempo debe de esperarse antes de permitir la apertura al tráfico, para que no se presenten daños en la superficie colocada (curado, fraguado, Cohesión). El comportamiento de servicio esta relacionado a las condiciones esperadas de tráfico, por los problemas que se quieren corregir y a los requerimientos establecidos por las entidades encargadas del proyecto. Es decir, que al diseñar un sistema de microsurfacing, debe de proporcionarse una mezcla que asegure que los materiales componentes del sistema sean compatibles, que puedan mezclarse adecuadamente para formar una mezcla homogénea y fluida, que la emulsión presente un rompimiento controlado (evitando falso rompimiento), que se establezcan tiempos adecuados de rompimiento, fraguado, apertura al tráfico y curado, que los agregados presenten un recubrimiento adecuado formándose una buena película de ligante sobre ellos, que se desarrolle una buena cohesión en la mezcla y entre los agregados que permita una excelente adhesión para poder resistir las cargas de tráfico, y finalmente que el sistema

de microsurfacing se comporte de acuerdo a las expectativas y requerimientos de servicio para los que será destinado.

El procedimiento adecuado para establecer un diseño definitivo para mezclas de microsurfacing debe de establecer claramente aspectos específicos como:

**1. Las características de la mezcla.**

Debe asegurarse que la emulsión asfáltica, los agregados, el relleno mineral, el agua y los aditivos puedan ser mezclados, que se presente un buen recubrimiento y que posea una fluidez tal que no se presenten problemas en su colocación.

**2. Las características de curado y fraguado.**

Asegurar que mezclas que fragüen en los tiempos establecidos para el proyecto, para permitir la apertura al tráfico sin que se presenten problemas de segregación de la mezcla, desprendimiento de los agregados, desplazamientos laterales, exudación de asfalto u otros problemas que no permitan un desarrollo adecuado del sistema de microsurfacing.

**3. Comportamiento a corto plazo.**

Proporcionar una mezcla que mantenga una buena resistencia a la fricción, que no se desintegre, que no presente exceso de asfalto y que resista la humedad.

**4. Comportamiento a largo plazo.**

El sistema debe de corregir los problemas específicos para los cuales se ha diseñado y conservar sus características a lo largo de toda su vida de servicio sin presentar daños excesivos prematuros.

Actualmente existe una diversidad de procedimientos para el diseño de mezclas para sistemas de microsurfacing y slurry seal, de estos los más utilizados son: las guías de diseño de la Internacional Slurry Surfacing Assotiation, ISSA A143 y A105 y las especificaciones de la American Society for Testing and Materials, ASTM D6372 y D3190. Algunas agencias estatales en los Estados Unidos de América como el

Departamento de Transporte de Texas y el Departamento de Transporte de California, cuentan con procedimientos y estudios mas desarrollados para el diseño y construcción de sistemas de Microsurfacing. Los cuales serán brevemente descritos en el siguiente apartado.

A pesar de las diferencias que existen entre uno y otro método de diseño, la mayoría de ellos se basan en los mismos métodos de ensayo y en la misma filosofía de diseño, la cual puede resumirse en los siguientes pasos:

### **1. Caracterización de los materiales componentes.**

Primeramente deben determinarse las características y propiedades de los materiales componentes, que sean de buena calidad y que cumplan con las especificaciones establecidas para el proyecto en particular que permitan asegurar un adecuado comportamiento intrínscico en la mezcla.

### **2. Características de corto plazo<sup>3</sup>.**

En donde se establece la mezcla de trabajo, la compatibilidad entre los materiales componentes, la aptitud de recubrimiento del sistema, el desarrollo de adherencia, tiempo de rompimiento, consistencia, curado y todas aquellas características que permitan la trabajabilidad de la mezcla y su adecuado desarrollo antes de soportar las solicitudes esperadas de diseño.

### **3. Características a largo plazo<sup>4</sup>.**

Se realizan ensayos que simulen las características esperadas de servicio para establecer el comportamiento estimado que presentara la mezcla a lo largo de su vida de servicio, y si esta cumple con los requerimientos establecidos por las especificaciones del proyecto. Una buena calidad de los materiales que componen un sistema de microsurfacing no asegura un adecuado comportamiento de estos bajo las solicitudes de servicio a las que se someta, la mezcla debe de resistir las cargas y solicitudes reales a las que se vera expuesta, por lo que el laboratorio

---

<sup>3</sup> Aquellas que se presentan entre un periodo de 0 a 1 año.

<sup>4</sup> Aquellas que se presentan entre un periodo de 1 a 7 años.

debe de tratar de simular lo mas real posible dichas solicitaciones y establecer criterios que permitan discriminar entre una mezcla adecuada y una pobre.

## **4.2 CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES**

### **4.2.1 CONSIDERACIONES BASICAS.**

Las propiedades de mezclado de los sistemas de microsurfacing son una función de las propiedades individuales de los materiales por separado y de la compatibilidad que presenten unos con otros, sin embargo, las propiedades de los materiales también afectan el comportamiento de la mezcla durante la construcción y el comportamiento a corto plazo y durante el periodo de servicio del sistema. De este modo la selección de los materiales debe de ser el primer paso para la optimización de las propiedades de la mezcla que a su vez permitan optimizar la selección de los aditivos y el nivel de uso de los mismos.

Existen muchos tipos de agregados, el asfalto es fabricado por diferentes métodos y proviene de diferentes crudos, esto significa que hay millones de posibles combinaciones de mezclas, especialmente cuando se consideran los diferentes tipos de emulsiones asfálticas. La complejidad se reduce al utilizar pocas clases de agregados, situación que en muchos lugares no podrá seguirse. Como es obvio no todas las combinaciones pueden ser ensayadas, el proceso de diseño de mezcla es de esta forma un sistema aproximado de tanteos. Se examinan las características de los agregados y luego se elige la química del ligante/emulsión. Aditivos y modificantes son añadidos para cambiar las características de la mezcla estableciéndose así una mezcla de trabajo.

Ensayar los materiales individuales para verificar el cumplimiento de las especificaciones establecidas es el primer paso en el proceso de diseño de mezclas para sistemas de microsurfacing. La caracterización de los materiales involucra ensayos para determinar sus propiedades físicas las cuales se comparan con las especificaciones establecidas para cada proyecto. La mayoría de los componentes de la mezcla son

---



ensayados en base a los estándares de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y la American Society of Testing Materials (ASTM).

#### **4.2.2 CARACTERIZACION DEL AGREGADO MINERAL.**

Los agregados (excluyendo el relleno mineral) constituyen entre el 82% al 90% en peso del microsurfacing, dependiendo de su granulometría y la aplicación que se le vaya a dar, y tiene una fuerte influencia sobre el desempeño del microsurfacing. Para mejores resultados, los agregados deberán ser piedra 100% triturada, limpia, con partículas fuertes libres de químicos absorbidos, arcilla y otros materiales que puedan afectar la adherencia, mezclado y colocación de la mezcla. Preferiblemente la piedra triturada deberá ser angular y no tener muchas partículas planas y alargadas. Al hablar de los agregados es de tener en cuenta que, el comportamiento de la mezcla es dependiente de la granulometría y la granulometría a su vez es dependiente del tipo de trabajo para el que se vaya a utilizar el microsurfacing<sup>5</sup>. La química del agregado es extremadamente importante pero esta es revisada en el transcurso del proceso de diseño de la mezcla, la reacción química entre el agregado y la emulsión determina directamente las características de adhesión, estabilidad de la mezcla, compatibilidad, fraguado y curado de todo el sistema.

Los principales ensayos que se realizan al agregado mineral para establecer su calidad y aptitud para ser utilizados en sistemas de microsurfacing se describen de manera general en el presente capítulo.

##### **4.2.2.1 Ensayo granulométrico AASHTO T27-99, ASTM C 136-01 / AASHTO T1199, C 117-03**

Este ensayo consiste en la separación a través de una serie de tamices de abertura conocida (Ver Fotografía 4.1), una masa conocida de agregado seco, para la determinación de la distribución de tamaños de las partículas que constituyen el agregado mineral. La gradación del agregado debe acoplarse con los requerimientos

---

<sup>5</sup> Ver Capítulo II. Sección 2.7.3. Materiales componentes de las lechadas asfálticas.

granulométricos tipo II y tipo III establecidos por la ISSA (Ver tabla 4.1). El conocimiento de la cantidad de material, presente en el agregado, por tamaño de partícula es importante para la determinación del contenido teórico de asfalto que debe de poseer la mezcla, cantidades grandes de agregado grueso puede resultar en menos requerimiento de asfalto, situación que al no tomarse en cuenta puede provocar problemas de resistencia al deslizamiento, aparición de rodaderas y expulsión de asfalto. Por el contrario, mayores cantidades de agregado fino puede resultar en requerimientos mayores de ligante asfáltico, que al no considerarse resultan en mezclas secas, desprendimiento de agregado por falta de ligante que mantenga adheridas las partículas, acortando de esta manera la vida de servicio del sistema. De igual manera, el tamaño máximo nominal del agregado determina el factor de espesor de la capa de microsurfacing a colocar. La distribución de tamaños entre partículas controla y mantiene un contenido apropiado de vacíos en la mezcla y proporciona la textura superficial del microsurfacing.

#### **4.2.2.2 Equivalente de arena AASHTO T 176-02, ASTM D2419-02**

El propósito de este ensayo es indicar, bajo condiciones estándar, la proporción relativa de arcilla o plásticos finos y polvo presente en los sólidos granulares y agregados finos que pasan el tamiz de 4.75 mm (No.4). El termino “Equivalente de Arena” expresa el concepto que, la mayoría de sólidos granulares y agregado fino son mezclas de partículas gruesas deseables, arena y generalmente arcilla indeseable o finos plásticos y polvo.

El ensayo consiste en verter un volumen medido de agregado y una pequeña cantidad de solución floculante dentro de un cilindro plástico graduado (Ver fotografía 4.2) agitándose para soltar el recubrimiento de arcilla presente en las partículas agregado. El espécimen es luego “irrigado” utilizando solución floculante adicional forzando al material arcilloso dentro de la suspensión a subir por encima del agregado. Después de un periodo preestablecido de sedimentación, se mide la altura de la arcilla y del agregado contenidos en el cilindro graduado. El equivalente de arena es el cociente de la altura de arena entre la altura de la arcilla por 100.



**Fotografía 4.1.**

Instrumentos utilizados para la realización de ensayo granulométrico,  
Según estándar ASTM C-136-01

Tamaño de Tamiz		TIPO II % que pasa	TIPO III % que pasa	Tolerancias
3/8	(9.5mm)	100	100	+/- 5%
#4	(4.75mm)	90-100	70-90	+/- 5%
#8	(2.36mm)	65-90	45-70	+/- 5%
#16	(1.18mm)	45-70	28-50	+/- 5%
#30	(600µm)	30-50	19-34	+/- 5%
#50	(330µm)	18-30	12-25	+/- 4%
#100	(150µm)	10-21	7-18	+/- 3%
#200	(75µm)	5-15	5-15	+/- 2%

**Tabla 4.1.**

Especificaciones Granulométricas para agregados en sistemas de Microsurfacing,  
Según estándares ISSA A 143 y ASTM 6372-99

Se especifica un valor mínimo de 65 para sistemas de microsurfacing (Ver tabla 4.2). Es de tener muy en cuenta los límites establecidos para el equivalente de arena puesto que valores bajos de equivalente de arena pueden causar un exceso en el consumo de emulsión asfáltica, así como presentar dificultades de mezclado y fraguado.



**Fotografía 4.2.**

Equipo utilizado para la determinación del equivalente de arena, en suelos, y agregado fino según ASTM 2419-02

#### **4.2.2.3 Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino AASHTO T84-00, ASTM C128-01**

Este método de ensayo determina la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado fino (sin incluir el volumen de vacíos entre las partículas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción de agregado fino. Determina el peso del agregado con relación a un peso dado de agua y se utiliza básicamente para calcular el volumen que ocupa el agregado en la mezcla, de igual manera se utiliza para la determinación del contenido teórico de asfalto y de los requerimientos de emulsión. La mayor parte de los agregados de peso normal presentan valores de gravedad específica que oscilan entre el 2.4 y 2.9. No existen especificaciones estándar para los valores de

gravedad específica que permitan discriminar entre tipos de agregados, sin embargo es de tener en cuenta que agregados que presenten un valor de gravedad específica menor que 2.0 pueden no ser apropiados para mezclas de superficie como los sistemas de microsurfacing, puesto que son catalogados como agregados livianos propensos a desintegración excesiva, debido a las cargas de tráfico. De igual forma, los valores obtenidos mediante este ensayo pueden ser un indicativo de la calidad del agregado, puesto que valores altos de absorción indican agregados con un alto contenido de poros permeables, lo que indica un agregado de mala calidad para mezclas de superficie.

#### **4.2.2.4 Peso Unitario AASHTO T19M-00, ASTM C29M-97**

Mejor definido como Densidad Volumétrica, no es más que la relación de la masa de un agregado por unidad de volumen ocupado, el cual incluye tanto el volumen de las partículas como el volumen de los vacíos entre ellas. Este valor, determinado a varios contenidos de humedad permite establecer los cambios que ocurren en el peso de un agregado en relación con el contenido de humedad del mismo, lo cual es muy útil en la calibración de la máquina de proceso continuo. De igual manera este valor es muy útil para propósitos de conversión y es utilizado a la hora de transformar las cantidades de laboratorio establecidas en el diseño de la mezcla a cantidades de campo (cantidades por peso en laboratorio, cantidades por volumen en campo)

#### **4.2.2.5 Abrasión por la máquina de los Ángeles AASHTO T96-02, ASTM C131-03**

El ensayo determina de manera cuantitativa la resistencia a la abrasión que presenta el agregado y es la medida más comúnmente utilizada para expresar la dureza de un agregado. La resistencia a la abrasión, desgaste, o dureza es una propiedad que depende principalmente de las características de la roca madre. Este factor cobra importancia cuando las partículas van a estar sometidas a un roce continuo como es el caso de pisos y pavimentos, para lo cual los agregados que se utilizan deben ser duros.

Este ensayo proporciona una medida de la degradación del agregado mineral de

gradación estándar resultado de una combinación de acciones que incluyen la abrasión o desgaste, impacto y machacado en un tambor rotativo de acero conteniendo un número específico de esferas de acero (Ver Fotografía 4.3.). Así como el tambor rotativo, un estante o placa recoge la muestra y las esferas de acero, acarreando alrededor de la maquina hasta que estos caen al lado opuesto del tambor. Creando un efecto de machacado por impacto. El contenido entonces rueda dentro del tambor con una acción de abrasión y molido hasta que la placa de estante recoge la muestra y las esferas de acero, y el ciclo es repetido. Después de un número establecido de revoluciones, el contenido es removido del tambor y la porción de agregado es tamizada para medir la degradación como el porcentaje de perdida.

El valor proporcionado por este ensayo indica que tan grande serán los efectos de las cargas vehiculares sobre la pulimentación y desgaste del agregado, por lo que puede considerarse como un indicativo de la calidad del agregado. A menor cantidad de desgaste mayor calidad del agregado. Para sistemas de microsurfacing se establece un límite de desgaste del 30%, puesto que son sistemas de superficie de capa delgada donde el agregado es el principal componente que resistirá las cargas de tráfico.



**Fotografía 4.3.**

Maquina de Los Ángeles, utilizada para ensayo de Abrasión e Impacto según Estándar ASTM C 131-03.

#### **4.2.2.6 Ensayo de sanidad AASHTO T 104-99, ASTM C 88-02**

Determina los efectos de la sal y de los ciclos de hielo-deshielo en el agregado. Como se define en el estándar ASTM C 88-02, se utiliza para determinar la solidez de un agregado al estar expuesto al desgaste por intemperismo sin embargo a pesar que se utiliza como un indicativo de la calidad del agregado, el mismo estándar en su sección 3.1 establece que “...no es adecuado para rechazar categóricamente un agregado sin confirmaciones provenientes de otros ensayos mas íntimamente relacionados con los usos específicos que se le darán al agregado...”.

Se establecen valores máximos del 15 al 20% dependiendo del reactivo utilizado. Los valores obtenidos pueden utilizarse como una estimación preliminar de la resistencia que presentan los agregados a condiciones severas de intemperismo. Es de tener en cuenta que nuestro país presenta un clima templado sin condiciones ambientales extremas, por lo que este ensayo al ser solamente una prueba subjetiva de la resistencia del agregado a condiciones específicas de desgaste (ciclos de expansión y contracción de sustancia alojadas en los poros permeables del agregado) puede obviarse y en su lugar se recomienda utilizar parámetros obtenidos de otros ensayos, que establezcan mas fielmente las condiciones a las cuales se vera expuesto el agregado en el sistema de microsurfacing.

En resumen, el agregado utilizado para la implementación de sistemas de microsurfacing, y sistemas de espesor delgado en general, debe de ser muy resistente al desgaste y poseer una alta calidad que garantice la adecuada resistencia a las cargas de servicio a las que se vera expuesto, además de cumplir con condiciones granulométricas específicas y muy estrictas, ya que una mala distribución de tamaños en las partículas puede generar una mala conformación del esqueleto mineral que produciría mezclas no compactas, afectando la solidez del conjunto agregado-ligante. La tabla 4.2, resume los requisitos que debe cumplir el agregado mineral para poder ser utilizado en sistemas de microsurfacing, según las especificaciones de la Internacional Slurry Surfacing Association, propuestas en su boletín técnico ISSA A143.

Ensayo	Estándares			Significado del ensayo	Valores especificados
	ASTM	AASHTO	ISSA		
Sanidad	C88	T104		Durabilidad, Resistencia a la desintegración por ambiente	15-20% máx. Perdida en peso.
Abrasión L.A.	C131	T96		Dureza, resistencia a la abrasión por tráfico	30% máx. Perdida en peso
Forma y textura de partículas	D3398 D4791			Trabajabilidad, Fuerza y resistencia al deslizamiento	100% piedra triturada de buena textura
Granulometría	C136	T27		Calculo del contenido teórico de asfalto, mantener el contenido apropiado de vacíos, afecta la textura superficial y la trabajabilidad	ISSA Tipo II, III
Equivalente de arena	D2419	T176		Determina la cantidad de arcilla o finos plásticos	65 min.
Peso Unitario	C29	T19		Determinación del cambio del peso unitario del agregado al cambiar el contenido de humedad.	
Gravedad Específica y Absorción	C127 C128	T84		Determinación del contenido teórico de asfalto	
Azul de Metileno			TB 145	Determinación de la reactividad de los finos.	15% máx.*

\*Este valor representa la cantidad máxima de azul de metileno permitido para el ensayo.

**Tabla 4.2**

Ensayos comúnmente utilizados para evaluar la calidad de los agregados en Sistemas de microsurfacing según ISSA A143.



### **4.2.3 CARACTERIZACION DE LA EMULSION ASFALTICA**

La emulsión asfáltica en un sistema de microsurfacing interactúa con el agregado fino para servir como mortero, el cual adhiere las partículas de agregado grueso. Dependiendo de los requerimientos del comportamiento deseado para cada proyecto, la emulsión es elegida, esto depende de la aplicación que se le dará al sistema. El contenido de residuo asfáltico generalmente varía entre el 5.5% y el 9.5% sobre el peso seco del agregado, el asfalto en la emulsión es elegido para un punto de ablandamiento específico y propiedades generales de elasticidad. El ligante usualmente utilizado debe proporcionar excelente elasticidad pero también un desarrollo rápido de la cohesión y un alto punto de ablandamiento. El rol del emulsificante es crítico y complejo. Este debe producir una emulsión estable y fina, es decir, la emulsión debe ser capaz de cubrir el agregado equitativamente, el emulsificante reacciona con la superficie del agregado y debe ser compatible con el agregado (Ver Capítulo III, sección 3.6.3).

La emulsión asfáltica depende grandemente del emulsificante, este determina cuando la emulsión será clasificada como catiónica, aniónica o no-iónica, cada emulsificante deberá ser seleccionado para ser compatible con el cemento asfáltico utilizado, la mayoría de emulsificantes son aminas grasas, las aminas son convertidas a jabón cuando reaccionan con ácido (regulador de PH), generalmente clorhídrico, en lo que se conoce como solución jabonosa en el proceso de fabricación de la emulsión. Otros tipos de emulsificantes utilizados para producir emulsiones catiónicas no necesitan regulador de PH.

La emulsión asfáltica para sistemas de microsurfacing deberá ser una emulsión de apertura al tráfico acelerada (quick-traffic) y conformarse a los requerimientos establecidos en el estándar ASTM D 2397 para emulsiones del tipo CSS-1h. Algunas agencias de transporte en los estados unidos de América, como el Departamento de Transporte de California, establecen que "...para sistemas de microsurfacing, deben utilizarse solamente emulsiones del tipo QS, incluyendo las comúnmente conocidas CQS-1h y QS -1h". Los requerimientos establecidos en el estándar ASTM D 2397 son los mismos tanto para emulsiones CSS-1h, como para emulsiones CQS-1h, solamente que

para esta última no se requiere el ensayo de mezcla con cemento, sin embargo la misma especificación establece en su sección 6.3 que el ensayo de mezclado con cemento debe realizarse para las aplicaciones de microsurfacing, acotación que realiza también la ISSA. La emulsión a su vez debe ser una emulsión asfáltica modificada con polímero, el material que se utilice como modificante deberá ser molido o mezclado dentro del asfalto (polímero como componente del asfalto modificado) o con la solución de emulsificante previo al proceso de emulsificación (polímero como componente de la emulsión con asfalto convencional). La cantidad mínima y el tipo de polímero deberán ser determinados en laboratorio. La cantidad mínima requerida deberá basarse en el peso del asfalto requerido y por lo general se considera no menor del 3% de polímero sólido en base al peso de residuo asfáltico presente en la emulsión.

Se realizan ensayos tanto a la emulsión como al residuo asfáltico obtenido de ella primeramente para determinar si la emulsión es adecuada para utilizarse en sistemas de microsurfacing y en segundo lugar para determinar si cumple con los requerimientos establecidos en las especificaciones los cuales se muestran en la tabla 4.3. En general los ensayos para determinar las características tanto de la emulsión asfáltica a utilizar, como del asfalto que la compone, son los siguientes:

#### **4.2.3.1 Ensayo de Viscosidad Saybolt Furol. AASHTO T50-96, ASTM D244-00 (Sección 29 a la 33)**

La viscosidad es una propiedad de la emulsión que afecta su utilidad, una emulsión debe estar lo suficientemente diluida para ser aplicada uniformemente a través de los dispositivos aspersores en una máquina de proceso continuo, determinando el bombeo de la emulsión en la máquina, y a la vez debe de ser lo bastante densa para que, una vez colocada, esta no fluya por variaciones de pendiente. La viscosidad Saybolt Furol es una medida del tiempo que un volumen de asfalto, tarda en fluir por gravedad dentro de un tubo de bronce con un diámetro estándar (fotografía 4.4(A)) y debe de oscilar entre 15 a 90 segundos.



(A)



(B)

**Fotografía 4.4.**

(A) viscosímetro Saybolt Furol conforme a los requerimientos especificados en el método de ensayo ASTM D 88, (B) Probetas graduadas para ensayo de sedimentación de la emulsión según estándar ASTM D 244-00

#### **4.2.3.2 Asentamiento AASHTO T59-01, ASTM D244-00, (Sección 77 a la 83)**

En este se toman muestras en probetas de 500 mL dejándose reposar por períodos de 1 y 5 días (fotografía 4.4 (B)), luego se toman muestras de la parte superior e inferior del espécimen y se calcula el contenido de asfalto residual para cada una de ellas, la diferencia en porcentaje entre ambas muestras establece el grado de sedimentación que ha presentado la emulsión. El ensayo se utiliza como parámetro para establecer la aptitud que presenta una emulsión asfáltica para permanecer como una dispersión uniforme durante el proceso de almacenaje, y es una medida de la permanencia de la dispersión de asfalto en relación al tiempo.

#### **4.2.3.3 Análisis de tamizado (Contenido de partículas retenidas en tamiz No. 20 (850 $\mu\text{m}$ )) AASHTO T59-01, ASTM D244-00, (Sección 53 a la 58)**

Se utiliza como parámetro para establecer las características de bombeo y estabilidad de la emulsión. Este método de ensayo mide el grado en que una emulsión asfáltica puede contener partículas de asfalto u otro sólido diseminado retenido sobre el tamiz No. 20 (850 $\mu\text{m}$ ) (Fotografía 4.5). Las partículas de asfalto retenidas sobre el tamiz a menudo son causa de aglomeración de la fase dispersa. Las condiciones de almacenaje, bombeo, el manejo o manipulación y la temperatura pueden contribuir a la formación de estas partículas. Se establece un límite máximo del 0.3% de emulsión.



**Fotografía 4.5.**

Tamiz estándar No. 20 (850 $\mu\text{m}$ ) conteniendo partículas retenidas después de tamizada la emulsión, según estándar ASTM D 244-00

#### **4.2.3.4 Carga de las partículas AASHTO T59-01, ASTM D244-00 (Sección 23 a la 28)**

Este ensayo se utiliza básicamente para identificar el tipo de emulsión, ya sea catiónica o aniónica. Las emulsiones catiónicas son identificadas por la migración de las partículas de asfalto hacia un electrodo de carga negativa (Cátodo) al establecer una corriente eléctrica. En las mezclas asfálticas emulsificadas debe de tenerse cuidado de

adecuar la emulsión asfáltica a cada tipo de agregado utilizado, ya que una incompatibilidad entre ambos alteraría gravemente la adherencia asfalto-agregado.

#### **4.2.3.5 Contenido residual de asfalto AASHTO T50-96, ASTM D244-00 (Sección 11 a la 22)**

Determina la cantidad de asfalto o de asfalto modificado con polímeros en la emulsión. El valor obtenido se utiliza en la determinación del contenido teórico de asfalto basado en los requerimientos de emulsión. La cantidad residual de asfalto puede determinarse ya sea mediante un proceso de destilación (ver fotografía 4.6) o mediante evaporación. El contenido de asfalto debe de ser mayor del 62%. Este ensayo permite la determinación de las propiedades del residuo asfáltico que compone la emulsión y es un ensayo básico para conocer otras propiedades tales como: penetración, y la ductilidad. El ensayo es generalmente realizado a temperaturas que varían de 215°C a 260°C, sin embargo para emulsiones modificadas con polímero las temperaturas de destilación no deben de sobrepasar los 138°C para evitar la separación del polímero y la emulsión.



**Fotografía 4.6.**

Equipo de destilación utilizado para determinar el contenido de asfalto en una emulsión, según estándar ASTM D244

#### **4.2.3.6 Penetración del residuo de asfalto. AASHTO T49-03, ASTM D5-97**

El ensayo de penetración es utilizado como medida de la consistencia del asfalto, altos valores indican consistencias blandas, y se expresa como la distancia en décimas de milímetro, que una aguja estándar penetra de manera vertical una muestra, bajo condiciones conocidas de carga, tiempo y temperatura (fotografía 4.7).



**Fotografía 4.7.**

Equipo utilizado para la realización del ensayo de penetración según el estándar ASTM D5

#### **4.2.3.7 Punto de ablandamiento del residuo asfáltico por anillo y bola. AASHTO T 53-96, ASTM D36-97**

En este ensayo, dos discos horizontales de asfalto, moldeados en anillos de bronce, son calentados a un índice controlado en un baño líquido soportando cada uno una bola de acero (fotografía 4.8). El punto de ablandamiento es reportado como la media de la temperatura a la cual los dos discos se ablandan lo suficiente para permitir a cada bola, envolverse en el asfalto, cayendo una distancia de 25 mm. Indica las características de flujo del asfalto con respecto al cambio de temperatura.

Usado como un indicador de lo apropiado del residuo de asfalto para utilizarse en

climas calidos. El valor determinado mediante este ensayo esta en función de la temperatura, por consiguiente, este ensayo es muy importante para la determinación de la calidad de las mezclas asfálticas colocadas, puesto que el asfalto a temperaturas ambientes normales (25°C a 35°C) es un inmaterial sólido o semisólido que mediante calentamiento pasa gradualmente a un estado casi liquido. Por tanto, el valor medido como punto de ablandamiento indica la temperatura mínima a la cual el asfalto comienza a perder consistencia. La selección del ligante asfáltico para un proyecto en particular, debe de estar en función de las temperaturas locales esperadas, a las cuales estará sometido dicho material, asfaltos con bajos puntos de ablandamiento no se recomiendan para zonas con temperaturas elevadas, ya que su utilización conlleva a la susceptibilidad térmica de las carpetas.



**Fotografia 4.8.**

Equipo utilizado en el ensayo de punto de ablandamiento, según estándar ASTM D36

<b>AASHTO</b>	<b>ASTM</b>	<b>Calidad</b>	<b>Especificación</b>
AASHTO T59	ASTM D244	Residuo después de destilación	>62%
AASHTO T53	ASTM D36	Punto de ablandamiento	>135°F (57°C)
AASHTO T49	ASTM C2397	Penetración a 77°F (25°C)	40-90*
	ASTM 2170	Viscosidad cinemática a 275°F (135°C)	>650 cSt/seg.°F
AASHTO T 59	ASTM D 244	Análisis de tamiz	<0.3%
AASHTO T 59		Viscosidad a 25°C SSF	15-90 seg
	ASTM D244	Estabilidad (1 día)	< 1%
	ASTM D244	Estabilidad al almacenaje (5 días)	< 5%

\*Las condiciones climáticas deben de ser consideradas al establecer este rango.

**Tabla 4.3.**

Especificaciones para emulsiones asfálticas según ISSA A143, ASTM 6372-99

#### **4.2.4 CARACTERIZACION DEL RELLENO MINERAL.**

El relleno mineral sirve para tres propósitos principales en un sistema de microsurfacing. El relleno mineral básicamente ayuda en la reacción inicial entre el agregado y la emulsión, actúa como agente tixotrópico, ayudando en la prevención de la segregación del agregado, también ayuda al agregado para uniformizar la granulometría del material fino que pasa la malla #200.

El relleno mineral es normalmente aceptado para el diseño de mezcla en laboratorio en base al certificado de calidad del fabricante y no se le realizan ensayos adicionales de calidad. Algunas veces una muestra de relleno mineral es provista por el contratista si



esta proviene de una fuente no familiar para el diseño de la mezcla. El análisis de tamizado para el relleno mineral es realizado bajo el estándar AASHTO T37 (ASTM D546) y debe cumplir con las especificaciones establecidas en el estándar ASTM D 242-95, la cual establece los límites granulométricos que debe de cumplir el relleno mineral para mezclas asfálticas, los cuales se muestran en la tabla 4.4.

<b>Tamiz</b>	<b>Porcentaje que pasa (en peso)</b>
600 $\mu\text{m}$ (No. 30)	100
300 $\mu\text{m}$ (No. 50)	95 a 100
75 $\mu\text{m}$ (No. 200)	70 a 100

**Tabla 4.4.**

Especificaciones Granulométricas para Relleno mineral. ASTM 546-99

#### **4.2.5 CARACTERIZACION DEL AGUA DE MEZCLADO.**

El agua es el medio de mezclado para los sistemas de lechadas asfálticas y es el factor principal que determina la consistencia de la mezcla, esta es introducida a la mezcla de tres formas distintas: como humedad existente en el agregado, como agua de mezclado propiamente dicha y como uno de los dos mayores componentes de la emulsión asfáltica. Dependiendo de las condiciones ambientales predominantes y de los rangos de absorción del agregado, buenas mezclas de microsurfacing pueden ser colocadas sobre rangos límites de contenido total de humedad típicamente de entre el 4% y 12% sobre el peso seco del agregado.

Los lineamientos del ISSA establecen que toda el agua utilizada en sistemas de microsurfacing debe ser potable y compatible con la mezcla. Normalmente no se especifican parámetros para determinar la calidad del agua. Por lo general no se evalúa la calidad del agua en el proceso de diseño, sin embargo si el agua posee excesivas cantidades de minerales puede llegar a causar dificultades en el mezclado y fraguado del sistema.

#### **4.2.6 CARACTERIZACION DE LOS ADITIVOS QUIMICOS.**

Los aditivos pueden ser utilizados como acelerantes o retardantes del rompimiento y fraguado de los sistemas de microsurfacing o para mejorar la calidad y el comportamiento de la mezcla. Normalmente los aditivos químicos no se evalúan en el proceso de diseño de mezclas, sin embargo, deben tomarse muy en cuenta los efectos que estos provocan en la mezcla. Generalmente se utiliza como aditivo el emulsificante utilizado en la fabricación de la emulsión ya que se tiene una seguridad de la compatibilidad que presenta con los otros componentes de la mezcla. La cantidad de aditivo varía entre el 0% y el 2% sobre el volumen de la emulsión. La práctica común es utilizar cantidades bajas de aditivo.

### **4.3 METODOLOGIAS DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE MICROSURFACING**

Esta sección presenta las metodologías de diseño de mezclas mas conocidas, para sistemas de microsurfacing, sin indagar en la forma en que se realizan los ensayos presentados en cada una de ellas, muchos de los cuales son reproducidos y ampliados en la sección 4.4, “Ensayos para la determinación del Diseño de Mezcla”.

#### **4.3.1 MÉTODO DE LA INTERNATIONAL SLURRY SURFACING ASSOCIATION.**

El estándar de diseño ISSA A143 – *“Recommended Performance Guidelines For Micro-Surfacing”*, es el más amplio método utilizado para el diseño de microsurfacing alrededor del mundo. Sin embargo cabe destacar que este estándar mas que una metodología de diseño es, como su mismo nombre lo indica, una guía del desempeño esperado para sistemas de microsurfacing, es decir que solamente establece los requerimientos que debe cumplir una mezcla y los ensayos que deben de realizarse, mas no indaga en como debe de obtenerse dicha mezcla final. La ISSA no establece metodología alguna para establecer la mezcla final en un sistema de microsurfacing, como lo establece para sistemas de slurry seal en su boletín técnico ISSA TB 111 “Guía resumen de procedimientos para el diseño de lechadas asfálticas (slurry Seal)”. Sin embargo, puede utilizarse este estándar también como una guía para diseñar mezclas de microsurfacing, con las debidas consideraciones, dado que son aplicaciones que a pesar de su semejanza se utilizan para propósitos distintos.

Como se estableció anteriormente, primeramente deben evaluarse los materiales componentes de la mezcla y estos deben cumplir con las especificaciones establecidas en el estándar ISSA A 143 y resumidas en la tabla 4.1 y 4.2 para agregados y la tabla 4.3 para la emulsión asfáltica. Luego debe evaluarse la compatibilidad de dichos componentes y su aptitud de conformar una mezcla homogénea, estableciendo los requerimientos individuales de cada componente, se establece el contenido de agua de mezclado optimo, la cantidad de relleno mineral, aditivos y el requerimiento optimo de

asfalto en la mezcla. Una vez establecida la proporción de los materiales, debe evaluarse el comportamiento que dicha mezcla presentará ante los requerimientos de diseño establecidos por el estándar ISSA A143 y que se resumen en la tabla 4.5.

<b>No. De ensayo ISSA</b>	<b>Descripción</b>	<b>Especificación</b>
ISSA TB-139	<u>Cohesión húmeda:</u> a 30 minutos, mínimo (fraguado) a 60 minutos, mínimo (trafico)	12 Kg-cm 20 Kg-cm
ISSA TB-109	Exceso de asfalto por adhesión de arena	50 g/ft <sup>2</sup> max. (538 g/m <sup>2</sup> max)
ISSA TB-114	Ensayo de desgaste en húmedo	Pasa (90% min)
ISSA TB-100	<u>Perdida por abrasión en húmedo</u> Remojo por 1 hora Remojo por 6 días.	50g/ft <sup>2</sup> (538 g/m <sup>2</sup> ) 75 g/ft <sup>2</sup> (807 g/m <sup>2</sup> )
ISSA TB-147	<u>Desplazamiento lateral</u> Gravedad específica después de 1000 ciclos a 125 libras (56.71 kg)	5% máximo 2.10 máximo
ISSA TB-144	Clasificación de compatibilidad	Clasificado a 11 puntos, mínimo (AAA, BAA)
ISSA TB-113	Tiempo de mezclado a 25°C (77°F)	Controlable a 120 s

**Tabla 4.5.**

Especificaciones de diseño para sistemas de microsurfacing. ISSA A 143

<b>Descripción</b>	<b>Estándar</b>	<b>Especificación</b>
Tiempo de mezclado	ISSA TB 113	Controlable a 120 s.
Cohesión húmeda a 30 min	ISSA TB 139	> 120 kg.cm
Cohesión húmeda a 60 min	ISSA TB 139	> 20 kg.cm
Cohesión curada a 60oC Clasificación de compatibilidad Schulze-Breuer-Ruck	ISSA TB 145	11 puntos de clasificación (AAA, BAA)
Abrasión por rueda húmeda, Equivalente C-100 (ligante min)	ISSA TB 100 ASTM D 3910	16.4 g de pérdida en remojo de 1 h 24.5 g de pérdida en remojo de 6 días
<b>Ensayos de rueda cargada sistemas unicapa</b>		
Adhesión de arena (ligante máx.)	ISSA TB 109	538 g/m <sup>2</sup> max (50g/ft <sup>2</sup> max)
Carga confinada multicapa	ISSA TB 147A	< 10% vertical
Desplazamiento de rueda a temp. ambiente	ISSA TB 147A	< 5% lateral
Índice de incremento de gravedad específica después de la consolidación inicial.	ISSA TB 147A	< 0.02 max, 1000 ciclos de 125 lb
Densidad compactada/gravedad específica, corregidas para 2.65 ASG: 1000 ciclos de 125 lb.	ISSA TB 147A	< 2.10
Compactación, vacíos en la mezcla total	ISSA TB 147A	8-18%
<b>Ensayos de rueda de carga especímenes no confinados sistemas multicapa</b>		
Ensayo de ahuellamiento e índice de rodadera a 45°C después de consolidación	ISSA TB 147B	< 0.15 mm / 1000 ciclos
Ensayo de tensión flexional a baja temperatura 4°C, 12.7 mm, muestra de 450 g	ISSA TB 144	> 8 mm
Macrotextura compactada		> 1.00 mm

**Tabla 4.6.**

Especificaciones para sistemas de microsurfacing. ISSA TB #151.

Además de las especificaciones establecidas en el estándar ISSA A 143, se puede utilizar como estándar auxiliar, para comprobar los requerimientos de diseño de una mezcla para microsurfacing, el boletín técnico ISSA TB 151 (Ver tabla 4.6), el cual establece criterios adicionales que no contempla el ISSA A 143.

Básicamente la metodología de diseño para sistemas de microsurfacing puede dividirse en tres etapas de diseño: (a) primeramente se establecen las características deseadas de mezclado y aplicación, tiempo de apertura al tráfico y desarrollo de la cohesión (tiempo de fraguado), (b) Establecimiento del contenido óptimo de asfalto en la mezcla, (c) Estimación del comportamiento a largo plazo del sistema.

#### **4.3.1.1 Características de aplicación y mezclado**

Los sistemas de microsurfacing son muy susceptibles a los cambios en las características de sus materiales componentes, por lo que cualquier cambio en los componentes de la mezcla varía el desempeño de la misma, es por ello que un número significativo de especímenes son elaborados y sujetos a ensayos empíricos. Estos envuelven la preparación de varias mezclas de prueba fabricadas con variaciones en el contenido de emulsión asfáltica, agua de mezcla, relleno mineral y aditivos para determinar que efectos producen estos cambios en las características de mezclado, rompimiento y fraguado en orden respectivo, para asegurar un buen control del sistema en campo. Los ensayos de mezclado son realizados para determinar si: (1) los componentes primarios, emulsión asfáltica y agregado mineral, son compatibles (por ejemplo que presenten una buena adhesión entre ellos); (2) si se necesita relleno mineral o incluir un aditivo controlador, y en que concentraciones se necesitarían; y (3) los contenidos de agua de mezcla para los cuales pueden obtenerse mezclas homogéneas y con buena consistencia.

Después que la consistencia de la mezcla ha sido determinada mediante un ensayo inicial (ISSA TB 113), se preparan mezclas de prueba para determinar el contenido óptimo de relleno mineral en base a los valores obtenidos en el ensayo de cohesión húmeda (ISSA TB 139). Estas mezclas se preparan con contenidos de emulsión asfáltica

constantes, incrementando en 0.25% ó 1% el contenido de cemento Pórtland o limo hidratado respectivamente. Luego que el contenido deseado de relleno mineral ha sido establecido, se preparan nuevas mezclas de prueba con contenidos de relleno mineral constante y variaciones en el contenido de emulsión asfáltica, en variaciones del 0.5% al 1% (Si inicialmente se ha establecido un contenido teórico de asfalto se realizan variaciones de +/-0.5, +/- 1%, +/- 1.5%, +/- 2% sobre el contenido teórico establecido).

Algunas veces, en esta etapa, se recomienda verificar el PH del agua exudada de la mezcla utilizando papel tornasol. Un cambio de PH de 2 a 10 de la emulsión finalizada y la mezcla inmediatamente mezclada y curada es deseable para sistemas de microsurfacing. Este ensayo se puede realizar tanto en laboratorio como en campo y asegura que se esta produciendo una reacción química y que la mezcla rompe y fragua en periodos de tiempo deseables. Las mezclas clasificadas como aceptables son ensayadas mediante el ensayo de cohesión húmeda el cual es principalmente utilizado para clasificar la mezcla en términos de que tan acelerado se presenta el desarrollo de la cohesión para poder abrir el sistema al tráfico. El ensayo de cohesión húmeda puede también utilizarse para determinar el requerimiento óptimo de relleno mineral en la mezcla.

#### *1. Estimación del requerimiento teórico de asfalto. ISSA TB 118*

La estimación del contenido teórico de asfalto para un sistema de microsurfacing puede realizarse mediante el método del área superficial para un recubrimiento de 8  $\mu\text{m}$ . Calculando la cantidad de asfalto necesaria para cubrir el área superficial que posee el agregado, área que esta relacionada con las características granulométricas de las partículas. El estándar ISSA TB #118<sup>36</sup> (Ver ensayo No.1), describe el procedimiento a seguir y para lo cual se necesita conocer tanto la distribución de tamaño de partículas del agregado, el valor de equivalente centrifugado de kerosén (estimación de la absorción de material bituminoso para agregado mineral), la gravedad específica y gravedad específica aparente del agregado y el contenido residual de asfalto presente en la emulsión.

La determinación del contenido teórico de asfalto mediante el boletín técnico ISSA TB 118 requiere conocer previamente la aptitud que presenta el agregado a absorber material bituminoso, determinación que se realiza mediante el ensayo de Equivalente Centrifugado de Kerosén, sin embargo este ensayo no es muy utilizado en nuestro medio por lo que la estimación inicial de asfalto requerido en la mezcla deberá establecerse mediante experiencia del diseñador, o mediante el establecimiento de contenidos arbitrarios de asfalto teórico siempre que estos se encuentren dentro de los rangos establecidos por la ISSA según la granulometría del agregado (entre 5.5 %–10.5% de asfalto residual para granulometrías tipo III).

*2. Realización de mezclas de prueba para determinar los requerimientos de los componentes de la mezcla. ISSA TB 113.*

Como primer paso para el diseño de mezclas de microsurfacing, se realizan pequeñas mezclas de prueba que permiten establecer las proporciones iniciales de cada uno de los componentes de la mezcla, para poder llegar al proporcionamiento óptimo con el menor número de pruebas posibles. El estándar ISSA TB 113 (Ver ensayo No. 3) describe la manera en que se fabrican mezclas de prueba de 100 g y 200 g, para establecer cantidades iniciales de relleno mineral, agua y aditivos que luego serán determinadas de manera mas precisa mediante otros ensayos. Las mezclas se realizan variando el contenido de asfalto, relleno mineral y agua, cada combinación es luego examinada para determinar sus características de estabilidad y adhesividad interna y tiempo de mezclado, no debiendo sobrepasar, este último, los 120 segundos de mezclado. Las mezclas que presenten las mejores características y cumplen con el tiempo de mezcla establecido, son luego ensayadas para comprobar la compatibilidad de los componentes y será con dichas mezclas con las que se iniciara la indagación final del proporcionamiento adecuado del sistema. Siempre se debe de verter parte de la mezcla sobre recipientes plásticos que permita indagar además del tiempo de mezclado el tiempo aproximado de curado y fraguado que presenta cada mezcla elaborada, la fotografía 4.9 muestra la forma en que se realizan dichas mezclas de prueba.





**Fotografía 4.9.**

Determinación del proporcionamiento inicial mediante mezclas de prueba

*3. Determinación de la compatibilidad inicial de los componentes de la mezcla.  
ISSA TB 115.*

Los boletines técnicos desarrollados por la ISSA establecen diferentes criterios para poder determinar de manera cualitativa la compatibilidad de los materiales que conforman una mezcla para sistemas de lechadas asfálticas, cada una de las cuales determina características particulares de la mezcla. El boletín técnico ISSA TB 115 (Ver ensayo No.4), establece si los materiales componentes de la mezcla pueden combinarse para formar una masa suave y homogénea y si no se presentan signos de segregación o de falta de adherencia. Este estándar se auxilia de los boletines técnicos ISSA TB 113, ISSA TB 114, ISSA TB 149. Estos ensayos se realizan generalmente al final de esta etapa de diseño, sin embargo por ser ensayos de fácil y rápida realización pueden realizarse antes de realizar el ensayo de cohesión a fin de no ensayar sistemas incompatibles.

Especímenes moldeados obtenidos del ensayo ISSA TB 113 son cortados a la mitad y en las aristas de corte se observa cualquier indicio de migración de asfalto o agregado, de igual forma se examina su superficie por cualquier indicio de exceso de asfalto. Si se observan señales de falta de uniformidad en la mezcla, se moldean especímenes en vasos plásticos los cuales son cortados a la mitad, determinándose el contenido de

asfalto contenido en cada parte del espécimen y estableciendo la diferencia que existe entre ambas mitades.

Los estándares ISSA TB 114 “Perdida de recubrimiento en húmedo” (Ver ensayo No. 5), es utilizado junto con el ISA TB 149 “Ensayo de Hervido” (Ver ensayo No. 6), como métodos auxiliares de comprobación de compatibilidad, El ensayo de perdida de recubrimiento en húmedo se realiza sobre especimenes curaos a 60°C que son sumergidos en agua en ebullición por un período de 3 minutos para determinar la adhesión del asfalto sobre el agregado. Una retención del 90% del recubrimiento de asfalto es considerada satisfactoria, entre 75 y 90% se considera aceptable y menos del 75% de recubrimiento se considera insatisfactorio. El ensayo de Hervido es similar al anterior, solamente que en este se determina la facultad de la mezcla a mantenerse como un cuerpo sólido uniforme sin presentar desintegración después de un periodo de ebullición. Ambos ensayos sirven como un indicador de la compatibilidad inicial del sistema.

Otro ensayo utilizado para determinar la compatibilidad de los componentes bajo condiciones de humedad es el ensayo de clasificación Schulze-Breuer (ISSA TB 144), sin embargo este ensayo es generalmente utilizado al final de la etapa de diseño para revisar el desempeño esperado del sistema y se describe más adelante en la determinación del desempeño a largo plazo.

#### *4. Determinación del contenido óptimo de relleno mineral, tiempo de fraguado y apertura al tráfico. ISSA TB 139*

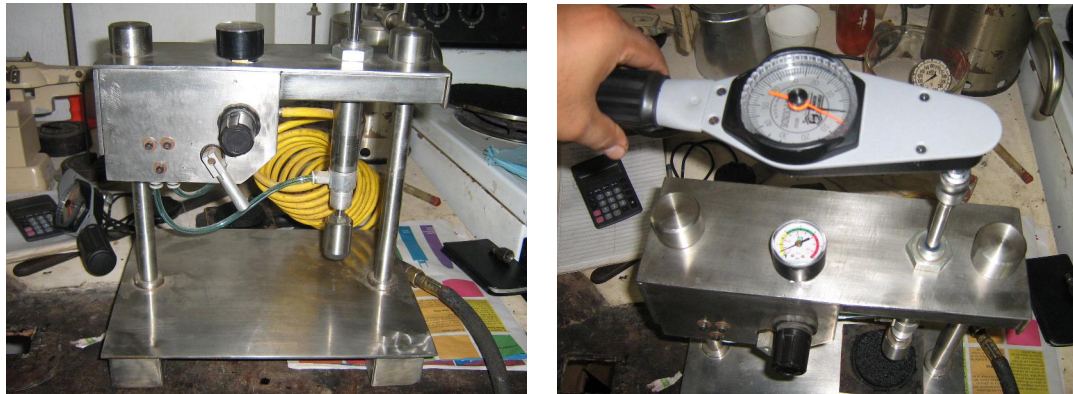
La mezcla debe ser clasificada como un sistema de fraguado acelerado. Dicha clasificación se realiza en base al tiempo en que la mezcla fragua y cura, lo cual se determina mediante el ensayo modificado de cohesión húmeda descrito en el estándar ISSA TB 139 (Ver ensayo No 7).

Se utiliza un dispositivo que mide el torque requerido para partir en dos especimenes de 6 a 8 mm de espesor por 60 mm de diámetro, bajo la acción de un cilindro rotativo de

neopreno de 32 mm de diámetro cargado con una presión de 200 kPa (Ver fotografía 4.10). La medición del torque se realiza a intervalos adecuados de tiempo que pueden ser de 20, 30, 60, 90, 150, 210 y 270 minutos después de moldeados.

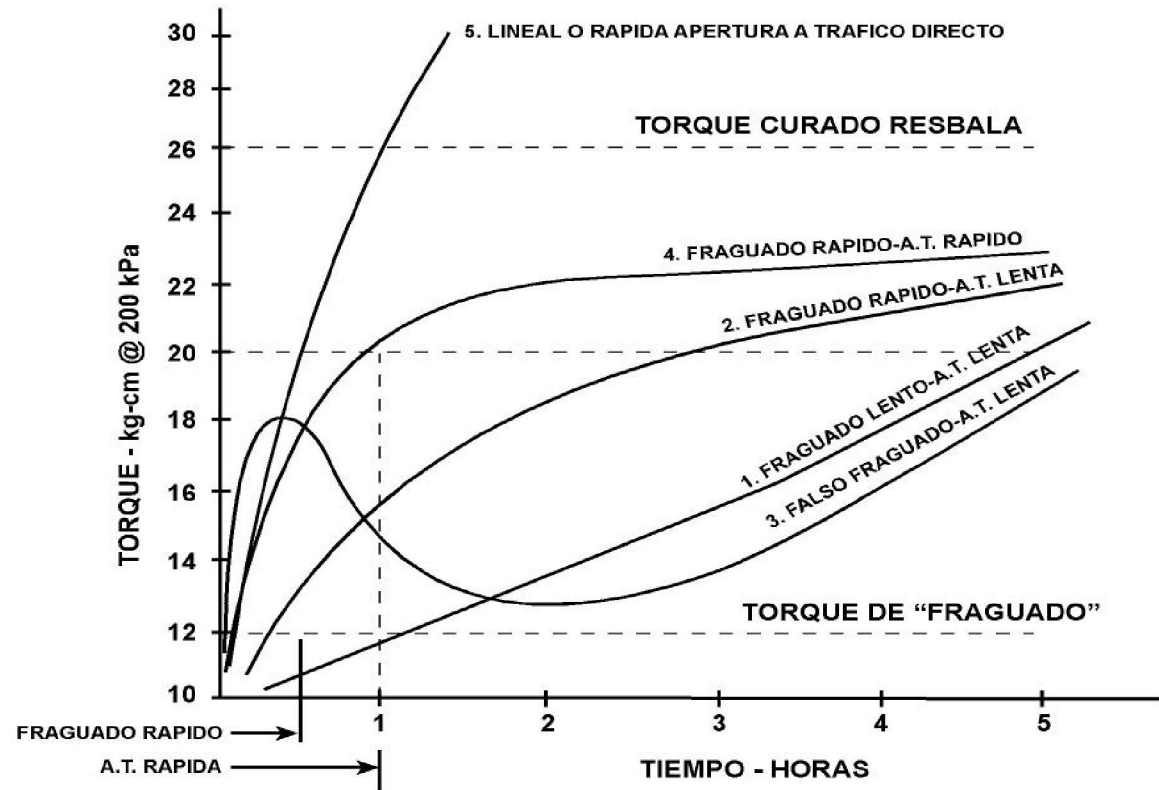
Los datos obtenidos se plotean para formar una gráfica torque vs tiempo que permita visualizar el comportamiento de la mezcla. La gráfica obtenida es luego comparada con la carta de clasificación de la ISSA mostrada en la figura 4.2. El tiempo de fraguado es definido como el lapso de tiempo después de vaciado, cuando un sistema de microsurfacing no puede ser remezclado y vuelto a una mezcla homogénea.

Al examinar la carta de clasificación se observa que en un sistema de fraguado rápido una cohesión al torque de 12-13 kg-cm (1.2 - 1.3 N.m) debe ocurrir en un lapso de 30 minutos y una cohesión al torque de 20-21 kg-cm (2.0 - 2.1 N.m) en un lapso de 60 minutos. El ensayo es utilizado para identificar sistemas de fraguado acelerado y rápida apertura al tráfico. Todos los sistemas de microsurfacing deben diseñarse como sistemas de fraguado acelerado y rápida apertura al tráfico.



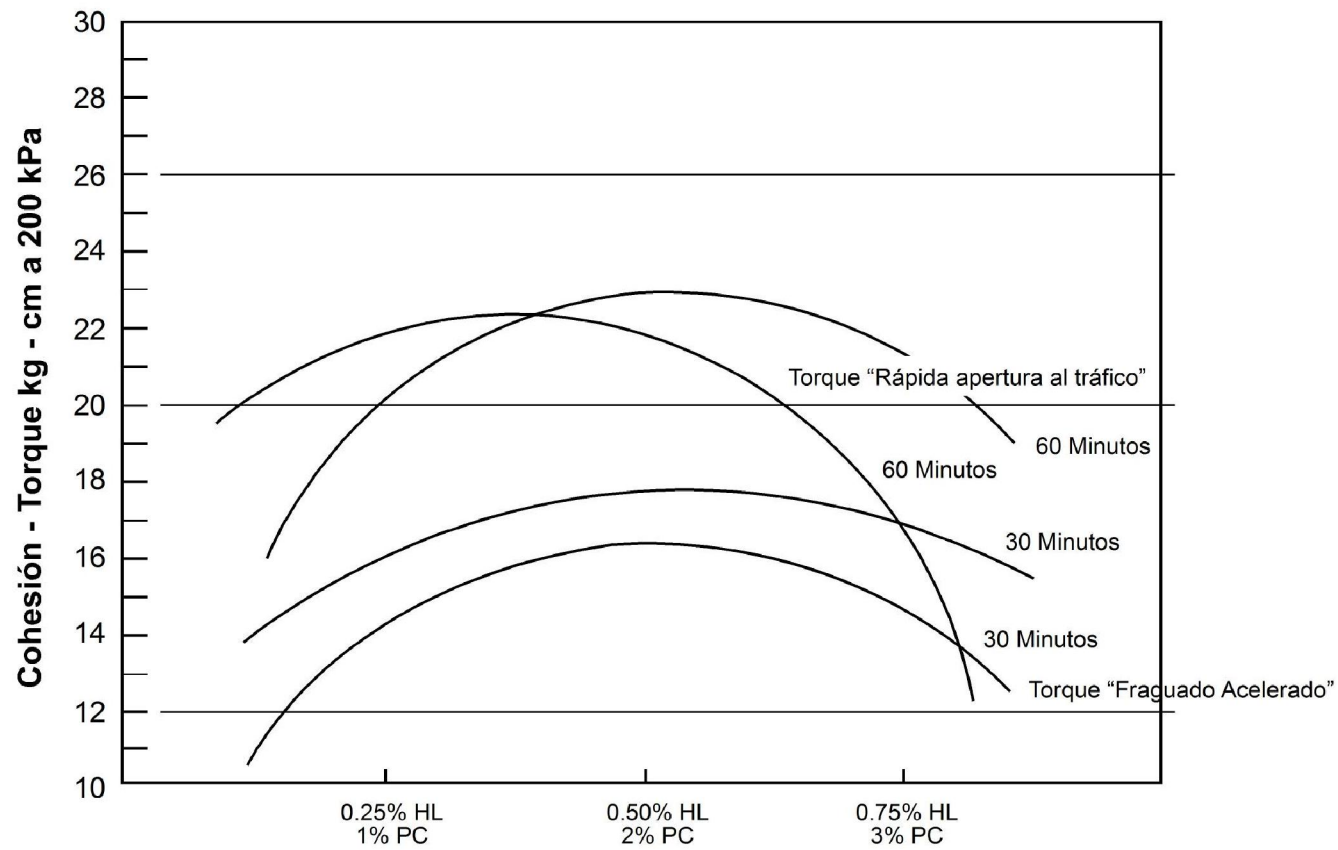
**Fotografía 4.10.**

Cohesímetro utilizado para determinar el tiempo de fraguado y apertura al tráfico y los requerimientos de filler, según estándar ISSA TB 139



**Figura 4.2.**

Carta de clasificación para tiempos de fraguado y apertura al tráfico para sistemas de Microsurfacing mediante el ensayo de cohesión húmeda.



**Figura 4.3.**

“Curva Benedict” utilizada para la determinación del requerimiento óptimo de relleno mineral en la mezcla, utilizando el estándar ISSA TB 139

Los resultados obtenidos mediante el ensayo de cohesión húmeda, se utilizan también para determinar el requerimiento óptimo de relleno mineral, para lo cual se utiliza la “curva Benedict” mostrada en la figura 4.3, en la cual se plotean los valores de cohesión obtenidos para diferentes cantidades de relleno mineral. El contenido óptimo de relleno mineral es aquel valor que proporciona el valor de cohesión más alto, los cambios en la forma de la curva muestra lo sensible que es el sistema a los cambios en los contenidos de relleno mineral. Esto ayuda en la determinación de los rangos de relleno mineral que serán aceptables en los resultados del diseño.

#### **4.3.1.2 Determinación del contenido óptimo de asfalto**

En laboratorio generalmente se utilizan dos tipos de procedimientos para establecer el contenido óptimo de ligante asfáltico en la mezcla: (1) el procedimiento ISSA, mediante la determinación del contenido mínimo de asfalto en la mezcla “ensayo de abrasión en pista húmeda” (ISSA TB 100) y la determinación del contenido máximo de asfalto “ensayo de la rueda cargada y adhesión de arena” (ISSA TB 109), y (2) El ensayo Marshall modificado. La ISSA recomienda utilizar el ensayo Marshall para corroborar los resultados obtenidos mediante su procedimiento convencional y para verificar el contenido de asfalto en sistemas en donde el asfalto requiera de períodos largos de tiempo para adherirse al agregado.

##### *1. Determinación del contenido mínimo de asfalto. ISSA TB 100.*

El método del WTAT mide la pérdida de calidad del sistema de microsurfacing bajo condiciones de abrasión húmeda (Ver ensayo No. 9). Y sirve como parámetro para establecer la resistencia a la abrasión por cargas de tráfico que presentara el sistema, sirve además para la determinación del contenido mínimo de asfalto que debe poseer el sistema para proporcionar una cohesión suficiente que permita obtener el menor desgaste posible.

Un espécimen curado de 6.0 mm de espesor y 280 mm de diámetro que ha permanecido inmerso en agua a 25°C por un periodo de 1 hora o de 6 días, es sometido a

abrasión mediante un tubo de caucho cargado con 2.3 Kg, por un periodo de 5 minutos (Fotografía 4.11). El espécimen desgastado es secado a 60°C y pesado. El resultado del ensayo es la pérdida en peso del espécimen expresada en gramos por metro cuadrado (o pie cuadrado) y este es registrado como el valor de desgaste, también denotado como pérdida WTAT. Para que un diseño sea aceptado, La pérdida WTAT debe ser menor a 807 g/m<sup>2</sup> (75 g/ft<sup>2</sup>). El contenido de asfalto que resulte para estos valores es el considerado como mínimo para la mezcla. Por lo general el ensayo para una inmersión de 6 días no es requerido, sin embargo este debe de considerarse cuando se tiene condiciones severas de humedad y abrasión y algunas especificaciones utilizan este valor como límite en lugar del proporcionado para inmersiones de 1 hora.



**Fotografía 4.11.**

Equipo utilizado para la determinación de la pérdida por abrasión en pista húmeda, según estándar ISSA TB 100

## *2. Determinación del contenido máximo de asfalto. ISSA TB 109*

La determinación del contenido máximo de asfalto que una mezcla debe poseer se realiza mediante el ensayo de la rueda cargada, descrito en el estándar ISSA TB 109 (Ver ensayo No 8) y el cual se recomienda solamente para sistemas expuestos a altas cargas de tráfico. En este ensayo, especímenes de 50 mm de ancho por 375 mm de longitud con espesores que varían según la granulometría utilizada (generalmente 25% mayor del tamaño máximo del agregado a utilizar) es compactado mediante 1,000 ciclos de 57 Kg de carga a una temperatura de 25°C (Fotografía 4.12), al final de la compactación, el espécimen es lavado y secado a 60°C, para luego ser pesado. Una cantidad de arena graduada es colocada sobre el espécimen y el ensayo de carga es repetido para un número de ciclos específicos (generalmente 100 ciclos extra). El espécimen es removido y pesado, el incremento en peso debido a la adhesión de arena es registrado y sirve como medida indirecta de la cantidad de asfalto en exceso dentro de la mezcla.

El primer parámetro medido es el punto de ceñido (punto en el cual se nota un sonido pegajoso y se observa un brillo visible en la superficie del espécimen) Sin embargo, el punto de ceñido no es utilizado como un parámetro de diseño.

Para que un diseño de mezcla sea aceptable la adhesión de arena por rueda cargada debe ser menor de 538 g/m<sup>2</sup> (50 g/ft<sup>2</sup>). Es de notar que el valor de adhesión de arena es función del número de ciclos (usualmente 1,000 ciclos condicionados y 100 para este ensayo) y de la carga (usualmente 57 kg 125 lbs mas el peso de la armazón). El contenido máximo de asfalto será aquel para el cual se alcance el límite máximo permitido de adhesión de arena (538 g/m<sup>2</sup>).





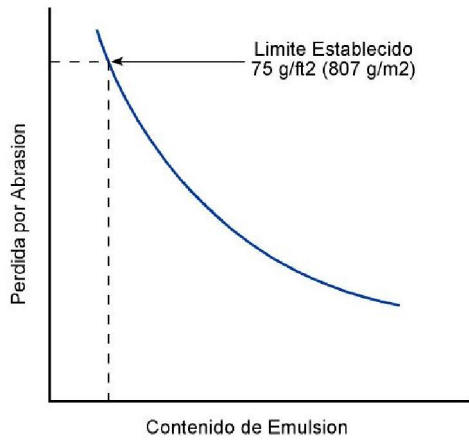
**Fotografía 4.12.**

Equipo utilizado para simular las cargas de tráfico y de compactación.

Ensayo de rueda cargada ISSA TB 109

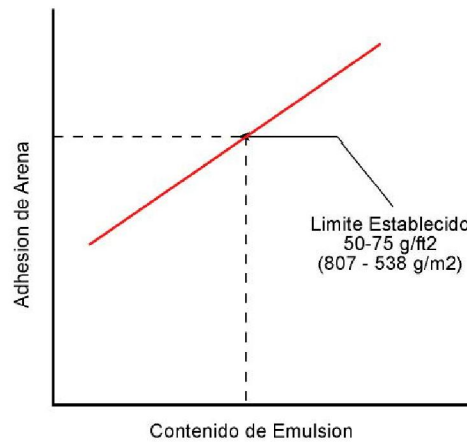
### *3. Determinación del Contenido óptimo de ligante asfáltico.*

El porcentaje óptimo de emulsión o contenido de ligante óptimo es encontrado graficando los resultados obtenidos del ensayo de abrasión húmeda (ISSA TB 100) y del ensayo de la rueda cargada y adhesión de arena (ISSA TB 109). La figura 4.4 y 4.5 muestran graficas típicas de los resultados. El contenido óptimo de ligante esta próximo a la intersección de las dos líneas graficadas, este valor es ajustado de acuerdo a las condiciones de tráfico esperadas (Ver figura 4.6). Es de notar que se requiere de un diseñador con experiencia para selecciona el contenido óptimo de ligante y este debe basarse en conocimientos y experiencias de campo. Esta es la debilidad del proceso actual de diseño.



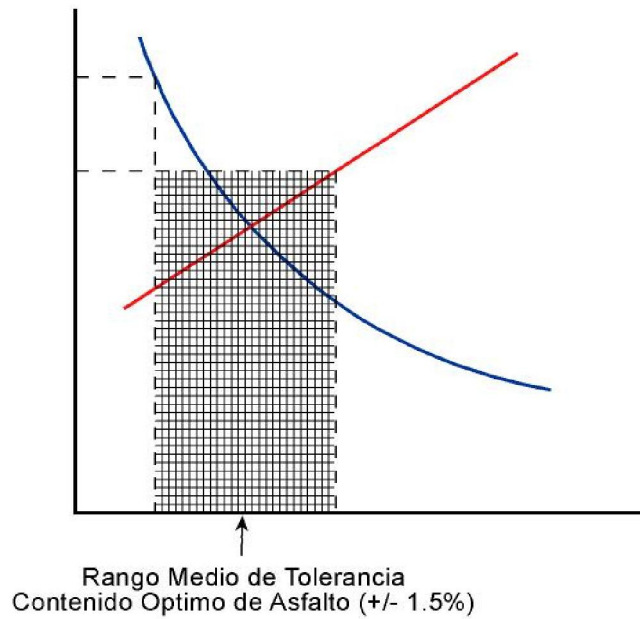
**Figura 4.4**

Contenido Mínimo de Ligante por ensayo  
WTAT



**Figura 4.5**

Contenido Máximo de Ligante por ensayo  
LWT



**Figura 4.6.**

Contenido Optimo de Ligante, rango de tolerancia

#### *4. Determinación del Contenido óptimo de ligante asfáltico mediante método Marshall modificado.*

El segundo método más comúnmente utilizado para determinar y/o confirmar el contenido de asfalto óptimo, es utilizando los criterios establecidos para mezclas asfálticas en caliente. Para mezclas en frío que utilizan emulsiones asfálticas modificadas con polímero, el ensayo de estabilidad Marshall ha sido modificado para tener en cuenta el secado del espécimen al aire y a bajas temperaturas (al menos 3 días de curado al aire, 18-20 horas de secado en un horno a 60°C antes de la compactación a 135°C). Las mezclas son usualmente compactadas con 50 golpes por lado.

Bajo este procedimiento de ensayo, se fabrican varios especímenes para variaciones de agregado y contenido de emulsión. El contenido de asfalto se selecciona para proveer un contenido de vacíos total en la mezcla arriba del 4.5 ó 5.5 %. Los especímenes compactados son ensayados para obtener los valores de Gravedad Específica Bula (ASTM D 2726 ó AASHTO T166), estabilidad y flujo. Finalmente el contenido óptimo de asfalto se determina utilizando los resultados de estos ensayos. Para las aplicaciones de espesor delgado como los microsurfacing, la estabilidad no es considerada como factor primario en la determinación del contenido de asfalto óptimo.

La aplicabilidad del método Marshall en sistemas de Microsurfacing es cuestionable. Se utilizan una serie de especímenes con varios contenidos de asfalto, los cuales son secados y recalentados a 135°C y compactados para un bajo contenido de vacíos. Los sistemas de microsurfacing ni necesitan alcanzar estas temperaturas ni ser compactada para alcanzar bajos contenidos de vacíos.

##### **4.3.1.3 Evaluación del desempeño a largo plazo**

###### *1. Determinación de la estabilidad del sistema. ISSA TB 147*

La estabilidad de un sistema de microsurfacing se mide en base a las deformaciones plásticas que este pueda tener y a los desplazamientos y deformaciones laterales que

puedan presentarse, para lo cual se utiliza el estándar ISSA TB 147 (Ver ensayo No. 10). Este método cubre tres procedimientos de ensayo, los cuales miden la cantidad de compactación y las características de desplazamiento que presenta la mezcla, además de establecer criterios para aplicaciones tanto monocapa como multicapa (relleno de rodaderas). Los ensayos descritos en el estándar son: El ensayo de rueda cargada LWT, ISSA TB 109; El ensayo británico de rueda cargada y el ensayo modificado LAI de rueda cargada. Es de enfatizar que el estándar no indica si el diseñador puede utilizar solo uno de los ensayos o si los tres ensayos son requeridos.

- a. *Ensayo de rueda cargada:* Se realiza de la misma manera que al encontrar el contenido máximo de asfalto, en adición al procedimiento regular, el ancho y alto de los especímenes es medido antes y después de 1,000 ciclos de compactación LWT, calculándose el desplazamiento vertical y lateral. La densidad antes y después de la compactación debe ser calculada también. Se ha encontrado deformaciones verticales arriba del 10% no son satisfactorias para aplicaciones multicapa.
  
- b. *Ensayo británico de la rueda cargada modificada:* Fue originalmente desarrollada para ensayar la resistencia que presentaban las mezclas asfálticas en caliente para formar rodaderas. Similar al ensayo LWT, la carga es aplicada a través de una rueda, sin embargo en el ensayo británico, la rueda es larga y estacionaria (203 mm o 8 in de diámetro) y el ejemplar de ensayo es movido de un lado a otro bajo la goma de presión. La penetración de la rueda dentro de la mezcla es medida y graficada versus el tiempo. El ritmo de penetración de la rueda cargada es calculado y registrado en mm/hr. El ensayo es realizado a 45°C(113°F) y la carga en la rueda es aproximadamente igual a la utilizada en el ensayo LWT. 11.4 kg/cm (63.8 lb/in) del ancho del neumático. Para mezclas no compactadas, el ensayo es realizado por una hora o 2520 ciclos. Para ejemplares precompactados, el ensayo se realiza por 45 minutos o 1890 ciclos. El desplazamiento vertical menor del 10% y el desplazamiento lateral menor del 5% son considerados satisfactorios para aplicaciones multicapa. Una gravedad específica al compactar menor de 2.1 es aceptable.

- c. *Ensayo modificado LAI de la rueda cargada:* Es una modificación del LWT que utiliza una manguera de aire con presión variable entre la rueda cargada y el espécimen de prueba. Y es realizada a una temperatura de 40.5oC (105oF). La presión en la manguera es de 689 kPa (100 psi). La profanidad de la rodadera es medida después de 1000 ciclos de carga.

2. *Ensayo de clasificación de sistemas de microsurfacing. ISSA TB 144*

Este ensayo es utilizado para determinar la compatibilidad relativa entre el agregado, relleno mineral de una granulometría específica y el residuo de emulsión asfáltica.

El resultado final es un valor clasificatorio o un sistema de clasificación para la adhesión (en porcentaje de recubrimiento), pérdida por abrasión (en gramos perdidos) y características de cohesión a altas temperaturas (absorción, en gramos absorbidos y la integridad en porcentaje de masa retenida) de un espécimen de combinación específica filler-emulsión que luego es comparado con los valores de ensayo de referencia.

El sistema de clasificación se muestra en la Tabla 4.7. Para que un diseño sea aceptable, la mezcla debe lograr 11 puntos en la escala como mínimo (ser AAA o AAB).

<b>Grado del rango Por cada ensayo</b>	<b>Puntaje del rango Para cada ensayo</b>	<b>Perdida por abrasión (gramos)</b>	<b>Adhesión 30 minutos de ebullición (% cubierto)</b>	<b>Integridad 30 minutos ebullición (% retenido)</b>
A	4	0-0.7	90-100	90-100
B	3	0.7-1.0	75-90	75-90
C	2	1.0-1.3	50-75	50-75
D	1	1.3-2.0	10-50	10-50
E	0	>2.0	0	0

**Tabla 4.7.**

Sistema de Clasificación de compatibilidad según estándar ISSA 144

#### **4.3.2 METODOLOGIA DE LA AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. ASTM D6392-99**

En el primer párrafo de los alcances<sup>6</sup> de la práctica ASTM D 6392, se establece que esta practica de diseño: “. Se escribió como una guía y debe ser utilizada como tal”. El uso final de las especificaciones debe de ser adaptada conforme a los requerimientos del trabajo y de uso. Esta declaración indica que la colocación segura y el subsiguiente comportamiento en campo de una mezcla que cumple con todos los criterios de diseño en el laboratorio no puede ser garantizada. El diseñador tiene la libertad y responsabilidad de hacer ajustes al diseño para cada situación individual. Esta es una de las mayores limitaciones que comparten todos los métodos de diseño para sistemas de slurry seal y microsurfacing.

La figura 4.7 ilustra los pasos primordiales del proceso de diseño de la ASTM para sistemas de Microsurfacing, los componentes de la mezcla (agregados, material de relleno y emulsión asfáltica) son seleccionados primeramente. El agregado debe de ser piedra triturada en su totalidad con 100% del agregado base tan largo como el tamaño máximo en la granulometría a utilizarse. Los requerimientos del agregado son exactamente los mismos que los establecidos por la por las especificaciones ISSA y resumidos en la tabla 4.1 y 4.2. De la misma manera, las características de la emulsión deberán acoplarse a las establecidas para una emulsión CSS-1h, según la especificación ASTM D 2397.

El estándar ASTM D 6392, no establece un procedimiento que de una guía de los pasos que deben seguirse para poder encontrar una mezcla optima para sistemas de microsurfacing, sino que solamente se limita a especificar los métodos de ensayo que deben de realizarse, la forma en que estos deben de realizarse y los valores limites establecidos para considerar un sistema de microsurfacing como adecuado. Sin embargo, no se encuentra una guía de cómo formular las mezclas de prueba que serán ensayadas y la forma en que se establece la proporción exacta de todos los materiales componentes de la mezcla, lo cual queda a criterio y experiencia del diseñador.

---

6 Numeral 1.1. Sección 1. ASTM D 6372-99

Los ensayos establecidos en el procedimiento de la ASTM, básicamente son los mismos que los descritos en las especificaciones de la ISSA, y en la mayoría de los casos se basan en los boletines técnicos respectivos. Por lo que ambos procedimientos presentan muchas similitudes.

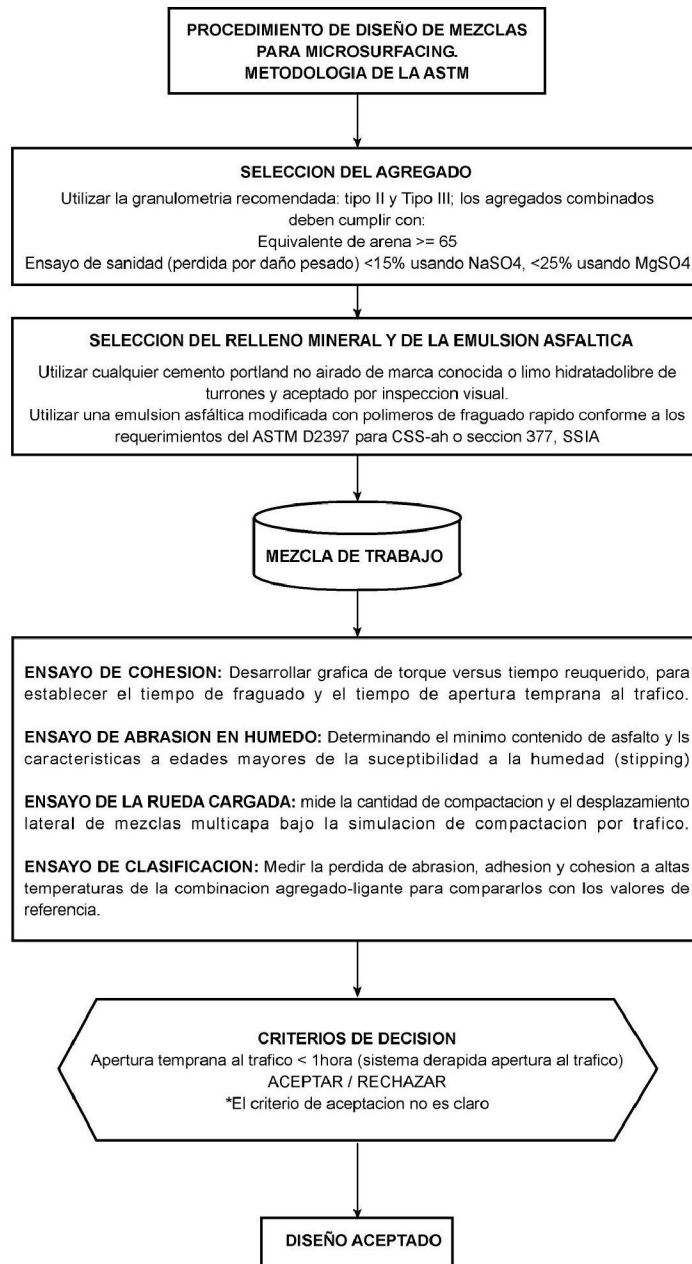
Los ensayos para establecer la mezcla de diseño, recomendados por el método de la ASTM son los siguientes: (1) Ensayo de cohesión modificado (ISSA TB 139), (2) El ensayo de pérdida de abrasión en húmedo (ISSA TB 100), (3) Ensayo de la rueda cargada (ISSA TB 109), (4) Ensayo de clasificación (ISSA TB 144). Los cuales fueron descritos anteriormente.

#### **4.3.3 MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLAS DEL INSTITUTO DE TRANSPORTE DE TEXAS (TTI)**

Este método fue desarrollado por el Instituto de Transporte de Texas (Texas Transportation Institute) en 1994 luego de una evaluación de lo repetitivo de los ensayos convencionales par mezclas recomendados por las guías de la ISSA para el diseño de microsurfacing.

El estudio del TTI encontró que la fiabilidad de determinar la calidad de la mezcla de microsurfacing con los procedimientos establecidos por la ISSA era cuestionable. Como resultado, se desarrollo un nuevo método de diseño de mezclas, sin embargo, se siguen utilizando muchos de los métodos de ensayo establecidos en los estándares de la ISSA con algunas modificaciones, con la diferencia que se establece una forma mucho mas clara de proporcionar todos los componentes de la mezcla, procedimiento que se describe en la especificación TTI Tex-240-F.

En este método, los componentes de la mezcla son ensayados primeramente. El agregado a de conformarse a la granulometría Grado 1 o Grado 2 que se muestra en la tabla 4.8, es de notar que la granulometría es un tanto diferente que la utilizada en los métodos de la ISSA y la ASTM.



**Figura 4.7.**

Flujo grama de Procedimiento de Diseño de la ASTM para  
Sistemas de Microsurfacing



De igual manera los demás requisitos para el agregado mineral y para las emulsiones asfálticas a utilizar, presentan pequeñas diferencias:

- a) Equivalente de arena >70
- b) Sanidad menor del 25% utilizando  $MgSO_4$
- c) El relleno mineral puede ser cemento Pórtland de cualquier marca reconocida o Cal hidratada.
- d) Mínimo de 3% de polímero por peso
- e) Viscosidad, saybolt Furol a 25°C (77°F) 20 a 100 segundos.
- f) Ensayo de estabilidad al almacenaje, por un día, 1% máximo.
- g) Ensayo de carga de partículas: Positivo
- h) Ensayo de tamizado. 01% máximo
- i) Aceite destilado por volumen de emulsión, 0.5% máximo
- j) Residuo del 62% mínimo
- k) La base del cemento asfáltico debe de cumplir con los requisitos de un AC-20

Tamaño de Tamices		Porcentaje que pasa por peso		Tolerancias %
Pulgadas	Milímetros	Grado 1	Grado 2	
3/8	9.50	100	100	+/- 5%
No. 4	4.75	98-100	99-100	+/- 5%
No. 8	2.36	75-90	45-65	+/- 5%
No. 16	1.18	50-75	25-46	+/- 5%
No. 30	0.60	30-50	15-35	+/- 3%
No. 50	0.30	18-35	10-25	+/- 3%
No. 100	0.15	10-21	7-18	+/- 3%
No. 200	0.075	5-15	5-15	+/- 2%

**Tabla 4.8.**

Granulometría de Agregados según el método TTI

#### **4.3.3.1 Estimación del contenido Teórico de ligante. ASTM D5148-97**

Se utiliza el estándar ASTM D 5148 para establecer el valor de equivalente centrifugado de kerosén (CKE) que permita estimar el contenido óptimo de cemento asfáltico residual (RAC) por un sistema de microsurfacing dado. Se recomienda que las mezclas de prueba a ensayar contengan los siguientes valores de RAC óptimo +/- 2%, +/- 1%, +/- 0.5%.

#### **4.3.3.2 Ensayo de Mezclado. TTI Tex-240-F, TTI Tex-230-F.**

Este ensayo hace uso de mezclas de prueba para identificar el material que puede ser mezclado a temperatura ambiente por lo menos por 120 segundos, y está basado en el ISSA TB 102. Mediante este procedimiento se establece el contenido mínimo de agua de mezclado para producir una mezcla que pueda manejarse por un tiempo de 120 segundos. Se recomienda realizarse para cada contenido de ligante con diferentes cantidades de relleno mineral (0.5, 1.0, 1.5, 2%). El contenido de agua varía desde un valor necesario para obtener una mezcla cremosa a valores cada vez más bajos reduciendo el contenido de agua en intervalos del 1% para obtener el mínimo requerimiento de agua. Si la mezcla no puede ser mezclada por 120 segundos sin romper, el diseño es rechazado.

#### **4.3.3.3 Determinación del contenido óptimo de agua. TTI Tex-240-F**

Este ensayo es utilizado para seleccionar el contenido óptimo de agua, el ensayo debe de realizarse para todas las combinaciones de ligante asfáltico usados en el ensayo de mezclado. El contenido óptimo de agua es seleccionado 2% por debajo del contenido de agua que proporciona una separación de por lo menos 5 mm entre fluidos y sólidos. El contenido óptimo de agua debe ser mayor que el mínimo obtenido del ensayo de mezclado. Si es menor el diseño es rechazado. Se utiliza el mismo concepto que el utilizado en el estándar ISSA TB 106, solamente que se realiza sobre un plano inclinado a 15°.

#### **4.3.3.4 Determinación del contenido óptimo de relleno mineral. TTI Tex-240-F, ISSA TB 139**

Ensayo de Cohesión Modificado. El ensayo es realizado para cada combinación de contenido de ligante asfáltico/agua y para los siguientes contenidos de relleno mineral 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.50, 2.00 y 2.50. Para cada combinación de ligante/agua, el diseñador secciona el contenido mínimo de relleno mineral necesario para obtener una cohesión al torque > 12 kg-cm a 30 minutos y >20 kg-cm a 60 minutos.

#### **4.3.3.5 Determinación del contenido Óptimo de ligante. TTI Tex-240-F.**

Este estándar engloba por completo la proporción de todos los componentes de la mezcla para sistemas de microsurfacing. Se determina la cantidad de agua de mezclado mínima y óptima, el relleno mineral requerido y los requerimientos de aditivo. Se utiliza el método de ensayo de abrasión en pista húmeda (Wet Track Abrasión, WTAT) descrito en el estándar ASTM 3910 y el cual es similar al establecido en el estándar ISSA TB 100<sup>7</sup>, para establecer el contenido mínimo de ligante asfáltico. Se establece el contenido óptimo de ligante asfáltico como un contenido del 0.5% por arriba del contenido mínimo calculado. Este ensayo es realizado para todas las combinaciones de ligante/agua/filler para determinar el contenido mas bajo de ligante necesario para obtener un promedio máximo de pérdida por abrasión del 807g/m<sup>2</sup> para ejemplares remojados a los 6 días.

#### **4.3.4 METODOLOGIA DE DISEÑO DEL CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (CALTRANS)**

El CALTRANS ha venido desarrollando desde hace años un estudio para establecer un nuevo método de diseño para sistemas de microsurfacing en base a que , “ *Los procedimientos actuales de la ISSA para diseño de slurry seal (A 105) y micro surfacing (A 143); y las practicas de diseño , ensayo y construcción para slurry seal (ASTM D 3910) y microsurfacing (ASTM D 6372) tienen sus orígenes en la década de*

---

7 Sección 4.3.1. Método ISSA para diseño de microsurfacing

*los años 80's, antes que se diera a conocer masivamente el uso de los microsurfacing y antes que se comenzara a utilizar emulsión modificada con polímero en los sistemas de slurry seal, y hasta la fecha, estos métodos han sido utilizados porque no se han desarrollado nuevos métodos de diseño”.*

En base a esto, han desarrollado un método preliminar de diseño de sistemas de microsurfacing en el cual, se incorporan nuevos métodos de ensayo y se utilizan modificaciones de otros métodos ya conocidos de la ISSA.

Las especificaciones del Departamento de Transporte de California, para sistemas de microsurfacing varían un poco con respecto a las establecidas por la ISSA y ASTM para establecer los parámetros de calidad de los materiales. Se establecen tres tipos de granulometría denominadas: granulometría A, B y C. como se muestra en la tabla 4.9, la tabla 4.10. Muestra los criterios establecidos por el CALTRANS para las demás características del agregado mineral. De la misma manera se establecen criterios de calidad para las emulsiones asfálticas a utilizar en los sistemas de microsurfacing, resumidas en la tabla 4.11.

El método general para el diseño de sistemas de microsurfacing se encuentra aun en desarrollo, sin embargo se ha establecido ya un esquema base sobre el cual se basa el método CALTRANS, el cual se muestra en la figura 4.8.

<b>Tamaño de Tamiz</b>		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
3/8	9.5 mm	100	100	100
No. 4	4.75 mm	70-90	94-100	100
No. 8	2.36 mm	45-70	65-90	90-100
No. 16	1.16 mm	28-50	40-70	65-90
No. 30	600 µm	19-34	25-50	40-65
No. 50	330 µm	12-25	18-30	25-42
No. 200	75 µm	5-15	5-15	10-20

**Tabla 4.9.**

Especificaciones Granulométricas para sistemas de Slurry Surfacing CALTRANS

<b>Ensayo</b>	<b>Método</b>	<b>Requerimiento</b>
Equivalente de arena, min.	AASHTO T 176	65
Perdida por abrasión Maquina L.A, max.	AASHTO T 96	35
% de partículas trituradas, min		100
Sanidad con sulfato de magnesio, máx. 4 ciclo.	AASHTO T 104	20

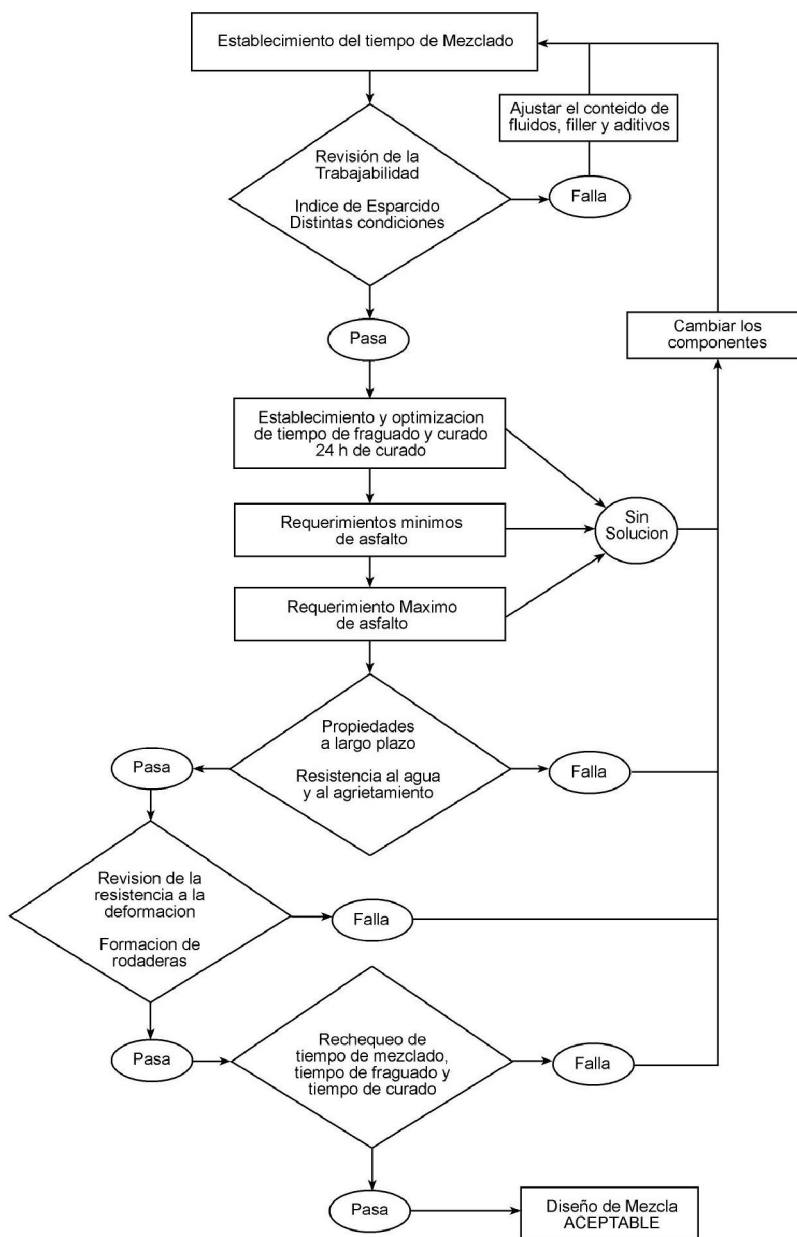
**Tabla 4.10.**

Requerimientos de calidad del agregado según CALTRANS

<b>Propiedad</b>	<b>Método</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Viscosidad Saybolt Furol a 77°F, segundos	AASHTO T 59	20	100
Estabilidad al almacenaje, 1 día, %	AASHTO T 59	-	1
Carga de partículas	AASHTO T 59	Positivo	
Ensayo de tamizado, %	AASHTO T 59	-	0.1
<b>Ensayo de destilación</b>			
Aceite destilado por volumen de emulsión, % residual	AASHTO T 59	60	
<b>Ensayos sobre el residuo</b>			
Penetración, 77°F, 100 g, 5 segundos	AASHTO T 49	55	90
Ductilidad, 77°F, 5 cm/min, cm	AASHTO T 51	70	
Solubilidad en Triclorietileno, %	AASHTO T 44	97.5	
Punto de ablandamiento, min.	AASHTO T 53	135°F	

**Tabla 4.11.**

Requerimientos de calidad para emulsiones asfálticas según el CALTRANS.



**Fig. 4.8.**

**Método de diseño propuesto por el Departamento de Transporte de California**

*Los requerimientos mínimos de asfalto se realizan con el ensayo WTA Francés, modificado del ISSA TB 100. Los requerimientos máximos de asfalto se determinan con el ensayo LWT, ISSA TB 109, ISSA TB 147*

#### 4.4 ENSAYOS PARA LA DETERMINACION DEL DISEÑO DE MEZCLA

El presente manual toma como guía la metodología de diseño de mezclas, especificaciones y ensayos presentados por la Internacional Slurry Surfacing Association ISSA, y que son recopilados en los boletines técnicos: (1) TB A143 “Recommended Performance Guidelines for Micro-Surfacing”, (2) TB 111 “Outline Guide Design Procedure for Slurry Seal”, (3) TB 151 “Specifications for Quick Traffic Polymer Modified Microasphalt Systems”; al mismo tiempo se apoya en el estándar ASTM D 6372-99 “Standard Practice for Design, Testing, and Construction of Micro-Surfacing” y en el método de ensayo Tex-240-F y Tex-230-F del Texas Department of Transportation. El procedimiento a implementar se resume en los siguientes pasos:

##### 4.4.1 ESTIMACIÓN DEL REQUERIMIENTO TEÓRICO DE ASFALTO.

El método del área superficial para un recubrimiento de 8 µm, es el procedimiento mas utilizado para el cálculo de contenido teórico de asfalto en mezclas. Esta hipótesis consiste fundamentalmente en establecer la cantidad necesaria de emulsión para recubrir las partículas de agregado con una película de ocho micrones de asfalto. Una estimación puede realizarse mediante la siguiente ecuación:

$$E = \frac{0.443 \times AS \times 1000}{\rho_N \times R} + \frac{ECK_c}{R} \quad (\text{Ecc. 4.1.})$$

En donde:

E = % de emulsión referido al agregado seco.

AS = Area superficial (ft<sup>2</sup>/lb)

ECK<sub>c</sub> = Equivalente Centrifugo de Kerosene Corregido.

ρ<sub>N</sub> = Densidad Neta del agregado (Kg/m<sup>3</sup>)

R = Residuo asfáltico de la emulsión (décimas)

## **Ensayo No. 1**

### **DISEÑO DE LECHADAS ASFÁLTICAS POR EL MÉTODO DEL AREA SUPERFICIAL**

#### **Basado en el Boletín Técnico ISSA No. 118-1990**

Este método estima el contenido teórico de asfalto en lechadas asfálticas y es presentado como referencia del método sugerido por el boletín técnico ISSA TB 111. Se presenta como un extracto directo del "Instructor Report S-75-1, Slurry Seal Surface Treatments". Len Godwin, Soils and Pavements Laboratory, U.S. Army Engineer, Waterway Experiment Station.

Precaución: Subsiguientes trabajos indican que este método no es universalmente aplicable. La película de 8 micras de espesor es usualmente muy densa para tráfico pesado y los vacíos pueden ser rellenos más de lo debido cuando se utilizan ciertos agregados de gradación muy fina.

#### **1. MÉTODO DE DISEÑO DEL AREA SUPERFICIAL.**

El método de diseño de área superficial se presenta en tres secciones las cuales discuten el cálculo de la cantidad de asfalto requerido para cubrir el área superficial del agregado, sus características de absorción y el contenido total de asfalto.

#### **2. CALCULO DEL AREA SUPERFICIAL DE ASFALTO.**

2.1. El área superficial del agregado a utilizar se determina multiplicando el porcentaje de agregado que pasa cada tamiz, establecido mediante un análisis granulométrico, por un factor de área superficial basado en el tamaño del tamiz. El área superficial del agregado es determinada para cada tamaño de partículas (denominado grupo) y luego sumada para obtener el área superficial total. Las unidades de área superficial son dadas en pies cuadrados por libra de agregado (ft<sup>2</sup>/lb). Los factores de área superficial



se muestran en la tabla 4.12. El área superficial total (SA) es luego corregida, para obtener un área superficial corregida (CSA) (Ecc. 4.3). Conociendo el área superficial y el espesor de la película de asfalto deseada, el volumen de asfalto requerido puede ser determinado a partir de estos parámetros. El asfalto requerido para cubrir el área superficial es calculado mediante la ecuación 4.2.

$$SAB = CSA \times t \times 0.02047 \times SG_B \quad (\text{Ecc. 4.2})$$

En donde:

SAB = Área superficial de asfalto, como porcentaje del peso seco de agregado.

CSA = Área superficial corregida, ft<sup>2</sup>/lb del agregado seco.

t = espesor de la película de asfalto, micrones

SG<sub>B</sub> = Gravedad específica del asfalto

0.02047 es un coeficiente de conversión para las unidades de la ecuación

2.2. Si la gravedad específica del asfalto no se conoce, el asfalto requerido para recubrir el agregado puede ser calculado asumiendo un SG<sub>B</sub> = 1.0. El error resultante de asumir SG<sub>B</sub> = 1.0 es pequeño y no tiene grandes efectos la final del diseño. El área superficial corregida de agregado se calcula de la siguiente manera:

$$CSA = SA \times (2.65/ASG) \quad (\text{Ecc. 4.3.})$$

En donde:

CSA = Área superficial corregida, ft<sup>2</sup>/lb del agregado seco.

SA = Área superficial neta del agregado, ft<sup>2</sup>/lb del agregado seco.

ASG = Gravedad específica aparente del agregado<sup>14</sup>

2.3. Se recomienda un espesor de película de 8 micras para el diseño de lechadas asfálticas, en base a ensayos de laboratorio, comportamiento de campo comprobado y recomendaciones de otras investigaciones.

Tamaño del tamiz	Factor de área superficial
3/8"	0.02
No.4	0.02
No. 8	0.04
No.16	0.08
No. 30	0.14
No. 50	0.30
No. 100	0.60
No. 200	1.60

**Tabla 4.12.**  
Factores utilizados en el cálculo del área superficial de agregados para lechadas asfálticas.

### **3. ABSORCION DEL AGREGADO.**

3.1. Absorción del agregado, los requerimientos de absorción de asfalto del agregado son determinados utilizando el ensayo de equivalente centrifugado de kerosén<sup>18,25</sup> (CKE). Este ensayo es descrito en el estándar ASTM D 5148 y en el 100 g de material que pasa el tamiz de 4.75 mm (No 4), son centrifugados en presencia de Kerosén por 2 minutos. La cantidad de Kerosén retenido por los agregados se asume como una aproximación de la cantidad de asfalto que el material puede absorber. El kerosén absorbido (KA) por los agregados es convertido a un porcentaje del peso seco del agregado.

### **4. CALCULO DEL ASFALTO TOTAL.**

4.1. El requerimiento total de asfalto se obtienen por adición del porcentaje requerido de asfalto según la ecuación 4.2. y el porcentaje de asfalto que puede ser absorbido (KA) según ecuación 4.4(a) ó 4.4(b). Todos los porcentajes son en base al peso seco del agregado. Los requerimientos del porcentaje de emulsión pueden ser calculados dividiendo el requerimiento de asfalto total por peso seco del agregado, entre el residuo de asfalto en la emulsión (Ecuación 4.5).

$$BR = SAB + KA \quad \text{ó} \quad (\text{Ecc. 4.4a})$$

$$BR = (CSA \times t \times 0.02047 \times SG_B) + KA \quad (\text{Ecc. 4.4b})$$

$$ER = (BR / R) \quad (\text{Ecc. 4.5.})$$

En donde:

BR = Requerimiento total de asfalto, porcentaje por peso seco de agregado.

KA = Porcentaje de kerosén absorbido por peso seco de agregado.

ER = Requerimiento de Emulsión, %

R = Residuo de asfalto en la emulsión, %

## 5. EJEMPLO DE CÁLCULO DEL REQUERIMIENTO DE ASFALTO PARA AGREGADOS DE LECHADAS ASFÁLTICAS

El siguiente ejemplo muestra la forma de calcular el contenido teórico de asfalto en base a la granulometría del agregado, la tabla 4.13 muestra la distribución granulométrica del agregado a analizar y la tabla 4.14 los resultados obtenidos del ensayo de Centrifugado de Kerosén según ASTM 5148.

### 5.1. CALCULO DEL AREA SUPERFICIAL

1. ASG = 2.96; 2% De Cemento Pórtland incluido en la gradación del agregado.

Porcentaje Tamaño de Tamiz	Porcentaje que pasa	Factor de Área superficial	ft <sup>2</sup> /lb de agregado
3/8	100	0.02	2.00
No 4	99.5	0.02	1.99
No 8	95.6	0.04	3.82
No. 16	77.8	0.08	6.22
No. 30	52.0	0.14	7.28
No. 50	24.5	0.30	7.35
No. 100	10.7	0.60	6.42
No. 200	6.4	1.60	<u>10.24</u>
		<b>Total de SA =</b>	45.32

**Tabla 4.13.** Distribución granulométrica del agregado en estudio

Área Superficial corregida,  $CSA = SA \times 2.65/2.96 = 40.57 \text{ ft}^2/\text{lb}$  de agregado

## 5.2. REQUERIMIENTOS DE ABSORCION DEL AGREGADO

2. 2% de cemento Pórtland incluido en la gradación del agregado.

Tara No.	Peso de la tara (g)	Peso de la muestra (g)	Peso antes del centrifugado	Peso después del centrifugado	KA (%) (f = e - d)
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
1	215.3	100.0	315.3	321.0	5.7
2	215.9	100.0	315.9	321.6	<u>5.7</u>
<b>KA Promedio =</b>					5.7%

**Tabla 4.14.** Resultados del ensayo de absorción de asfalto según estándar ASTM 5148

## 5.3. REQUERIMIENTO TOTAL DE ASFALTO.

- Betumen = Emulsión asfáltica SS-1h
- Espesor de película de diseño (t) = 8 micras.
- Gravedad específica aparente del agregado (ASG) = 2.96
- Gravedad específica del asfalto (SGB) = 1.028
- Absorción de Kerosén (KA) = 5.7%
- Área superficial corregida (CSA) = 40.57 ft<sup>2</sup>/lb de agregado
- Requerimiento total de asfalto (BR) = (CSA x t x SGB x 0.02047) + KA  
 $BR = (40.57 \times 8 \times 1.028 \times 0.02047) + 5.7 = 6.83 + 5.7$   
 BR = 12.53% por peso seco de agregado
- Contenido residual de asfalto en la emulsión = 63% en peso.
- Requerimiento de emulsión = (BR x 100) / (Contenido residual de asfalto en la emulsión)
- Requerimiento de emulsión = (12.53 x 100) / 63 = 19.90% por peso seco de agregado.

En el ejemplo: 19.90 lb de emulsión se requirieron por cada 100 lb de agregado seco.

#### **4.4.2 DETERMINACION DEL PROPORCIONAMIENTO INICIAL DE LA MEZCLA. (MEZCLAS DE PRUEBA).**

Como primer paso en el diseño de mezclas de slurry seal, es útil realizar una serie de pequeñas mezclas que nos permitan establecer una aproximación de los contenidos óptimos de relleno mineral y agua, estimaciones que se realizan mediante el estándar ISSA TB 113. Las mezclas de prueba se realizan en base a distintos contenidos de emulsión tomando como parámetro el contenido teórico de emulsión establecido con anterioridad. El estándar TB 113 no establece criterio alguno para definir las variaciones en el contenido de emulsión, sin embargo pueden utilizarse variaciones del +/-5% hasta +/-10%, requerimientos que varían conforme se realiza el procedimiento hasta converger en mezclas que presenten las características deseadas de homogeneidad y tiempos de mezcla. El Boletín técnico ISSA TB 113, Describe a detalle el método a seguir para la obtención de mezclas de prueba satisfactorias. Como guía auxiliar puede utilizarse el estándar Tex-230-F del Texas Transportation Institute.

#### **Ensayo No. 2**

#### **METODO DE LABORATORIO DE MEZCLADO Y CURADO DE MEZCLAS DE LECHADAS ASFALTICAS MODIFICADAS CON POLIMEROS (MICROSURFACNG)**

**Basado en estándar Tex-230-F (Texas Transportation Institute)**

#### **1. APARATOS.**

Los aparatos utilizados para la realización del presente ensayo son los siguientes:

- a) Balanza, legible a los 0.1 g y con precisión de 0.5 g.
- b) Mezclador mecánico.
- c) Contenedor de muestras de agregados
- d) Herramientas misceláneas de mezclado
- e) Papel Acerado

- f) Charolas con capacidad suficiente para mezclar los componentes.
- g) Agitador mecánico de tamices.
- h) Horno de corriente forzada capaz de mantener la temperatura especificada en el método de ensayo.
- i) Termómetro de mercurio con escala dividida al 1°C (2°F) o termómetro digital capaz de medir las temperaturas especificadas en el método de ensayo.

## **2. PROCEDIMIENTO.**

- 1) Obtener una muestra representativa del agregado mediante un método adecuado de muestreo.
- 2) Secar el agregado en un horno a una temperatura entre los 38 a 150 °C (100 a 302°F)
- 3) Permitir que el agregado enfríe hasta alcanzar una temperatura de 25 +/-3°C (77 +/-5°F)
- 4) Preparar una solución de aditivo líquido diluido a 25 +/-3°C (77 +/-5°F). Preparar una cantidad adecuada de solución para la cantidad de agua de mezclado a utilizar. NOTA: Preparar una solución nueva para cada día de ensayo.
- 5) Pesar y mezclar la cantidad deseada de solución de aditivo y agua de mezclado en un contenedor de mezclado.
- 6) Pesar dentro de un contenedor de mezclado aproximadamente 5000 g de agregado. Mantener todos los componentes a 25 +/- 3°C (77 +/- 5°F) durante la preparación de la mezcla.
- 7) Añadir la cantidad adecuada de relleno mineral al agregado y mezclar en seco con suaves movimientos rotativos.
- 8) Añadir el agua de mezclado y el aditivo líquido y mezclar vigorosamente hasta que la mezcla presente un contenido de humedad homogéneo.
- 9) Formar un cráter en el agregado y añadir la cantidad adecuada de emulsión asfáltica.
- 10) Mezclar todos los componentes vigorosamente con el mezclador mecánico. NOTA: Mezclar hasta que el agregado este completamente cubierto, tener el

cuidado adecuado para prevenir la pérdida de material durante el proceso de mezclado.

- 11) Verter la mezcla en recipientes plásticos y esparcir la mezcla en un espesor aproximado de 51 mm (2 in) si fuera necesario.
- 12) Completar el mezclado y vertido en menos de 2 minutos. NOTA: La mezcla diseñada debe de mantener una consistencia fluida durante el proceso de mezclado y vertido. Si la mezcla exhibe “rompimiento” antes de completar el vertido, descartar y preparar una nueva mezcla con diferente concentración de aditivo líquido.
- 13) Inmediatamente después de colocar la mezcla en el recipiente plástico, colocarlo en un horno a  $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$  ( $140 \pm 5^{\circ}\text{F}$ ).
- 14) Curar la mezcla por 24 horas o hasta que se alcance un peso constante. Remover la mezcla del horno.
- 15) Examinar la superficie de la mezcla y observar si presenta una apariencia pegajosa, utilizar una toalla de papel blanco para verificar la ausencia de manchas en la superficie de la mezcla (descartar mezclas que presenten exceso de asfalto sobre la superficie de la mezcla y preparar una nueva mezcla de diseño).

### **3. CALCULOS PARA LA PREPARACION DE LA MUESTRA.**

#### **Ejemplo de cálculo:**

<b>DATOS DE DISEÑO.</b>	
Agregado	5000 g de material seco
Asfalto residual	7% por peso seco del agregado
Relleno mineral	0.8% de cemento Pórtland por peso seco de agregado.
Agua de mezclado	10% por peso seco de agregado
Aditivo líquido	1.2% por peso de emulsión asfáltica
Emulsión	65% de asfalto residual

1. Contenido de emulsión o residuo de asfalto =  $(0.07 \times 5000) / 0.65 = 538.5 \text{ g}$
2. Relleno mineral =  $0.008 \times 5000 = 40 \text{ g}$
3. Agua de mezclado =  $0.10 \times 5000 = 500 \text{ g}$ .
4. Aditivo Líquido. Cuando se suministre aditivo líquido concentrado, determinar la cantidad requerida, multiplicando el contenido de aditivo por el peso de emulsión.  
Concentración de aditivo por peso =  $0.012 \times 538.5 = 6.46 \text{ g}$   
Cuando se suministre aditivo concentrado, preparar y utilizar una solución diluida. Realizar el siguiente paso para determinar la cantidad de solución diluida y agua para añadir a la mezcla.  
Cantidad de solución =  $((\text{peso de aditivo requerido}) \times 100) / \text{concentración de la solución}$
5. Cantidad de solución =  $(6.46 \text{ g} \times 100) / 4 = 161.5 \text{ g}$
6. Del paso anterior, se requieren 500 g de agua. Sin embargo, la cantidad actual de agua para añadir a la mezcla en conjunto con la solución de aditivo es  $500 - 161.5 = 338.5 \text{ g}$  de agua.



### **Ensayo No. 3**

## **PROCEDIMIENTO PARA ESTABLECER LA MEZCLA DE PRUEBA PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE SLURRY SURFACING.**

### **Basado en el Boletín Técnico ISSA TB 113**

Como primer paso en el diseño de mezclas de lechadas asfálticas, es útil realizar una serie de pequeñas mezclas de prueba de 100 a 200 g en recipientes desechables. Estos recipientes de mezclado también son útiles para ayudar a los operadores de las máquinas de colocación a familiarizarse con la apariencia visual y de las propiedades mecánicas de las mezclas.

### **1. REFERENCIAS APLICABLES**

- ISSA TB 111, “Outline Guide Design Procedure for Slurry Seal”
- ISSA TB 106, “Measurement of Slurry Seal Consistency”
- ISSA TB 102 “Mixing, Setting and Water Resistance Test to Identify Quick-Set Emulsified Asphalts”
- ISSA TB 139 “Test Method to Classify Emulsified Asphalt-Aggregate Mixture Systems by Modified Cohesion Tester”
- ISSA TB 114 “Wet Stripping Test for Cured Slurry Seal Mixes”.

### **2. APARATOS.**

- a) *Contenedores desechables para mezclado* – recipientes adecuados de plástico, como los recipientes desechables para bebidas calientes, con capacidades de 6 oz para mezclas de 100 g y de 8 onz para mezclas de 200 g.
- b) *Paleta de mezclado* – como una espátula de 4 plg (10 cm) o un cuchillo para masilla Stanley #1540 1-1/4”.
- c) *Balanza*, con una capacidad mínima de 500 gramos y una sensibilidad de 0.1 g.
- d) *Tamices*– 20 a 50 mallas de tamiz conforme a la sección 3.4 del ASTM E-11.

- e) *Papel* – Un suministro de papel de alta absorción para vaciar e identificar los especímenes de ensayo. Papel para gráficos según el ensayo de consistencia o 15 libras de cubierta de fieltro cortada a un tamaño conveniente.
- f) Termómetro – Un termómetro ASTM con un rango de temperatura de -2 a 80°C, conforme a los requerimientos de la especificación ASTM E 1.

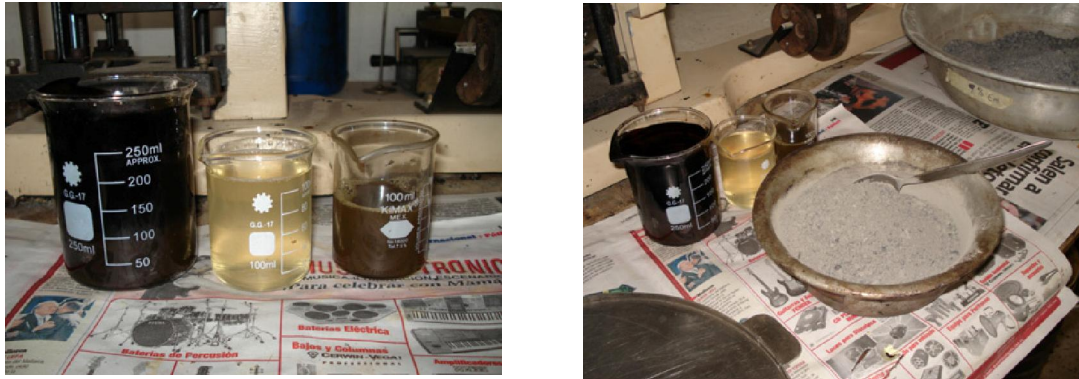
### **3. MATERIALES.**

- a) *Agregados*, estos deben ser representativos del lote a ser ensayado y secados al aire con un contenido de humedad menor del 1%. La muestra entera debe ser separada acorde con el estándar ASTM C 136. Las partículas demasiado grandes de agregado deberán ser removidas pasando la muestra a través del un tamiz de una abertura mayor a la permitida en las especificaciones para agregados.
- b) *Emulsión Asfáltica*, deberá ser representativa del lote a ensayar y estar uniformemente mezclada. Las partículas aglomeradas de asfalto deberán ser removidas vertiendo la muestra a través de un tamiz No. 20.
- c) *Agua*, Agua de grifo de no más de 250 ppm de carbonato de calcio.
- d) *Relleno mineral y aditivos*, El relleno mineral y/u otro fluido o sólido añadido deberán ser representativos de los lotes a ser ensayados. El relleno mineral deberá ser tamizado a través de un tamiz No. 50. Los aditivos líquidos deberán ser vigorosamente mezclados y de tal concentración que permita ser añadidos a la mezcla sin afectar su consistencia (Ver fotografía 4.13).

### **4. PROCEDIMIENTO PARA ELABORAR LA MEZCLA DE PRUEBA.**

- 1) Las mezclas de prueba primeramente son fabricadas con todos sus ingredientes a temperatura ambiente. La anotación de la temperatura de la mezcla terminada se realiza utilizando un termómetro de bajo punto de ablandamiento. Se pueden

realizar mezclas extras utilizando los ingredientes a las temperaturas esperadas en campo.



**Fotografía 4.13**

**Materiales utilizados para realizar mezclas de prueba**

- 2) Pesar 100 g de agregado dentro de un vaso desechable de 6 oz, para mezclas de 200 g utilizar recipientes de 8 oz. Añadir agregado adicional hasta que el peso seco neto del agregado sea de 100 g.
- 3) Añadir la cantidad deseada de relleno mineral o aditivo seco y mezclar sin líquidos con una espátula a 60-70 rpm en un movimiento circular por 10 segundos o hasta que la distribución del relleno mineral sea uniforme. Varias formulas son preparadas con distintos niveles de relleno mineral. Por ejemplo: Limo hidratado @ 0, 1 y 2%; Cemento Pórtland tipo I @ 0, 1 y 2%; Cemento Pórtland tipo II A @ 0, 1 y 2% (Fotografía 4.14).
- 4) Añadir la cantidad que se desee de agua (Nota 1) y mezclar a 60-70 rpm en un movimiento circular por 20 segundos o hasta que el agua se distribuya completa y uniformemente en la mezcla.

*Nota 1 – Los líquidos totales requeridos (agua y emulsión) variaran dependiendo del porcentaje de emulsión (emulsión alta, menor agua; baja emulsión, mayor agua) y la*

*formulación de la emulsión. Los líquidos totales de 28 a 32% son típicos para muchas gradaciones tipo II. Cada porcentaje de relleno mineral normalmente requiere de aproximadamente 1 a 1-1/2% de agua adicional. Las altas temperaturas generalmente elevan el requerimiento de agua, mientras que en bajas temperaturas se requiere de menos cantidad de agua. Ver ISSA TB 106 "Measurement of Slurry Seal Consistency".*



#### **Fotografía 4.14**

Agregado y relleno mineral mezclados en seco antes de añadir  
Agua de mezclado y emulsión.

- 5) Añadir la cantidad deseada de emulsión y mezclar inmediatamente a 60-70 rpm en un movimiento circular por 30 segundos o hasta que la mezcla este completamente homogénea. Anotar el carácter de la mezcla durante el tiempo de mezclado. Anotar si se presentan líquidos libres en exceso o si la mezcla se presenta excesivamente seca o rígida y ajustar el contenido de agua en las mezclas de prueba siguientes (Fotografía 4.15).
  
- 6) Al final del ciclo de mezclado inicial, vaciar aproximadamente la mitad de la mezcla sobre los especímenes de papel, reteniendo la otra mitad en los recipientes. Diseminar la mezcla a una profundidad de  $\frac{1}{4}$  de pulgada o de  $\frac{3}{8}$  de pulgada (10 a 15 mm). Continuar mezclando la porción retenida en el recipiente por un tiempo máximo de 5 minutos o hasta que la mezcla rigidice y "rompa". Registrar este tiempo y el tiempo de mezclado (fotografía 4.16).



**Fotografía 4.15**

Mezclado de los componentes durante 30 segundos a aproximadamente 60-70 rpm, hasta que la mezcla rompa.

- 7) Oprimir periódicamente, con el dedo índice, el espécimen moldeado y anotar el tiempo en el cual la mezcla se vuelve firme y no se puedan apreciar desplazamientos apreciables mediante esta acción y registrar este tiempo como “tiempo de fraguado”.



(A)



(B)

**Fotografía 4.16**

- (A) Regular el contenido de agua hasta alcanzar mezclas fluidas,
- (B) La mezcla se vierte en recipientes plásticos para determinar el Tiempo de curado.

- 8) Realizar periódicamente el ensayo de batido para un tiempo de 120 s según el estándar ISSA TB 102 y anotar el tiempo que se requiere para que la mezcla alcance un fraguado libre de agua y registrar este tiempo.
- 9) Permitir al espécimen secar al aire o en un horno de aire forzado a masa constante a 140°C, por 15 horas.

## **5. EXAMINACION Y EVALUACION DE LAS MEZCLAS DE PRUEBA.**

- 1) *Reconocimiento para la adhesividad y brillo*, puede indicar (1) drenaje de finos, o (2) flotación de la película de asfalto. Adicionalmente, las mezclas deben fabricarse evitando el problema de incrementos del relleno mineral y/o disminución del contenido de agua y/o cambios a diferentes tipos de relleno mineral o aditivos. En casos extremos, puede ser necesario reformular la emulsión.
- 2) *Reconocimiento para la flotación de finos*. Anotar las condiciones de color de la superficie de la mezcla cuando la mezcla este casi seca, completamente seca y cuando este curada al horno. La presencia de una mezcla gris, bronce o con polvo blanquecino sobre la superficie, puede también indicar exceso de agua de mezclado, súper saturación de los agregados o relleno mineral incompatible, altos contenidos de finos, altos contenidos cáusticos en la emulsión o bajos PH y alta acidez que reacciona con las piedras carbonatadas para producir cloruro de calcio. Altas temperaturas de curado (250°F) pueden eliminar la decoloración superficial. La frotación leve del la mezcla con una brocha húmeda puede también remover estas películas de la superficie.
- 3) *Reconocimiento de la adhesión interna*. Una evaluación subjetiva de la mezcla curada es realizada por “desgranamiento” de la mezcla con el pulgar como cuando se desgrana maíz. Se registra si las partículas grandes de agregado son fácilmente desprendidas. Semejante condición puede indicar bajos contenidos de emulsión, igual que mucha agua de mezclado, mucho relleno mineral o

exceso de finos para el contenido de emulsión utilizado, baja calidad de los agregados, o una mala emulsión, o no lo suficientes finos para una adecuada matriz.

- 4) La mezcla curada debe ser desquebrajada para determinar la fuerza subjetiva de la cohesión o las fallas en la adhesión.

Los ensayos de remoción/adhesión deben ser realizados en base a la mezcla mas acertada para seleccionar la mejor formula para el mezclado para futuros ensayos. (Ver ISSA TB 114).

*Nota 2 – Las mezclas de 100 gramos pueden ser vertidas dentro de recipientes nuevos de papel de 6 oz y dejar que curen durante 2 días. La mezcla curada es luego removida del recipiente y examinada para buscar indicios de flotación de la emulsión debido al exceso de líquidos según el estándar ISSA TB 115, Sección 2.*

## **6. ANOTACIONES.**

Las anotaciones que se realizaran para identificar las mezclas y evaluarlas incluirán:

- a) Fecha
- b) Fuente de abastecimiento de los agregados y su tipo, granulometría y contenido de humedad, valor de equivalente de arena.
- c) Fuente de abastecimiento de la emulsión, tipo, contenido de residuo de asfalto.
- d) Fuente de abastecimiento del relleno mineral y su tipo.
- e) Concentración, tipo y fuente de abastecimiento de los aditivos.

### ***Formulación de la mezcla:***

- f) % de agregados y contenido de humedad
- g) % de relleno mineral añadido
- h) % de agua añadida

- i) % de emulsión y contenido de asfalto residual. (Usualmente se realiza la anotación de la siguiente manera: 100/2 -1 – 10 – 18/62)
- j) Tiempo de rigidización o “tiempo de rompimiento” de la mezcla o el agotamiento de la emulsión libre. (Tiempo de mezclado después de adicionar la emulsión)
- k) Tiempo de fraguado (fraguado libre de agua por ensayo de batido, ISSA TB 102)
- l) Tiempo de apertura al tráfico (ISSA TB 139, ensayo de cohesión)
- m) Apariencia de la mezcla curada (Color, tenacidad, adhesión de los substratos)
- n) Adhesión húmeda o ensayo de desgaste, % de recubrimiento (ISSA TB 114, 3 minutos de adhesión en agua hirviendo).



#### **4.4.3 EVALUACION DE LA COMPATIBILIDAD DEL SISTEMA.**

Todos los ingredientes de una formulación exitosa de una mezcla para sistemas de microsurfacing deben ser mutuamente compatibles, ellos deben:

- a) Poder combinarse para formar una masa suave, homogénea y estable
- b) Ser capaces de mezclarse y trabajarse como mínimo 2 minutos después de adicionarse a la emulsión asfáltica.
- c) Permitir que la mezcla permanezca estable y homogénea después de colocada para que ningún agregado fino, ni el asfalto estratifique, migre a la superficie o sedimente al fondo de la mezcla.
- d) La mezcla formada debe curarse con una firme adherencia a la base y tener una adhesión interna y cohesión adecuada de la matriz para prevenir que el agregado se mueva dentro de la mezcla.

La ISSA presenta varios métodos para poder evaluar de manera cualitativa el grado de compatibilidad que presentan los componentes de una mezcla, a continuación se describirán los métodos presentados en los boletines técnicos TB 114, TB 115 y TB 149.

#### **Ensayo No. 4**

#### **DETERMINACION DE LA COMPATIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE LECHADAS ASFALTICAS.**

#### **Basado en el Boletín Técnico ISSA TB 115**

#### **1. REFERENCIAS:**

- ISSA TB 106 – Measurement of Slurry Seal Consistency
- ISSA TB 102 – Mixing, Setting and Water Resistance Tests to identify “quick-Set” Emulsified Asphalts.
- ISSA TB 111 – Outline Guide of Design Procedure for Slurry Seal Mixes.

- ISSA TB 113 – Trial Mix Procedure for Slurry Seal Design
- ISSA TB 114 – Wet Stripping Test for Cured Slurry Seal Mixes
- ISSA TB 144 – Test Method for Classification of Aggregate Filler-Bitumen Compatibility by Shultz-Breuer and Ruck Procedures.
- ISSA TB 149 – Test Method for Slurry Seal Boiling Compatibility.

## **2. ENSAYO DE CONSISTENCIA POR CORTE.**

- 1) Las mezclas de prueba son fabricadas acorde con el boletín técnico TB 113 para estimar el contenido óptimo de agua, requerimientos de relleno mineral y trabajabilidad de la mezcla.
- 2) Los ensayos del cono de consistencia son realizados acorde con el boletín técnico TB 106 para obtener el contenido óptimo de agua con tres niveles de emulsión (ejemplo: 12, 15 & 18% para gradaciones tipo II).
- 3) Los especímenes para el ensayo de consistencia óptima con un derramamiento de 2 y 3 cm son secados al aire a peso constante o colocado en un horno de corriente forzada por 15 horas a 140°F y enfriados luego a temperatura ambiente. Estos especímenes son cortados transversalmente a su diámetro, haciendo sobresalir la mitad del espécimen sobre el filo de una mesa, rompiéndolo ejerciendo presión con las manos. El borde del corte del espécimen de consistencia es examinado para evidenciar si existe migración de asfalto o de agregado. La superficie de los especímenes de consistencia es examinada para observar si esta se muestra excesivamente pegajosa. Las observaciones realizadas son registradas.
- 4) Si se sospecha de falta de uniformidad en los especímenes de consistencia fracturados, realizar el ensayo de compatibilidad mediante la copa de corte.

## **2. ENSAYO DE COMPATIBILIDAD POR MEDIO DE LA COPA DE CORTE.**

- 1) Mezclar 100 gramos de cada formulación a ser ensayada y verter dentro de recipientes plásticos de 6 oz. Permitir a la mezcla curar por un mínimo de 15 horas o hasta que esta este sólida.
- 2) Separar la mezcla curada de los recipientes y partir los especímenes a la mitad, colocando cada mitad dentro de charolas de 8 oz y secándolas a fondo en un horno de corriente forzada a 250°F por 4 horas.
- 3) Extraer el asfalto de la mezcla por el método de reflujo desde la mitad superior e inferior y registrar el porcentaje de asfalto residual en cada caso.
- 4) Realizar una gradación de los agregados extraídos desde las mitades de los especímenes sobre un tamiz No. 16 y registrar el porcentaje retenido sobre dicho tamiz.

## **3. INFORME.**

1. Reporta, para la prueba de consistencia a 2-3 cm, lo siguiente:
  - a) La superficie como satisfactoria (pasa)
  - b) La superficie como pegajosa (falla)
2. Reportar, para la prueba de consistencia por corte, lo siguiente:
  - a) Uniforme (pasa)
  - b) No uniforme (falla)
3. Reportar, para la prueba de consistencia por la copa de corte, lo siguiente.
  - a) La diferencia en % de AC (diferencias mayores del 15% falla)
  - b) porcentaje de mas de 16 de diferencia (diferencias > del 15%, falla; diferencias < del 10%, pasa)

**4. Informe de la prueba de la tira húmeda**

- a) recubrimiento abajo del 75% (falla)
- b) recubrimiento abajo del 90%(marginal)
- c) superior al 90% (pasa)

**5. Informe de la prueba de trabajabilidad y mezclado**

- A) Mas de 2 minutos (pasa)
- B) Menos de 2 minutos (falla) - esta referencia no es aplicable a sistemas de curado rápido y de apertura rápida al trafico.

Las formulas de lechadas asfálticas bajo prueba son identificadas como “compatibles” si los reportes del 1 al 5 cumplen con los requerimientos establecidos, es decir si todos “pasan”.

## **Ensayo No. 5**

### **ENSAYO DE REMOCION EN HUMEDO PARA MEZCLAS DE LECHADAS ASFALTICAS CURADAS.**

#### **Basado en el Boletín Técnico ISSA TB 114**

El propósito de este ensayo es ayudar al diseñador a seleccionar un sistema de lechada compatible con el agregado dado. La formulación de la emulsión, relleno mineral y aditivos puede ser rápidamente filtrada por la aptitud que presenta el sistema para permanecer recubierto bajo las condiciones del ensayo.

#### **1. APARATOS.**

- a) Beaker de pyrex de 600 ml.
- b) Placa de temperatura ajustable o un mechero Bunsen y una malla de alambre.
- c) Papel altamente absorbente y resistente como las toallas absorbentes caseras.

#### **2. PROCEDIMIENTO.**

- 1) Se toman 10 +/- 1 g, de mezcla de lechada asfáltica curada, que debe ser representativa del espécimen entero obtenido del ensayo de consistencia ISSA TB #106 o de los especimenes del ensayo ISSA TB 113.
- 2) 400 ml de agua de grifo desmineralizada o de agua destilada son añadidos al beaker de 600 ml y colocados sobre la placa caliente y llevada hasta una vigorosa ebullición.
- 3) El espécimen de lechada curada de 10 g es vertido dentro del agua hirviendo y se le permite hervir en agua por tres minutos.

- 4) Al finalizar los tres minutos de periodo de ebullición, el beaker con su contenido es removido de la placa caliente y se le permite enfriar.
- 5) Cuando la ebullición cesa, Se coloca una corriente de agua fría dentro de la superficie de agua del beaker y se permite que esta desborde hasta que se remueva cualquier cantidad de asfalto libre presente en la superficie del agua. Debe cuidarse de evitar derramar partículas de lechada fuera del beaker.
- 6) El agua es luego decantada y su contenido removido del beaker, colocándolo sobre toallas de papel absorbente.
- 7) Después que el material ha sido secado, se examina para buscar áreas no cubiertas de agregado y se realiza una estimación del área del agregado que permanece recubierta con asfalto.

### **3. INFORME.**

Reportar la superficie de agregado que permanece recubierta con asfalto, como un porcentaje de la superficie total del agregado.

90% de recubrimiento retenido es satisfactorio

75% a 90% se juzga como limite o marginal

Abajo del 75% es insatisfactorio.

Nota: Baja retención de asfalto de un sistema de lechada asfáltica puede indicar ausencia de adhesión, película de baja coalescencia, pobre formulación de la emulsión, re-emulsificación, posible falsa lechada, también la presencia de mucho relleno mineral o agregados finos de poca calidad. Anotar la ductilidad o el brillo del espécimen hervido ya que este dato puede también ser utilizado en la evaluación de la calidad del sistema.

## **Ensayo No. 6**

### **COMPATIBILIDAD DE MEZCLAS DE LECHADA ASFÁLTICA MEDIANTE ENSAYO DE HERVIDO**

#### **Basado en el Boletín Técnico ISSA TB 149**

Este procedimiento es similar al descrito anteriormente en el estándar ISSA TB 114 y se utiliza como un método auxiliar fácil y rápido para comprobar la compatibilidad de un sistema y puede utilizarse como sustituto o apoyo del estándar TB 114.

La prueba de cohesión (ver ASTM D3910 y ISSA TB 139) posiblemente puede dar datos engañosos al ser utilizada para determinar la compatibilidad de la mezcla. Por ejemplo: un granito contiene agregados de un comportamiento extremadamente bueno, según la prueba de cohesión, con adiciones del 1% de cemento tipo III (basado en el peso del agregado). Sin embargo, cuando al realizarse la prueba de abrasión en pista húmeda, la mezcla puede presentar un deterioro acelerado. Es por esta razón que el propósito de la prueba de hervido es recomendada como un método “fácil y rápido” para confirmar la compatibilidad de una mezcla.

La prueba de abrasión en húmedo es una prueba válida para comprobar la compatibilidad de un sistema de microsurfacing y debe ser utilizada como una prueba para obtener el diseño final de la mezcla, pero para un diseño preliminar, esta prueba consume demasiado tiempo. Recientes datos han mostrado un muy alto grado de correlación entre la prueba de abrasión húmeda y el método de prueba propuesto. La siguiente guía explica el procedimiento para interpretar la prueba de compatibilidad de ebullición.

#### **1. PROCEDIMIENTO.**

- 1) Separar el agregado de trabajo en los siguientes tamaños de mallas: #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200.

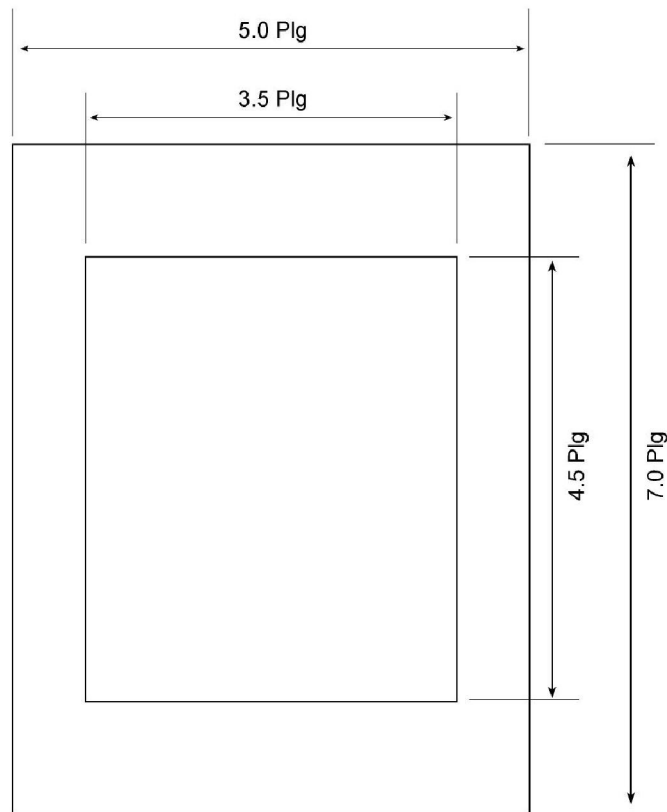
- 2) Reconstituir unos 100 gramos de muestra en la proporción correcta, según la granulometría obtenida del análisis granulométrico.
- 3) Mezclar el agua, agregado, emulsión y aditivo químico activo por un minuto (aditivos: 0.5%, 1% de cemento tipo I ó III; 0.5%, 1% de limo ó 0.03%, 0.05% de sulfato de aluminio (el sulfato de aluminio es disuelto dentro de agua) – todos basados en el peso seco del agregado). Cuando se crea conveniente, pueden utilizarse altas concentraciones de cemento y limo.
- 4) Depositar la mezcla sobre papel aluminio, utilizando una plantilla plástica como la mostrada en la figura 4.9 y nivelar la superficie con un escurridor o espátula.
- 5) Permitir a la mezcla curarse al aire (70°F a 77°F) por 24 horas (mínimo de 12 a 15 horas).
- 6) Hervir aproximadamente 700 ml de agua en un beaker (deposito de precipitados) de 1000 ml.
- 7) Utilizar una malla #20 para crear una parrilla en la parte baja del beaker, doblar las orillas descendiendo de manera que la muestra este alzada  $\frac{1}{2}$ " desde el fondo del beaker, evitando el contacto directo del agregado y la fuente de calor. Colocar la muestra en el agua en ebullición (baño maría). Si la muestra no puede ser fácilmente removida del papel aluminio, cortar la lamina alrededor de las orillas de la muestra depositándola luego en el agua en ebullición y remover la lamina desde el agua (el agua en ebullición debe permitir al papel aluminio desprenderse).
- 8) Hervir por 10 minutos.
- 9) Vaciar el agua y extender la mezcla en una superficie nivelada.



10) Observar el recubrimiento de la mezcla y registrar el porcentaje retenido de recubrimiento utilizando una precisión del 2%.

11) Determinar la compatibilidad de la mezcla:

- a) 90%-100% Superficie recubierta – buena compatibilidad de la mezcla.
- b) 75%-89% superficie recubierta- regular a buena compatibilidad
- c) 50%-74% superficie recubierta - pobre a regular compatibilidad
- d) Debajo de 50% superficie recubierta – pobre compatibilidad de la mezcla



**Fig. 4.9.**

Dimensiones de Plantilla plástica para ensayo ISSA TB 149

#### **4.4.4 DETERMINACION DEL TIEMPO DE FRAGUADO, CURADO Y APERTURA AL TRAFICO.**

Anteriormente, los sistemas de lechadas eran clasificados como sistemas de fraguado acelerado mediante el procedimiento descrito en el boletín técnico ISSA TB 102, el cual consistía en realizar mezclas de prueba que pudieran ser mezcladas sin problema por un periodo de 120 s. Dicho procedimiento aun puede ser utilizado para sistemas de slurry seal, sin embargo, su flaqueza es que se basa en apreciaciones del diseñador, por lo que se requiere de cierto grado de experiencia para tener un criterio adecuado de análisis. La ultima revisión realizada al estándar TB 102, establece que el método es obsoleto para clasificar sistemas de fraguado acelerado y ha sido reemplazado por el método de ensayo ISSA TB 139, el cual se describe a continuación.

#### **Ensayo No. 7**

#### **MÉTODO DE PRUEBA PARA LA CLASIFICACIÓN DE SISTEMAS DE MEZCLAS AGREGADO/EMULSIÓN ASFÁLTICA, POR MEDIO DE LA PRUEBA DE COHESIÓN MODIFICADA PARA LA MEDICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE FRAGUADO Y CURADO.**

#### **Basado en el Boletín Técnico ISSA TB 139**

El estándar ASTM D 3910 describe una forma simplificada del ensayo de cohesión, el cual sirve para establecer el tiempo de curado de mezclas de slurry seal, esta prueba de cohesión registra solamente “el tiempo requerido para alcanzar un torque máximo constante o hasta que el pie de goma se mueve libremente sobre el disco de slurry sin desplazar las partículas de agregado”, es decir, determina solamente el punto en el cual la mezcla a curado. La presente prueba mide el torque durante el desarrollo del fraguado y sus esfuerzos de cohesión, definiendo el “tiempo de fraguado” y el tiempo temprano de apertura al trafico” como una función de desarrollo del fraguado y el tiempo.

## **1. APARATOS Y MATERIALES.**

- a) El ensayo de cohesión Modificado utiliza una maquina semejante a la utilizada en el estándar ASTM D 3910-80. Pero con las siguientes modificaciones (Fotografía 4.17):
- Varilla doble de 1-1/8" de diámetro con extremos cilíndricos al aire, con varillas de 5/16" de diámetro y 3" de recorrido.
  - Durómetro con pie de goma de neopreno de ¼" x 1-1/8" de diámetro, con regulador de presión de aire con válvula de desahogo, de corriente baja capaz de mantener la presión constante.
  - Regulador de presión de aire con una válvula inferior reguladora de presión para mantener una presión de aire constante.
  - Válvula de Control de cuatro direcciones con válvulas de tubos de vaciado regulables.
  - Compresor adecuado con medida de presión de 0 a 700 Kpa (kilogramos/sq.cm)
  - Suministro de presión de aire de 700 K Pa (100psig)
  - Medidor de torque capaz de medir y marcar como mínimo un torque de 35 kilogramos-centímetro (kg-cm) (Fotografía 4.18)
- b) Un suministro de 10 cm<sup>2</sup>, 15 libras de fieltro impermeable saturado, u otros especímenes de forros no absorbentes apropiados para montaje.
- c) Moldes para especímenes de 6 mm de espesor x 60 mm de diámetro y de 10 mm de espesor x 60 mm de diámetro.
- d) Tamices estándar ASTM E-11 de 4.75 mm y 8.00 mm
- e) Equipo apropiado para mezclar y pesar como el utilizado en el boletín ISSA TB 113. "Ensayo de mezcla de prueba para diseño de lechadas asfálticas"

- f) Cuando se desee la determinación del contenido de humedad, utilizar un horno adecuado, de corriente forzada o un horno microondas.
- g) Espátula apropiada, como un cuchillo de masilla de 1" a 1-1/4", para limpiar el pie de neopreno.



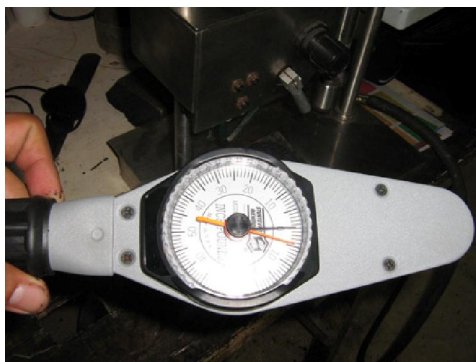
(A)



(B)

**Fotografía 4.17.**

(A) Equipo utilizado para el ensayo de cohesión húmeda, (B) Cohesímetro usado para determinar el tiempo de curado y apertura al tráfico



**Fotografía 4.18.**

Medidor de torque utilizado en el ensayo

## **2. CALIBRACION.**

1. Realizar una serie de ensayos con papel de lija 220 hasta que una serie de 10 lecturas marque un rango promedio constante de 0.3 kg-cm.
2. Después el disco de hule es “pulido” con un papel de lija 220 para una lectura constante y con las mallas 20-30 de arena Ottawa contenidas en un molde de 1 cm. Ensayar el papel de lija 100 y registrar la lectura de calibración.
3. Ensayar el agregado seco utilizado para el ensayo de mezclado como en el paso anterior y registrar sobre el grafico de cohesión.

## **3. PROCEDIMIENTO:**

1. Se utilizan agregados del tipo II y tipo III, tamizándolos a través del tamiz de 4.75 mm y 8 mm respectivamente descartando la porción que se retiene en los mismos. Mezclar y moldear un numero adecuado de especimenes idénticos utilizando el molde circular de 6 mm (para tipo II y material que pasa el tamiz de 4.75 mm) o en el de 10 mm (para tipo III y material que pasa el tamiz de 8 mm), centrado los anillos sobre cuadrados de papel impermeable. Tener el cuidado de producir especimenes uniformes cuyas superficies sean horizontales y paralelas (Fotografía 4.19).
2. La medición del torque se realiza a intervalos apropiados de tiempo, pudiendo utilizarse especimenes con 30, 60, 90, 150, 210 y 270 minutos después de vaciados. El espécimen es centrado bajo el pie de neopreno, se configura el compresor de aire a 200kPa, bajado el pie contra el espécimen a una velocidad de 8 a 10 cm por segundo. Después de 5 a 6 segundos de compactación, el medidor de torque es puesto a cero. Se realiza la acción de torque, girando la manecilla del dispositivo en un movimiento suave, firme y horizontal describiendo un arco de 90° a 120° en 0.5 a 0.7 segundos. El torque leído es registrado junto con el tiempo de curado de la muestra (30, 60, 90 min., etc.), el

cilindro es elevado y el pie limpiado raspándolo suavemente con una espátula para masilla (fotografía 4.20).



**Fotografía 4.19.**

Moldeado de especímenes para ensayo de cohesión húmeda



(A)



(B)

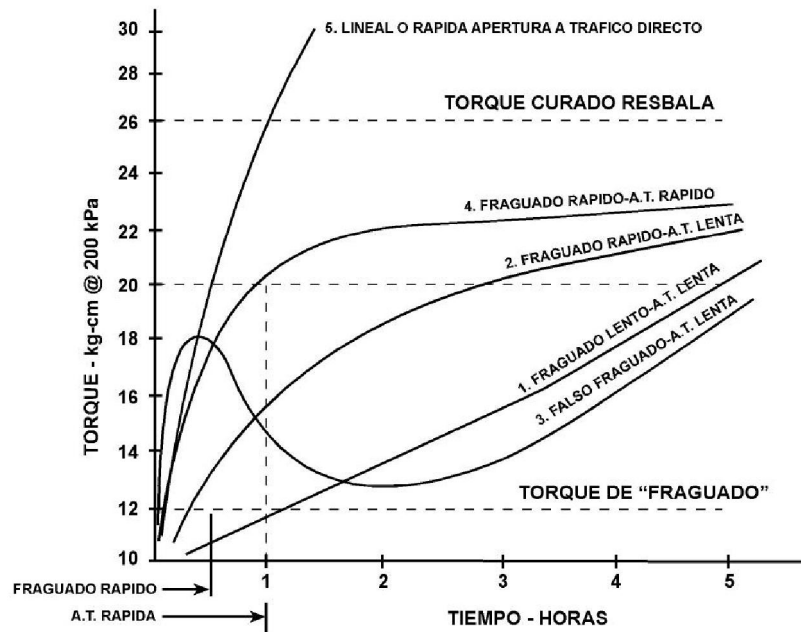
**Fotografía 4.20.**

(A) especímenes curados listos para ensayar, (B) espécimen colocado bajo el durómetro de neopreno listo a ser ensayado

3. Cuando se desee conocer el contenido de humedad de la muestra, es necesario pesar la tara del espécimen y la almohadilla de montaje antes de vaciar el espécimen.

#### 4. REGISTRO DE RESULTADOS

Los resultados deben de ser registrados en intervalos apropiados de tiempo después de vaciado los especimenes (30, 60 minutos, etc). Hasta que una tendencia definitiva sea establecida. Al trazar cada punto sobre papel de escala apropiado mostraran una curva característica que es particular del desarrollo de los esfuerzos de cohesión del sistema ensayado. La figura 4.12 muestra la carta de clasificación para sistemas de microsuring, las graficas obtenidas mediante el ensayo son comparadas con la carta para clasificar el sistema como: fraguado acelerado-trafico acelerado, fraguado acelerado-trafico lento, etc.



**Fig. 4.10.**

Carta de clasificación para sistemas de microsuring mediante gráficos de cohesión

## 5. DEFINICION DEL TIEMPO DE FRAGUADO Y DE APERTURA AL TRÁFICO

El tiempo de fraguado es definido como el lapso de tiempo después del vaciado cuando un sistema de lechada no puede ser remezclado y llevado a una mezcla homogénea, esto ocurre cuando: no son posibles desplazamientos laterales al compactar el espécimen, cuando una toalla de papel absorbente no se ensucia al oprimirla suavemente sobre la superficie de la lechada; o cuando una emulsión ha ligado y no se consigue lubricar fácilmente la mezcla; y cuando una emulsión no puede ser diluida, lavada ni quitada libremente con agua. Para sistemas de fraguado acelerado “Quick Setting”, simplemente se establece que:

*El tiempo de fraguado*, es aquel en donde ocurre un nivel de torque de 12 (12-13) Kg-cm. Un *sistema de fraguado rápido* se define como un sistema de lechada el cual alcanza los 12-13 kg-cm de cohesión al torque dentro de 30 minutos.

*Tiempo de apertura al trafico*: el tiempo de apertura al rodamiento temprano del trafico ocurre a un nivel de torque de 20 (20-21) kg-cm, como norma este nivel de torque debe de ocurrir para especímenes de 60 minutos. Un *sistema de rápida apertura al tráfico* es definido como un sistema de lechada el cual alcanza los 20-21 kg-cm de cohesión al torque dentro de 60 minutos.

*Modo de falla*: en ocasiones, un espécimen de ensayo de cohesión no confinada puede romperse en partes o provocar su ruptura de una manera anormal (fotografía 4.21) o presentar sólidos remanentes o casi no tocar el pie del ensayador. (hidroplaneo). Es útil anotar el modo de ruptura en el registro, y algunas veces asignar un valor de cohesión para propósitos gráficos de la siguiente manera:

*“N” = Normal. Aparecen grietas múltiples radiales. Debajo de 12 kg-cm no se presentan grietas pero hay más de una “salpicadura”.*





**Fotografía. 4.21.**

Desintegración del espécimen de ensayo debido a mala colocación sobre el pie del cohesímetro.

*“NS” = Casi gira. Solo se observa una grieta radial (el valor de cohesión equivalente es de 20 kg-cm)*

*“S” = Giro. No aparecen grietas pero el agregado es desplazado directamente bajo la superficie del pie y “rueda” bajo el pie. (Equivale a un valor de cohesión de 23 kg-cm)*

*“SS” = sólidos girados. No aparecen grietas. El agregado no es desplazado, no hay ruptura. El pie patina o desliza sobre la superficie. Alguna película de betumen puede ser removida. (Equivale a un valor de cohesión de 26 kg-cm)*

*Puede ser deseable evaluar las propiedades subjetivas de los remanentes del espécimen ensayado después de 2 días de secado al aire, esto según su apariencia, color, adhesión húmeda o recubrimiento, adhesión del sustrato y adhesión a 3 minutos bajo ebullición. (ISSA TB#114).*

#### **4.4.5 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO MÁXIMO DE ASFALTO.**

##### **Ensayo No. 8**

#### **MÉTODO DE ENSAYO PARA MEDIR EL EXCESO DE ASFALTO EN MEZCLAS BITUMINOSAS. ENSAYO DE LA RUEDA CARGADA Y ADHESIÓN DE ARENA.**

##### **Basado en el Boletín Técnico ISSA TB 109**

La prueba de la rueda cargada se propuso para compactar mezclas asfálticas de agregado fino tal como los slurry seal, por medio de una rueda de hule cargada que proporciona fatiga a la mezcla mediante un movimiento alternativo. El ensayo puede ser utilizado para propósitos de diseño, para establecer el límite máximo en el contenido de asfalto y permite al diseñador de la mezcla evitar exudación excesiva de asfalto bajo cargas intensas de tráfico.

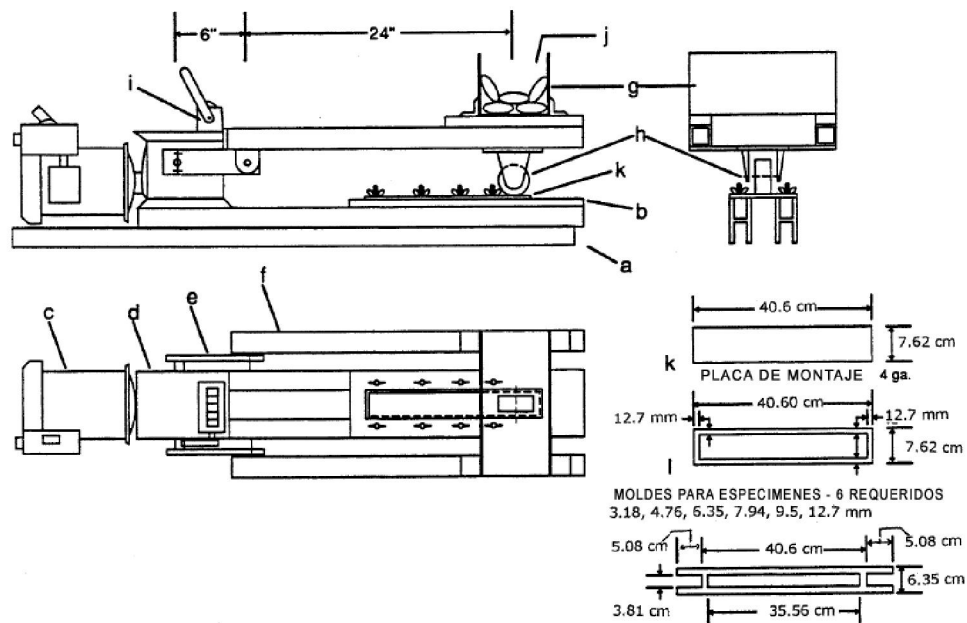
Este ensayo también es utilizado para estudiar los rangos de compactación y las deformaciones plásticas mezclas asfálticas monocapa y multicapa.

#### **1. APARATOS Y MATERIALES.**

- a) Maquina de ensayo de rueda cargada como la mostrada en la figura 4.11 y fotografía 4.22, constituida por los siguientes componentes principales:
  - a. Armazón de canales de acero, ajustable.
  - b. Placa de montaje para especímenes.
  - c. Motor rebordeado, 1/3 HP, 1750 rpm.
  - d. Eje horizontal 40:1 de doble salida piñón reductor.
  - e. Cigüeñal de conducción, de 6 pulgadas de radio.
  - f. Brazos conectores conductores de canales de acero ajustables.
  - g. Caja de carga, céntricamente ajustada sobre la rueda.
  - h. Chasis giratorio #3YY6-2 con rueda #WR6203 de 3 pulgadas de diámetro x i llanta de caucho suave (durómetro 60-70) de 1" montada a

una distancia horizontal de 24 pulgadas entre ejes del chasis giratorio y del cigüeñal de conducción.

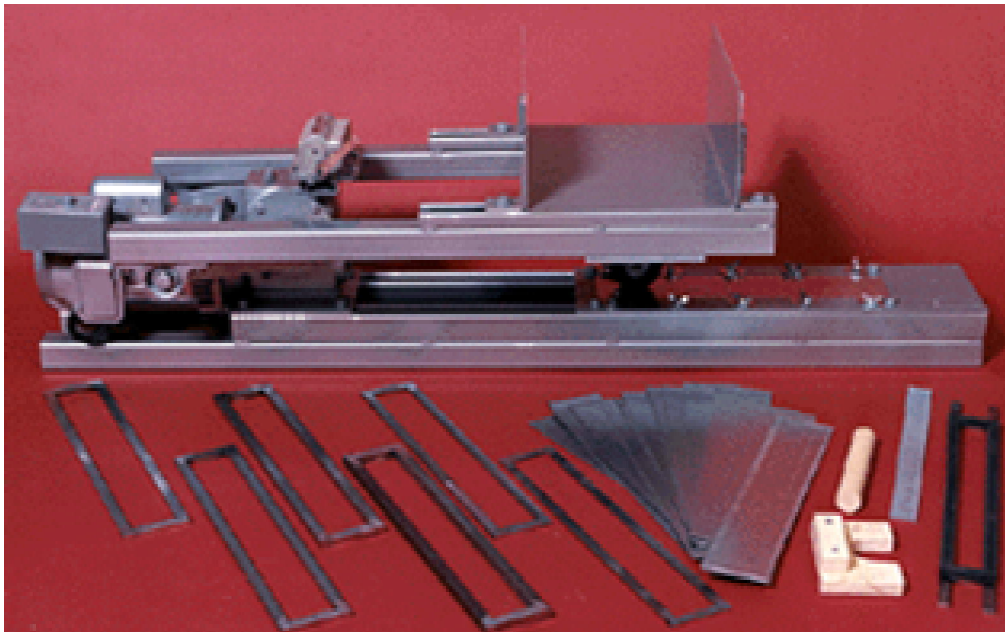
- i. Contador de revoluciones reajutable.
- j. Sacos de 5-25 libras, de perdigones de plomo #7 o #8.
- k. Placa de montaje para especímenes, 24 ga (0.024"-0.60 mm) de acero galvanizado x 3" x 16", de bordes bocelados.
- l. Diversos tipos de moldes para especímenes, con espesores de 0.125, 0.188, 0.250, 0.313, 0.375 y 0.500 pulgadas (3.2, 4.8, 8.0, 9.5, 12.7 mm), de medidas exteriores de 3" x 16" e internas de 2" x 15"
- m. Espiga de madera de 1" de diámetro por 6" de largo u una regla en forma de "U".
- n. Marco de acero para arena, de medias externas de 0.188" x 2.5" x 15" y medidas internas de 1.5" x 14", alineada por completo, un lado con adhesivo de espuma aislante de caucho y clavijas sujetadoras.
- o. Bascula de plataforma plana con capacidad para 250 libras sensible a 1 lb.



**Fig. 4.11.**

Maquina para ensayo de rueda cargada. ASTM 6372

- b) *Aparatos para preparación de la muestra:* Balanza con capacidad para 2000 g o mas y con precisión de 0.1 g, horno a temperatura constante (140°F), tazones de mezclado o beakers de 600 a 1000 ml, una espátula de 1" o una cuchara, placas de montaje para especímenes (2.1 k) y espigas o regla en forma de "V", moldes para especímenes, cono de consistencia (ASTM C-128).
- c) *Aparatos y materiales para adhesión de arena.* Arena fina de Ottawa <30, malla >100 (designación ASTM C-109 de grado estándar), placa caliente o horno para calentar arena (180°F), tazón metálico de 1000-5000 ml, aspiradora casera, termómetro para medir la temperatura de la arena, marco de acero para arena con banda de espuma de caucho.
- d) Aparato opcional para medir la compactación y distorsión tal como un Perfilógrafo y calibrador adecuado.



**Fotografía. 4.22.**

Equipo utilizado en el ensayo de la rueda cargada. ASTM 6372

## **2. PREPARACION DE LOS ESPECIMENES DE ENSAYO.**

1. Las mezclas de slurry Seal son preparadas con formulaciones seleccionadas a partir del método de ensayo ISSA TB 113, utilizando los materiales del proyecto.
2. El espesor de los moldes utilizar se establece seleccionando aquel que posea un espesor tal que den como resultado los espesores de especímenes adecuados para el ensayo. Ejemplo: 25% mas grueso que la partícula de agregado de mayor tamaño.
3. Utilizar de 25 a 35% de material adicional que el requerido para llenar los moldes con la mezcla. (Normalmente 300 g de agregado llenan un molde de ¼”).
4. Las mezclas de prueba son fabricadas para determinar las características de consistencia de la formulación seleccionada. La anotación de la formulación del porcentaje exacto a utilizar se realiza listando la cantidad de agregado, relleno mineral, agua, emulsión y la consistencia obtenida. Ejemplo: 100-2-10-18-3 cm.
5. El material es cuidadosamente pesado dentro del contenedor de mezclado. El procedimiento de mezclado debe de ser rápido y completo tal que el espécimen se moldee 30 segundos después de añadida la emulsión.
6. El molde seleccionado es centrado sobre una placa de montaje de especímenes previamente pesada, llenándolo uniformemente y de manera rebosante. Utilizar un movimiento horizontal de zigzag para nivelar la superficie, el espécimen es apisonado y nivelado tomando como referencia el marco del molde. Cuando el espécimen ha fraguado lo suficiente para prevenir desplazamientos, se remueve el molde y se coloca al horno un mínimo de 12 horas a peso constante a 140°F. El espécimen es removido del horno y enfriado a temperatura ambiente (Fotografía 4.23).



**Fotografía. 4.23.**

Moldeado de especímenes utilizando molde de 0.25” para ensayo de rueda cargada según ISSA TB 109.

### **3. AJUSTE Y PESADO DEL ENSAYADOR DE RUEDA CARGADA.**

1. Los brazos conectores (4.13-f), la chumacera y el chasis giratorio son ensamblados y ajustados, asegurándolos de tal manera que la distancia horizontal proyectada entre la manivela y el eje de la rueda sea 24 pulgadas (ver fig. 4.13). La rueda armada debe estar alineada, el recorrido de la rueda debe estar rectificadado y ser paralelo con el marco. La caja de carga es centrada y asegurada directamente sobre el eje de la rueda.
2. La rueda es colocada sobre una bascula de plataforma tal que los brazos conectores estén paralelos al marco. Los pesos de plomo son añadidos a la caja de carga hasta que se obtienen el peso deseado (Fotografía 4.24).

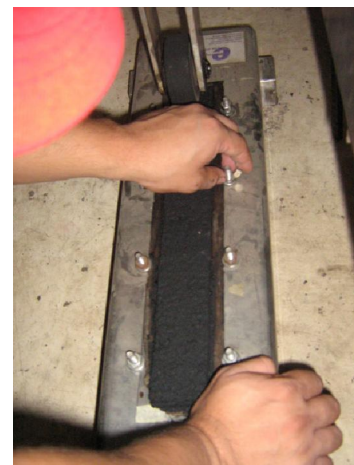
#### 4. MONTAJE DEL ESPECIMEN.

1. El espécimen es colocado sobre la placa de montaje fijamente contra los pines de emplazamiento y es asegurado en su posición mediante los sujetadores de arandela y las tuercas de oreja de la placa de ensamblaje (Fotografía 4.25).



**Fotografía. 4.24.**

Calibración de la carga de ensayo sobre la maquina LWT, con pesas de plomo



**Fotografía. 4.25.**

Montaje del espécimen sobre la placa de ensayo y fijada a la maquina de carga

## 5. PROCEDIMIENTO.

1. La rueda es examinada y completamente limpiada con solventes evaporatorios y agua. La rueda es luego colocada sobre el espécimen y la caja de carga es cargada con el peso deseado. Mantener la temperatura a 77°F +/- 2°F o como se establezca en otras especificaciones.

*Nota: A veces, los solventes pueden saturar la llanta de caucho y dar falsos puntos de adherencia y falsos valores de adhesión de arena. Se recomienda utilizar disco fino de papel lija montada sobre una barrenadota de ¼" o 3/8" para limpiar el neumático de caucho.*

2. El contador es puesto a cero y la compactación se inicia. Los ciclos por minuto deben de ser de 44 a los índices de propulsión indicados. *(Precaución: debe tenerse cuidado de no entrar en contacto con las partes de la máquina que se encuentren en movimiento. Los descuidos y la no vigilancia de la operación pueden resultar en daños y heridas serias).*
3. Durante la compactación pueden notarse algunos puntos con brillo visible y sonidos pegajosos (Fotografía 4.26), en este punto, debe añadirse suficiente agua con una pipeta, para prevenir la adhesión del espécimen a la rueda. (Con ciertos agregados, puede ser necesario limpiar el camino de la rueda con un chorro de agua para prevenir los finos erosionados por impacto del espécimen). Anotar las revoluciones requeridas para alcanzar el punto de ligadura (tack point).
4. Después de 1000 ciclos, o por otras especificaciones, parar la máquina, descargar y lavar el espécimen removiendo las partículas perdidas y secar a 140°F a peso constante (Fotografía 4.27).
5. El peso seco del espécimen es anotado y se monta nuevamente en la placa de montaje en su posición original. El marco para arena es centrado sobre el



espécimen y asegurar con la espuma de caucho contra el espécimen para prevenir la pérdida de arena. 300 gramos de arena caliente (180°F) son esparcidos uniformemente en el molde para arena (Fotografía 4.28). La rueda es inmediatamente cargada sobre el espécimen y se completan otros 100 ciclos. (ver nota 6.6.)



(A)

(B)

**Fotografía. 4.26.**

(A) Espécimen curado antes de ser sometido a carga cíclica, (B) espécimen luego de 100 ciclos de carga (puede notarse brillo debido a exudación de asfalto)

*Nota: Es conveniente utilizar 200 g, previamente pesados y calentados en un contenedor adecuado (como un beaker de 200 mL). Los 200 g de arena caliente son uniformemente esparcidos en el marco para arena y cubiertos inmediatamente con una tira metálica precalentada (1/8" x 1-3/8" x 14-7/8"). Mediante este método se obtiene mejor reproductibilidad del ensayo y se genera menos desorden.*



**Fotografía. 4.27.**

Muestra después de 1000 ciclos de carga, lavada secada y pesada para determinar peso antes de ensayada.



**Fotografía. 4.28.**

Arena graduada vertida sobre el espécimen y sometida a 100 ciclos extra de carga.

6. Toda la arena perdida es limpiada con la aspiradora casera y el espécimen es removido y pesado. El incremento en peso debido a la adhesión de arena es anotado (Fotografía 4.29).

*Nota: Cuando se utiliza una tira de metal, la aspiradora es innecesaria. El espécimen acoplado puede ser removido como una unidad, desacoplar sobre un contenedor de basura y se golpea levemente para remover la arena no adherida.*



**Fotografía. 4.29.**

Especímenes después de ensayados mostrando cantidad apreciable de arena adherida.

## **6. INFORME.**

El punto de ligadura “tack point” es reportado como \_\_\_\_\_ ciclos de \_\_\_\_\_ libras de carga a \_\_\_\_\_ °F.

La adhesión de arena se registra como \_\_\_\_\_ gramos adheridos después de \_\_\_\_\_ ciclos de \_\_\_\_\_ libras de carga @ \_\_\_\_\_ °F.

#### **4.4.6 DETERMINACION DEL CONTENIDO MINIMO DE ASFALTO.**

##### **Ensayo No. 9**

#### **MÉTODO DE ENSAYO DE ABRASIÓN DE PISTA HÚMEDA DE SISTEMAS DE SLURRY.**

##### **Basado en el Boletín Técnico ISSA TB 100**

El presente procedimiento de ensayo determina las cualidades de desgaste de las mezclas de sistemas de Slurry Seal y Microsurfacing bajo condiciones de abrasión húmeda.

El ensayo de abrasión en pista húmeda es un ensayo de simulación de desempeño el cual ha sido asociado a las cualidades de desgaste de los sistemas de microsurfacing empleados en campo. El ensayo establece el contenido mínimo de emulsión permisible de un sistema dado.

#### **1. RESUMEN DEL METODO.**

Una mezcla de agregado fino graduado, emulsión asfáltica y agua es preparada de modo que presente una consistencia homogénea y fluida, pudiendo añadirse cemento Pórtland, Limo hidratado y/o algún otro tipo de aditivo. La mezcla recién preparada es moldeada, apisonada y enrasada dentro de moldes circulares específicos apoyados sobre anillos de fieltro impermeable.

Luego de remover el espécimen del molde, este es curado secando al horno a peso constante a una temperatura de 60°C. La mezcla curada es sumergida en un baño de agua a 25°C por un periodo de una hora (ó 6 días para ensayos de clasificación del sistema), luego el espécimen es sometido a abrasión mecánica bajo agua mediante fricción por un tiempo especificado (5 minutos). El espécimen desgastado es lavado, limpiándolo de cualquier desecho libre, secado en un horno a 60°C y pesado. La pérdida en peso es expresada en gramos totales perdidos o en gramos perdidos por unidad de

área como: gramos por metro cuadrado o gramos por pie cuadrado. También, mediante el presente ensayo, pueden determinarse características de susceptibilidad a la humedad a largo plazo, modificando el tiempo de inmersión en agua, de una hora a 6 días.

El valor para el sistema de clasificación es definido como el porcentaje de emulsión requerido para producir una pérdida por el ensayo WTAT de 24.5 gramos (806 g/m<sup>2</sup>) de inmersión a los 6 días C-100. (Ver ISSA TB 144)

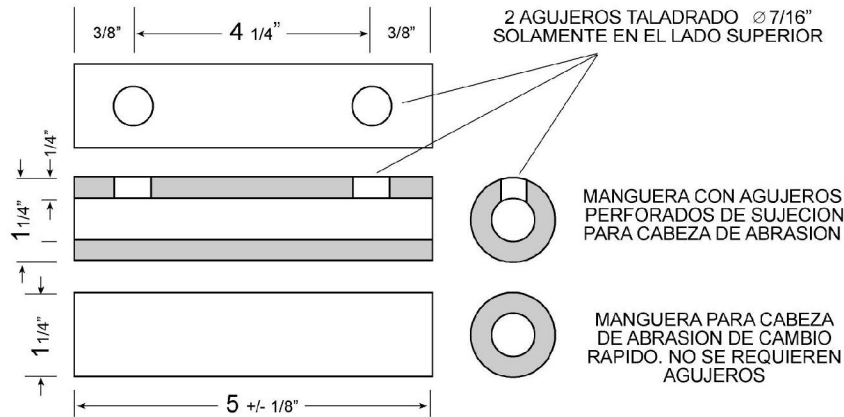
## 2. APARATOS.

- a) Bascula o balanza capaz de pesar 5,000 gramos a una precisión de +/- 1.0 g.
- b) Mezclador mecánico tipo planetario tal como el Hobart C-100, N-50 o el A-120 (Fotografía 4.30) equipado con una cabeza abrasiva de 2.27 kg (Fig. 4.12), placa de montaje con abrazadera de sujeción rápida y una charola de metal de fondo plano (Fotografía 4.31).



**Fotografía. 4.30.**

Maquina de abrasión en pista húmeda tipo Hobart C-100



**Fig. 4.12.**

**Manguera de caucho para ensayo de abrasión húmeda**

- c) Tazón de fondo redondo resistente a la oxidación de suficiente tamaño para contener la muestra durante el ensayo.
- d) Cuchara de mezclado de mango largo de suficiente longitud para que sobresalga 100 mm o más fuera del tazón de mezclado durante la mezcla.
- e) Suministro de discos de 286 mm de diámetro cortados de 30 libras de fieltro impermeable saturado.
- f) Moldes adecuados para la fabricación de los especímenes, de profundidad especificada (6.35 mm es el estándar) y de diámetro interno especificado: 279 mm para el equipo mezclador C-100 y A-120 y 254 mm para el mezclador N-50. Moldes de borde elevado son preferibles, pero un molde de polimetil metacrilato de superficie plana es satisfactorio (Tabla. 4.15 y Tabla. 4.16).

*Nota: Cuando se utilicen otra gradaciones diferentes que la estándar 0/#4<sup>8</sup>, se recomienda que el espesor moldeado sea de un 25 a 35% mas grande que la partícula de mayor tamaño del agregado a ser utilizado. No se han realizado correlaciones de campo para gradaciones mas gruesas que la estándar de 0/#4.*



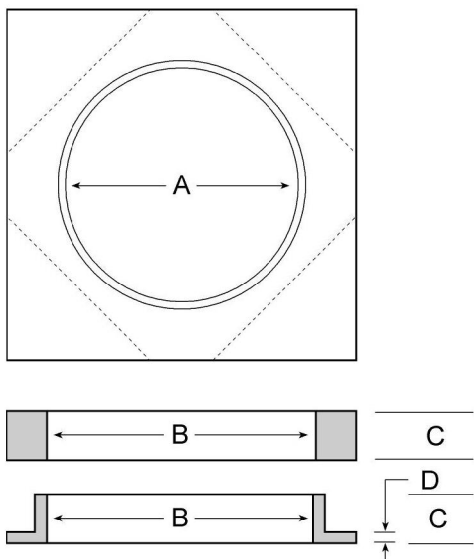
**Fotografía. 4.31.**

Mecanismo de sujeción de espécimen a la máquina de ensayo mediante abrazaderas de sujeción rápida.

- g) Limpiador de ventanas (squeegee) de 30 a 36 mm, espiga de madera de 25 mm de diámetro por 350 mm o un squeegee mecánico de una pasada.
- h) Horno de corriente de aire forzada calentado a 60°C +/- 3°C del tipo 11B, conforme con los requerimientos del estándar ASTM E 145.
- i) Baño de agua a temperatura constante de 25°C +/- 1°C.

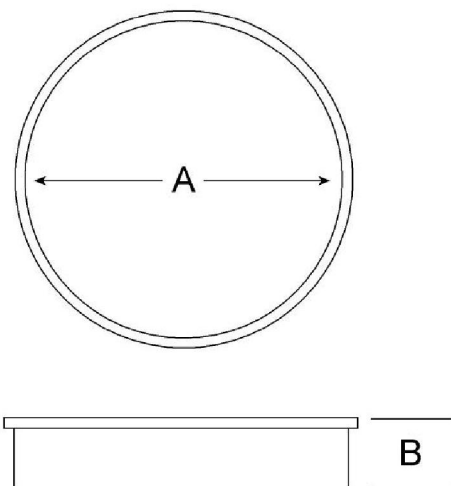
---

8 Porcentaje retenido en la malla / No. de malla analizada



<b>MOLDE HOBART</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>C-100</b>	<b>11"</b>	<b>12-15"</b>	<b>1/4"</b>	<b>14 ga</b>
<b>A-120</b>	<b>11"</b>	<b>12-15"</b>	<b>1/4"</b>	<b>14 ga</b>
<b>N-50</b>	<b>9-3/4"</b>	<b>12-15"</b>	<b>1/4"</b>	<b>14 ga</b>

**Tabla 4.15.** Moldes para especímenes de ensayo

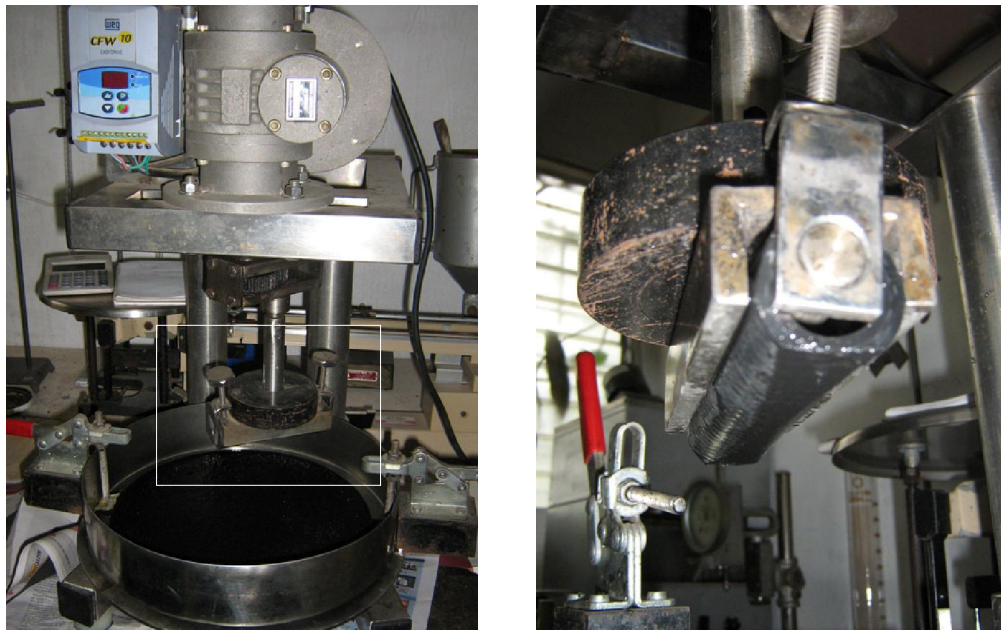


<b>Molde Hobart</b>	<b>A</b>	<b>B</b>
<b>C-100</b>	<b>13"</b>	<b>2-3"</b>
<b>A-120</b>	<b>13"</b>	<b>2-3"</b>
<b>N-50</b>	<b>11-1/4"</b>	<b>2"</b>

**Tabla 4.16.** Charola base para sujeción rápida



- j) Manguera reforzada revestida de caucho, de  $\frac{3}{4}$ " de diámetro interno por  $\frac{1}{4}$ " de espesor de pared (19 mm diámetro interno x 6.25 mm de espesor). La manguera es cortada a una longitud de 5" (127 mm). Cuando se utiliza la cabeza de abrasión de manguera perforada, la manguera se perfora con dos pares de agujeros de 9 mm alineados y centrados a 107 mm sobre uno de los lados del tubo. Los agujeros son taladrados a  $90^\circ$  del lado cóncavo o convexo. Los agujeros no son necesarios cuando se utilizan cabezas de abrasión con mandril rígido de cambio rápido (Fig. 4.12 y Fotografía 4.32).
- k) Bloque de apoyo de madera o dispositivo para soportar, durante el ensayo, el conjunto montado de charola y placa.



**Fotografía. 4.32.**

Mecanismo de abrasión compuesto por una manguera rígida de caucho.

### **3. PREPARACIÓN DEL ESPÉCIMEN DE ENSAYO.**

1. La proporción de cemento Pórtland, limo hidratado y/o aditivos, agua y emulsión asfáltica con respecto al peso seco del agregado debe ser predeterminada en laboratorio o utilizar una fórmula de trabajo previamente aceptada por el ingeniero del proyecto.
2. Dividir o cuartear, con un cuarteador mecánico, cantidad suficiente de agregado seco al aire, tamizándolo a través del tamiz No.4 para obtener no menos de 800 gramos de muestra (700 gramos cuando se utiliza la máquina de abrasión N-50).
3. Pesar 800 gramos dentro del tazón de mezclado. Utilizando una cuchara de mezclado, mezclar sin añadir agua, el cemento Pórtland (o limo hidratado) con el agregado por un minuto hasta que se distribuya uniformemente. Añadir la cantidad preestablecida de agua (para obtener una consistencia de 2.5 a 3.0 cm) y mezclar nuevamente por un minuto o hasta que todas las partículas de agregado se humedezcan uniformemente. Finalmente, añadir la cantidad predeterminada de emulsión y mezclar por un periodo de no menos de un minuto y por no más de tres minutos.
4. Sistemas de fraguado rápido y de apertura rápida al tráfico deben ser mezclados y moldeados en 30 segundos y finalizados en no más de 45 segundos de tiempo total de trabajo.
5. Centrar la abertura del molde sobre el disco de fieltro impermeable de 286 mm. Inmediatamente verter la mezcla sobre el disco de fieltro (Fotografía 4.33).
6. Enrasar o nivelar la mezcla al mismo nivel de la parte superior del molde con una manipulación mínima (el enrasamiento excesivo contribuye a la segregación). Desechar el material en exceso.

7. Remover el espécimen del molde y colocar el espécimen moldeado en un horno a 60°C y secar a peso constante por un periodo mínimo de 15 horas.



**Fotografía. 4.33.**

Fabricación de especímenes de ensayo sobre moldes metálicos para maquina Hobart C-100



(A)

(B)

**Fotografía. 4.34.**

(A) Espécimen recién moldeado y (B) Espécimen luego de periodo de curado

#### 4. PROCEDIMIENTO.

1. Remover el espécimen seco del horno, permitiendo que enfríe a temperatura ambiente y pesarlo (Fotografía 4.34).
2. Después de pesado, colocar el espécimen en un baño de agua a 25°C por 60 ó 75 minutos.
3. Remover el espécimen del baño de agua y colocarlo en la charola de fondo plano de 330 mm de diámetro. Sujetar el espécimen a la charola y montar sobre la placa mediante las abrazaderas de sujeción rápida.
4. Cubrir completamente el espécimen con agua a 25°C, a una profundidad de 6.35 mm (Fotografía 4.35).

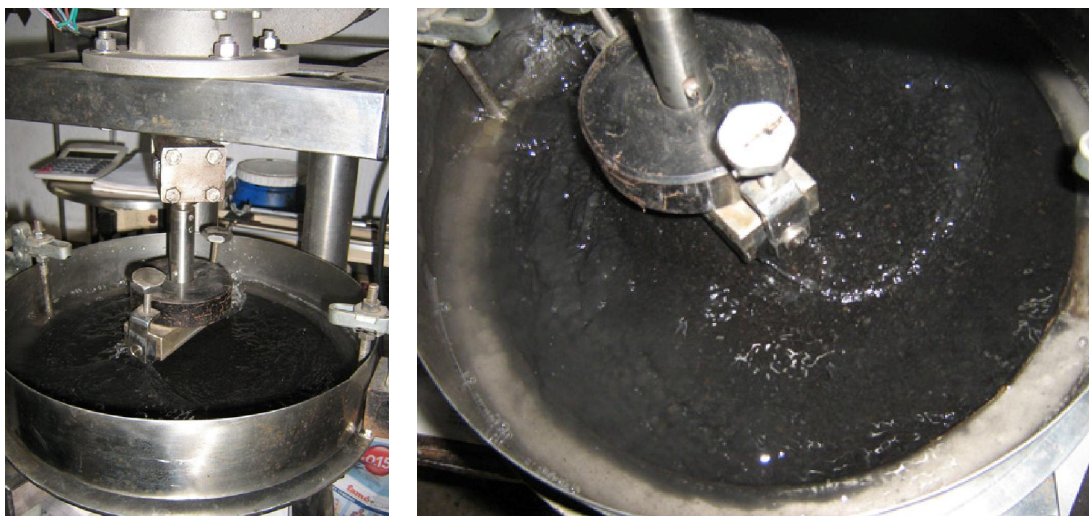


**Fotografía. 4.35.**

Montaje de espécimen sobre la maquina de abrasión cubriendo completamente con agua a profundidad de aproximadamente 2 mm sobre su superficie.

5. Bloquear la cabeza abrasiva con el eje de la maquina Hobart. Elevar la plataforma de la maquina Hobart hasta que la manguera de hule se pose sobre la superficie del espécimen. Utilizar el bloque de apoyo para soportar la plataforma ensamblada durante el ensayo.

6. Encender la maquina Hobart a una velocidad baja. Operar la maquina Hobart de acuerdo con la tabla 4.17. Se permite rotar la manguera después de cada ensayo realizado para obtener una sección nueva de abrasión para la próxima prueba (Fotografía 4.36).



**Fotografía. 4.36.**

Proceso de abrasión en húmedo por período de 5 minutos.

7. Remover el espécimen de la charola después del ciclo de abrasión y lavar los desechos. Colocar el espécimen de ensayo lavado en un horno a 60°C y secar a peso constante.

*Nota: Método alternativo: se seca la manguera de abrasión y se pesa antes y después del ensayo para determinar el desgaste de la manguera. Todos los agregados desgastados y las partículas de manguera son lavados a través de un papel filtro de 12". El papel filtro y su contenido son secados por una hora a 60°C. La pérdida neta de agregado es luego calculada y registrada como la pérdida WTAT.*

8. El espécimen seco es removido del horno, permitiendo que alcance la temperatura ambiente y es pesado. La diferencia entre este peso y el peso obtenido en la sección 6.1 son los gramos de pérdida por abrasión húmeda (Fotografía 4.37).



**Fotografía. 4.37.**

Especímenes de ensayo (A) antes del ensayo y (B) después del proceso de abrasión

Para obtener la pérdida por unidad de área, multiplicar los gramos perdidos por le factor apropiado			
	<b>Tiempo en minutos</b>	<b>Factor g/ft<sup>2</sup></b>	<b>Factor g/m<sup>2</sup></b>
C-100	5 min = +/- 2 s	3.06 x 1.0	32.9 x 1.0
A-120	6 min 45 s = +/- 2 s	2.78 x 1.17	29.9 x 1.17
N-50	5 min 15 s = +/- 2 s	3.48 x 0.78	37.5 x 0.78
N-50 Modif.	5 min 15 s = +/- 2 s	3.06 x 1.0	32.9 x 1.0

**Tabla 4.17.**

Factores de corrección para correlacionar a pérdida por C-100

## **5. CALCULOS.**

Calcular la pérdida de material por desgaste en g/ft<sup>2</sup> o en g/m<sup>2</sup> (valor húmedo):

$$\text{Valor Húmedo} = (A - B) \times C \times D$$

En donde:

A = Peso inicial del espécimen.

B = Peso del espécimen desgastado.

C = Constante de conversión

D = Factor de correlación C-100

## **6. INFORME.**

El valor de desgaste (WTAT) es calculado utilizando la tabla 17 y los factores de corrección mostrados, reportando lo siguiente:

- a. Periodo de remojo.
- b. Maquina utilizada.
- c. Tiempo de ensayo.
- d. Gramos perdidos.
- e. Perdida en gramos por unidad de área.

Ejemplo: “una hora de remojo modificado N-50; 5 min, 5 s; valor de desgaste de 22.1 g o 67.6 g por pie cuadrado”.

Reportar el contenido de emulsión para la cual se alcanza la abrasión máxima permitida. Este valor se anota como el mínimo de emulsión a utilizar.

#### **4.4.7 DETERMINACION DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO.**

La determinación de la cantidad óptima de emulsión a utilizar en un sistema de microsurfacing, que garantice un comportamiento adecuado bajo las sollicitaciones esperadas, debe de ser tal que proporcione suficiente ligante a la mezcla para que esta posea una adecuada cohesión interna que le permita a las partículas de agregado permanecer adheridas fuertemente entre si; y al mismo tiempo no debe de presentar exceso de ligante que ocasione inestabilidad en la mezcla, deformaciones plásticas, exudación de asfalto, desplazamientos laterales, etc.

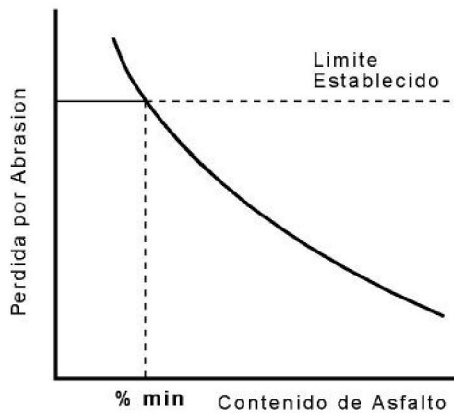
El calculo del porcentaje optimo de emulsión se realiza en base a dos estados limites: (1) la cantidad de emulsión que proporcione una adherencia adecuada para que la mezcla no se desgaste ni desmorone en exceso, lo cual se obtiene mediante el ensayo de desgaste en húmedo (ISSA TB 100) estableciendo el contenido mínimo de emulsión recomendado; (2) el porcentaje de emulsión debe ser tal que la mezcla sea estable, no se presente segregación y que el sistema no este susceptible a deformaciones debido al trafico pesado o desplazamientos debido a exceso de asfalto, exudaciones, etc. Para lo cual se determina un contenido de emulsión máxima mediante el ensayo de la rueda cargada y adhesión de arena (ISSA TB 109).

La cantidad óptima de ligante se establece mediante un procedimiento grafico, tomando como insumos los gráficos de “perdida vrs % emulsión” obtenidos del ensayo de abrasión húmeda (Fig. 4.13), y del grafico “adhesión de arena vrs % emulsión” obtenido del ensayo de la rueda cargada (Fig. 4.14). El porcentaje de emulsión optimo se encuentra próximo a la intersección de las dos graficas superpuestas con una tolerancia de +/- 1.5% (Fig. 4.15).

El estándar ISSA TB 111, establece el siguiente procedimiento para determinar el contenido óptimo de ligante:

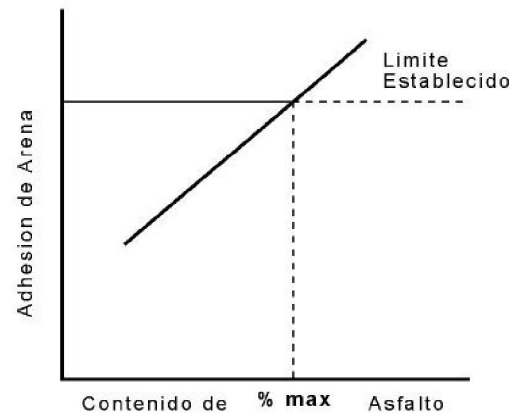
1. Plantear los limites máximos de WTAT = contenido mínimo de asfalto (75 g/ft<sup>2</sup>)
2. Plantear los límites tolerables de trabajo (competencia del contratante)





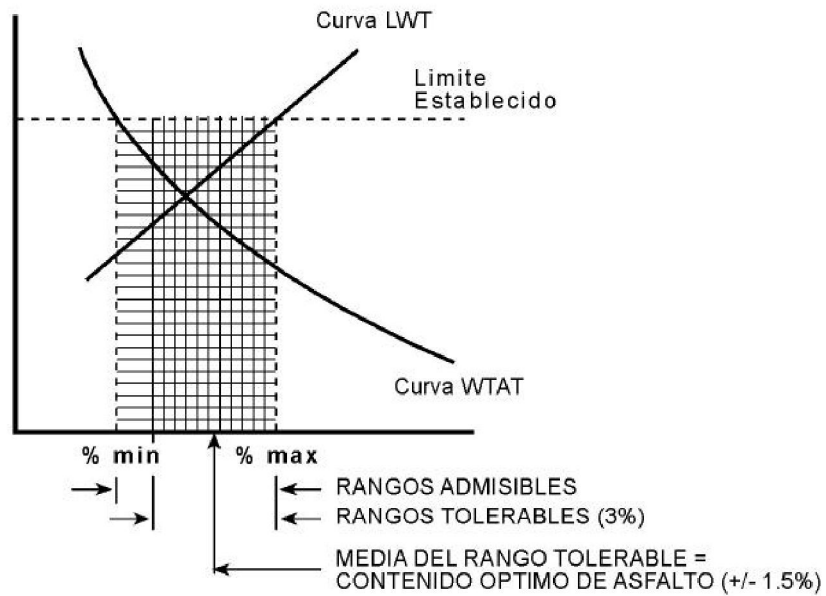
**Fig. 4.13.**

Curva de Perda por abrasión vrs % asfalto. Ensayo de pérdida por abrasión húmeda



**Fig. 4.14.**

Curva de Adhesión de arena vrs % asfalto. Ensayo de la rueda cargada



**Fig. 4.15.** Determinación del contenido óptimo de asfalto.

El rango admisible es aquel que define los límites máximos y mínimos de asfalto establecidos en el laboratorio. El rango tolerable es aquel establecido por disposiciones del proyecto.

3. Plantear los límites máximos de LWT en base al tráfico esperado.  
Ligero = 0 a 500 ADT (75g/ft<sup>2</sup>) adhesión de arena, 1000 ciclos @125 lbs.  
Medio=250 a 1500 ADT (60g/ft<sup>2</sup>).  
Alto = 1500 a 3000 + (50g/ft<sup>2</sup>)
4. Dibujar graficas de los datos físicos de las pruebas y sobreponer los límites planteados y leer el contenido optimo de asfalto.

EL Instituto de Transporte de Texas establece el contenido optimo de asfalto como un 0.5% arriba del contenido mínimo establecido en el ensayo de abrasión húmeda (WTAT).

#### **4.4.8 DETERMINACION DE LA ESTABILIDAD DEL SISTEMA.**

La estabilidad de una mezcla para sistemas de microsurfacing se mide en base a la aptitud que presenta para resistir desplazamientos y deformaciones debido a cargas de tráfico intensas y el grado de compactación que el sistema presenta después de ciclos determinados de carga. Para el establecimiento de estas características se utiliza el estándar ISSA TB 147, el cual describe tres métodos de ensayo: (1) El ensayo de la Rueda Cargada (LWT); (2) el ensayo Británico de la rueda cargada a 45°C; y (3) ensayo modificado LAI de la rueda cargada.

Debido a que mediante el ensayo de la rueda cargada descrito en el estándar ISSA TB 109 pueden determinarse las características de compactación y deformabilidad de las mezclas sin necesidad de utilizar equipos extras ni dispositivos y procedimientos nuevos, será este el procedimiento a utilizar para establecer la estabilidad de la mezcla.

## **Ensayo No. 10**

### **MÉTODO DE ENSAYO PARA LA MEDICIÓN DE LA ESTABILIDAD RESISTENCIA A LA COMPACTACIÓN, DESPLAZAMIENTO VERTICAL Y LATERAL DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO DE AGREGADO FINO MULTICAPA.**

**Basado en el Boletín Técnico ISSA TB 147**

#### **1. APARATOS:**

1. Una cuchara adecuada para mezclas o una espátula, vasijas y contrapesos para preparar 500 gramos de mezcla.
2. 24 laminas para soporte de acero galvanizado “calibre x 3” x 16” y un molde para contener especímenes de ½” x 2” x 15”
3. Dispositivo ensayador de rueda cargada como el descrito en la ISSA TB 109 que consiste de una rueda de hule suave de 3” de diámetro cargada con 125 lbs la cual alterna a través de un trazo horizontal de 12” a una tasa de 44 ciclos por minuto.
4. Bloque calibrador de 0.188” x 0.50” x 4” con ranuras de 0.25” y un pie de rey capas de medir el ancho y profundidad de los especímenes a precisiones dentro del 0.001” a 0.1”

#### **2. PROCEDIMIENTO:**

1. Una mezcla con 500 gramos de agregado seco es preparada utilizando gradaciones de agregado de 0/#4 u otras gradaciones y relleno mineral de la calidad deseada, agua, aditivos y emulsión asfáltica. Después de 30 segundos de vigoroso mezclado, la mezcla es moldeada dentro de moldes de ½” x 2” x 15”

centrados sobre 24 platinas de montaje de calibración nivelando inmediatamente la superficie del espécimen utilizando una acción de aserrado teniendo el debido cuidado para evitar la segregación de la mezcla o la presencia de cualquier liquido libre. Es deseable cubrir la superficie interior del molde con una capa delgada de petróleo o una mezcla de glicerina y talco como desmoldante para prevenir que se pegue.

2. La operación de moldeado (vaciado) debe ser completada en 15 segundos y no deben de transcurrir más de 45 segundos desde el comienzo del mezclado hasta la finalización del espécimen.
3. Tan pronto como la mezcla esta suficientemente fraguada (endurecida) para prevenir que fluya libremente, el molde es cuidadosamente removido sin perturbar el espécimen. Después de curar al aire por 24 horas, el espécimen es secado a peso constante en un horno de corriente forzada a 60°C por 18-20 horas.
4. Después de un periodo de enfriado de dos horas a temperatura de ensayo, se mide el ancho y espesor neto del espécimen utilizando el block de calibración. El peso neto es obtenido y registrado. La densidad puede ser obtenida en este punto pesando el espécimen en agua, deduciendo el peso de la platina de montaje.
5. El espécimen es luego montado en la maquina LWT y sujeto a 1000 ciclos de 125 lbs de compactación LWT. La temperatura debe mantenerse a 22°C +/- 2°C durante el ensayo.
6. El espécimen es luego removido de la maquina de LWT e inmediatamente se mide lateralmente y céntricamente en el camino de la huella (rueda) y se registran los resultados.

### **3. REPORTE**

El reporte debe incluir:

1. Identificación del espécimen, rango de gradación, formula de mezcla.
2. Espesor nominal del molde del espécimen (ejemplo: 13 mm)
3. Peso neto del espécimen.
4. Numero de ciclos de compactación LWT, peso de rueda cargada.
5. Temperatura de compactación
6. Porcentaje de desplazamiento vertical (profundidad de la rodadera como un porcentaje del espesor original)
7. Porcentaje de desplazamiento lateral (incremento en porcentaje del ancho original)
8. Opcional: Gravedad especifica, sin compactar y compactada (incremento del porcentaje de compactación) desde el procedimiento estándar arriba citado.

*Nota 1: Variaciones en la gradación de los agregados, espesores de especímenes, confinamiento y temperaturas de ensayo deben de ser anotadas.*

*Nota 2: Cuando se ensaya una serie de especímenes, conteniendo un amplio rango de contenidos de emulsión, el contenido óptimo de ligante adecuado para resistir la formación de rodaderas puede ser determinado al mínimo desplazamiento vertical y lateral.*

*Nota 3: Se ha encontrado que desplazamientos verticales sin confinar bajo las condiciones establecidas en este ensayo que excedan sustancialmente el 10% no son satisfactorias para aplicaciones multicapa no compactadas.*

## **Ensayo No. 11**

### **MÉTODO DE ENSAYO PARA LA CLASIFICACIÓN DE LA COMPATIBILIDAD DEL AGREGADO-FILLER-LIGANTE POR LOS PROCEDIMIENTOS SCHULZE-BREUER Y RUCK**

**Basado en el Boletín Técnico ISSA TB 144**

#### **1. SIGNIFICADO Y USO:**

El método provee un sistema para evaluar o asignar valores de clasificación a las características como: pérdida de abrasión, adhesión y cohesión a altas temperaturas, de una combinación ligante-filler específica para comparar los valores obtenidos en las pruebas de referencia (ISSA TB 100 e ISSA TBG 109). Los valores de las pruebas pueden asociarse con los comportamientos en campo de mezclas de pavimentos.

#### **2. APARATOS:**

- a) Espátula apropiada para mezclado y un tazón o charola para contener 200 g de mezcla.
- b) Balanza con precisión de  $0.01 \pm 0.005$  g
- c) Horno de corriente forzada configurado a  $60^{\circ}\text{C}$  , según la especificación ASTM E145 para hornos de ventilación forzada o de gravedad-convección.
- d) Cuarto húmedo a  $25^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$
- e) Moldes de pastillas, consistentes en una base, una camisa de 30 mm de diámetro interno por 70 mm de altura y un apisonador de 29 mm de diámetro.
- f) Una prensa de fuerza constante capaz de proporcionar una fuerza de 1000 Kg (2204 Lb)
- g) Plataformas cilíndricas que consisten en tubos de acrílico de 60mm de diámetro interno x 400 mm de longitud interna conteniendo un volumen de 1100 ml  $\pm$  25 ml cerrados con agua a presión y tapones metálicos ajustados a cada extremo, uno de los cuales debe de ser removible.

- h) Máquina de abrasión capaz de sujetar por lo menos dos pares de cilindros y rotarlos luego, extremo a extremo alrededor de un eje central a 20 rpm
- i) Canasta metálica de 50 mm de diámetro por 50 mm de altura con espesor de 6mm con medios necesarios para suspenderla en agua hirviendo.

### 3. MATERIALES

- a) El agua debe de ser agua de grifo sin sólidos nocivos disueltos. Se utiliza agua destilada como referencia.
- b) La emulsión asfáltica a utilizar deberá ser mezclada rigurosamente y cribada a través de la malla 20 para remover cualquier aglomeración.
- c) Los aditivos como el cemento Pórtland, limo hidratado, sulfato de aluminio o sulfato de amonio o retardantes o acelerantes apropiados deben ser utilizados según se desee. En ausencia de estos aditivos, se debe utilizar el 1% de cemento Pórtland como una referencia estándar.
- d) Pueden utilizarse bitúmenes puros o cementos asfálticos con o sin aditivos tales como desmoldantes, en combinación con un 50% de solución de un solvente anti-inflamable y con un bajo punto de ebullición, para facilitar la mezcla a 60°C.
- e) El agregado a utilizar será lavado, tamizado y re graduado como sigue:

Tamices métricos %	Tamices U.S. %
710 $\mu\text{m}$ a 2.00 $\mu\text{m}$ =25%	#30 a #10=35%
250 $\mu\text{m}$ a 710 $\mu\text{m}$ =40%	#50 a #30=25%
90 $\mu\text{m}$ a 250 $\mu\text{m}$ =15%	#200 a #50=22%
0.0 a 90 $\mu\text{m}$ =20%	#0 a #200 =18%

- f) Cuando el agregado no es re graduado y es cribado como se recibe con el 100% que pasa la malla de 2 mm o la #10, los resultados de la prueba deberán reportarlo.

#### **4. PREPARACION DE LA MEZCLA:**

1. Añadir a la muestra, a través de un embudo, 200 gramos de agregado preparado, 2 gramos (1%) de cemento Pórtland tipo I o la cantidad que se desee de cemento y/o algún otro aditivo y suficiente agua para producir una lechada trabajable (aproximadamente 50 g). Pre mezclar vigorosamente antes de añadir la emulsión.
2. Añadir el equivalente a 8.125%  $\pm$  0.1% de betumen puro (12.5% de una emulsión asfáltica con un 65% de residuo) y mezclar hasta que la emulsión rompa. Transferir la lechada ya “rota” y desmenuzada dentro de una charola adecuada para secarla y permitir un mínimo de 1 hora de curado al aire, luego secar a peso constante en un horno de corriente forzada a 60°C (puede requerirse de aproximadamente 18 horas)
3. Colocar 40 gramos  $\pm$  1 g de la mezcla secada a 60°C uniformemente desmigajada, dentro del molde, precalentar a 60°C e inmediatamente presionar la mezcla por un minuto a una presión de 1000 kg. Remover las pastillas resultantes del molde y enfriarlas a temperatura ambiente.

#### **5. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO.**

1. Remover cualquier pérdida desprendida de la pastilla, pesar a una precisión de 0.01 gramos y sumergir el espécimen en un baño de agua a 25°C  $\pm$  3°C, por 6 días.
2. Después del periodo de 6 días de remojo, secar superficialmente la pastilla secándola con una toalla de papel resistente hasta que no aparezcan áreas húmedas en la toalla. Pesar inmediatamente a una precisión de 0.01 g y determinar el peso de agua absorbida y registrar este valor como la “absorción”.



3. Llenar los cilindros con agua de grifo con 750 ml +/- 25mL (2/3 de su capacidad), colocar las pastillas en los cilindros, colocar los extremos removibles para cerrar el cilindro y asegurarlos en la maquina de abrasión.
4. Encender la maquina de abrasión por 3 horas +/- 3 minutos a 20 rpm (3600 ciclos) cada mitad del giro la pastilla caerá a través de agua y golpeará en el fondo.
5. Después de 3600 ciclos de abrasión, remover las pastillas del cilindro y secar superficialmente las pastillas erosionadas como se describe en el numeral 7.1.1 e inmediatamente pesar a una precisión de 0.01 g para determinar la pérdida en peso o la pérdida por “abrasión” (Ver tabla 4.16).
6. Colocar las pastillas desgastadas en la canasta de tela y suspender en un beaker de 800 ml o en otro contenedor adecuado lleno de agua hirviendo por 30 minutos.
7. Colocar los remanentes de las pastillas hervidas sobre unas toallas de papel absorbente. Cuando los especímenes estén superficialmente secos, pesar los remanentes de mayor tamaño con masa coherente y registrar como el porcentaje de la pastilla original saturada. Este porcentaje es el valor de cohesión a altas temperaturas o simplemente la “integridad” (Ver tabla 4.16).
8. Después de secar por 24 horas, estimar el porcentaje de partículas de agregado que han sido completamente cubiertas con asfalto. Este porcentaje de recubrimiento relativo es registrado como “adhesión” (Ver tabla 4.18).

## 6. REPORTE.

En cada ensayo se reportaran la media de los resultados de cuatro especimenes que incluirán:

Absorción	En gramos absorbidos
Perdida por abrasión	En gramos perdidos
Adhesión	En porcentaje recubierto
Integridad	En porcentaje de masa retenida

Rango de clasificación, para cada ensayo	Puntos del rango, para cada ensayo	Perdida por abrasión, g	Adhesión, 30 min hervido, % recubierto	Integridad, 30 min de hervido, % retenido
A	4	0 – 0.7	90 – 100	90 – 100
B	3	0.7 – 1.0	75 – 90	75 – 90
C	2	1.0 – 1.3	50 – 75	50 – 75
D	1	1.3 – 2.0	10 – 50	10 – 50
0	0	2.0 +	0	0

*Nota: Los estándares europeos requieren solamente de “menos de un gramos de pérdida por abrasión”. Esto es sugiere que 11 puntos en total se establecen como el rango mínimo para sistemas modificados con polímeros de altas prestaciones. Para sistemas no modificados, los valores de “integridad” pueden no ser aplicables y es sujeto a las evaluaciones de campo actuales.*

**Tabla 4.18**

Sistema de clasificación Schulze-Breuer utilizado para determinar la compatibilidad de los componentes de mezclas de microsurfacing

#### **4.4.9 CONVERSION DE UNIDADES DE LABORATORIO A UNIDADES DE CAMPO.**

Luego de que se establece el diseño óptimo, es necesario trasladar las cantidades de laboratorio de la fórmula a cantidades de control en campo. Un método sugerido es descrito en la ISSA TB 107, “método para control de unidades en campo de cantidades de slurry seal”. El objetivo de este método es sumar al inspector y operador al control de las cantidades de material en campo y rangos de aplicación para que los resultados del diseño sean obtenidos en campo. El método es esencial para trasladar el diseño de laboratorio dentro de las unidades de campo como galones, toneladas y bolsas y para realizar la medición de las mismas durante la aplicación.

#### **Ensayo No. 12**

#### **MÉTODO DE CONTROL DE LAS UNIDADES DE CAMPO PARA CANTIDADES DE LECHADAS ASFÁLTICAS**

#### **Basado en el Boletín Técnico ISSA TB 107**

El objetivo de este boletín es ayudar al operador e inspector a controlar las cantidades de materiales en campo y los rangos de aplicación que se obtuvieron en el diseño. El método es esencialmente el de trasladar el diseño de laboratorio a unidades utilizadas en campo como galones, toneladas y bolsas, y poder realizar su medición durante la aplicación de las lechadas,

El informe de laboratorio debe proveer al operador e inspector la información esencial de diseño como se muestra en el ejemplo mostrado mas adelante.

El efecto de “abundamiento” debido al contenido de humedad sobre el peso específico (libras por pie cúbico de agregado seco) puede ser revisado en campo pesando un volumen dado de agregado suelto y convirtiéndolo a peso por unidad de volumen. Por comparación de gráficas de laboratorio, el contenido de humedad puede ser estimado y realizarse correcciones en las máquinas de curado como sean indicadas. Cada agregado posee sus propias características de “abundamiento”.

La calibración de cada maquina debe de ser realizada como un trabajo esencial y se realiza normalmente por contrato acorde con las indicaciones de fabricación. El proceso involucra el pesado de cada material tal como es descargado a cualquier unidad de tiempo por RPM y configurado. Los resultados son luego graficados sobre un grafico de referencia.

Los barómetros, para niveles de liquido calibrado, de bola flotante o con calibrador de mira deben montarse en el tanque de la maquina de lechada tal que puedan ser fácilmente leídos en rangos de 10 galones desde la plataforma de operación o desde el suelo.

El contenido exacto de contenido residual de asfalto AC de cada tanque cargado de emulsión deberá ser marcado explícitamente sobre las etiquetas de carga de tal modo que los cambios que afecten el diseño puedan ser hechos en la maquina de configuración utilizando la tabla 4.20 para la determinación en campo del asfalto residual AC en lechadas asfálticas.

La consistencia de la mezcla puede ser controlada por el método del cono Kansas descrito en el boletín ISSA TB 106 o por control directo del agua de mezclado utilizada, y trasladar al diseño de laboratorio como se muestra en la tabla 4.19.

% de agua añadida	Galones Por Tonelada	% de agua añadida	Galones Por Tonelada	% de agua añadida	Galones Por Tonelada	% de agua añadida	Galones Por Tonelada
1	2.4	6	14.4	11	26.4	16	38.4
2	4.8	7	16.8	12	28.8	17	40.8
3	7.2	8	19.2	13	31.2	18	43.2
4	9.6	9	21.6	14	33.6	19	45.6
5	12.0	10	24.0	15	36.0	20	48.0

*Nota: Los cálculos están basados sobre agua @8.4 libras por galón. Las deducciones provenientes del porcentaje de diseño deben realizarse por la humedad del agregado y humedecerse previamente por rociado de agua utilizando de 0.01 a 0.07 galones por SY, comúnmente de 20 a 90 gal/ton.*

**Tabla 4.19.**

Determinación en campo del agua de mezclado añadida a la mezcla de lechada

AE galones Por ton.	AE % añadido	% DE CEMENTO ASFALTICO EN LA LECHADA SECA.								
		Porcentaje de residuo de asfalto en la emulsión								
		57	58	59	60	61	62	63	64	65
25	10.5	6.0	6.1	6.23	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8
26	10.9	6.2	6.3	6.4	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1
27	11.3	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	7.3	7.4
28	11.7	6.7	6.8	6.9	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6
29	12.2	6.9	7.1	7.2	7.3	7.4	7.6	7.7	7.8	7.9
30	12.6	7.2	7.3	7.4	7.6	7.7	7.8	7.9	8.1	8.2
31	13.0	7.4	7.6	7.7	7.8	7.9	8.1	8.2	8.3	8.5
32	13.4	7.7	7.8	7.9	8.1	8.2	8.3	8.5	8.6	8.7
33	13.9	7.9	8.0	8.2	8.3	8.5	8.6	8.7	8.9	9.0
34	14.3	8.1	8.3	8.4	8.6	8.7	8.9	9.0	9.1	9.3
35	14.7	8.4	8.5	8.7	8.8	9.0	9.1	9.3	9.4	9.6
36	15.1	8.6	8.8	8.9	9.1	9.2	9.4	9.5	9.7	9.8
37	15.5	8.9	9.0	9.2	9.3	9.5	9.6	9.8	9.9	10.1
38	16.0	9.1	9.3	9.4	9.6	9.7	9.9	10.1	10.2	10.4
39	16.4	9.3	9.5	9.7	9.8	10.0	10.2	10.3	10.5	10.6
40	16.8	9.6	9.7	9.9	10.1	10.2	10.4	10.6	10.8	10.9
41	17.2	9.8	10.0	10.2	10.3	10.5	10.7	10.8	11.1	11.2
42	17.6	10.1	10.2	10.4	10.6	10.8	10.9	11.1	11.3	11.5
43	18.1	10.3	10.5	10.7	10.8	11.0	11.2	11.4	11.6	11.7
44	18.5	10.5	10.7	10.9	11.1	11.3	11.5	11.6	11.8	12.0
45	18.9	10.8	11.0	11.2	11.3	11.5	11.7	11.9	12.1	12.3
46	19.3	11.0	11.2	11.4	11.6	11.8	12.0	12.2	12.4	12.6
47	19.7	11.3	11.4	11.6	11.8	12.0	12.2	12.4	12.6	12.8
48	20.2	11.5	11.7	11.9	12.1	12.3	12.5	12.7	12.9	13.1
49	20.6	11.7	11.9	12.1	12.3	12.6	12.8	13.0	13.2	13.4
50	21.0	12.0	12.2	12.4	12.6	12.8	13.0	13.2	13.4	13.7
51	21.4	12.2	12.4	12.6	12.9	13.1	13.3	13.5	13.7	13.9
52	21.8	12.4	12.7	12.9	13.1	13.3	13.5	13.8	14.0	14.2
53	22.3	12.7	12.9	13.1	13.4	13.6	13.8	14.0	14.2	14.4
54	22.8	12.9	13.2	13.4	13.6	13.8	14.1	14.3	14.5	14.7
55	23.1	13.2	13.4	13.6	13.9	14.1	14.3	14.6	14.8	15.0
56	23.5	13.4	13.6	13.9	14.1	14.3	14.6	14.8	15.1	15.3
57	23.9	13.6	13.9	14.1	14.4	14.6	14.8	15.1	15.3	15.6
58	24.4	13.9	14.1	14.4	14.6	14.9	15.1	15.3	15.6	15.8
59	24.8	14.1	14.4	14.6	14.9	15.1	15.4	15.6	15.9	16.1
60	25.2	14.4	14.6	14.9	15.1	15.4	15.6	15.9	16.1	16.4

**Tabla 4.20.**

Determinación de las unidades de campo para el porcentaje de cemento asfáltico en mezclas secas de lechadas.

El suministro es hecho por el registro de las cantidades utilizadas en cada carga. La comparación de las cantidades de diseño y las cantidades utilizadas puede realizarse luego directamente en el campo.

**EJEMPLO DISEÑO DE LABORATORIO PARA CONTROL EN CAMPO.**

Control de las cantidades de diseño de laboratorio		Tolerancias	
a)	Agregados Filler tipo PC-11	100%	
b)	Porcentaje añadido al peso seco del agregado	1.0%	2 bolsas/10 ton +/- ½ bolsa
c)	Agua de mezclado	12.0%	29 galones/ton +/- 2.3 gal/Ton
d)	Consistencia por cono de flujo	2.5 cm	+/- 0.75 cm
e)	AC por extracción	10.5%	+/- 1.5%
f)	Emulsión @ 61% de residuo de asfalto	17.2%	41.0 gal/Ton +/- 4.0 gal/Ton
g)	Ancho de diseño	20.0 ft	2 carriles x 10 ft +/- 0.5 pies OA
h)	Rango de aplicación	15.0 lbs/SY	+/- 2.0 lb/SY
i)	Pie lineal por tonelada @ ancho de carril	133 SY/ton 120 LF/ton	118 a 154 SY/Ton 106 a 138 LF/Ton

j) Peso específico del agregado vrs Contenido de humedad:

Contenido de humedad	Humedad lb/CF suelto	Agregado seco lb/CF	% Seco/Húmedo
0%	96.4	96.4	100.0
1	95.4	94.5	98.0
2	83.6	81.9	84.9
3	79.7	77.3	80.1
4	79.0	75.8	78.6
5	78.0	74.1	76.8
6	77.9	73.2	75.9

# ***Capítulo V***

---

***Procesos Constructivos y Control de Calidad  
De Sistemas de Microsurfacing***





## **5.1 INTRODUCCIÓN**

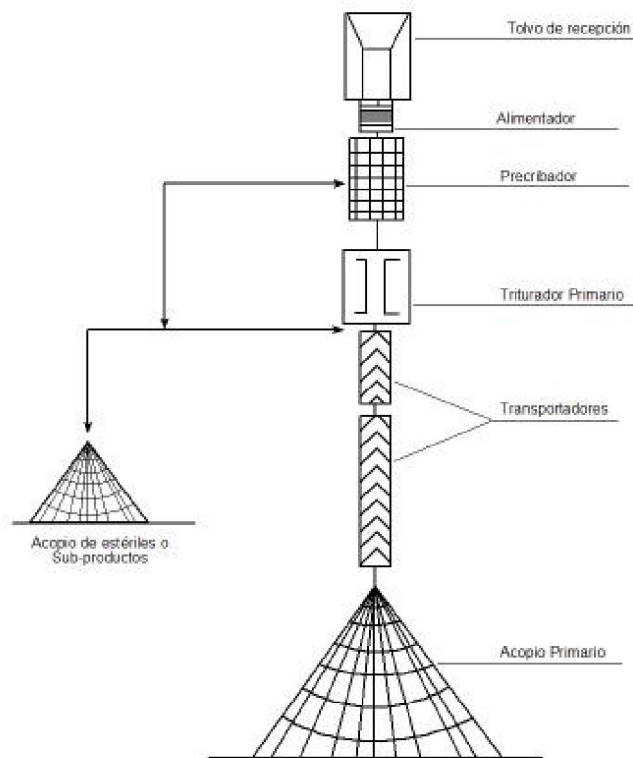
El desempeño de los sistemas de microsurfacing no depende solamente del correcto proporcionamiento de los componentes en la mezcla y de la calidad intrínseca de los materiales que la componen, sino que depende mucho de la correcta colocación y manejo en campo, de la calidad de la mano de obra y de los controles en cada proyecto. Ya que los problemas asociados a mal manejo y colocación de la mezcla en campo son los que mayormente se presentan en los sistemas de microsurfacing. En el presente capítulo se describe de manera general los procesos de producción del agregado pétreo, la emulsión asfáltica y la mezcla de microsurfacing, con sus controles de calidad, calibración del equipo, cuidados y sugerencias en todo el proceso de la colocación de los sistemas de microsurfacing recomendados por la ISSA.

## **5.2 PRODUCCIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DEL AGREGADO**

### **5.2.1 PRODUCCIÓN DEL AGREGADO**

Cuando se habla de producción de agregados se debe tener en cuenta que solo se utilizara agregado triturado de acuerdo al tipo y grado especificados en el diseño del microsurfacing (ISSA A143 sección 4.2.2). El agregado será piedra triturada como granito, escoria, piedra caliza, u otro agregado de alta calidad, o combinaciones de estos. El material estará libre de materia vegetal; de terrones apelmazados y de partículas de gran tamaño; y de otras sustancias deletéreas.

El procedimiento de trituración se puede resumir en el esquema de un grupo primario de trituración como el que se muestra en la figura 5.1, en el cual el tipo de agregado que se demanda pasa por varios niveles de trituración, para así lograr la granulometría adecuada.



**Figura 5.1:**  
Esquema tipo de un grupo primario de trituración

Los bloques, menudos y tierras procedente del frente de extracción se vierten en la tolva de recepción, de la que se extrae mediante un alimentador que lo vierte a un precribador, el cual separa una cierta granulometría de menudos, por ser productos no aptos o sub-productos o por ser materiales de granulometría adecuada que no precisan de trituración primaria y que posteriormente se incorporan al circuito general. Los sub-productos y los no aptos se disponen para su comercialización o tratamiento especial o bien pasan a la escombrera<sup>1</sup>.

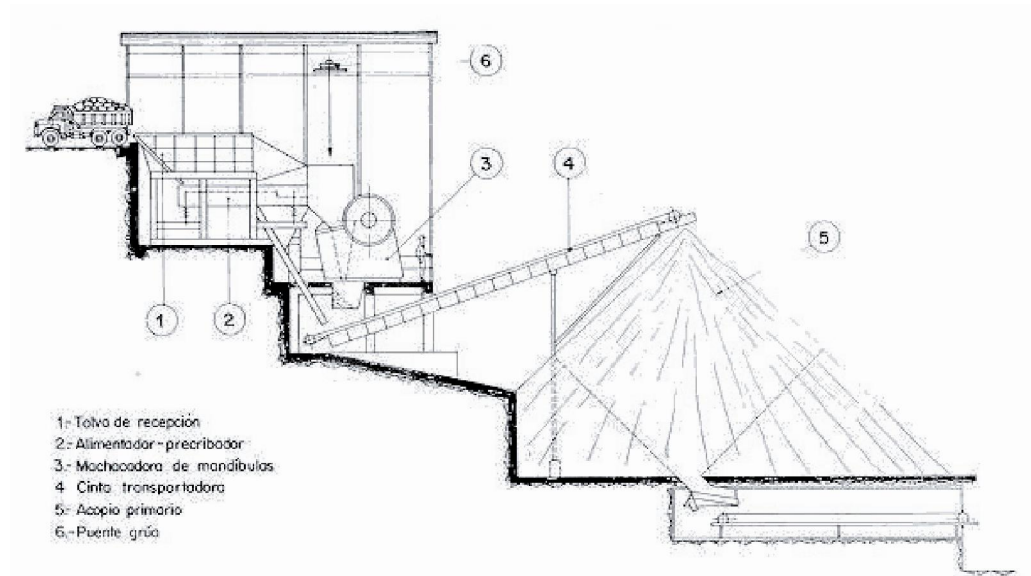
Los bloques rechazados por el precribador caen directamente al triturador primario. Tras la fragmentación el material es recogido por el transportador primario y conducido

---

<sup>1</sup> Lugar donde se depositan y acumulan residuos sólidos inertes, normalmente producidos en actividades como la construcción o la minería, aunque también sirven de depósito a los excedentes de tierras que se originan en la construcción de obras públicas

a un gran acopio primario, generalmente en un montón sobre el suelo. Este material es extraído posteriormente para alimentar los grupos de trituración y clasificación hasta obtener las granulometrías finales.

La elección de los tipos de cada uno de los componentes, así como su ensamblaje y proceso viene determinado por muy diversos condicionantes, tales como: tamaño de los bloques, contenido de estériles, abrasividad de la roca, perfil del terreno, etc. En la figura 5.2 se representa una instalación formada por un alimentador-precibador y machacadora de mandíbulas.



**Figura 5.2:**  
Grupo primario de trituración

Lo importante a tomar en cuenta del agregado en el sitio de trabajo, es que debe ser similar al utilizado por el diseño de mezcla hecho en laboratorio, y debe ser consistente a lo largo del proyecto. Aunque en la mayoría de los casos el agregado de una sola fuente no variará sustancialmente durante el curso del proyecto sin embargo, se debe estar alerta para los cambios inusuales ocurridos por:

- a. Un cambio en el método de producción del agregado debido a los horarios de producción o para satisfacer los estándares del control de calidad del aire del lugar donde se está trabajando.
- b. Las diferentes fases del proyecto (se detienen la obra) que ocurren sobre periodos de tiempo prolongados
- c. Cambios en el área de producción de los agregados dentro de la cantera o la mina.
- d. La fluctuación en la graduación (sobre todo en los tamaños de agregado finos).

Las fluctuaciones dramáticas de la graduación del agregado pueden invalidar un diseño existente de la mezcla.

El agregado triturado es importante pues las caras fracturadas permiten que las partículas se asienten y se traben entre sí para resistir mejor el movimiento. Donde sea disponible, el agregado triturado debe ser utilizado en un 100%. Las partículas redondas grandes de la roca se enredarán fuera de la mezcla colocada. El agregado a utilizar debe presentar una alta calidad por lo cual se debe de ser cuidadoso, revisando su graduación especificada, caras fracturadas y limpieza.

### **5.2.2 MANEJO DEL AGREGADO**

En el Microsurfacing, el agregado grueso<sup>2</sup> es uno de los que determinan los dos factores principales: el costo de aplicación y la textura de la superficie del pavimento. El agregado dentro de su especificación pero del lado grueso, si por ejemplo se arregla para que llegue al mayor porcentaje de agregados de tamaño grueso especificado, la mezcla debe ser aplicada más espesa. Si no, el agregado más grande se embebe inadecuadamente dentro de la carpeta de emulsión asfáltica, causando un rayado, donde las piedras más grandes son arrastradas por la caja de extendido. A la inversa, el agregado sobre el lado fino<sup>3</sup>, por ejemplo arreglándolo en porcentaje mayor de agregado de tamaño más pequeño especificado, debe ser aplicado más delgada la mezcla.

---

<sup>2</sup> Es el material que pasa el tamiz 3/8 y se retiene el tamiz N° 4

<sup>3</sup> Es el material que pasa el tamiz N° 4

Las pruebas del agregado<sup>4</sup> que nos ayudan en el campo son:

- a. Muestreo de Agregados (ASTM D75) esta nos ayuda a recoger una muestra representativa del agregado a utilizar, esto punto es muy importante, ya que es el inicio de todos los ensayos y de aquí depende que los resultados que obtengamos sean representativos del material analizar.
- b. Análisis Granulométrico por tamizado (ASTM C136) las medidas del tamaño del agregado y su distribución.
- c. Prueba Equivalente de Arena (ASTM D2419) evalúa la limpieza del agregado y mide la cantidad de arcillas expansivas o los materiales orgánicos.
- d. Ensayo de abrasión (ASTM C131) es la medida de la degradación del agregado bajo las condiciones de uso.

#### **5.2.2.1 Graduación del Agregado**

Las consideraciones a tomar es que si hay más agregado grueso se podría necesitar menos asfalto que el requerido y esto nos podría llevar a perder la resistencia de la carpeta, raspando el material de la capa con la caja, y si hay mas agregado fino puede demandar mas asfalto que el diseño permite, obteniendo una mezcla seca siendo menos trabajable y acortando su vida de servicio.

#### **5.2.2.2 Equivalente de Arena en el Agregado**

Si al realizar el equivalente de arena y este resulta en un valor alto, el tiempo de mezclado aumentara teniendo un curado lento y tiempos de apertura al trafico extendidos y si es lo contrario nos da un valor bajo el tiempo de mezclado será menor este nos generara incremento de juntas y difícil limpieza en las marcadores y áreas desparramadas

---

<sup>4</sup> Ver capítulo IV Sección 4.2.2. Caracterización de los agregados.

### **5.2.2.3 Humedad en los Agregados**

Si la humedad encontrada en los agregados es alta, esta puede generar una mezcla fluida y se obtendrá una superficie derramada, la línea de la orilla sería pobre y habría un bajo rendimiento de producción, y si la humedad es baja podría haber segregación de finos y pérdida de ellos, exceso de asfalto y puntos derramados.

### **5.2.3 ACOPIO DEL AGREGADO**

Es necesario preparar uno o varias áreas organizadas para almacenamiento durante la operación de la construcción, las máquinas del slurry o las unidades de apoyo cargarán con el material existente de la reserva y los transportarán en el progreso del trabajo. Tener una reserva de existencia cerca del área de trabajo es importante, esto consume menos tiempo de transporte. Deben tomarse precauciones para asegurar que los materiales acopiados no se contaminan.

Para el área de acopio de agregados deben tomarse las siguientes consideraciones

- a. Que sea un suministro previo al proyecto.
- b. Almacenamiento por capas horizontales; esto ayuda que el material no se segregue.
- c. Tomar Precauciones contra el aumento de humedad de los finos.
- d. Que el lugar donde se coloque el agregado sea una zona con una base dura, para así evitar la contaminación y la pérdida de material.

La consistencia en el agregado seleccionado para un proyecto es de vital importancia, ya que la graduación del agregado tiene efectos directos en la cantidad de emulsión asfáltica, que se requiere para un microsurfacing. Las Variaciones en la graduación del agregado, incluso dentro de los rangos especificados aceptables, cambiará el área de la superficie del agregado total a ser cubierta por la emulsión asfáltica.

En resumen el agregado usado debe estar: limpio, con caras fracturadas, durable, graduado correctamente y consistente.

## **5.3 PRODUCCIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA**

### **5.3.1 FABRICACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA**

El equipo y producción para la fabricación de emulsiones es muy simple y fácil de conseguir en el mercado (Ver Figura 5.3). El problema está en la formulación de las emulsiones que deben adaptarse a los materiales pétreos. El procedimiento para la fabricación de las emulsiones asfálticas modificadas es sencillo. El equipo básico para preparar emulsiones incluye un dispositivo mecánico de alta velocidad, de altas tensiones de corte (molino coloidal), para dividir el asfalto en pequeñísimas gotas. El tamaño de las gotitas de asfalto depende de la energía mecánica unitaria aplicada por el molino. Para medir las cantidades de asfalto y de solución jabonosa<sup>5</sup> se utilizan bombas; debido a que la solución emulsiva puede ser altamente corrosiva, es necesario emplear equipos contruidos con materiales resistentes a la corrosión.

### **5.3.2 PROCESO DE EMULSIFICACIÓN**

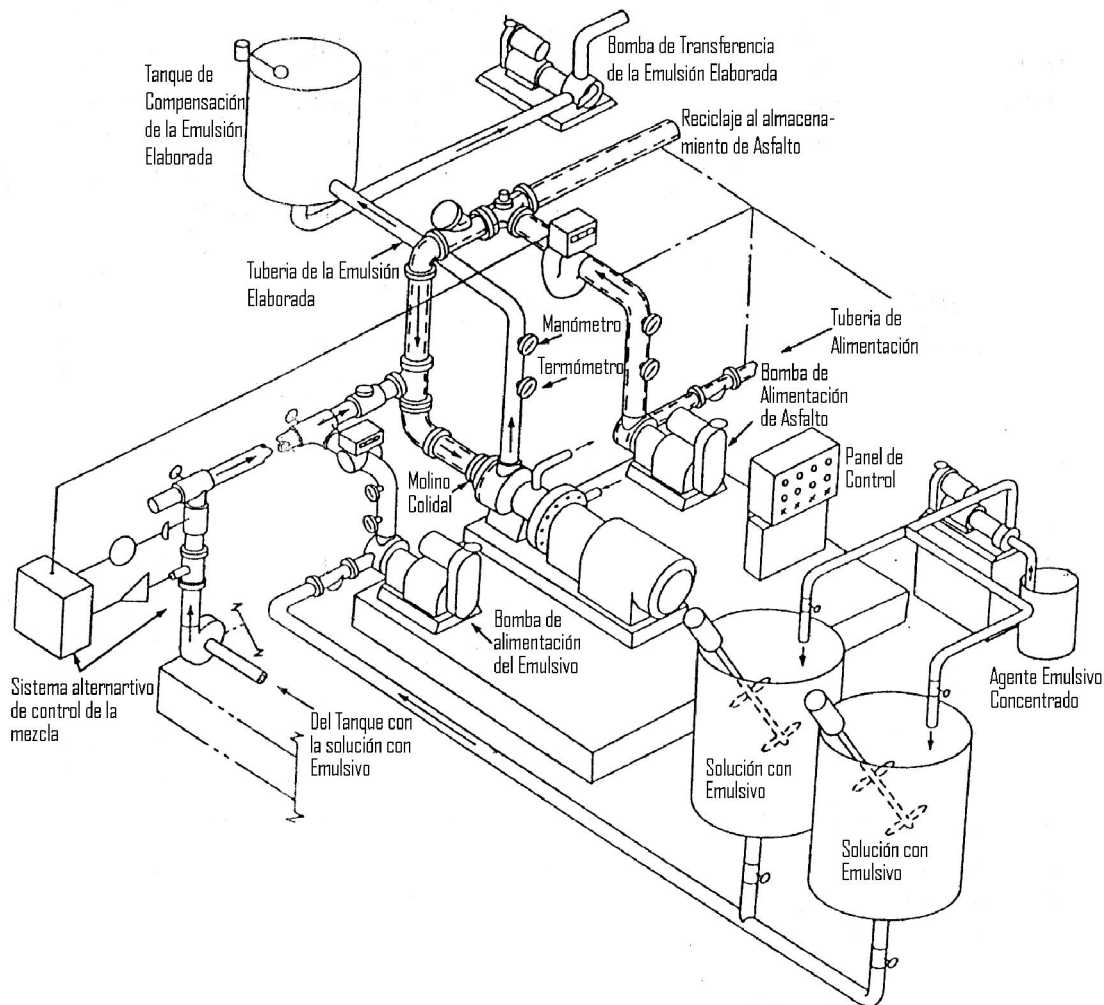
#### **5.3.2.1 Proceso de Producción de la Emulsión Asfáltica**

Durante el proceso de emulsificación, se alimenta el molino coloidal con asfalto caliente, el cual es dividido en pequeñísimas gotitas, al mismo tiempo ingresa en el molino coloidal el agua conteniendo el emulsificante (Ver Figura 5.4). El asfalto que ingresa en el molino coloidal se calienta para alcanzar una baja viscosidad; la temperatura del agua se ajusta para optimizar el proceso de emulsificación. Estas temperaturas varían, dependiendo de las características de emulsificación del cemento asfáltico y de la compatibilidad entre el asfalto y el emulsificante. Debido a que la temperatura de la emulsión al abandonar el molino debe ser inferior al punto de ebullición del agua, el asfalto no se lleva a temperaturas extremadamente altas, a menos que se emplee un enfriador.

---

<sup>5</sup> Es la mezcla de agua, emulsificante, polímero y agente regulador de pH, en ese orden.

Luego la emulsión es usualmente bombeada a tanques de almacenamiento a granel. Estos tanques pueden estar equipados con agitadores mecánicos para mantener la uniformidad de la emulsión.



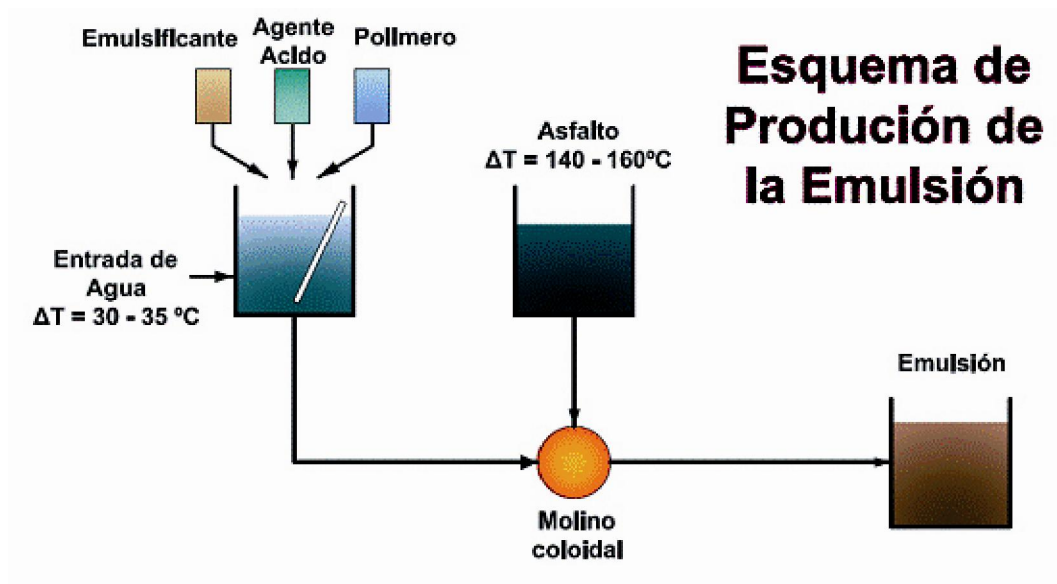
**Figura 5.3**

**Planta de fabricación de Emulsión Asfáltica Típica**

### **5.3.2.2 Proceso de producción del agente Emulsificante**

La solución jabonosa deseada de la emulsión catiónica se consigue ajustando el agente regulador de pH bajándolo (para este caso se aplica solución ácida), dando esto una reacción que cambia de cargas positiva bajas a cargas positivas fuertes.





**Figura 5.4**

Esquema para la Fabricación de la Emulsión Asfáltica Modificada

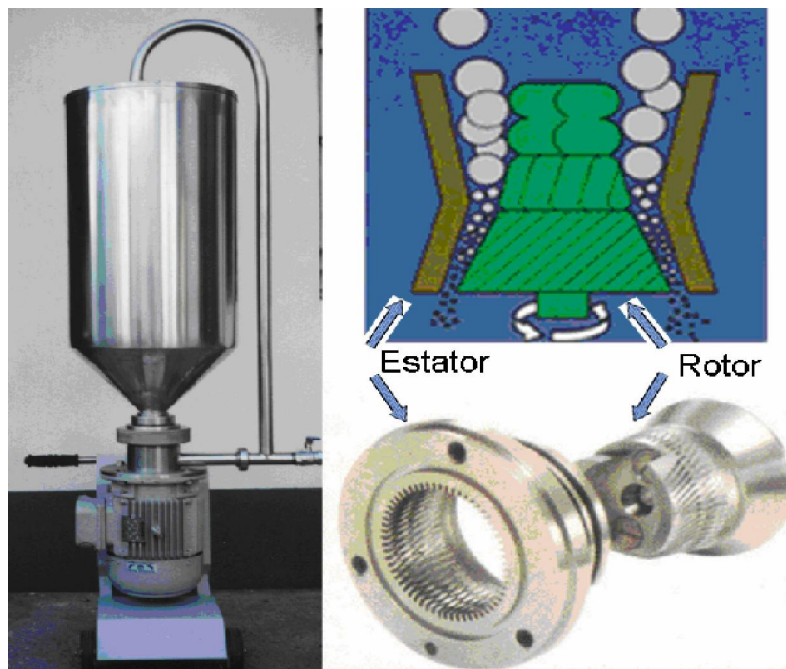
El método de incorporación del emulsificante al agua varía de acuerdo con el procedimiento empleado por el fabricante. Para ser solubles en agua, algunos emulsificantes como las animas, deben de mezclarse y reaccionar con un ácido; otros, como los ácidos grasos, deben mezclarse y reaccionar con un álcali. La mezcla del emulsificante se hace comúnmente en un tanque de mezclado por bastones, este es incorporado al agua caliente que contiene ácido o álcali y es agitado hasta su completa disolución.

En presencia de la solución jabonosa las gotitas de asfalto de tamaño microscópico se dispersan en el agua, produciendo un cambio en la tensión superficial en el área de contacto entre las gotitas de asfalto y el agua permitiendo así que el asfalto permanezca en suspensión. Las partículas de asfalto todas con similares cargas se repelen entre sí, lo que ayuda a mantenerlas suspendidas.

### 5.3.2.3 Molino coloidal

El molino coloidal posee un rotor de alta velocidad (17 – 100 Hz o 1000 – 6000 rpm) con gálidos de paso en el orden de 0.25 a 0.50 mm (0.01 – 0.02 pulgadas). Típicamente las gotitas de las emulsiones asfálticas tienen tamaños inferiores al diámetro de un cabello humano, estos es alrededor de 0.001 a 0.010 mm (0.00004 a 0.0004 pulgadas). Comúnmente se emplean analizadores de tamaños de partículas para caracterizar la calidad de la emulsión.

Este molino contiene una parte que rota (llamada un rotor) y una parte inmóvil (llamada un estator) y hay un boquete muy pequeño entre los dos con los cuales el asfalto y la solución jabonosa son forzados. Es en esta área que el asfalto es molido en gotitas. Estas gotitas son estabilizadas por las moléculas del agente emulsificante (Ver Figura 5.5).



**Figura 5.5**

Molino Coloidal, Estator y Rotor del Molino Coloidal

Las proporciones de asfalto y de solución emulsificante deben medirse con exactitud. Esto se hace normalmente con medidores de caudal, pero también puede controlarse las proporciones verificando la temperatura de cada fase y la descarga del molino. Si se utiliza el método de regulación de la temperatura a partir de los componentes se calcula la temperatura deseada de salida de la emulsión ya elaborada y así se controla el porcentaje de contenido de asfalto.

El tamaño de la partícula de asfalto es un factor vital en la elaboración de una emulsión estable. En la tabla 5.1 se describen los promedios típicos de partículas.

<b>Tamaño de partícula</b>	<b>Porcentaje</b>
Menor de 0.001 mm (1 µm)	28%
0.001 – 0.005 mm (1-5 µm)	57%
0.005 – 0.010 mm (5 - 10 µm)	15%

**Tabla 5.1**

Tamaño de la partícula del asfalto y sus porcentajes

### **5.3.3 ALMACENAMIENTO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS**

Igual como en el agregado es importante designar áreas para almacenar los materiales, y el lugar que se designe debe proporcionar la seguridad de todos los materiales, tanto como agregado, emulsiones y otros materiales y equipos a utilizar en el microsurfacing del proyecto.

La emulsión asfáltica es una dispersión de finas gotitas de cemento asfáltico en agua, tiene las ventajas y desventajas propias del medio de dispersión (agua) en el cual se debe cuidar de estas desventajas y tener un control para el almacenamiento de ellas.

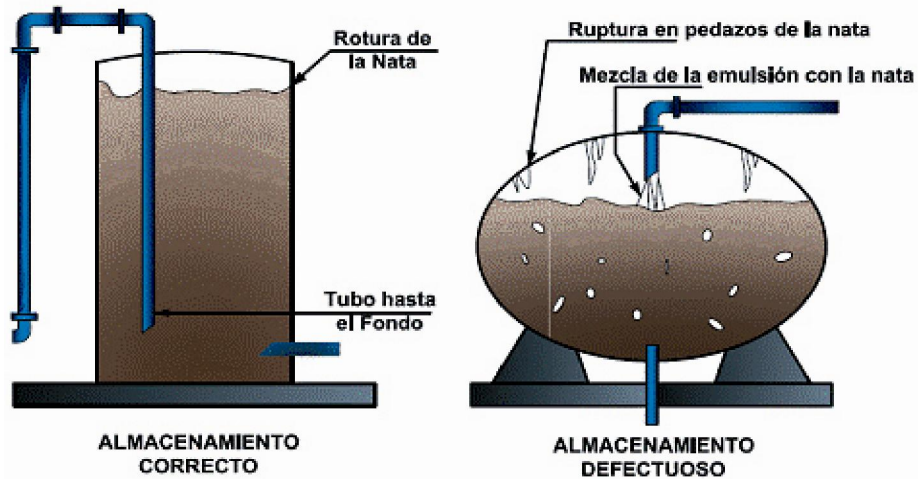
Control para el almacenamiento de las emulsiones asfálticas:

- a. Almacenar la emulsión como almacenaría agua líquida entre 10 °C (50 °F) y 85 °C (185 °F), dependiendo del uso buscado y del producto en cuestión.

- b. Almacenar la Emulsión a la temperatura especificada para el grado y aplicación particulares. La tabla 5.2 muestra los rangos de temperaturas normales para almacenamiento.
- c. No permitir que la emulsión asfáltica sea calentada por encima de los 85°C (185°F). Las temperaturas elevadas evaporan el agua, modificando las características de la emulsión asfálticas.
- d. No permitir que la emulsión asfáltica se congele. Esto produce la rotura de la emulsión, separando el asfalto del agua. El resultado será dos capas una de asfalto, otra de agua; en el tanque, ninguna de las cuales será adecuada para el uso deseado además será difícil vaciar el tanque (esta no se controla en El Salvador, ya que no se tienen temperaturas de congelamiento).
- e. No permitir que la temperatura de la superficie de calentamiento exceda los 100°C (212°F). De suceder esto, se producirá la rotura prematura de la emulsión sobre aquella.
- f. No usar aire a presión para agitar la emulsión. Puede causar la rotura de la emulsión.

Los tanques de almacenamiento deberán estar aislados térmicamente, para aprovechamiento del calor. En la superficie de las emulsiones expuestas al aire se puede formar una piel (skin) de asfalto o llamada también nata. Consecuentemente es mejor utilizar tanques verticales de gran altura, en los que la exposición al aire es menor en la superficie de emulsión asfáltica. (Ver Figura 5.6). Los tanque fijos de almacenamiento, en su mayoría, son verticales, pero para almacenamiento de corto plazo en el campo a menudo se emplean tanques horizontales. La formación de piel (skinning) se puede reducir manteniendo los tanques horizontales llenos minimizando así el área expuesta al aire; pueden ser usados hélices laterales ubicadas a una distancia de alrededor de un metro (tres pies) del fondo del tanque, para impedir la formación de piel. Las mejores son las de gran diámetro y de baja velocidad, estas deberán emplearse para revolver el material; el exceso de mezclado debe evitarse. También puede utilizarse bombas para circulación vertical; el exceso de bombeo debe ser evitado.

## Instalación Correcta e Incorrecta de un Tanque para Almacenar Emulsiones



**Figura 5.6**

Esquema Representativo de almacenamiento de las Emulsiones

<b>Tabla 5.1 Temperaturas de Almacenamiento para Emulsiones Asfálticas</b>		
<b>Grado</b>	<b>Temperatura °C (°F)</b>	
	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
RS-1	20 (70)	60 (140)
RS-2, CRS-1, CRS-2, HFRS-2	50 (125)	85 (185)
SS-1, SS-1h, CSS-1, CSS-1h, MS-1, HFMS-1	10 (50)	60 (140)
CMS-2, CMS-2h, MS-2, MS-2h, HFMS-2, HFMS-2h, HFMS-2s	50 (125)	85 (185)
Nota: RS, rotura rápida; CRS, catiónica de rotura rápida; HFRS, rotura rápida de alta flotación; SS, rotura lenta; CSS, catiónica de rotura lenta; MS, rotura media de alta flotación; CMS, catiónica de rotura media		

**Tabla 5.2**

Temperaturas de Almacenamiento para Emulsiones Asfálticas, Fuente: Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, MS 19, Pág. 16

#### **5.3.4 TRANSPORTE DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS**

Las Emulsiones asfálticas deben ser transportadas desde la fábrica al depósito de almacenamiento, o bien desde la fábrica o desde el depósito hasta la obra. Los vehículos de transporte son los mismos destinados al transporte de productos asfálticos en caliente; aunque pueden ser más sencillos, al no necesitar sistema de calentamiento o de mantenimiento de temperatura. Según la distancia de transporte, los vehículos pueden portar depósitos de capacidad muy variable, desde 23 m<sup>3</sup> instalados sobre semirremolques, hasta pequeñas cisternas de dos toneladas destinadas a aprovisionar a los equipos de conservación.

Desde el punto de vista de transporte, la forma de los depósitos no tienen importancia alguna siendo validos tanto los de forma cilíndrica como los de forma elípticas; siendo únicamente razones de tipo estético, de carenado<sup>6</sup> o de chapa las que suelen intervenir en la elección.

Para capacidades importantes, superiores a los 8 ó 10 m<sup>3</sup>, es indispensable dividir el interior del deposito con tabiques rompeolas. Estos tabiques aseguran una mejor estabilidad del vehiculo evitando, por otra parte, que la emulsión se vea sometida a una agitación demasiado violenta que podría resultar perjudicial.

El llenado y vaciado de los depósitos de emulsión puede hacerse mediante compresión y descompresión, método practico y poco costoso. Un compresor toma fuerza del propio motor del camión o de otro motor auxiliar, y este suministra aire comprimido a un pequeño depósito anexo. Es fundamental bajo riesgo de accidente grave, descomprimir el aire de la cisterna antes de abrir su boca para la carga, el llenado y vaciado pueden realizarse de la misma manera por medio de una bomba.

---

<sup>6</sup> revestimiento realizado con fibra de vidrio, fibra de carbono, plástico u otro material que se adapta al chasis con fines principalmente aerodinámicos

### **5.3.5 MANIPULACIÓN DE EMULSIONES ASFÁLTICAS**

- a. Agitar suavemente la emulsión durante al calentamiento, para eliminar o reducir la formación de piel.
- b. Proteger las bombas, válvulas y tuberías del congelamiento en los meses invernales. Vaciar las bombas y dar el mantenimiento a los equipos según las recomendaciones del fabricante.
- c. Vaciar las cañerías y dejar abiertas las salidas de drenaje cuando no están en servicio.
- d. Emplear bombas con apropiados entre piezas para el manejo de emulsiones. Las bombas con mecanismos muy ajustados pueden atascarse y dejar de funcionar.
- e. Calentar la bomba hasta una temperatura de alrededor de 65 °C (150 °F) para facilitar el arranque.
- f. Verificar al diluir la emulsión asfáltica la compatibilidad del agua con la emulsión, haciendo una prueba sobre una pequeña cantidad.
- g. Emplear, de ser posible, agua caliente para la dilución y siempre agregar agua lentamente a la emulsión( y no la emulsión al agua)
- h. Evitar el exceso de bombeo y la recirculación ya que la viscosidad puede bajar y el aire puede quedar atrapado, causando la inestabilidad de la emulsión.
- i. Ubicar las cañerías de ingreso y de retorno en el fondo de los tanques para evitar la formación de espuma.
- j. Bombear desde el fondo del tanque para minimizar la contaminación por la eventual formación de piel.
- k. Recordar que las emulsiones designadas con el mismo grado pueden ser muy diferentes en lo que respecta a la química y al comportamiento.
- l. Para el transporte, utilizar camiones con placas deflectoras, para evitar una excesiva agitación de la emulsión.
- m. Agitar aquellas emulsiones que han estado almacenadas en forma prolongada, ello puede hacerse por recirculación.
- n. No mezclar diferentes clases, tipos y grados de asfaltos emulsificados en tanques de almacenamiento, transportes y distribuidores. Para recomendaciones , consultar en la tabla 5.3

- o. No aplicar excesiva temperatura a los collarines o recubrimientos de la bomba, esta puede dañarse.
- p. No diluir emulsiones asfálticas de rotura rápida en agua, las emulsiones de roturas media y lenta pueden ser diluidas; pero siempre agregando lentamente agua a la emulsión asfáltica. Nunca se debe agregar la emulsión asfáltica al tanque de agua cuando se esta diluyendo.
- q. No cargar las emulsiones asfálticas en tanques de almacenamiento o de transporte, auto tanques, o distribuidores con residuos de materiales incompatibles, ver tabla 5.2 y 5.3
- r. No exponer la emulsión asfáltica o el aire en contacto con superficie a llamas, calor o potentes oxidantes. Se requiere adecuada ventilación.
- s. Evitar respirar gases, vapores, etc.
- t. Obtener de parte del proveedor una copia de la planilla de datos de seguridad del material, leer dicha planilla cuidadosamente y seguir sus indicaciones

<b>Tabla 5.3 Guía de las Condiciones Exigidas en Tanques Desagotados antes de la carga con Emulsión Asfáltica</b>						
<b>Product o a cargar en el tanque</b>	<b>Ultimo Producto en El tanque</b>					
	<b>Cem. Asfáltico (incluido asfalto industrial)</b>	<b>Asfalto s diluido s y fuel oil residua les</b>	<b>Emulsión Catiónica</b>	<b>Emulsión Aniónica</b>	<b>Crudo de Petróleo</b>	<b>Otros Productos</b>
Emulsión Catiónica	Vacío*	Prácticamente Vacío	Sin Problemas	Prácticamente Vacío	Prácticamente Vacío	Debe limpiarse el Tanque
Emulsión Aniónica	Vacío*	Prácticamente Vacío	Prácticamente Vacío	Sin Problemas	Prácticamente Vacío	Debe limpiarse el Tanque

\* Algún material remanente produciría condiciones peligrosas

**Tabla 5.3**

Guía de las Condiciones Exigidas en Tanques Desagotados antes de la carga con Emulsión Asfáltica<sup>7</sup>

<sup>7</sup> Fuente: Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, MS 19



<b>Tabla 5.3 a Vehículos y Transportistas</b>	
Observaciones en el campo y estudios de resultados de ensayos han indicado que los materiales suelen contaminarse durante el transporte	
<b>Causas Posibles</b>	<b>Precauciones</b>
a) El material que había en el tanque no es compatible con la emulsión a ser cargada	Inspeccionar el registro de materiales transportados en el tanque o verificar con el proveedor si el material transportado previamente es perjudicial. Si lo es, asegurar de que los tanques de transporte, las mangueras de descarga, y la bomba son adecuadamente limpiados y drenados previamente a ser habilitados para la carga. Proveer una rampa en el lugar de descarga en la planta para asegurar un completo vaciamiento del tanque de transporte mientras esta aun fluido
b) Residuos de diesel, aceite o solventes utilizados para limpiar a chorro tanques, mangueras y bomba	Cuando esto es necesario, asegurar de que todos los solventes han sido completamente desagotados
c) Limpieza a chorro con solvente en el tanque de almacenamiento o en los tanques de los equipos	No permitir que pequeñas cantidades ingresen en el tanque de almacenamiento; el contenido en su totalidad puede ser contaminado

**Tabla 5.3a**

Posibles Causas de Contaminación de Material Asfáltico o de muestras y Precauciones Recomendadas<sup>7</sup>

<sup>7</sup> Fuente: Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, MS 19

<b>Tabla 5.3 b Equipamiento y Tanque de Almacenamiento de la Planta de Mezclado</b>	
Muchas investigaciones y resultados señalan a los tanques de almacenamiento y a los equipos asociados como fuente de contaminación.	
<b>Causas Posibles</b>	<b>Precauciones</b>
a) Ha quedado material en el tanque en el que se cargara la emulsión	Cualquier material no eliminado debe ser compatible con la emulsión, y la cantidad remanente en el tanque debe ser lo suficiente escasa para que la emulsión siga cumpliendo las especificaciones. En la duda, consulte con el proveedor.
b) Los solventes empleados para limpiar a chorros el tanque de transporte han sido descargados en el tanque de almacenamiento.	Observar las operaciones de descarga, prevenir al conductor del camión tanque sobre el ingreso de materiales de limpieza dentro del tanque de almacenamiento. De ser posible, proveer un lugar para que el tanque de transporte pueda descargar los materiales de limpieza.
c) Limpieza a chorro de las tuberías y bomba entre el tanque de almacenamiento y la planta de mezclado, con solventes, permitiendo que este material retorne al tanque	Si es necesario limpiar a chorro conductos y bomba, se aconseja proveer válvulas de desvío para impedir que los solventes retornen al tanque. Una mejor solución es proveer conductos y bombas aislados, eliminando así la necesidad de limpieza a chorro.
d) Limpieza del tanque de distribución de la bomba, de la barra de riego y de las boquillas con solventes	Asegurar de que todo el material de limpieza este desagotado previamente a cargar.
e) Diluciones debidas al sistema de calentamiento con aceite. Verifique el nivel en el deposito de aceite en el sistema de calentamiento	Si el nivel esta bajo, o se ha agregado aceite, verificar que no hay filtraciones sobre la alimentación de asfalto

**Tabla 5.3b**

Posibles Causas de Contaminación de Material Asfáltico o de muestras y Precauciones Recomendadas<sup>7</sup>

<sup>7</sup> Fuente: Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, MS 19

**Tabla 5.3 c Muestras no Representativas o Contaminadas**

Los resultados de los ensayos dependen en gran medida de técnicas de muestreo correctas. Por parte del muestreador se requiere un cuidado extra para obtener muestras realmente representativas del material, eliminando en buena parte la posibilidad de erróneos resultados de ensayos debido a muestreos incorrectos. Asegurar de que las muestras sean tomadas solo por las personas autorizadas, que han sido adiestradas en los procedimientos de muestreo.

<b>Causas Posibles</b>	<b>Precauciones</b>
a) Herramientas de muestreo contaminado.	Si la herramienta de muestreo (descrita en ASTM D 140 ó AASHTO T 40) es limpiada con diesel oil o con solvente, asegurar de que antes de tomar la muestra, ha sido secada completamente y luego enjuagada repetidas veces con la emulsión a ser muestreadas.
b) Muestras tomadas con la herramienta de muestreo en la parte superior del tanque donde, bajo ciertas condiciones, se pueden acumular contaminantes en la superficie	Durante el muestreo en la parte superior del tanque, bajar la herramienta de muestreo por debajo del extremo superior antes de abrir. Nota: esta muestra puede provenir del tercio superior del tanque
c) Recipiente para muestras contaminado	Utilizar solo recipientes nuevos y limpios. Nunca lavar o enjuagar un recipiente de muestras con solvente. Deberán usarse tarros o botellas de plástico de boca ancha o latas forradas en plástico.
d) Muestra contaminada luego de ser tomada	No sumergir el recipiente en solvente, ni limpiar el exterior del recipiente con un paño saturado en solvente. Si es necesario limpiar la emulsión derramada sobre el exterior del recipiente, utilizar un paño limpio y seco. Asegurar de que previamente al almacenamiento o envío, la tapa del recipiente está herméticamente cerrada. Enviar el recipiente al laboratorio de ensayos con prontitud.

<b>Tabla 5.3 c Muestras no Representativas o Contaminadas</b>	
<p>e) Muestras tomadas del grifo en tuberías entre el tanque de almacenamiento y la planta de mezclado.</p>	<p>Si el grifo de muestreo se encuentra en una tubería de succión entre el tanque y la bomba, es necesario apagar la bomba previamente a la toma de muestra. Las muestras así tomadas, obtenidas por la acción de la gravedad, son solo representativas de la emulsión localizada en el área de la tubería correspondiente al grifo.</p> <p>No tomar muestras mientras el vehiculo de transporte esta bombeando al tanque de almacenamiento.</p> <p>No tome muestras sin dar tiempo a la circulación y mezcla completa de la emulsión.</p> <p>Drenar suficiente material a través del grifo previamente a la toma de la muestra, para asegurar la eliminación de cualquier material alojado en el grifo.</p> <p>Durante la circulación, tomar lentamente la muestra, para que ésta sea más representativa de la emulsión en uso.</p>
<p>f) Muestras tomadas de la línea de descarga del vehiculo de transporte.</p>	<p>Previamente a la toma de muestra, drenar suficiente emulsión a través del grifo, para asegurar la eliminación de cualquier material allí alojado. La muestra deberá tomarse luego de que un tercio y antes de que dos tercios del volumen hayan sido descargados. Tomar la muestra lentamente, para asegurar que es representativa de la emulsión.</p>

**Tabla 5.3c**

Posibles Causas de Contaminación de Material Asfáltico o de muestras y Precauciones Recomendadas<sup>7</sup>

<sup>7</sup> Fuente: Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, MS 19

### **5.3.6 MUESTREO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS<sup>8</sup>**

El propósito de cualquier método de muestreo es obtener muestras representativas de la naturaleza y condición verdaderas del material. Los recipientes para muestreo de emulsiones asfálticas serán botellas o tarros de plástico de boca ancha, latas forradas en plástico de bocas ancha con tapa a rosca, o latas forradas en plástico con tapas de cierre de fricción de triple sello. El tamaño de las muestras se corresponderá con los recipientes requeridos siendo generalmente de 4 litros (aproximadamente un galón).

Siempre que sea práctico la emulsión asfáltica será muestreada en el lugar de elaboración o de almacenamiento, si esto no es práctico las muestras serán tomadas del envió inmediatamente luego de la entrega. Se tomaran tres muestras de emulsión asfáltica, las muestras serán enviadas al laboratorio para ser ensayadas tan pronto como sea posible.

#### **5.3.6.1 Precauciones en el Muestreo**

- a. Se usaran recipientes nuevos. No se los lavará ni enjuagará. Si hay restos de fundente de soldadura o si no están limpios y secos, deberán ser descartados. El recipiente y su tapa deberán calzar ajustadamente.
- b. Se pondrá cuidado en impedir la contaminación de las muestras (ver tablas 5.3 c). El recipiente para muestras no deberá ser sumergido en solvente, ni limpiado con un paño empapado en solvente. Cualquier sustancia residual presente en la superficie exterior del recipiente será eliminada con un paño limpio y seco inmediatamente luego de que el recipiente sea sellado y apartado del sacamuestras.
- c. La muestra no será transferida a otro recipiente.
- d. El recipiente lleno será sellado herméticamente inmediatamente después de que la muestra sea tomada.

---

<sup>8</sup> La ASTM D-140 en Métodos Normalizados para el Muestreo de Materiales Bituminosos, da los métodos de muestreo para los materiales bituminosos

### **5.3.6.2 Medidas de Seguridad**

Cuando se manipulan materiales asfálticos, las medidas de seguridad son obligatorias sin excepción. Dichas medidas de seguridad incluyen sin estar limitados a ellas, los siguientes puntos:

- a. Se usarán guantes, y las mangas se abotonaran sobre los guantes a la altura de la muñeca durante el muestreo y el sellado de los recipientes.
- b. Se usarán mascararas de protección durante el muestreo.
- c. No se fumará mientras se muestrean asfaltos.
- d. Evitar la respiración prolongada de gases, vapores, etc.
- e. Durante el sellado y limpieza, el recipiente será colocado sobre una superficie firme y llana, para evitar salpicaduras, goteo o derrame de material.

### **5.3.6.3 Protección y Preservación de las Muestras**

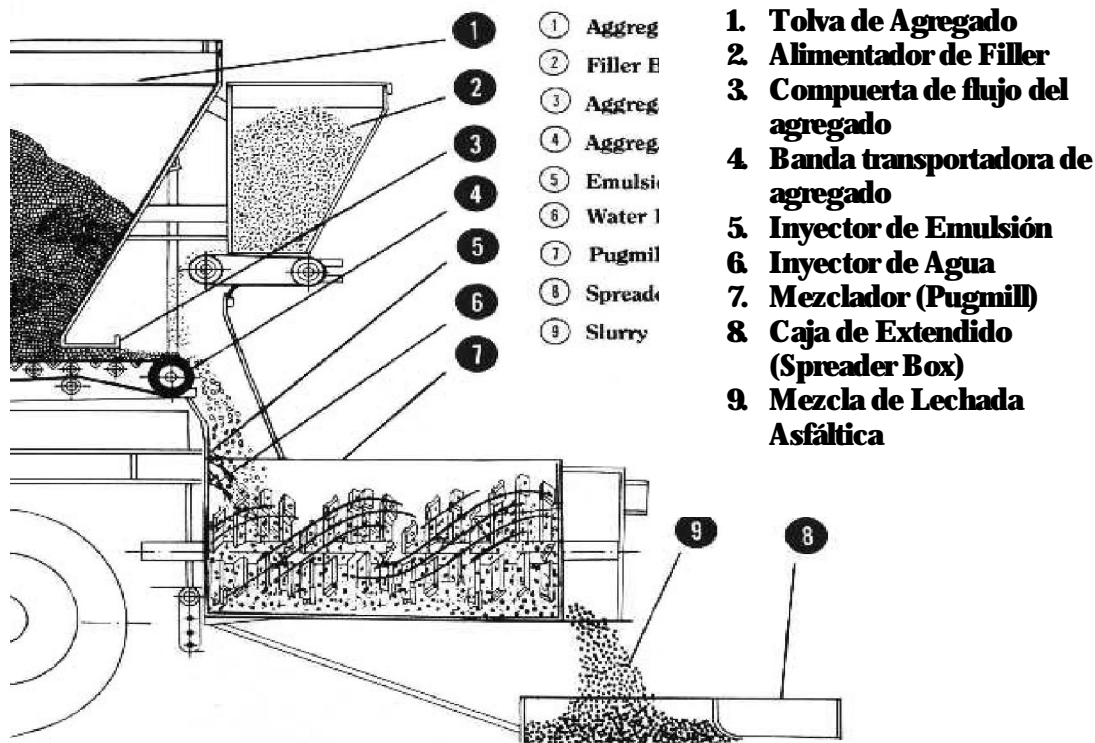
- a. Inmediatamente después de ser llenados, sellados y limpiados, los recipientes con las muestras serán adecuadamente identificados con marcador indeleble (y esto sobre el recipiente mismo y no sobre la tapa).
- b. Las muestras de las emulsiones serán empaquetadas, etiquetadas y protegidas de la congelación durante el envío.
- c. Todas las muestras deberán ser empaquetadas y enviadas al laboratorio el mismo día en que fueron tomadas. Los recipientes deberán ser sellados herméticamente y empaquetados en material protector, para reducir la probabilidad de daños durante el envío.
- d. Cada muestra deberá ser identificada con la siguiente información:
  - Nombre del fletador y factura de carga o número de ticket de carga
  - Fecha de toma de la muestra
  - Grado del producto
  - Identificación de proyecto
  - Cualquier otra información importante

#### **5.4 TRANSPORTE Y COLOCACIÓN DE LA MEZCLA**

La mayoría de las lechadas asfálticas se colocan en maquinaria de alta tecnología, estas máquinas son verdaderas plantas portátiles calibradas para recibir la cantidad precisa de componentes, en las que se realiza la mezcla en unos pocos minutos y se aplica inmediatamente haciendo de este un tratamiento de rápida ejecución. La máquina, instalada sobre el chasis de un camión consiste en un depósito para los agregados, el relleno mineral, depósitos de agua y emulsión y mezclador apropiado (Ver Figura 5.7). Para obras menores, también puede efectuarse en plantas estacionarias o camiones con tolva mezcladora y se esparce mediante llanas de goma. Las aplicaciones manuales se han usado en el pasado con éxito, pero conllevan un estricto control ya que se puede incurrir en errores de espesores y tiempo de mezclado que provoquen imperfecciones y futuras zonas de problemas en la superficie. En este se explicará la colocación del microsurfacing por medio de maquinarias.

El Microsurfacing es mezclado y colocado por camiones auto-propulsados, con compartimentos diseñados específicamente para esta tarea los cuales transportan los materiales y harán la mezcla de slurry seal y microsurfacing.

Se tienen dos tipos de camiones entre los más usados: el equipo de fabricación tradicional y el equipo de carga frontal, la diferencia de los dos sistemas de transporte es la forma de cargarse el agregado, en el camión fabricación tradicional debe ser llevado hasta el lugar de acopio para ser cargado; y el camión de carga frontal está diseñado para que los camiones de volteo lleguen con el agregado y lo carguen en lugar de trabajo, esto diferencia también su rendimiento, pero en su fabricación es el mismo sistema.



**Figura 5.7**

Esquema típico de una maquinaria de Fabricación de Slurry

#### **5.4.1 TRANSPORTE Y FABRICACIÓN**

##### **5.4.1.1 Equipo de Fabricación Tradicional (Truck-Mounted Paver)**

La fabricación y extendido del microsurfacing se realiza por medio de un equipo auto-propulsado, que trabaja en continuo, con una autonomía dependiente del volumen de agregados que pueda almacenarse en su tolva o tolvas de almacenamiento (5 a 15 m<sup>3</sup>). Este tipo de maquinaria es muy útil en calles residenciales y algunos trabajos en carreteras. La máquina es cargada con todos los materiales en el sitio de acopio de la reserva de existencias, para luego conducirse a la zona de colocación y realiza el mezclado y coloca el producto en la calle designada; después vuelve al sitio de reserva y recarga todos los materiales, entonces vuelve a la calle y comienza el nuevo ciclo. La



carga de todos sus componentes se efectúa de manera discontinua. Ver fotografías 5.1 y 5.2



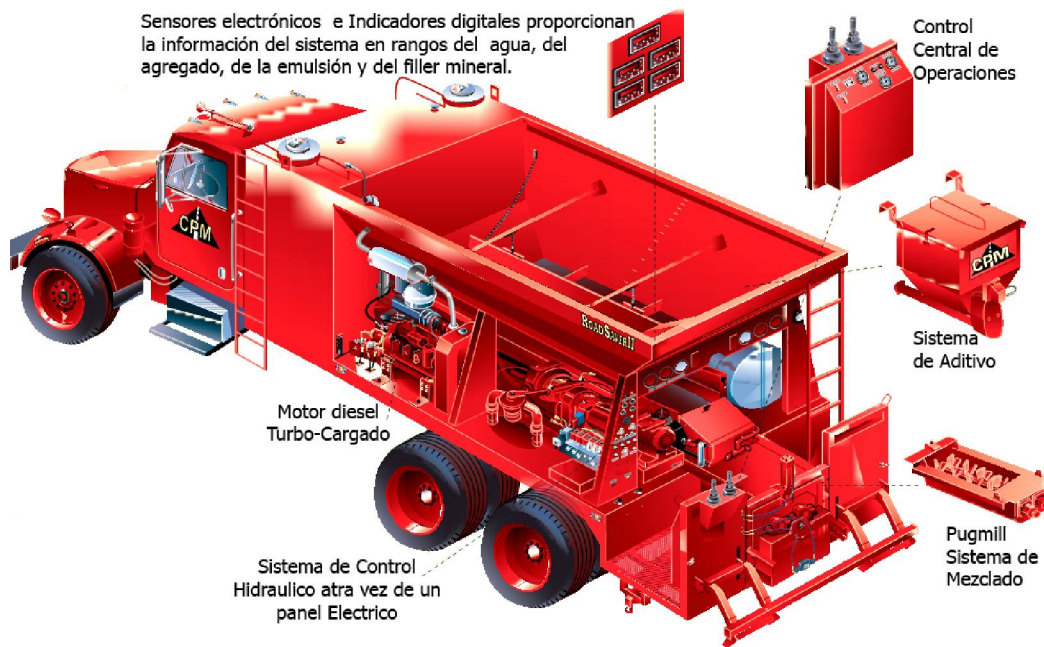
**Fotografía 5.1**

**Camión de fabricación tradicional de Slurry/Microsurfacing siendo Abastecido de agregado en el Acopio**



**Fotografía 5.2**

**Camión de fabricación y Extendido de Slurry/Microsurfacing**



**Figura 5.8**

Partes más importantes del Camión de fabricación de Slurry/Microsurfacing

Los principales elementos de que constan estos equipos son los siguientes, ver la figura 5.8:

- a. Una o dos tolvas portadoras de agregados que descargan sobre una banda transportadora y alimentan la caja de mezclado;
- b. Una tolva para el agente de rotura (filler o material en polvo), y dos depósitos, uno para la emulsión y otro para el agua de humectación o preenvuelta y eventualmente el aditivo. Todos alimentan el mezclador con la ayuda de dosificadores sincronizados con la banda;
- c. Un único motor, preferentemente hidráulico, mueve la banda y las bombas, lo que asegura proporciones constantes de entrada de los componentes en el mezclador;

- d. Un mezclador (Pugmill), con dos ejes helicoidales (en sentido transversal) o con dos ejes de paletas (dispuestas en sentido longitudinal), que se encuentran situado en la parte de atrás del equipo. Los agregados, por medio de una rampa difusora, son humectados con la mezcla de agua/aditivo en el momento que entran en el mezclador. Otra rampa, situada un poco mas atrás, reparte la emulsión;
- e. A veces cuando el tiempo es muy seco y con finalidad de mejorar la adhesión con la superficie, se puede prever una rampa de pulverización de agua para mojar la superficie del pavimento antes del extendido del microsurfacing.

#### **5.4.1.2 Equipo de Carga Frontal**

Este equipo de carga frontal en continuo ha sido concebido como la asociación de una motopaver y una maquina mezcladora-extendedora para la fabricación y aplicación del microsurfacing de gran rendimiento, ver la fotografía 5.3.

Este equipo autopropulsado se compone de los siguientes elementos:

- a. Una tolva de recepción de agregados alimentada mediante camiones de volteo y equipada con un dispositivo que permite trasiegos (cambios) elevados (de 100 a 150 T/h).
- b. Un elevador para recoger los agregados de la tolva de recepción;
- c. Una tolva de reserva de agregados de gran capacidad (10 a 15 Toneladas) que permiten una gran flexibilidad entre dos cargas de camión y que actúa como deposito-tapón.
- d. Una banda dosificadora para la extracción de los agregados.
- e. Tres depósitos (agua, emulsión, aditivo) de capacidades adecuadas al rendimiento de la maquina.
- f. Una tolva para el relleno mineral.
- g. Un mezclador con dos ejes paralelos provisto de paletas inclinadas.



**Fotografía 5.3**

Camión de Fabricación de Slurry de Carga Frontal

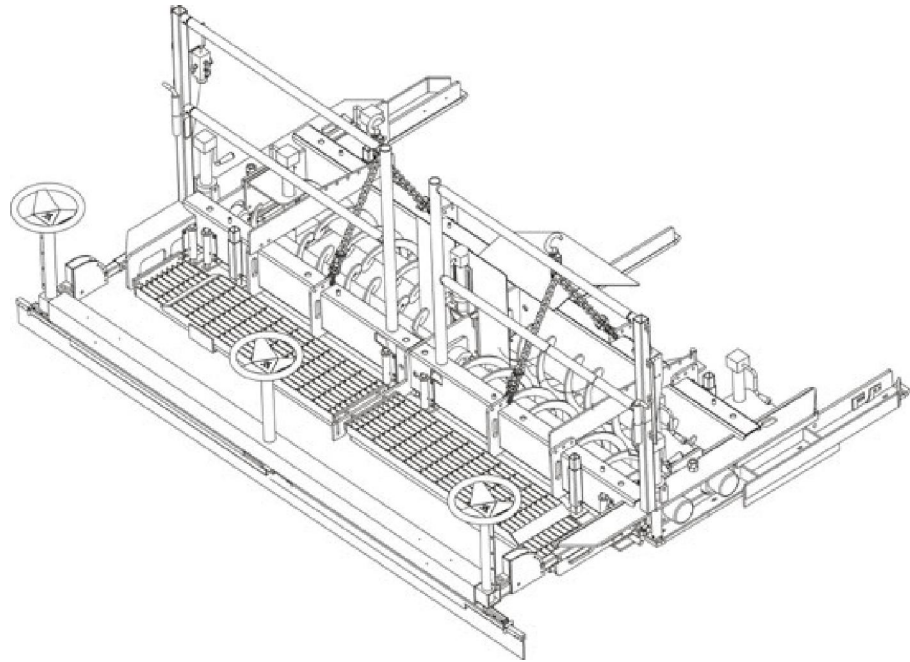
## **5.4.2 ELEMENTOS COMPONENTES DE LA MÁQUINA EXTENDEDORA DE MICROSURFACING**

### **5.4.2.1 Dispositivo de Extendido o Caja de Extendido**

Este dispositivo es independientemente del tipo del equipo, esta constituido por una rastra extendedora de anchura regulable en función de la anchura de la zona a tratar. (Ver figura 5.9 y fotografía 5.4)

La mezcla fabricada en el mezclador desciende por gravedad sobre la rastra extendedora por medio de una canaleta. Las Funciones de una Caja de extendido son:

- Recibir , contener y mezclar el slurry o microsurfacing
- Distribuir uniformemente el material por la anchura de la caja
- Agitar la mezcla para mezclas que requieren agitación
- Mide el material sobre la superficie de la carretera
- Aplica la textura final de la superficie de la carretera



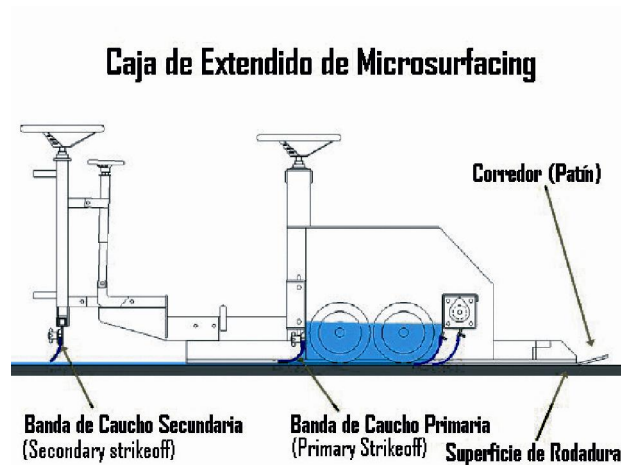
**Figura 5.9**  
Esquema típico de una caja de extendido



**Fotografía 5.4**  
Caja de Extendido para Slurry Seal y Microsurfacing

#### 5.4.2.2 Elementos que componen la caja extendedora

La Caja Extendedora de la mezcla de microsurfacing (ver en la figura 5.10) consta de las siguientes partes: tiras o bandas (strikeoff) de caucho o de uretano en la parte delantera y en su parte posterior de la caja de extendido donde contiene la mezcla y hacen la función de ir barriendo la mezcla, las tiras de caucho se utilizan a menudo en los extremos de la caja de extendido. En las cajas de microsurfacing el patín que montan en la superficie de la carretera contienen la mezcla en los extremos de la caja de extendido.

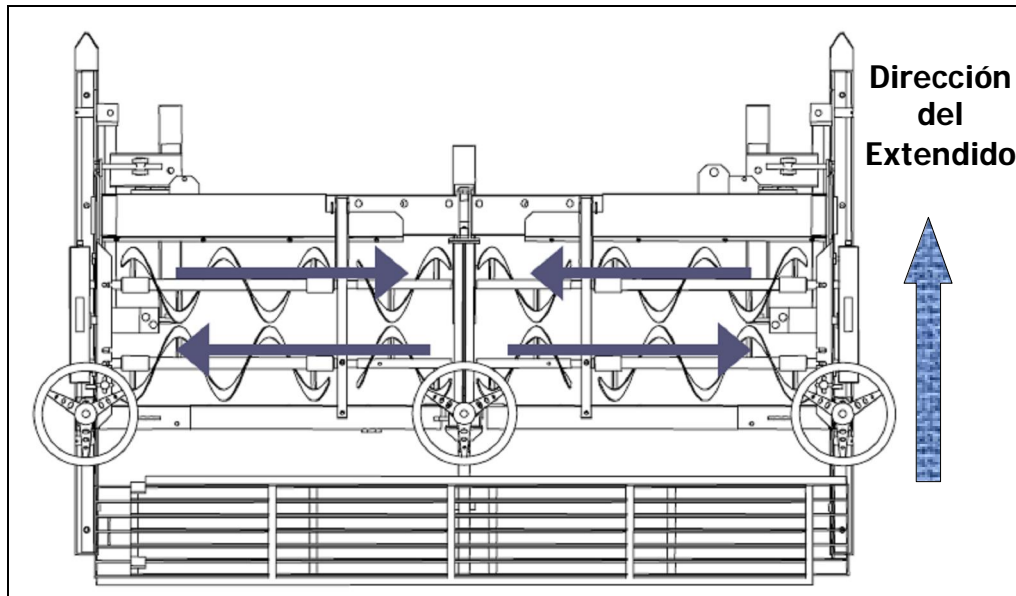


**Figura 5.10**

Sección Transversal Tipo la caja de extendido de Microsurfacing

En la figura 5.11 se muestra una vista de planta de una caja extendedora de microsurfacing típica, la caja está equipada con dos ejes horizontales provistos tipo barrenos; en la caja los barrenos llevan en la parte posterior el material al exterior de la caja, mientras que los taladros delanteros traen el exceso del material de nuevo al centro. Los taladros no sólo distribuyen la mezcla sino también la guardan con movimiento para evitar que se rompa dentro de la caja. El punto es que ningún espacio quede muerto, es decir los barrenos cubren el volumen entero de la caja en todos sus lugares mínimos para que la mezcla no este inmóvil, y por lo tanto comience a romperse. El mantenimiento de la calidad de la mezcla y su buen reparto se consigue mediante variaciones de la velocidad y los cambios de marcha de los ejes de barrenos.

Una banda de caucho situada en la parte trasera de la caja, permite conseguir una buena terminación de la mezcla de consistencia muy fluida.



**Figura 5.11**

Caja de Extendido vista desde arriba

Hay muchos tipos y variaciones de las cajas de extendido pero todos realizan la misma función; extender la mezcla de Slurry de una manera uniforme sobre el pavimento. El alcance de cajas de extendido son desde dispositivos simples, ligeros, no-ajustables a cajas grandes equipadas con barrenas, corretores especiales, y controles hidráulicos.

Las cajas especializadas se utilizan para el relleno de rodaderas y se pueden utilizar para el trabajo especial del hombro, y la anchura de extendiendo inconstante. La caja que se debe utilizar para un proyecto de microsurfacing depende del tipo y de la extensión de la mezcla pero a menudo se reduce a la preferencia personal, el contratista proporcionará la caja apropiada para su proyecto.

#### **5.4.2.3 Factores en que influye la caja extendedora en el acabado**

- 1. El tamaño del agregado (Tipo 1, 2, 3)*

El tamaño agregado es el factor más importante, es imposible colocar una superficie delgada siendo el agregado más grande.

### *2. La textura superficial del camino*

La textura de la superficie de la carretera puede ser un factor importante y el equipo no tiene ningún control sobre él. Si aplica un microsurfacing sobre una superficie de chip seal que tenga agregados de  $\frac{1}{2}$  pulgada, el microsurfacing llenará todos los vacíos alrededor de los agregados de  $\frac{1}{2}$  pulgada; esta superficie de la carretera requerirá más material que una superficie hecha con mezcla en caliente que ha sido alisada con rodo y “pulida” por el tráfico.

### *3. Presión descendente de la Banda de Caucho primaria*

Cuando se levanta el strikeoff primario, más material será aplicado por la caja. Sin embargo, esto no es una relación lineal al usar un strikeoff de caucho o de uretano; es decir, como el strikeoff primario se levanta  $\frac{1}{4}$  pulgada, el espesor de la estera será levantado menos que un  $\frac{1}{4}$  pulgada.

### *4. La altura que lleva la caja de la mezcla*

Si la caja de extendido se llena de material, pondrá más presión principal en la mezcla que sale de la caja de extendido y empujará más hacia fuera, que del caso que si una cantidad es muy pequeña de material se está llevando. Este es un factor de menor importancia comparado a los primeros tres.

### *5. Velocidad de Extendido*

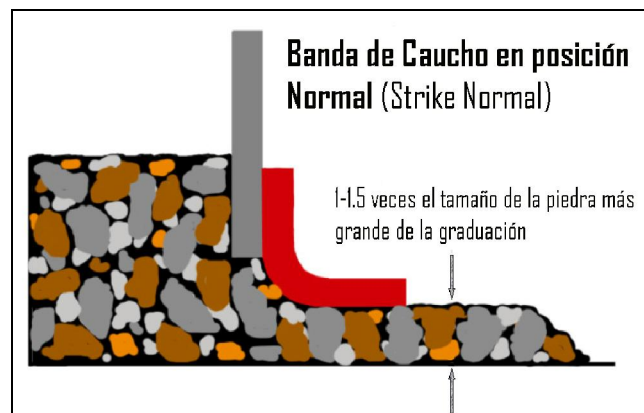
Cuanto más lenta es la velocidad de recorrido, más es el tiempo del material para que salga de la caja. Y esto cambia cuando las velocidades de recorrido muy altas cuando al aplicarlas. Este es un factor de menor importancia comparado a los primeros tres.



#### 5.4.2.4 Strikeoff primario

El strikeoff primario presiona hacia abajo y mide el material a la superficie de la carretera mientras que la caja se mueve hacia adelante. El strikeoff secundario es opcional; pero cuando se utiliza su función es alisar fuera de la superficie final quitando la ondulación, marcas de menor importancia de la fricción, y aplica la textura final.

El espesor de la capa que es aplicada al camino es controlado por las agregados más grandes de la graduación (ver figura 5.12). La disposición del espesor será aproximadamente 1 a 1.5 veces el tamaño del agregado más grande de la graduación. Los ajustes leves se pueden hacer al espesor cambiando la presión hacia abajo del caucho, pero solamente los ajustes de menor importancia pueden ser hechos.



**Figura 5.12**

Sección de la Banda de Caucho en Posición Normal

#### 5.4.2.5 Strikeoff secundario

Strikeoff secundario es usado para la textura del material. En la fotografía 5.5 se muestra un estilo de strikeoff secundario en una posición derecha. Los estilos diferentes de strikeoff secundarios pueden ser usados y ellos pueden ser orientados en posiciones

diferentes. Será necesario experimentar con su uso para determinar cual orientación trabaja mejor.



**Fotografía 5.5**

Un estilo de Strikeoff Secundario

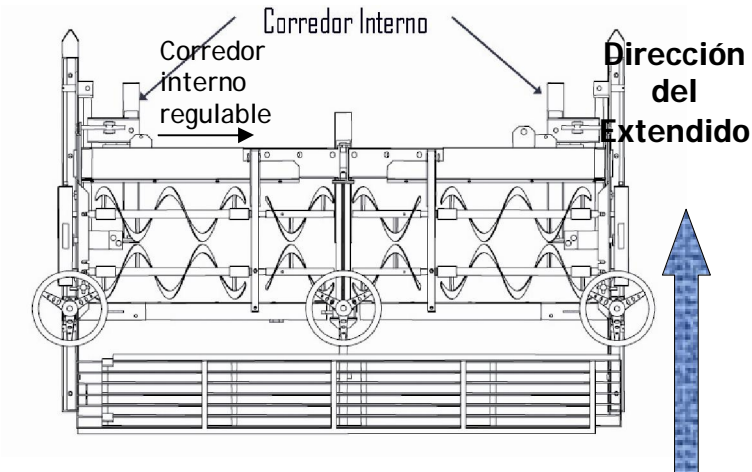
#### **5.4.2.6 Corredor Interior**

El corredor interior se utiliza para guardar el corredor externo y sobre la estera de un paso anterior que fue acabado recientemente y no ha tenido tiempo para curar (ver figura 5.13). Esto permite que el material sea puesto inmediatamente al lado del paso anterior sin los efectos nocivos de que el corredor se monte sobre él. El corredor interior debe ser ajustado así que el corredor externo simplemente está tocando apenas el paso anterior (ver figura 5.14).

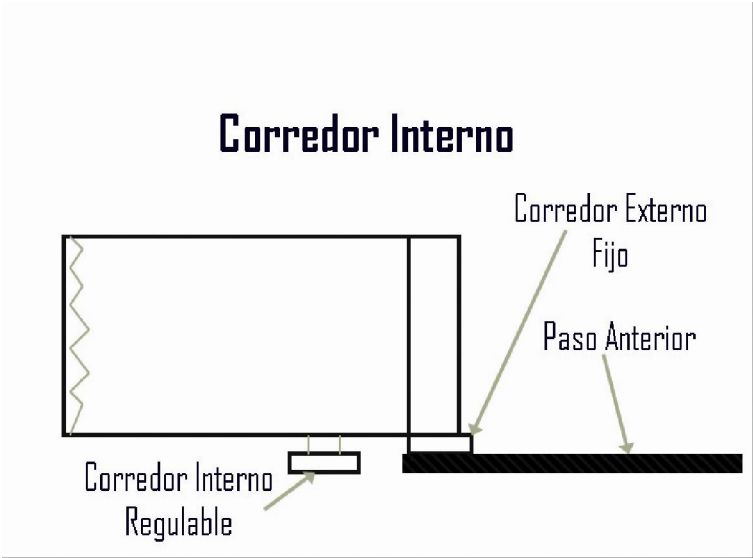
#### **5.4.2.7 Dentro de la Caja**

A algunos operadores les gusta controlar la caja llena hasta el tope, porque no les gusta prestar atención de cerca a la caja durante la operación, esto les da más tiempo de reacción a los cambios repentinos en la profundidad de roderas que puede bajar

rápidamente la cantidad de mezcla en la caja. Sin embargo, un operador alerta, puede tener la caja a un nivel aproximado. Razones para llevar una cantidad mínima de mezcla en la caja (ver figura 5.15).

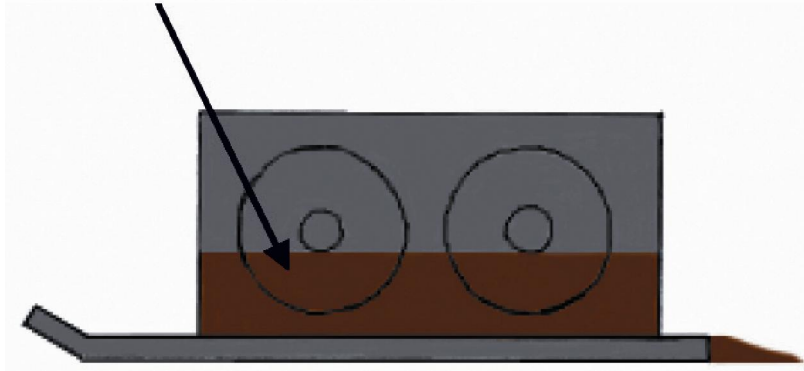


**Figura 5.13**  
Corredor Interno de la caja extendedora



**Figura 5.14**  
Sección esquemática de un Corredor Interno

Lleve una cantidad mínima de mezcla en la caja, sobre todo si la mezcla es de curado rápido y la temperatura del aire ambiental está caliente.



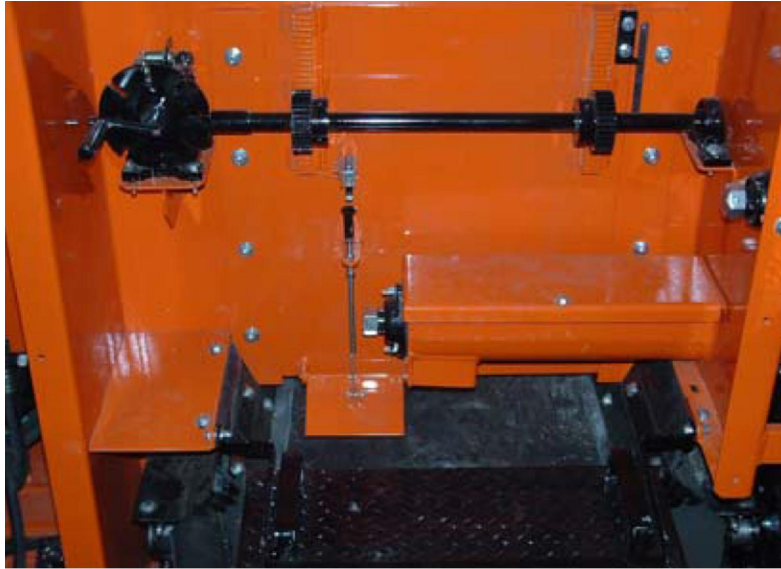
**Figura 5.15**

Cantidad de Mezcla en la Caja de Extendido

- a. Se desea conseguir mezclas con tiempo de mezcla limitado a través de la caja y sobre el camino antes de que el material se rompa.
- b. Sigue habiendo más tiempo de trabajo hecho mano después de que el material esté en el camino.
- c. Hay menos material de desecho a desalojar en el camino cuando el pavimentadora pare.

#### **5.4.2.8 Depósito de alimentador del agregado**

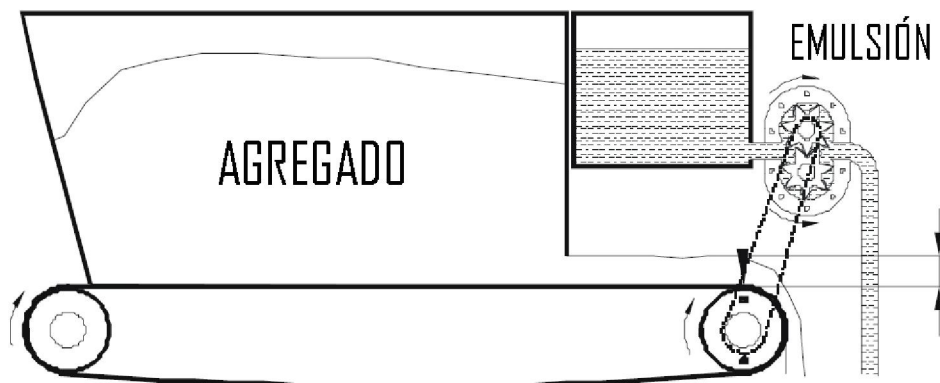
El agregado es entregado por una banda transportadora en el pugmill (mezclador). La cantidad de agregado es consistente para cada revolución de la banda, (y es entregado a la compuerta para ponerlo) ver la fotografía 5.6.



**Fotografía 5.6**

Compuerta del depósito de alimentación del agregado

En la figura 5.16 se muestra una sección transversal del depósito de alimentación del agregado. La polea principal (al derecho) tiene un contador con dos gatillos; por consiguiente registrará dos cuentas por la revolución de la polea principal.



**Figura 5.16**

Sección Transversal tipo de un depósito de alimentación de un equipo de Microsurfacing.

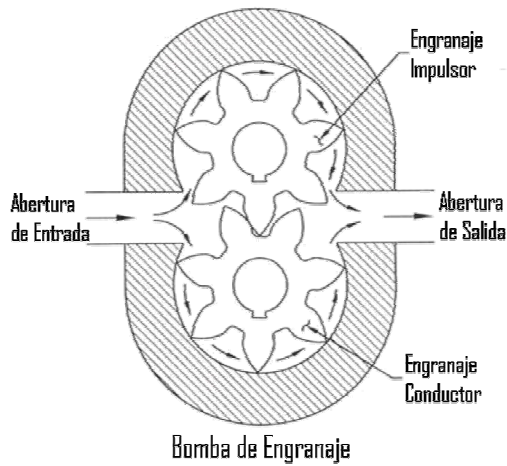
#### 5.4.2.9 Bombas alimentadoras de emulsión

La emulsión es entregada por una bomba en la máquina de microsurfacing, y los dos tipos distintos de bombas que normalmente se usan son:

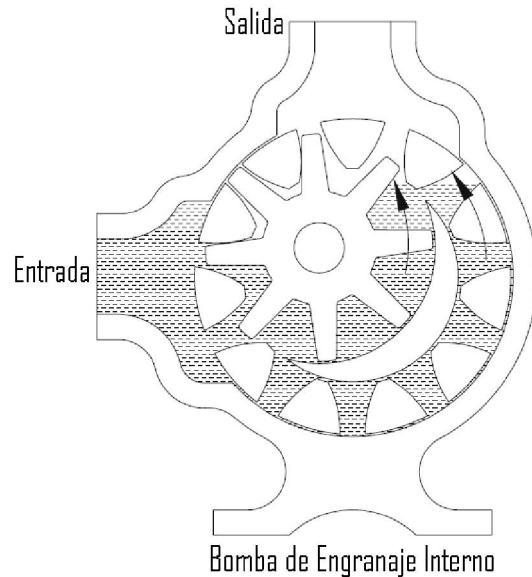
##### 1. *Bomba de desplazamiento positiva no-ajustable*

Este entrega el mismo volumen de emulsión para cada revolución de la bomba. Este volumen no puede cambiarse. Hay normalmente dos diseños de bombas de desplazamiento positivas usados:

- a. *Bomba de engranaje (Desplazamiento Positivo):* Una bomba de engranaje utiliza dos engranajes, un engranaje impulsor y un engranaje conductor (ver figura 5.17). El engranaje impulsor tiene un eje externo, accionado por un motor o un piñón hidráulico, mientras que el engranaje conductor da vuelta ajustando los dientes del engranaje impulsor. En la figura 5.17, se muestra la emulsión del asfalto que está presente en la abertura de entrada de la bomba, como las flechas del giro (notar los engranajes en la figura 5.17) la emulsión se atrapa entre los dientes del engranaje y en el caso externo de la bomba. En la abertura de salida los engranajes comienzan a endentarse, los dientes del engranaje toman el espacio de la emulsión que había estado ocupando y la emulsión por lo tanto se fuerza hacia fuera de la abertura de salida.
- b. *Bomba de Engranaje Interno (Desplazamiento Positivo.):* En la figura 5.18 se muestra la sección transversal de la bomba de engranaje interno. El eje de la bomba es perpendicular a la figura. El engranaje impulsor (un engranaje formado por una estrella de ocho dientes) es conducido por un eje externo (conducido por un motor hidráulico en el pavimentador). Este engranaje conduce el engranaje impulsor que aparece en la sección transversal de 11 dientes formados en triángulo; pero es realmente un componente de la bomba. La forma de la luna creciente es una parte de la caja de bomba y permanece fija.



**Figura 5.17**  
Sección tipo de una Bomba de Engranaje (Desplazamiento Positivo)



**Figura 5.18**  
Sección Tipo de una Bomba de Engranaje Interno (Desplazamiento Positivo)

El líquido está presente en la entrada de la bomba (a la izquierda) y el engranaje impulsor se da vuelta a la izquierda, las cavidades se abrirán entre los dientes del engranaje impulsor y del engranaje conductor. El líquido de la entrada llena estas cavidades y después se atrapa a medida que los engranajes continúan dando vuelta. En la abertura de salida de la bomba (tapa), el engranaje impulsor y el engranaje conductor se vuelven juntos y se endientan; la cavidad que se encontraba abierta y llenada al comienzo del fluido se cierra, haciendo una fuerza al líquido hacia fuera de la salida de la bomba.

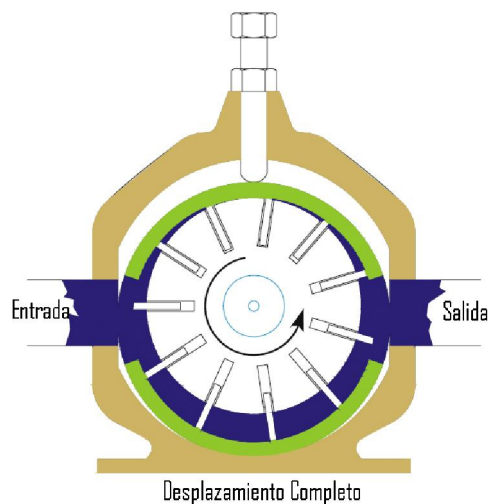
## *2. Bomba de desplazamiento variable.*

En una bomba de desplazamiento variable, el volumen por la revolución puede ser cambiado. Hay normalmente un diseño de bombas de desplazamiento variable usado:

- a. **Bomba de paleta (Desplazamiento variable):** La bomba de paleta es una bomba de desplazamiento variable. También trabaja en el principio de una cavidad que se abre entre el engranaje impulsor y el caso de la bomba en la abertura de entrada, y esta misma cavidad que se cierra en la abertura de salida, forzando el líquido hacia fuera de la bomba. Con la bomba de paleta, sin embargo, el tamaño de la cavidad puede cambiarse y por eso puede cambiarse el desplazamiento de la bomba.

Las paletas de la bomba tienen resortes, y empujan contra el anillo (verde) como el que se muestra en la figura 5.19. La posición del anillo puede ser cambiada dando vuelta al tornillo de ajuste respecto a la tapa de la bomba.

En figura 5.19 se muestra la bomba totalmente desplazada en el sentido contrario a las agujas del reloj; como los giros de la bomba una cavidad se abre entre las paletas y el anillo (verde), el fluido se entrapa cuando rueda. Al lado de la abertura de entrada de la bomba, la cavidad empieza a cerrarse y fuerza al fluido hacia fuera de la abertura de salida.

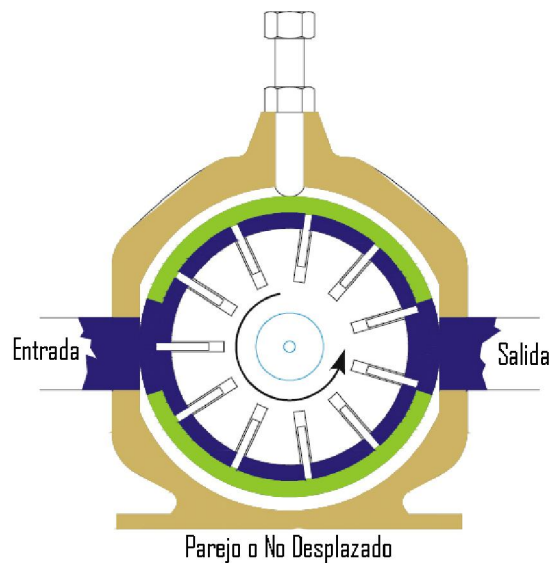


**Figura 5.19**

Diagrama de Bomba de Paleta de Desplazamiento variable  
(Se ha realizado el Desplazamiento)



En la figura 5.20 se muestra la bomba sin ningún desplazamiento, esta describe como el volumen de la bomba de paleta puede cambiarse. Con la posición del anillo (verde) los tamaños de las cavidades no cambian cuando la bomba rueda; por consiguiente, el fluido nunca se fuerza hacia fuera. De nuevo, la bomba no se correría en esta posición, sino en alguna parte entre estas dos configuraciones para lograr el volumen deseado. En todos estos diseños de bombas diferentes, la velocidad de la bomba no cambia el volumen por la revolución.

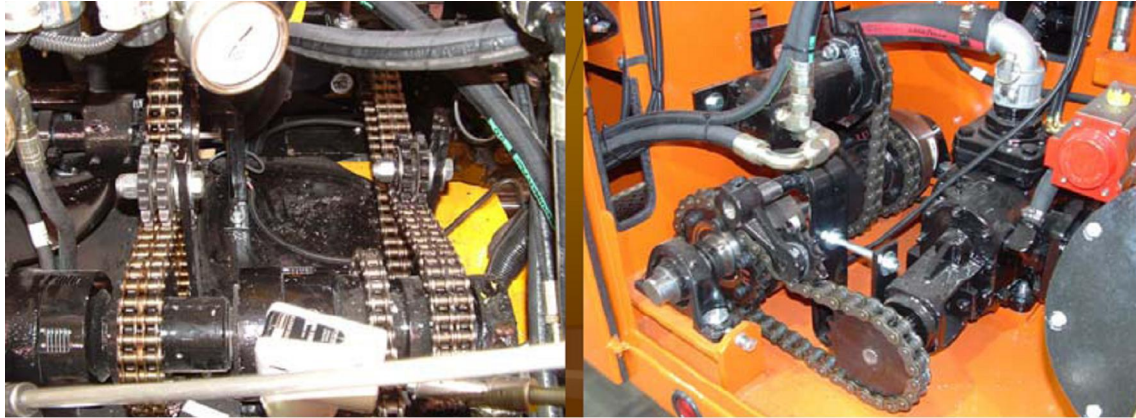


**Figura 5.20**

Diagrama de Bomba de Paleta de Desplazamiento variable  
(Sin Ningún Desplazamiento)

#### **5.4.2.10 Unión de la banda de agregado con la bomba de emulsión**

La banda de agregado y la bomba de emulsión se unen mecánicamente para asegurar una mezcla consistente (ver fotografía 5.7).



**Fotografía 5.7**

Sistema mecánico que une la Banda del agregado y la bomba de la Emulsión

La configuración común para las máquinas de microsurfacing, está para que la bomba de la emulsión y la banda del agregado sean conducidas por un eje común, conocido como un eje de unión o eje de embrague. Esto asegura de que ambos roten en una proporción fija (no es generalmente una proporción de uno a uno). Esto asegura una proporción repetible y fija de emulsión/agregado.

#### **5.4.2.11 Equipo auxiliar necesario para la colocación de Microsurfacing**

El equipo mínimo para la colocación del microsurfacing lo podemos dividir en tres etapas:

- a. Para preparar el área de colocación: el equipo de limpieza como barredoras mecánicas, pistolas de aire y de agua para la eliminación de polvo y suciedad.
- b. Para su colocación: se necesitan de llanas (squeegees) para esparcir el material, espátulas, palas, carretillas; plástico para proteger juntas, tapaderas de pozos, marcadores y ojos de gatos del pavimento.
- c. Para la seguridad del lugar trabajo: señales de tránsito para precaución, conos de seguridad vial, cinta amarilla de seguridad, etc.

### **5.4.3 CALIBRACIÓN DEL EQUIPO**

La calibración del equipo es el proceso del rendimiento real de la máquina medido a través del peso del agregado, emulsión y finos. Estos rendimientos reales son correlacionados a las revoluciones de la banda del agregado.

Se orientan la correlación a la banda del agregado porque el laboratorio especifica todas las proporciones de materiales por peso, a la cantidad del agregado. Esto se realiza con el uso de contadores.

Al Realizar el proceso de calibración, la pavimentadora de microsurfacing puede fijarse para entregar proporciones precisas de emulsión para agregados, y de finos para agregados; como se ha especificado en el diseño de la mezcla de laboratorio.

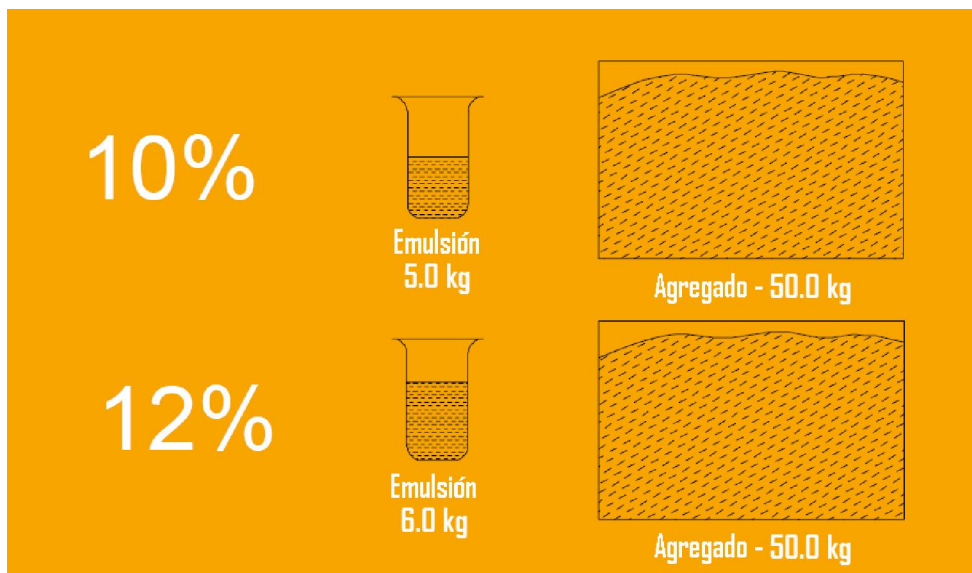
Haciendo esto el contratista y la agencia contratante saben lo que ellos pueden esperar de la mezcla aplicada; porque se han realizado pruebas en el laboratorio en una mezcla con las mismas proporciones. También permite un registro preciso de las cantidades de materiales que se aplicaron en el proyecto para los propósitos del pago.

El diseño de la mezcla del laboratorio especifica la cantidad de emulsión como un porcentaje de la cantidad de agregado medido por peso. También especifica la cantidad de finos como un porcentaje de la cantidad de agregado medido por peso, esto se ilustra fácilmente para un lote de mezcla en proceso.

En el ejemplo de la figura 5.21, se muestra dos ejemplos de calibración, a continuación se describen:

- un 10% del diseño de la mezcla tiene 5.0 Kg. de emulsión asfáltica mezclados con 50.0 Kg. de agregado.
- Igualmente, un 12% del diseño de la mezcla tiene 6.0 Kg. de emulsión asfáltica mezclados con 50.0 Kg. de agregado.

El equipo de microsurfacing actualmente usado no se mezcla en partes. Más bien, los diseños actuales son diseños de alimentación continua a través de ingredientes crudos (agregado, emulsión asfáltica, finos, agua y aditivo), se entrega continuamente al frente del pugmill (mezclador); mientras una mezcla homogénea de todos estos ingredientes se entrega continuamente a la caja de extendido en la parte de atrás del pugmill (mezclador).



**Figura 5.21**  
Ejemplo de diseño de mezcla

La descripción de alimentación continua no debe ser confundida con pavimentar continuo, en un camión mezclador tradicional el procedimiento de alimentación de los materiales es como se describió en la sección 5.4.1.1; pero el camión de fabricación y extendido de microsurfacing pavimenta hasta que la maquina está vacía, y entonces se regresa al acopio para llenar de nuevo

En los equipos de carga frontal el funcionamiento de alimentación, los materiales también se alimentan como describió en la sección 5.4.1.2; pero la pavimentadora se queda en el lugar de trabajo, mientras las Unidades de Apoyo Móviles (también llamado camiones de asistencia) traen los materiales crudos a la pavimentadora, por consiguiente el funcionamiento pavimentando es continuo.

Desde que se tiene un procedimiento de alimentación continua, el rango de alimentación de entrega de agregado, de la emulsión asfáltica y la entrega de los finos, debe acoplarse para asegurar proporciones apropiadas de materiales en todo momento. Esto normalmente se realiza con un arreglo del eje de unión o un arreglo en el sistema hidráulico. La alimentación se rastrea en proporciones con contadores, también podrían llamarse contadores los totalizadores.

#### **5.4.3.1 Contadores**

La función de un contador es contar las revoluciones de un eje, una polea o un engrane. Dentro de algunas aplicaciones, el contador cuenta fracciones de una revolución; por ejemplo, un contador podría registrar tres cuentas por la revolución de un eje. En una aplicación diferente (y quizás en un diseño diferente del contador; electrónico vs. aire) un contador puede registrar 30 cuentas para cada revolución, el número de cuentas registrado por la revolución necesariamente no es de preocupación al operador para realizar una calibración; más bien, el fabricante del equipo tiene en cálculo esto al diseñar la fabricación y extendido del microsurfacing en el camión.

Los contadores no dependen de la velocidad, ellos no cuidan la rapidez del eje, de la polea o el engrane que está dando vuelta, el contador sólo guarda el rastro de cuántas revoluciones hizo. Si el contador registro dos cuentas por revolución, y las vueltas del eje son 100 veces en un minuto, el contador registrara 200 cuentas. Si el mismo eje da vuelta a 100 veces en tres minutos, el contador aun tendrá el registro de 200 cuentas.

#### **5.4.3.2 Control que se debe de tener en la caja extendedora**

- a. La limpieza es obligatoria en una caja de extendido. La caja se debe limpiar en el final de cada período del trabajo y puede requerir la limpieza (especialmente el caucho posterior) durante el día de trabajo; por la acumulación excesiva de la

mezcla, si no se realiza la limpieza en el caucho puede llevar al punto de causar rayado en la mezcla.

- b. La mezcla de la caja esparcidora no debe escaparse. Los cauchos laterales (cuando sea apropiado) deben ser instalados para mantener bordes aseados. El caucho posterior de la caja (o el acero) debe salir de un grueso uniforme y tocar el material de la mezcla de modo que no haya cantos desiguales u ondulación longitudinal salida en la estera. El caucho posterior se puede cambiar en grueso, anchura, y dureza para alcanzar resultados deseados.
- c. La caja esparcidora debe tirar suavemente y uniformemente sin vibración. La velocidad de la máquina se debe mantenerse uniforme. El exceso de velocidad puede hacer que la caja vibre o salte dejando líneas transversales de ondulación en la mezcla. Si usa una fricción (típicamente una longitud corta de hebras), el exceso de velocidad puede hacerla dejar una estera ondulada y desigual. Las cajas del esparcidor de diverso diseño reaccionan diferentemente a las fuerzas de extensión. Una velocidad normal en un tipo puede ser una velocidad excesiva en una diversa caja. El factor más importante a la velocidad permisible del uso es el resultado final y la calidad de la mezcla. La velocidad es afectada también por la proporción de aplicación, la gradación del agregado, la viscosidad de la mezcla, y las condiciones superficiales existentes, textura y suavidad.

#### **5.4.3.3 Ajustes de la Caja de Extendido**

Los puntos más importantes a chequear en la caja de extendido son los siguientes:

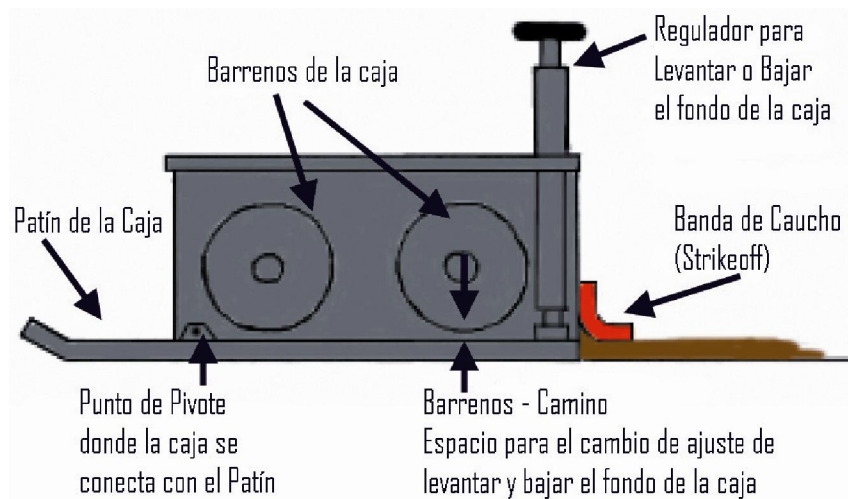
- a. Anchura
- b. Presión de Strikeoff
- c. Tipo de el strikeoff caucho o uretano, rigidez y longitud
- d. Separación de los barrenos (no ajustable independientemente de strikeoff primario en todas las cajas)
- e. Corredor o Patín Interior

El tipo apropiado de caucho o de uretano a usar para una situación dada, debe ser determinado probándolo. Los fabricantes de la caja del esparcidor incluyen típicamente el tipo más común de caucho o uretano usado, pero su uso puede ser mejorado usando uno de caucho o de uretano más grueso o más fino, o usando una rigidez diversa.

La separación del barreno se debe fijar en aproximadamente a ½ pulgada (1 centímetro) como punto de partida. Si están apareciendo las sombras formadas en la estera final, los taladros necesitan ser levantados. Los taladros necesitan ser fijados cerca del pavimento como sea posible, pero no tan cercano estas sí sombras aparecen, o el taladro golpeará en varias ocasiones los puntos altos en el camino mientras pavimenta.

#### 5.4.3.4 Ajustes de la caja de Extendido para el Strikeoff

Levantando y subiendo el fondo de la caja de extendido se hace el cambio de presión hacia abajo del strikeoff. En este diseño particular de la caja (ver figura 5.22), es lo primero que se levanta y se baja, los barrenos también se levantan y se bajan. No todos los diseños de la caja de extendido trabajan de esta manera, algunos mantienen la separación del barreno mientras se levanta y se baja primero.

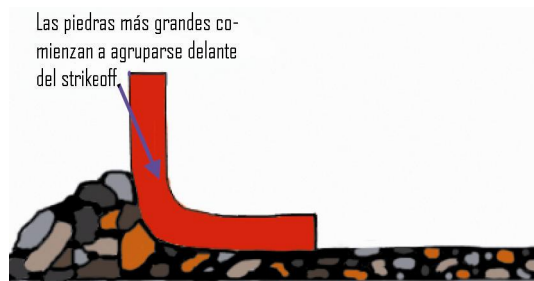


**Figura 5.22**

Sección de la caja extendidora y sus partes de regulación

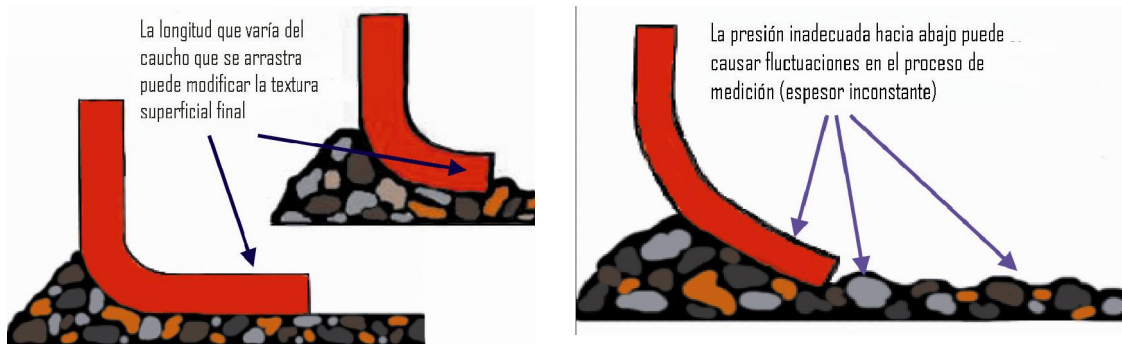
#### 5.4.3.5 Resultado de demasiada presión hacia abajo en el Strikeoff primario

Los agregados más gruesos comienzan a juntarse delante del strikeoff, debido a la demasiada presión hacia abajo en el strikeoff, que hace que los agregados de graduación más grandes no pasen bajo el strikeoff y la capa de la mezcla que resulta será inutilizable (ver figura 5.23 y 5.24).



**Figura 5.23**

Agregado en la parte delantera debido demasiada presión en el strikeoff



**Figura 5.24**

Diferentes Observaciones sobre el Strikeoff Primario



En el strikeoff secundario puede ser manejado en diversos ángulos (ver figura 5.25), y con diferente presión hacia abajo. Es importante determinar cuál es el ángulo apropiado y la presión a ejercer sobre la mezcla en particular y el microsurfacing que se este aplicando, la experimentación es necesaria.

#### 5.4.3.6 Los efectos del agua en la calibración del agregado

El volumen de humedad se usará en los cálculos mientras se esta realizando calibración. Hay varias maneras de determinar el volumen de humedad, el más fácil y práctico es el siguiente:

En el campo, se muestrea el agregado y de este muestreo se toma una porción y se pesa obteniéndose el peso del agregado húmedo ( $w_h$ ), luego se calienta en una cacerola, hasta dejarlo totalmente seco, (se puede chequear con un vidrio si sube vapor, o se pesa varias veces hasta que se vea el peso constante) obteniéndose el peso del agregado seco ( $w_s$ ). Se Repite este proceso obteniendo otros dos grupos de datos para verificar la humedad ( $w$ )

$$\text{Contenido de Humedad (w)} = \frac{\text{Peso del agregado húmedo (w}_h\text{)} - \text{Peso del agregado seco (w}_s\text{)}}{\text{Peso del agregado húmedo (w}_h\text{)}}$$

El efecto de hinchamiento del agregado se refiere al fenómeno de la absorción de agua en la roca, que da lugar a ampliarse la roca. Normalmente, si el efecto de hinchamiento no es tan severo, no cambiara el resultado de calibración. Si es severo, el ajuste de la compuerta necesitara ser modificado, es de tomarlo en cuenta.

El grafico de hinchamiento se realiza en laboratorio, y se observará como la humedad en porcentaje aumenta, el volumen del agregado aumenta (el mismo peso de unidad del agregado toma más espacio, por lo tanto el peso por volumen de unidad va abajo).y este mostrará si es severo o no es severo, Si el efecto de hinchamiento es severo, se utilizará la ecuación siguiente para cambiar el ajuste de la puerta

$$\text{Nuevo Ajuste de la compuerta} = \text{Ajuste antiguo de la compuerta} \times \frac{\text{Densidad Seca en la humedad de calibración}}{\text{Densidad Seca en la Humedad de operación}}$$

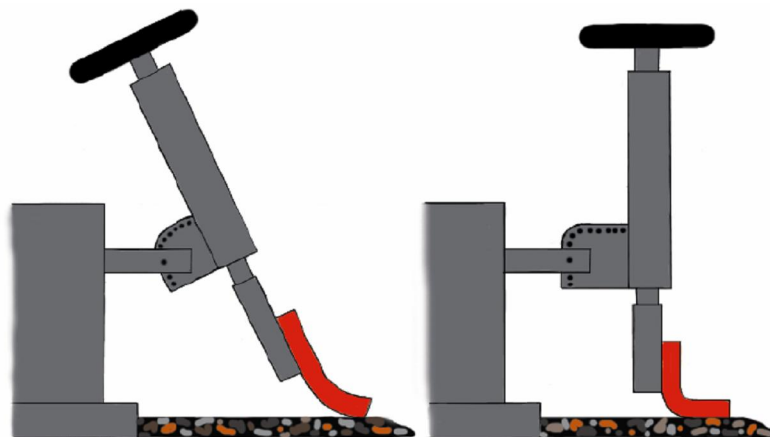
#### 5.4.3.7 Cálculo de Proporción de aplicación

Proporción de la aplicación es igual al peso del agregado usado en el área de superficie del pavimento cubierto

- a. Calcular el peso del agregado usado en la distancia medida
- b. Calcular el área superficial del pavimento cubierta después de que se acabe la tira de prueba
- c. Calcularla Proporción del uso

#### 5.4.4 COLOCACIÓN DE LA MEZCLA

Como parte de un proyecto es necesario planificar todos los por menores que se tendrá al momento de ejecutar el proyecto, desde la limitación de área de trabajo hasta la limpieza después de colocado. En este apartado se describirá en forma resumida los procesos más importantes que se llevan en la ejecución del proyecto de microsurfacing, los cuales se describirán a continuación.



**Figura 5.25**

Diferentes Posiciones para el Strikeoff Secundario

#### **5.4.4.1 Notificación y control de tráfico**

Carreteras: Todo el control de tráfico de carretera deberá ser hecho conforme a las normas de agencia aplicables para el control de tráfico y la seguridad.

Caminos de la ciudad: Aunque todos los residentes favorecen las buenas calles con aspecto agradable, algunos se resentirán por la molestia inherente que surgen en todas las clases de construcción y de mantenimiento de la calle. El uso de la mezcla requiere que el área que este siendo tratada esté cerrada temporalmente a todo el tráfico, peatonal y de vehículos. Cualquier clase de tráfico en la mezcla fresca causará pistas con mal apariencia.

Por lo menos 24 horas antes de iniciar operaciones con el microsurfacing, el contratista notificará a todos los residentes, negocios y agencias por un aprobado, el aviso escrito que detalle las calles, límites de trabajo que se harán y las horas de trabajo (ver fotografía 5.8). Si el contrato requiere, el contratista antes de empezar operaciones del microsurfacing, deberá fijar todas las calles que deben ser trabajadas en el aprobado, con una señalización **“No Parquear o se Remolcara Lejos”**, las señales estarán a intervalos de 61 metros (200 pies). Estas señales también declararán el día de la semana y las horas en que no se podrá estacionar en el área. Si el trabajo no ocurre durante el día especificado, la nueva notificación deberá ser distribuida.

Deben proporcionarse medios adecuados para proteger el microsurfacing del daño a través de tráfico hasta tal tiempo que la mezcla ha curado suficientemente y pueda apoyarse el tráfico sin daño. Los oficiales de la aplicación de ley deben estar disponibles para arreglar lo del remolque de vehículos no movidos de las áreas para ser colocado el microsurfacing y detener a los violadores voluntarios de las barricadas. El alquiler de turno policiaco es sugerido para tal deber, en particular en áreas donde el volumen de tráfico es alto.

La división de calles a menudo, como se piensa, es menos molesto a residentes, cuando en realidad en casi todos los casos no se pueden permitir el estacionamiento sobre el

otro lado y el acceso a casas está sólo disponible sobre un lado. El resultado es en realidad es doble en molestia e interrupción.



**Fotografía 5.8**

Notificación de Mantenimiento en zonas residenciales o comerciales

#### **5.4.4.2 Preparación de la Superficie**

Antes de la colocación del microsurfacing se deben de reparar todas las grietas, fallos de la base u otras reparaciones requeridas.

##### *1. Limpieza de la Superficie*

Toda el área de superficie prevista para cubrir con microsurfacing deberá ser limpiada de toda la vegetación, material suelto, manchas de fango o barro y cualquier otra materia desagradable. Por esta razón, métodos convencionales como camiones barredoras, pistolas de aire a presión, y la limpieza con agua son efectivas (a pesar de que derramar el agua es muchas veces más exitoso para mover polvo y suciedad alrededor de la superficie realmente a limpiar). El lavado con el agua deberá ser evitado

cuando la condición de la superficie es tal que la humedad puede entrar en la base justo antes de que la superficie es sellada. El agua simplemente derramada, no es recomendable porque puede llevar a desperdiciar este recurso natural.

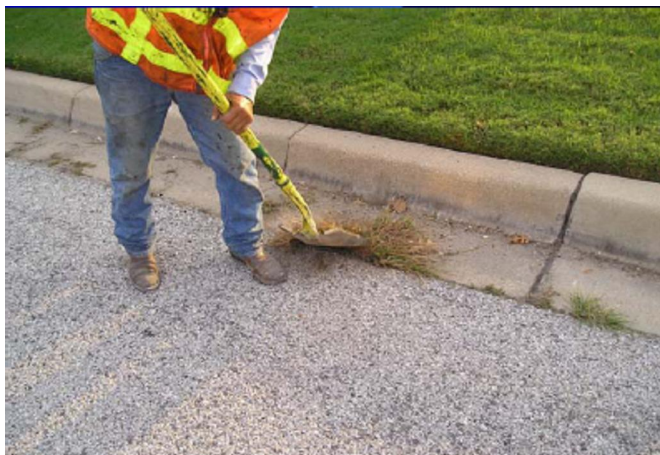
El barrer con una escoba mecánica es por lo general la mejor opción (ver fotografía 5.9), aunque mejoras recientes de barredoras con aspiradoras han permitido un uso exitoso de este tipo. El factor importante es que la escoba debe ser diseñada para barrer la calle, un maquina barredora de estacionamiento no lo hará muy bien. Una escoba de recolección es necesaria donde el camino tiene restricciones y canales, mientras que una escoba de patada (kick broom) es suficiente para mover la suciedad del lado de la calzada, esto es aceptable (como la mayor parte de carreteras).



**Fotografía 5.9** Barredora Mecánica

La hierba y maleza crecen sobre el pavimento, estas tendrán que ser quitados (desenterrados, ver fotografía 5.10) o destruido por un químico antes de que la mezcla sea aplicada. En ninguna superficie de asfalto se adherirá con manchas de grasa extensas o superficies saturadas de aceite y deberán ser quitados o tratados antes de la aplicación de la mezcla. La utilización de detergentes industriales ayudará en el lavado de las manchas. Otros métodos eficaces incluyen agua a presión o la combustión. Para problemas severos, los selladores acrílicos están disponibles para el tratamiento de mancha de aceite.

En unos tipos de superficies existentes el tratamiento previo con asfalto es necesario antes de la aplicación de la mezcla. Áreas desempedradas requieren un riego de imprimación pesado de asfalto para impermeabilizar la superficie y endurecen la superficie de la base, un ligero riego de liga de emulsión de asfalto diluida es eficaz en el mejoramiento de la adherencia de mezcla al pavimento existente de concreto y de adoquín, y a los pavimentos de asfalto que son en exceso polvorientos o agregado pulido que extensivamente esta expuesto. El material para un riego de liga eficaz consiste en tres partes de agua y una parte de una emulsión. Recomiendan a una tarifa de aplicación de 0.05 a 0.10 galones por yarda cuadrada (0.2 a 0.5 litros por m cuadrado). La tarifa real depende del contenido de residuo de asfalto real después de la dilución, pero principalmente sobre la textura y las características de absorción de la vieja superficie.



**Fotografía 5.10**  
Remoción de Hierba y Maleza

*2. Protección de las tapaderas de pozos de inspección y tapas de válvulas de agua potable*

Esto puede ser hecho usando varios métodos:

- a. Cortando una tapa de papel según tamaño y pegándolo en el lugar usando pegamento.
- b. Quitar las tapas, se colocan en bolsas de plástico y los reemplaza en su posición original. (ver fotografía 5.11)

Cada procedimiento requiere levantamiento del dispositivo de protección al final de cada día.

Para asegurar que se localizan todas las tapas y válvulas, una tripulación necesita guardar un boceto de los lugares o referencia de cada tapa con un marcador temporal o marcar en el bordo adyacente.



**Fotografía 5.11**

Protección de Tapaderas de Pozo o válvulas de agua

### *3. Líneas de señalización del tráfico*

A menos que la línea sea termoplástico, sea muy nuevo, o tiene un espesor sustancial, se hará un tratamiento especial (se utilizara una pulidora para remover la línea de termoplástico, ver fotografía 5.12; normalmente no hay necesidad de un tratamiento especial, la mezcla se adherirá normalmente a las líneas de señalización del tráfico que

tiene un desgaste. La cinta y el termoplástico de señalización del tráfico siempre desaparecerán, esto quiere decir que al terminar el proyecto se debe restaurar todas las líneas de señalización que hallan sido tratadas o han sido cubiertas por la mezcla.

#### *4. Los botones y los marcadores reflectivos*

Si existen, también tienen que ser tratados como los pozos de inspección, se usan varios métodos y uno o más puede requerirse en las especificaciones:

- a. El retiro de los marcadores y del reemplazo después de que haya terminado la colocación de la mezcla.
- b. Las tapas plásticas están disponibles para proteger los marcadores. Éstos no son a menudo aceptados pues la caja del esparcidor tiende a quitar las tapas.
- c. El lavado de los marcadores trabaja bien si se realiza inmediatamente detrás de la caja del esparcidor usando un rociador de mochila o una varita conectada con el sistema del agua de presión de la máquina de mezclado. La clave es hacerlo "inmediatamente" así que la mezcla no tiene ningún tiempo para fijar en los marcadores y un tiro mínimo del agua es todo lo que se necesita para quitar la mezcla (ver fotografía 5.13).
- d. Encintar los marcadores y después quitar la cinta. Esto quita mucho tiempo y emplea mucha mano de obra, pero puede ser aceptable si el número de marcadores es pequeño.

#### *5. Las marcas termoplásticas del pavimento*

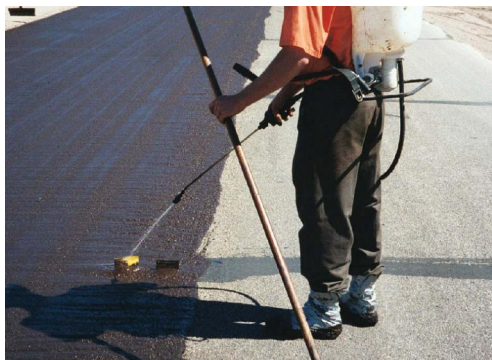
Si existen presentan sus propios requisitos especiales. La mezcla no se pegará con éxito al termoplástico a menos que esté bien áspera, esto es debido al grueso, lisa, y denso de la superficie termoplástica. La caja de la mezcla tiende a pelar el material de la superficie. Hay varias formas de manejar esta situación:





**Fotografía 5.12**

Pulidora para remover el termoplástico de las líneas de señalización u otro material no deseado.



**Fotografía 5.13**

Procedimiento de lavado de marcadores de señalización.

- a. Retiro del termoplástico antes de la mezcla. Esto es obligatorio en las carreteras pero es costoso quitar y sustituir.
- b. Protección del termoplástico con cinta y papel durante la operación de la mezcla. Esto presenta mucho uso de mano de obra y presenta problemas con la caja del esparcidor que rasga el papel, puede ser necesario el usar referencias con marcadores o estacas temporales.
- c. A lo largo de la misma idea, un bloque cuadrado alrededor del área de la marca del pavimento (parada, cruce de camino del carril, zona de escuela, etc.) y cinta o papel de construcción para mantener la mezcla ausente del termoplástico; este método es favorito por muchos porque preserva solamente el termo existente y la mezcla se coloca a una distancia respetablemente lejos y evita el seguir sobre el termoplástico.

#### *6. Los canales de concreto*

Se encuentran de vez en cuando en las calles residenciales, estos no son normalmente un problema para el equipo para trabajar alrededor y la mezcla no es colocada sobre el concreto

#### *7. Las pistas del ferrocarril*

Son tratadas normalmente parando la mezcla en el borde de la derecha del ferrocarril de manera que nunca permita que la mezcla entre en el área de sí mismo de la pista.

#### *8. Cuando se tenga depresiones (ahuellamiento, ondulaciones, hundimientos)*

En la sección transversal de la calle y que está deformación tenga 12.5 milímetros o más, las depresiones se deberán llenar primero utilizando los requisitos de estas provisiones especiales. El relleno de las depresiones será logrado usando agregado de tipo III. El uso máximo para las depresiones será de 37.5 milímetros. Mayores profundidades pueden requerir varias capas en cada depresión.

La reparación de la depresión será construida con una corona leve para permitir la compactación inicial del tráfico del microsurfacing.

Por lo menos 12 horas de compactación del tráfico serán permitidas en depresiones recientemente llenadas antes de que las capas superficiales adicionales se apliquen en la calle. Esto se puede sustituir utilizando un rodillo neumático aceptado por supervisor.

En resumen para la preparación de la superficie podemos mencionar que estos son los puntos más importantes.

- Sello de Grietas
- Reparar Rodaderas
- Remover la vegetación
- Limpiar la superficie, con barrido y lavado
- Remover machas de aceite
- Remover marcadores, pintura y líneas de señalización
- Protección de tapaderas y de otros elementos de inspección
- Utilizar marcas para ubicación de objetos protegidos

#### **5.4.4.3 Pautas de la Temperatura**

El Microsurfacing no debe aplicarse si el pavimento o la temperatura de aire está debajo de 50 °F (10 °C) y descendiendo, pero puede aplicarse cuando el pavimento y la temperatura del aire están sobre 45 °F (7 °C) y subiendo.

Los microsurfacing que tienen curado por evaporación no debe ponerse durante los periodos de humedad alta anormal o cuando se espera lluvia dentro de unas horas, estos que tiene curado por eyección química de agua son menos afectados a través de la humedad.

Ningún microsurfacing debe colocarse si el tiempo está nublado o lluvioso o hay una previsión de temperaturas debajo de 32 °F (0 °C) dentro de 24 horas en el tiempo de colocación de la mezcla.

#### **5.4.4.4 Curado**

Las temperaturas del pavimento juegan una parte importante en el curado de las mezclas del microsurfacing como todas las mezclas dependen en alguna de la evaporación de agua del producto curado. Casi todos los microsurfacing en uso, son de "Secado Rápido" y forma un producto químico en las fases tempranas; entonces la evaporación seca el producto final. Los Microsurfacing actualmente dan un "empuje" al agua para que salga fuera de la mezcla y permitir que la evaporación comience antes. La humedad puede afectar en tiempos fijos retrasándose el proceso de evaporación.

Aunque el microsurfacing esté listo al tráfico en una cantidad corta de tiempo, puede permanecer un poco de agua en la mezcla durante unas horas. La congelación podría causar problemas si esto ocurre (no ocurre esto en el caso de El Salvador). Son arruinadas las emulsiones asfálticas si se permite el agua en la emulsión a una temperatura de congelación. Ninguna mezcla deberá ser colocada cuando hay peligro que el producto final se congele antes de las 24 horas.

Mientras que las bajas temperaturas prolongarán los tiempos del sistema del microsurfacing, las temperaturas calientes tenderán a acelerar el sistema (Esta situación es muy usual en los países centroamericanos como en la zona del litoral u oriental de El Salvador). Durante los días calientes, el equipo aumentará el uso de las barras de esparcidoras de agua para humedecer el pavimento mientras que las temperaturas del pavimento aumentan. El humedecimiento ayuda a refrescar la superficie e impedir que la emulsión rompa cuando entre en contacto con el pavimento. Las temperaturas elevadas pueden requerir de agua adicional en la mezcla para neutralizar las temperaturas de pavimento más altas y la deshidratación en la caja de esparcidor.

La mezcla en temperaturas elevadas tomará un tiempo más largo para la curación final, a veces varias semanas. La colocación durante los períodos calientes, los vehículos pueden pelar o desprender la mezcla por la acción de una carga de torsión o carga lateral. La energía de abrasión en el momento de circulación es normal para toda mezcla y será más frecuente en callejones sin salida, en porciones de estacionamiento, o de cualquier área donde haya más restricciones para el giro de vehículos.

#### **5.4.4.5 Juntas Laterales**

Las juntas laterales son mejor controladas poniendo papel de alquitrán en la superficie del microsurfacing. Esto normalmente se requiere sólo a la salida y extremo de cada calle y no en los empalmes de en medio. La aplicación más pesada es con el Tipo III, pueden requerir un procedimiento de empalme de extremo para asegurar una transición lisa. Las juntas transversales deben ser lo suficiente suaves para permitir un desplazamiento confortable, debe tenerse el cuidado en evitar una excesiva acumulación de microsurfacing en las líneas de juntas transversales.

#### **5.4.4.6 Juntas longitudinales**

Esto es crítico en la carretera y las velocidades altas de aplicación de los microsurfacing, como un trayecto de Tipo II o de Tipo III donde se requiere minimizar los traslapes. Las Áreas de traslape puede causar problemas como: sangramiento, desplazamiento, y puede dejar una superficie desigual. Debe proporcionarse una anchura conveniente para el extendedor del equipo y así producir un número mínimo de juntas longitudinales en el proyecto. Cuando sea posible las juntas deben ponerse en las líneas de la vía

Las juntas longitudinales deberán ser minimizadas y ubicadas en las líneas de carriles centrales, cuando esto sea posible. En las juntas longitudinales se permite un traslape máximo de 150 mm. (6 pulg.)

#### **5.4.4.7 Obra hecha a mano**

Para mejorar las juntas, corregir imperfecciones menores y colocar el microsurfacing en áreas inaccesibles a la maquina, se emplean llanas (squeegees) y escobas manuales. Las áreas a ser trabajadas manualmente deberán primero ser ligeramente humedecidas con agua; Luego, la lechada asfáltica puede ser trabajada con las llanas. Debe tenerse el cuidado en no dejar las áreas trabajadas a mano con una apariencia desagradable. Deberá limitarse la aplicación manual del microsurfacing.

La mayoría de los proyectos de los microsurfacing incluirán áreas que no son accesibles a la caja esparcidora (ver fotografía 5.14). Estas áreas son realizadas con llanas de goma (squeegees). La calidad del producto terminado será directamente proporcional a la calidad y habilidades del personal. La velocidad a la que la mezcla este rompiendo, es acelerada por las condiciones ambientales seca y caliente, y esto probara las capacidades de trabajo del personal. Si están usándose trapeadores para arrastrar en la caja esparcidora, con los trapeadores de arrastre también deben usarse las llanas para dar emparejado y la misma textura.

La regla fundamental para la obra hecha a mano es “lo menos es lo mejor.” Más mezcla en el trabajo hay más segregación en el lugar. Como la llana mueve la matriz hacia adelante y hacia atrás, el agregado más grande es trabajado en la superficie mientras que los finos pueden ser perdidos y la mezcla puede deshidratarse. El agregado grueso entonces es inadecuadamente encajado y se formará grumos.

Cuando se está haciendo el trabajo hecho a mano, el cuidado que se debe de tomar, primero es mojar la superficie de asfalto existente y estar seguro que la superficie acabada es uniforme. El agua en la mezcla reduce la tensión superficial y ayuda al personal a moverse y a trabajar con la mezcla. La mezcla que haya curado, o decir endurecido, durante el trabajo hecho a mano deberá ser quitada.



**Fotografía 5.14**

Trabajo hecho a mano en zonas difíciles para el equipo

#### **5.4.4.8 Compactación**

Rara vez es necesaria la compactación en un microsurfacing, teniendo en cuenta que el tráfico vehicular normalmente provee una adecuada compactación. Cuando, debido a condiciones especiales, se requiere compactación, un compactador neumático de nueve ruedas, con un peso de entre 9 y 11 toneladas y con una presión de 350-425 kPa (50-60 libras por pulgada cuadrada), es adecuado, y en general son lo suficiente dos pasadas (ver fotografía 5.15). Es importante compactar cuando el proceso de rotura de la lechada asfáltica está lo suficiente avanzado para soportar el paso del compactador sin que haya material que quede adherido a las ruedas.

Los compactadores de ruedas de acero no son recomendables. Estos compactadores tienden a apoyarse en las zonas altas del pavimento, dejando sin compactar las áreas bajas. Además, dejan las marcas en la superficie y pueden triturar el agregado de mayor tamaño.

En general, entre múltiples pasadas, el microsurfacing debería curar en 24 horas. Este proceso de curado permite la evaporación del agua y el desarrollo de la resistencia en las pasadas anteriores. Asimismo la consolidación debida al tráfico de las huellas rellenas y de otras áreas profundas permitirá el desarrollo de la máxima resistencia.



**Fotografía 5.15** Compactador Neumático

#### **5.4.4.9 Cuidado de la Limpieza en el Trabajo**

Durante, y sobre todo en la terminación de un proyecto de microsurfacing, es importante que todas las áreas implicadas se mantenga limpias y ordenadas. Es sugerida la inspección diaria del área de carga y descarga, con el énfasis particular sobre el área de carga y descarga de la emulsión. La aceptación final del trabajo deberá ser aplazada hasta que el inspector esté satisfecho que todas las áreas implicadas han sido restauradas a su estado original de limpieza.



## **5.5 PROBLEMAS, SOLUCIONES Y SUGERENCIAS PARA EL MICROSURFACING**

### **5.5.1 SITUACIONES EN LA HORA DE LA COLOCACIÓN**

#### **5.5.1.1 La mezcla rompe demasiado rápido**

Según el diseño del Microsurfacing la mezcla cambiará o "se romperá" muy rápidamente de una mezcla homogénea líquida a un estado de mezcla en frío de asfalto. Un problema ocurre cuando esta mezcla rompe demasiado rápida y se pone realmente más fría que una mezcla líquida en una mezcla seca, por el efecto de rompimiento. La mezcla fría que resulta no enlazará en la superficie del pavimento y se arrancará rápidamente. Por lo tanto, es importante mantener material en la caja de extendido en un estado líquido.

Algunos métodos para ayudar a controlar esto:

- a. Asegurar que el fabricante de la emulsión ha puesto bastante emulsificante en la emulsión durante el proceso de fabricación.
- b. Hacer que la emulsión pase a través de una etapa de curado para aumentar su estabilidad. Permitiendo que las emulsiones se asienten en el almacenaje por un período de tiempo que no solamente facilite la estabilización de las moléculas sino que también tenga en cuenta refrescarla. Una alta temperatura de la emulsión (sobre el 115°F (46°C)) aumenta la reactividad del material.
- c. Mantener la mezcla de Microsurfacing en movimiento constante. Las cajas de extendido se deben equipar de los taladros o de las paletas de giro interrumpidos para mantener la mezcla en movimiento.
- d. Todos los sistemas de la microsurfacing permiten que el contratista ayude a controlar el tiempo de la rotura de la mezcla agregando el producto químico adicional para ayudarlo hacerlo mas lento. Cada máquina Microsurfacing se debe equipar para hacer esto.

- e. Es importante conocer de antemano el clima del lugar, la hora de colocación, la temperatura promedio del momento a colocar, etc., esto guiará a tomar las precauciones debidas, ya que son parámetros vitales al momento de colocación y el comportamiento del rompimiento de la mezcla de Microsurfacing.

#### **5.5.1.2 Junta de Traslape**

El Microsurfacing se aplica normalmente en un espesor mucho más grueso que el Slurry Seal y el cuidado adicional que se deben tomar, es reducir al mínimo de traslapos. Al poner una mezcla a partir de 3/8 hasta 1/2 de pulgada de espesor (9.5 a 13 milímetros), los traslapos crean un alto punto a la abrasión y cree un problema de la retención del agua. Al trabajar en las carreteras o las calles de la ciudad, cada carril debe tener la anchura completa puesta con todos los empalmes en la superficie construida que es viajada, teniendo los empalmes de los extremos colocados en línea central o línea del carril.

#### **5.5.1.3 Áreas De Trabajo a Mano**

Debido a la "rotura rápida" del Microsurfacing el operador debe sobre-estabilizar la mezcla con aditivo químico para que el trabajo a mano, se tiene asegurado más tiempo en un estado líquido para su trabajabilidad. El encargado del Microsurfacing debe asegurar que el área que se cubrirá ha sido humedecida colocando el agua con un aerosol y que se tenga bastante gente disponible para esparcir y acabar la mezcla antes de que se rompa.

### **5.5.2 SITUACIONES ESPECIALES EN EL PROYECTO**

#### **5.5.2.1 Hombros y rampas de las autopistas**

El tráfico es una preocupación en estos tipos de proyectos debido a las altas velocidades y a las longitudes extendidas de la zona de trabajo, las rampas por intervalos crean una

necesidad del control de tráfico y del conocimiento especial del equipo. Preocupan al motorista del equipo al entrar en la autopista tener su atención en el proyecto. Todos los miembros del equipo necesitan estar enterados de los requisitos más altos para una operación segura. Con el movimiento lento de las máquinas de mezcla, los conductores del equipo tienen que ser conscientes del tráfico de alta velocidad que están entrando y saliendo de la zona de trabajo.

Debido a las formas y a los tamaños de las rampas, se necesita el planeamiento especial para evitar traslapes de áreas grandes. Se necesita también la atención para asegurar que las líneas de unión sean rectas y uniformes. A pasos cortos con adelgazamientos se puede hacer uso de una caja extensible y ayudar en la eliminación de traslape.

#### **5.5.2.2 Colocación al lado de edificios**

Los materiales que son descargados del pugmill a la caja de extendido y por la acción de la caja pueden causar salpicadura y puntos de mezcla en los edificios. Si ocurre esto el operador debe lavar inmediatamente con la manguera de mano las salpicaduras; para evitar que la mezcla salpique en edificios se utilice a un "hombre para proteger" para que camine al lado de la caja con una hoja laminada o de cartulina para limpiar el edificio.

#### **5.5.2.3 Postes y equipo de patio**

Es difícil colocar el trabajo a mano alrededor de pequeños postes y apoyos de equipo de patio. Protéjalos con cinta adhesiva y papel (periódico) en la parte de abajo para guardarlos de la mezcla. Esto permite al trabajador colocar la mezcla un poco más rápido alrededor de estos artículos e impedir manchar los postes u otro equipo.

#### **5.5.2.4 Relleno de grietas grandes**

Debido a la economía de llenar grietas grandes con selladores convencionales de grietas, algunos proyectos pueden requerir el empleo de mezcla como un relleno de grieta,

siendo llenado con el material separado de la operación de mezclado normal. Se tiene diferente modo de aplicar la Mezcla, por esta razón presentamos dos métodos:

- a. Construir una caja pequeña con un compartimiento que mantenga la mezcla. La caja se puede entonces llenar en un lado del camino de un carro de la mezcla parqueado, entonces es tirado manualmente transversalmente a través del camino sobre la grieta.
- b. Parquear el carro de la mezcla encima de la grieta y dejar caer el material sobre la grieta. El material puede entonces ser regada a través de la grieta con una llana convencional de la mezcla o con una llana en forma de “V”.

Cuando la mezcla se utiliza como llenador de grietas, la mezcla emigrará eventualmente través de la grieta, generalmente en una anchura más pequeña. Es entonces práctico y rentable sellarla con un sellante de grieta eficaz.

#### **5.5.2.5 Protección de marcas especiales y plantillas**

Las plantillas y marcas, siempre y cuando no sean demasiadas, pueden ser cubiertas cortando papel (periódico) al tamaño y/o con cinta. Si son demasiado numerosos, es mejor quitarlos y sustituirlos. El uso de cinta sobre los bordes exteriores y proteger firmemente las uniones ayuda a prevenir filtraciones.

Estas áreas deben ser referidas para que puedan ser encontradas más adelante, esto elimina problemas con volver a localizar la cubierta y se removerá la mezcla que tapa su contorno.

### **5.6 MEDICIONES DE CONSTRUCCIÓN Y CANTIDADES DE PAGO**

En esta parte se determinara las diferentes formas en que se puede medir en construcción y hacer sacar las cantidades de pago, que recomienda la ISSA; también se

presenta la forma que en El Salvador se rige por medio de las especificaciones que presenta la SIECA, las cuales también se describirán en la sección 5.6.2 y que por el momento son las que se acatan a la hora de realizar construcciones de Microsurfacing.

### **5.6.1 MEDICIONES DE CONSTRUCCIÓN Y CANTIDADES DE PAGO SEGÚN ISSA**

Cada contrato del microsurfacing especificara el método de pago para la colocación de este. Los métodos varían entre agencia pero usualmente están son las siguientes categorías:

- a. Pago por unidad de área (yarda cuadrada o metro cuadrado).
- b. Pago por tonelada de agregado seco
- c. Pago por tonelada de agregado seco y tonelada o galones (litros) de emulsión asfáltica
- d. Pago por unidad de área colocada y por tonelada de agregado y tonelada o galones (litros) de emulsión asfáltica por material.

Normalmente todos los costos de correo, notificación, limpieza, abastecimiento de agua, y otros costos incidentes están incluidos en el contrato, en el precio de unidades ya especificadas

La exactitud en medidas de cantidad es una parte esencial de la inspección para ambas partes del contrato. Al requerir un esfuerzo coordinado entre el inspector y el contratista se asegura la exactitud y acuerdo en las cantidades.

#### **5.6.1.1 Pago por unidad de área**

- a. Medir la longitud y anchura de todas las calles.
- b. Calcular las áreas de todos los callejones, las curvas, u otras áreas que no incluyeron en la longitud y anchura.
- c. Contar y calcular los retornos de cada de final de calle

### **5.6.1.2 El pago por tonelada de agregado seco**

Normalmente se especifica para incluir la emulsión asfáltica recomendada en el trabajo de diseño de mezcla, más todo trabajo incidente requerido por el contrato.

- a. Determinar la cantidad total de agregado entregada a la reserva de existencia o reservas de existencias si se tiene más de un lugar de uso.
- b. Restar cualquiera salida de agregado que se transporta fuera del sitio.
- c. Restar cualquier pérdida de la reserva de existencias.
- d. Las nuevas máquinas de microsurfacing tienen contadores electrónicos que pueden ser usados para guardar la información del material que realmente procesa la máquina. Este método es confiable en su calibración completamente precisa por que usa los materiales del trabajo real.

### **5.6.1.3 El pago por la tonelada del agregado seco y toneladas o galones (litros) de emulsión asfáltica**

Requiere los cálculos anteriores más un método de contabilidad para la emulsión asfáltica. Cuando las toneladas de asfalto emulsificado son especificadas en el procedimiento, es un poco más fácil como una tonelada es una tonelada caliente o fría, mientras que un galón (o litro) es volumétrico, puede tener que ser corregido por la temperatura.

- a. Determinar el tonelaje total de emulsión asfáltica entregado al proyecto.
- b. Restar cualquier peso atrasado al final del proyecto. Si los pagos de progreso se requieren para estimar el material disponible al final del periodo de la paga.
- c. La medida es por galón/litro, la temperatura del petróleo en el tiempo que petróleo es cargado en la planta en el transporte y es usado para adaptar cambios de volumen. Esta información por lo general es encontrada sobre el boleto de entrega.

La simplicidad es un beneficio a ambas partes cuándo se especifica el método de pago, y por esta razón se verá normalmente uno de los primeros tres métodos usado.

## **5.6.2 MEDICIONES DE CONSTRUCCIÓN Y CANTIDADES DE PAGO SEGÚN SIECA**

Las mediciones de construcción y cantidades de pagos se especifican en la **SIECA** en el **Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras** los cuales son descritos a continuación.

Los trabajos ejecutados con Microsurfacing se medirán:

- en metros cúbicos de agregados;
- en galones los materiales asfálticos;
- en litros de material asfáltico;
- en metros cuadrados colocados;
- en libras de material colocado.

### **5.6.2.1 Forma de Pago.**

El pago de esta actividad será hecho al precio unitario del contrato, por metro cúbico de agregado y galón de material asfáltico contratado, cuyo pago será la compensación total por el suministro, acarreo, aplicación, riego de materiales, aplanado y el suministro de todo el equipo, mano de obra, asistencia a la circulación vehicular, herramienta, señalización, reparación de daños provocados a la carretera en razón de los trabajos ejecutados, materiales y cualquier imprevisto necesario para terminar el trabajo aquí especificado.

Renglón de pago Unidad de medida

- Agregados Metro cúbico

- **Material asfáltico Galón**
- **Material asfáltico Litro**
- **Metros cuadrados colocados de microsurfacing**
- **Libras de microsurfacing**



# ***Capítulo VI***

---

***Diseño de Mezcla, Pruebas de Laboratorio  
y Análisis de Resultados***



## **6.1. PRUEBAS DE LABORATORIO Y DISEÑO DE MEZCLAS**

El correcto comportamiento de un sistema de microsurfacing al ser expuesto a solicitaciones de tráfico esta íntimamente relacionado con la calidad que presenten los materiales que componen la mezcla, sin embargo materiales de muy buena calidad no aseguran una mezcla con buen comportamiento ya que se puede presentar una incompatibilidad entre el agregado y la emulsión utilizada, de igual manera aun y cuando se asegure tanto la compatibilidad entre los materiales y su calidad, el comportamiento en servicio del sistema estará supeditado a un adecuado diseño de mezcla.

En sistemas como los microsurfacing, en donde una delgada capa de recubrimiento del pavimento debe soportar las cargas de desgaste y abrasión que induce el tráfico, y en especial cuando estas son utilizadas en arterias expuestas a tráfico intenso, se debe cuidar en extremo la calidad de los agregados y de la emulsión a utilizar puesto que los primeros soportaran toda la carga de los vehículos y su armazón será la encargada de resistir la fricción del tráfico, mientras que la emulsión y mas específicamente el asfalto utilizado será el encargado de mantener el esqueleto granular como una sola unidad debiendo proporcionar una altísima cohesión entre las partículas.

El presente capítulo detalla el desarrollo de las pruebas de laboratorio realizadas a los agregados y emulsión asfáltica utilizados en el proporcionamiento de la mezcla de microsurfacing, detallando además los ensayos que se realizaron para obtener el proporcionamiento adecuado de los componentes de la mezcla.

No se constato la calidad del filler mineral utilizado puesto que se utilizo cemento Pórtland tipo I con calidad altamente comprobada, se empleo agua potable para el mezclado proveniente de yacimientos ubicados en el municipio de Armenia, agua potable a la cual no se le realizo ningún tipo de análisis químico para buscar presencia de minerales u alguna otra sustancia perjudicial a la mezcla.

Con el fin de establecer la calidad de los agregados y de la emulsión utilizada en el diseño de la mezcla y de verificar el comportamiento que esta tendría tanto a cortó como a largo plazo (Ver sección 4.1), se realizaron las pruebas de laboratorio siguientes:

**1. Ensayos a los agregados:**

- ✓ Análisis granulométrico ASTM C-136-01
- ✓ Resistencia a la Abrasión por la Maquina de Los Ángeles ASTM C-131-03
- ✓ Ensayo para la determinación de la Densidad Volumétrica ASTM C-29-97
- ✓ Ensayo para la determinación de la Densidad, Densidad Relativa y Absorción del agregado fino ASTM C-128-01
- ✓ Ensayo para la Determinación del Valor de Equivalente de Arena para Suelos y Agregado Fino ASTM D-2419-01

**2. Ensayos a la Emulsión Asfáltica:**

- ✓ Determinación del Residuo Asfáltico después de Destilación ASTM, D-244-00
- ✓ Método de Ensayo Estándar para la Determinación de la Penetración de Materiales Bituminosos, ASTM D-5-97
- ✓ Método de Ensayo Estándar para la Determinación del Punto de Ablandamiento de Asfaltos (aparato de anillo y bola), ASTM D-36-97

- ✓ Determinación del contenido de partículas retenidas en el tamiz No. 20 (850 µm) (Ensayo de Tamizado), ASTM D-244-00
- ✓ Ensayo de Sedimentación para 1 y 5 días, ASTM D-244-00
- ✓ Determinación de la viscosidad Saybolt Furol a 25°C, ASTM D-244-00

### 3. Ensayos a la Mezcla:

- ✓ Procedimiento para establecer la Mezcla de Prueba para el Diseño de Sistemas de Slurry Surfacing, ISSA TB 113.
- ✓ Determinación del Tiempo de Mezcla a 25°C, ISSA TB 102
- ✓ Ensayo de Compatibilidad de la Mezcla, ISSA TB 114
- ✓ Método de Ensayo de Abrasión en Pista Húmeda, ISSA TB 100
- ✓ Ensayo de la Rueda Cargada y Adhesión de Arena, ISSA TB 109
- ✓ Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto en la Mezcla, ISSA TB 111.
- ✓ Métodos de Ensayo para la medición de la estabilidad, Resistencia a la Compactación, Desplazamiento Vertical y Lateral de Mezclas Asfálticas en Frío de Agregado Fino Multicapa, ISSA TB 147

## **6.2. PRUEBAS A LOS COMPONENTES.**

### **6.2.1. ENSAYOS AL AGREGADO MINERAL**

El agregado utilizado en el diseño de mezcla tuvo como origen la pedrera La Cantera S.A. de C.V. Ubicada sobre el Km 57+500 de la carretera el Litoral cerca de playa San Diego, municipio de La Libertad, departamento de La Libertad, el yacimiento esta constituido por roca de composición básica (basalto - andesita basáltica).

El agregado se componía en su totalidad de grava 100% triturada, lo que garantizo la

forma y granulometría de la misma, con tamaño máximo nominal de 3/8", clasificándose como Agregado fino según la terminología de la ASTM C-125, "Terminología Referente a Concreto y Agregados para Concreto".

Se tomaron muestras representativas del agregado de acopios ubicados en las instalaciones de la empresa ASFALCA S.A. De C.V. (Ver Fotografía 6.1), según la práctica de muestreo descrita en el estándar ASTM D-75-03 (Consultar anexo A1) y reducidos a tamaños de ensayo según la practica establecida en el estándar ASTM D-702-98 mediante cuarteador mecánico (Consultar anexo A2).



**Fotografía. 6.1.**

Acopio de agregado muestreado según estándar ASTM -75

### **6.2.1.1. Método de ensayo estándar para análisis de tamizado de agregado fino y grueso, según ASTM c-136-01**

#### **1. DESCRIPCION.**

El ensayo determino la distribución granulométrica del agregado, verificándose si este cumplía con los requerimientos para granulometrías tipo III según las especificaciones establecidas en el boletín técnico ISSA A 143 (Ver cuadro 4.1), el cribado se realizo a través de los tamices de 3/8" (9.5 mm), #4 (4.75 mm), #8 (2.36 mm), #16 (1.18 mm), #30 (600 um), #50 (330 um), #100 (150 um) y #200 (75 um) siguiendo los procedimientos descritos en los estándares ASTM C-136-01 y ASTM C-117-03. Se ensayaron tres muestras representativas con el fin de verificación de datos, obteniéndose los resultados resumidos en la tabla Tabla 6.1. En base a dichos datos se comprobó que la granulometría del agregado cumplía con las especificaciones establecidas.

De las tres muestras ensayadas (ver cuadro 6.1), la primera presento una desviación fuera de los limites permitidos para dos ensayos consecutivos establecidos en el estándar ASTM C-136-01, por lo que se descartaron dichos datos. Esta variación en la distribución se debió a un mal muestreo y manejo de la muestra, observándose la importancia que tiene el prestar un especial cuidado a este aspecto en laboratorio. El formulario 6.1 y la gráfica 6.1 muestran los datos obtenidos en este ensayo.

Tamiz	Ensayo #1	Ensayo #2	Ensayo #3	Especificación	Tolerancia
9.52	100	100	100	100	+/- 5
4.75	84.6	85.4	87.4	70-90	+/- 5
2.38	57.7	55.9	55.2	45-70	+/- 5
1.19	40.3	35.5	32.7	28-50	+/- 5
0.60	29.5	23.2	20.0	19-34	+/- 5
0.30	22.8	15.9	13.2	12-25	+/- 4
0.15	15.3	11.4	9.2	7-18	+/- 3
0.075	9.0	8.5	6.7	5-15	+/- 2

**Tabla 6.1.**

Resultados obtenidos del análisis granulométrico, según estándar ASTM C-136-01.

## **2. EQUIPO UTILIZADO.**

- a) *Balanza.*— La balanza tendrá suficiente capacidad, con una precisión de 0.1 por ciento de la masa de la muestra, o mejor, conforme a los requisitos de AASHTO M 231.
- b) *Tamices.*— El tejido de los tamices deberán estar montado en marcos sólidos, contruidos de una manera que prevengan la pérdida de material durante el tamizado. El tejido y los marcos del tamiz estándar serán de acuerdo a los requisitos de AASHTO M 92. En tamices que no son estándar los marcos serán de acuerdo a los requisitos de M 92, cuando sea aplicable. (Ver Fotografía 6.2)
- c) *Agitador Mecánico de Tamices.* — Si se usa un dispositivo de tamizado mecánico, deberá crear movimiento en los tamices que cause que las partículas salten, se



volteen, o se giren para presentar diferentes orientaciones en la superficie del tamiz. La acción del tamizado será tal que el criterio para un tamizado adecuado, será como se describe en Sección 9.4, teniendo un periodo de tiempo satisfactorio.

- d) *Horno*.— Un horno de tamaño apropiado capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110 \pm 5 \text{ } ^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9 \text{ } ^\circ\text{F}$ ).



**Fotografía. 6.2.**

Equipo utilizado para la determinación de la granulometría del agregado pétreo, según las especificación ASTM C-117-03 y ASTM C-136-01

### **3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO**

- a) Se obtuvo una muestra representativa del agregado de aproximadamente 2.0 Kg, reducida a tamaño de ensayo según estándar ASTM D-702-98.

- b) Se determino el porcentaje de finos menores de  $75 \mu\text{m}$  (No. 200), mediante proceso de lavado según el procedimiento descrito en el estándar ASTM c-117 (Fotografía 6.3)
- c) La muestra fue luego secada al horno a  $110 \pm 5 \text{ } ^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9 \text{ } ^\circ\text{F}$ ) a peso constante, determinando su masa con una aproximación a 0.1 por ciento del total de la masa de la muestra seca original.



**Fotografía. 6.3.**

Determinación de partículas finas que pasan el tamiz de  $75 \mu\text{m}$  (No. 200),  
según estándar ASTM C-117-03

- d) La muestra seca se tamizó utilizando un agitador mecánico a través de los tamices de  $3/8"$  (9.5 mm), #4 (4.75 mm), #8 (2.36 mm), #16 (1.18 mm), #30 (600  $\mu\text{m}$ ), #50 (330  $\mu\text{m}$ ), #100 (150  $\mu\text{m}$ ) y #200 (75  $\mu\text{m}$ ) separando el material por tamaño

retenido en cada tamiz, determinándose el peso de cada fracción (fotografía 6.4).



**Fotografía. 6.4.**

Agitador mecánico utilizado en el ensayo para la determinación de la distribución granulométrica de partículas, según estándar ASTM C-117-03

La granulometría del agregado presentaba un bajo contenido de partículas con tamaño mayor de 4.75 mm (retenidas en tamiz #4), sin embargo cumplían con los rangos establecidos para granulometrías ISSA tipo III.



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAS DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELAS DE INGENIERIA CIVIL**

**FORMULARIO 6,1  
ANALISIS GRANULOMÉTRICO  
ASTM C-136-01**

HOJA No.: \_\_\_\_\_

Solicita: Universidad de El Salvador	
Proyecto: Trabajo de Graduación	
Fecha de solicitud: 27-02-06	Fecha de recepción: 12-03-07

Laboratorista: Hugo Mejía	Fecha de ensayo: 12-03-07
Banco de agregado: San Diego	Método utilizado: Tamizado
Granulometría: Tipo III	Especificación: <b>ISSA A-143</b>

Peso Inicial: 1466,0 g

Malla	Peso retenido grs.	% RETENIDO		% Pasante	Especificado
		Parcial	Acumulado		
3/8"	0,0	0,000	0,0	100,0	100
Nº 4	213,1	14,536	14,6	85,4	70--90
Nº 8	432,5	29,502	29,5	55,9	45--70
Nº 16	299,0	20,396	20,4	35,5	28--50
Nº 30	180,3	12,299	12,3	23,2	19--34
Nº 50	107,2	7,312	7,3	15,9	12--25
Nº 100	66,2	4,516	4,5	11,4	7--18
Nº 200	42,9	2,926	2,9	8,5	5--15
Tapa	124,8	8,513	8,5	0,0	0

Wantes de lavado por Nº 200 = 1466,0 g
Wdespués de lavado = 1344,4 g
Pasa la Nº 200 = 121,6 g
Corrección = -2,1 g

Observaciones: CUMPLE CON GRANULOMETRIA TIPO III SEGÚN ISSA A143

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

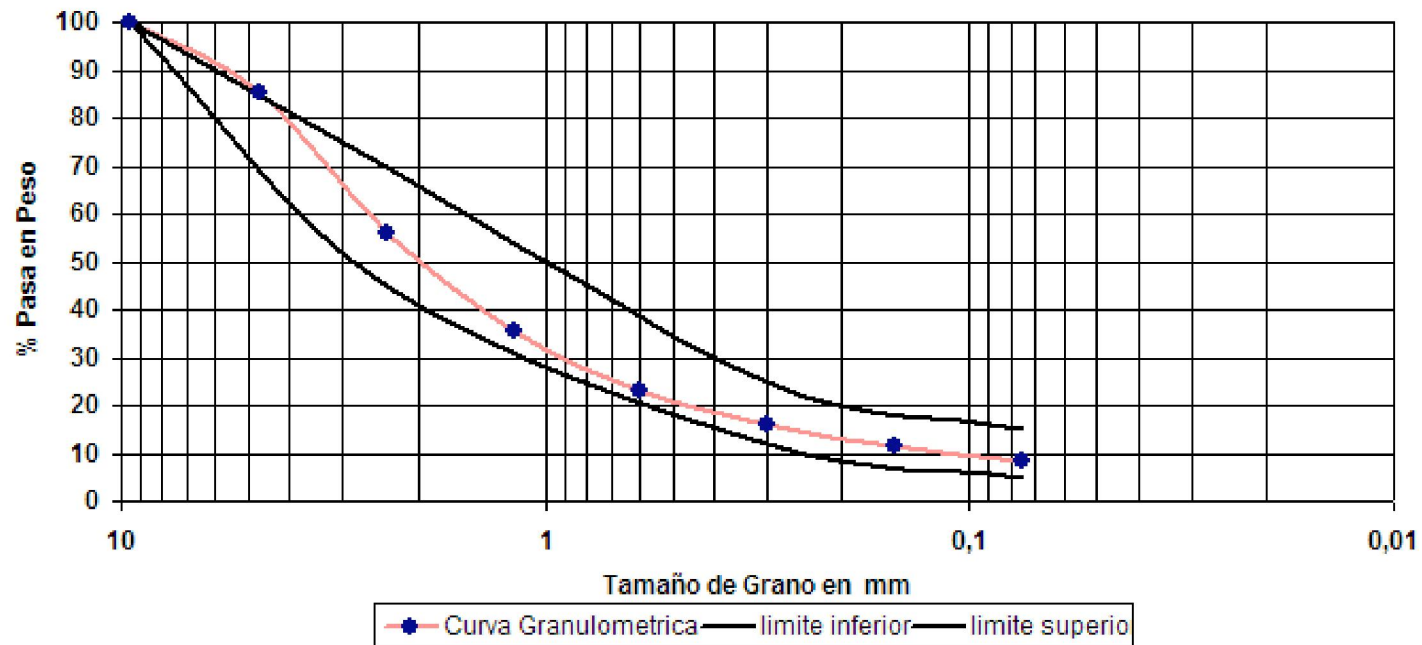
\_\_\_\_\_  
Ing. Jefe de Laboratorio



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

ANALISIS GRANULOMETRICO  
ASTM C-136-01  
GRAFICA 6.1

### Análisis Granulométrico



**6.2.1.2. Método estándar de ensayo para la determinación de la resistencia a la degradación de agregado grueso por abrasión e impacto a través de la maquina de los Ángeles. Según ASTM c-131-03.**

**1. DESCRIPCION**

Los resultados de este ensayo sirven como indicador de la calidad relativa del agregado y establece la resistencia que este posee para resistir la acción de fuerzas de abrasión e impacto sin presentar desintegración. Se ensayaron cuatro muestras representativas en base al estándar ASTM C-131-03, obteniéndose resultados de desgaste (Ver Formulario 6.2) que cumplen con los requerimientos establecidos por las especificaciones ISSA A143 (Ver cuadro 4.2). Las muestras se ensayaron utilizando 6 esferas de acero conforme a lo establecido para granulometrías tipo D

**2. EQUIPO UTILIZADO**

- a) *Máquina de los Ángeles.*—Se utilizara una Máquina de los Ángeles equipada con un contador. La máquina consistía de un cilindro hueco de acero, cerrado en ambos extremos, teniendo un diámetro interno de  $711 \pm 5$  mm ( $28 \pm 0.2$  pulg) y un largo interno de  $508 \pm 5$  mm ( $20 \pm 0.2$  pulg), como la mostrada en la fotografía 6.5.
- b) *Tamices.*—De acuerdo con AASHTO M 92.
- c) *Balanza.*—Una balanza o bascula con una precisión de 0.1 % de la carga de ensayo, en el rango requerido para este ensayo.
- d) *Horno.*—El horno será capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110 \pm 5$  °C ( $230 \pm 9$  °F).
- e) *La carga.*— La carga consistía de esferas de acero de diámetro promedio de

aproximadamente 46.8 mm (1 27/32 pulg) y cada con una masa de entre 390 y 445 g.



**Fotografía. 6.5.**

Maquina de abrasión de Los Ángeles, según especificación C-131-03, sección 6.

### **3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO**

- a) Se tomaron muestras representativas de agregado, separándolas en tamaños individuales de partículas hasta obtener aproximadamente 5.0 Kg de partículas que pasaban el tamiz #4 y eran retenidas en el tamiz #8, de acuerdo a granulometría tipo D, según el estándar ASTM C-131-03.
- b) La muestra se lavo para limpiar todo material fino que pasara la malla de de 75  $\mu\text{m}$

(No. 200), secándose luego en un horno a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ) a peso constante. Anotándose la masa de la muestra después de lavado con aproximaciones de 1 g.

- c) Se colocó la muestra dentro de la maquina de Los Ángeles y se sometió a 500 ciclos de abrasión a una velocidad aproximada de 30 RPM, con 6 esferas según lo establecido para granulometría tipo D.
- d) Luego del número establecido de ciclos de abrasión se descargo el material de la maquina tamizándose por el tamiz #12. El material retenido en el tamiz fue lavado y secado en un horno a temperatura constante de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ) hasta registrar un peso constante. Registrándose este peso con aproximaciones de 1 g.
- e) La perdida por abrasión e impacto se cálculo como la diferencia entre la masa original y la masa final de la muestra de ensayo, registrándose como un porcentaje de la masa original de la muestra de ensayo. Reportando este valor como el porcentaje en pérdida.

Se realizaron cuatro ensayos de abrasión obteniéndose los resultados mostrados en el formulario 6.2.





**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAS DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELAS DE INGENIERIA CIVIL**

**FORMULARIO 6.2  
DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE DESGASTE  
ASTM C- 131-03**

HOJA No.: 1

Solicita: Universidad de El Salvador	
Proyecto: Trabajo de Graduación	
Fecha de solicitud: 27-02-06	Fecha de recepción: 12-03-07

Laboratorista: Hugo Mejía	Fecha de ensayo: 16-03-07
Banco de agregado: San Diego	Método utilizado: Máquina de Los Angeles
Granulometría: Tipo III	Especificación: <b>Desgaste ≤ 30%</b>

Ensayo N°	FORMULA DE TRABAJO			
	1	2	3	4
Tipo de graduación	D	D	D	D
Peso Inicial (g) W1	5010	5015	5006	5012
Peso Retenido en malla N° 8	3043	3029	3058	3010
Peso Retenido en malla N° 12	825	805	836	789
Suma peso retenido en malla N°8 y N°12	3868	3034	3894	3799
Diferencia (g) W2	1142	1181	1112	1213
Porcentaje de desgaste	22.8	23.6	22.2	24.2
Promedio porcentaje de desgaste	<b>23.2</b>			

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{W1 - W2}{W1} * 100$$

Observaciones CUMPLE CON LAS ESPECIFICACIONES ESTABLECIDAS EN ISSA A 143

---



---



---



---

\_\_\_\_\_  
ING. JEFE DEL LABORATORIO

### **6.2.1.3. Método de ensayo estándar para la determinación de la densidad volumétrica (“peso unitario”) y de los vacíos en los agregado, según ASTM C 29/29m-97**

#### **1. DESCRIPCION.**

La determinación del valor de densidad volumétrica del agregado es de vital importancia para la correcta transformación de unidades de laboratorio (g, Kg, ml, etc) a unidades utilizadas en campo (T, Gal, m<sup>3</sup>, etc.), es decir para la correcta conversión del diseño de laboratorio a la formula de trabajo de campo, así mismo sirve para establecer como varia el volumen del agregado según la humedad que estos presenten o su factor de abundamiento lo cual es muy útil para la calibración de la maquina de proceso continuo. El ensayo se realizo en base al estándar ASTM C 29 ensayando el agregado solamente en estado seco al horno, sin embargo se recomienda realizar el ensayo a diferentes contenidos de humedad para establecer una curva de abundamiento que nos sirva como carta de calibración en campo. Se ensayaron cuatro muestras utilizándose un molde de 2.8 litros para tamaños máximos nominales de 1/2", los resultados obtenidos se muestran en el formulario 6.3.

#### **2. EQUIPO UTILIZADO.**

- a) *Balanza.*— La balanza tendrá suficiente capacidad, que sea legible a 0.1 % de la masa de muestra, o mayor, y de acuerdo con los requisitos de AASHTO M 231.
- b) *Varilla Apisonadora.*— Una varilla de acero para compactar punta de bala, con diámetro 16 mm (5/8 pulg) y aproximadamente 600 mm (24 pulg) de largo, teniendo un extremo redondeados o una punta esférica, del mismo diámetro que

la varilla.

- c) *Recipiente volumétrico.*— Un recipiente cilíndrico de metal, preferiblemente provisto con agarraderas. Será impermeable, con la parte superior y el fondo planos y nivelados, y suficientemente rígido para mantener su forma bajo un uso pesado. El recipiente deberá tener una altura aproximadamente igual al diámetro, pero en ningún caso la altura será menor del 80 % ni mayor del 150% del diámetro.
- d) *Pala o Cucharón.*— Una pala o cucharón de tamaño conveniente para llenar el recipiente con agregado.
- e) *Equipo de Calibración.* — Una pieza o placa de vidrio, preferiblemente con espesor de al menos 6 mm (1/4 pulg) y por lo menos 25mm (1 pulg) más largo que el diámetro del recipiente a ser calibrado. Agua para llenar el recipiente, grasa para colocar en el borde del recipiente para prevenir derrame o pérdida.

### **3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO**

- a) Se obtuvo una muestra representativa de agregado de aproximadamente 5.0 Kg de acuerdo al procedimiento establecido en el estándar ASTM D-702-98.
- b) La muestra se seco en un horno a temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ) a peso constante. Se permitio enfriar la muestra hasta alcanzar una temperatura confortable al manejo manual.
- c) Se procedió a calibrar el molde volumétrico midiendo sus dimensiones y calculando el volumen ocupado por un cilindro. Se utilizó un molde de 2.8 L ya que el tamaño nominal del agregado a ensayar era de 3/8".
- d) Se determino la masa del recipiente volumétrico con precisión de 0.1 g.
- e) Primeramente se determino el peso unitario varillado según procedimiento descrito en la sección 10.0 del estándar ASTM C-29-97, llenando el molde a un tercio de su

altura y compactando con 25 golpes de la varilla apisonadora, procediendo de la misma manera al llenar los dos tercios y la capacidad total del molde. La masa del molde mas agregado se registro como “peso de muestra varillada + molde”

- f) Seguidamente se determino el peso volumétrico varillado llenando el molde hasta su máxima capacidad sin realizar ninguna compactación, dejando caer el agregado de una altura de aproximadamente 2 pulgadas sobre el borde del molde. La masa del molde mas agregado se registro como “peso de muestra suelta + molde”.
- g) Los cálculos se realizaron según las ecuaciones establecidas en la sección 13.0 del estándar ASTM C-29-97.



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAS DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELAS DE INGENIERIA CIVIL**

**FORMULARIO 6.3  
DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO  
Y VACIOS DE LOS AGREGADOS (ASTM C29-97)**

HOJA No.: \_\_\_\_\_

Solicita: Universidad de El Salvador	
Proyecto: Trabajo de Graduación	
Fecha de solicitud: 27-02-06	Fecha de recepción: 12-03-07

Laboratorista: Hugo Mejía	Fecha de ensayo: 28-03-07
Banco de agregado: San Diego	Método utilizado: Varillado y suelto
Granulometría: Tipo III	Especificación:

Peso de molde g (T):	2848	Altura 1(cm):	16,53	Diámetro 1:	15,21 cm
		Altura 2(cm):	16,52	Diámetro 2:	15,23 cm
		Altura 3(cm):	16,53	Diámetro 3:	15,22 cm
		H Prom(cm):	16,53	Ø Prom:	15,22 cm

Volumen del molde (V): 3007,4 cm<sup>3</sup>      0,0030074 m<sup>3</sup>

Peso Unitario Varillado (PUV)	FORMULA DE TRABAJO			
Ensayo N°	1	2	3	4
Peso de muestra + molde g (A)	7693	7705	7684	7699
Peso de muestra g	4845	4857	4836	4851
Peso unitario de agregado g/cm <sup>3</sup>	1,611	1,615	1,608	1,613
%vacíos	339,9	342,6	338	341,3
Peso unitario de agregado (prom.) g/cm <sup>3</sup>	1,612			
%vacíos promedio	340,4			

Peso Unitario Suelto (PUS)	FORMULA DE TRABAJO			
Ensayo N°	1	2	3	4
Peso de muestra + molde g (B)	7062	7070	7054	7066
Peso de muestra g.	4214	4222	4206	4218
Peso unitario de agregado g/cm <sup>3</sup>	1,401	1,404	1,399	1,402
%vacíos	227,5	228,7	226,4	228,1
Peso unitario de agregado (prom.) g/cm <sup>3</sup>	1,401			
%vacíos promedio (%V)	227,5			

$$W=PUV = \frac{A-T}{V} \qquad \%V = \frac{100((Gs(s)*W)-M)}{Gs(s)-W} \qquad W=PUS = \frac{B-T}{V}$$

M: Densidad del agua= 1 g/cm<sup>3</sup>

Observaciones: Gs(s)= 2,503

\_\_\_\_\_  
Ing. Jefe de Laboratorio

#### **6.2.1.4. Método estándar de ensayo para densidad, densidad relativa (gravedad específica), y absorción de agregado fino, según ASTM C 128-01**

##### **1. DESCRIPCION.**

La Densidad Relativa (Gravedad Especifica) es la característica generalmente utilizada para calcular el volumen ocupado por los agregados en varias mezclas que son proporcionadas o analizadas en base al volumen absoluto. Esta sirve como indicativo de la calidad del agregado, que para sistemas de capa delgada no debe ser inferior a 2.0. Se ensayaron tres muestras representativas siguiendo el procedimiento establecido en el estándar ASTM C 128-01 mediante el método del picnómetro, tanto para agregado seco, como saturado superficialmente seco, calculándose tanto la densidad, densidad relativa como la absorción del agregado. Los datos obtenidos en este ensayo se muestran en el formulario 6.4.

##### **4. EQUIPO UTILIZADO**

- a) *Balanza.*— Conforme a los requerimientos de AASHTO M 231, categoría G2.
- b) *Picnómetro.*— Un frasco u otro envase adecuado en el cual la muestra de agregado fino a ensayar puede introducirse fácilmente y en donde el contenido de volumen puede ser reproducido con  $\pm 100 \text{ mm}^3$ . El volumen del envase lleno a la marca será por lo menos 50 por ciento más grande que el espacio requerido para acomodar la muestra de ensayo. Un frasco volumétrico de capacidad 500 mL o una jarra de fruta colocada en la parte superior del picnómetro es satisfactorio para una muestra de prueba 500 g de agregados finos. Un frasco Le Chatelier como descrito en la AASHTO T 133 es satisfactorio para una muestra de prueba de aproximadamente

55g. (Fotografía 6.6)

- c) *Cono*.— Un molde metálico de la forma de un cono truncado con las dimensiones siguientes:  $40 \pm 3$  mm de diámetro interior en la parte superior, y  $90 \pm 3$  mm de diámetro interior en la parte inferior, y  $75 \pm 3$  mm de altura, con el metal teniendo un espesor mínimo de 0.8 mm.
- d) *Un pisón*.— Un pisón metálico teniendo una masa de  $340 \pm 15$  g y teniendo una cara circular plana para apisonamiento de  $25 \pm 3$  mm de diámetro.



**Fotografía 6.6**

Equipo utilizado para la determinación de la Densidad Volumétrica del agregado pétreo, según estándar ASTM C128-97

## 5. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

- a) Se obtuvo una muestra representativa de agregado de aproximadamente 1.0 Kg, mediante el método de ensayo ASTM D-702-98.
- b) La muestra se seco en un horno a temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ) hasta

registrar un peso constante.

- c) La muestra se dejó enfriar a temperatura ambiente y una vez fría fue sumergida en agua, dejándola reposar por un periodo de 24 horas.
- d) Luego del periodo de saturación establecido, se eliminó cualquier exceso de agua del material y se procedió a secarlo al aire para establecer la condición de saturado superficialmente seco mediante el método de cono, según se describe en el estándar ASTM C-128-01.
- e) Una vez establecida la condición de saturado superficialmente seco, se procedió a introducir aproximadamente 500 g del material dentro del picnómetro llenándolo luego de agua, agitándolo suavemente para sacar el aire retenido.
- f) Se ajustó la temperatura del agua y el agregado a  $23.0 \pm 1.7$  °C ( $73.4 \pm 3$  °F) mediante la inmersión parcial del picnómetro en agua fría, una vez alcanzada la temperatura de ensayo, se determinó el peso del conjunto picnómetro-agua-agregado.
- g) El agregado es removido del picnómetro y secado en un horno a temperatura constante de  $110 \pm 5$  °C ( $230 \pm 9$  °F). Una vez seco la muestra es enfriada al aire a temperatura ambiente por un período aproximado de una hora, determinándose luego de este período su masa y registrándose como “peso seco del agregado”.
- h) Se determinó la masa del picnómetro lleno de agua hasta su marca de calibración anotándose este peso como “peso picnómetro+agua”.
- i) Se calculó la gravedad específica Bulk seca, gravedad específica Bula Saturada Superficialmente Seca y el porcentaje de absorción, en base a las ecuaciones establecidas en la sección 10.2 y 10.3 del método de ensayo ASTM C-128.





**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAS DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELAS DE INGENIERIA CIVIL**

**FORMULARIO 6.4  
DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA  
Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO (ASTM C128-01)**

HOJA No.: 1

Solicita: Universidad de El Salvador	
Proyecto: Trabajo de Graduación	
Fecha de solicitud: 27-02-06	Fecha de recepción: 12-03-07

Laboratorista: Hugo Mejía	Fecha de ensayo: 12-03-07
Banco de agregado: San Diego	Método utilizado: Picnómetro
Granulometría: Tipo III	Especificación:

Ensayo N°	FORMULA DE TRABAJO		
	1	2	3
N° de picnometro	PIC-1	PIC-1	PIC-1
Peso de picnometro + agua(aforado), g (B)	1475,8	1479,1	1477,9
Peso de arena sss, g (S)	505	476,7	511,6
Peso de picnometro + agua + arena sss (aforado), g	1785,7	1770,1	1789,4
Gravedad especifica Bulk Gs(sss)	2,588	2,567	2,557
Peso seco de arena, g (A)	491,8	464,1	498,3
Gravedad especifica de los sólidos Gs(s)	2,521	2,499	2,49
Absorción, % (%A)	2,684	2,715	2,669
Promedio de gravedad especifica de los sólidos	<b>2,503</b>		
Promedio de absorción, %	<b>2,689</b>		

$$Gs(sss) = \frac{S}{B+S-C} \quad Gs(s) = \frac{A}{B+S-C} \quad \%A = \frac{S-A}{A}$$

Observaciones: PIC-1 es picnómetro 1

---



---

\_\_\_\_\_  
Ing. Jefe de Laboratorio

### 6.2.2. ENSAYOS A LA EMULSION ASFALTICA.

La emulsión asfáltica utilizada se clasifica como una emulsión Catiónica de Fraguado Acelerado CQS-1hp la cual fue muestreada según el estándar ASTM D-140-01 para muestreo de materiales bituminosos. Se elaboro con asfalto AC-20 proveniente de Corpus Christi, Texas, Estados Unidos, que corresponde a un asfalto pesado (mayor contenido de asfaltenos), los asfaltos pesados presentan mayor adhesividad, flexibilidad y resistencia a los rayos ultra violeta. El tipo de emulsificante utilizado fue amina grasa, acido clorhídrico como regulador de PH y emulsión de látex como agente modificante, que es un polímero elastómero termoplástico tipo SBR. Las proporciones en que se utilizaron estos componentes para formar la emulsión se detallan el la tabla 6.2.

<b>Componente</b>	<b>Porcentaje respecto a peso emulsión</b>
Asfalto AC-20	62%
Emulsificante	1.6%
Polímero SBS	2.17%*
Agua	34%
Regulador PH	-

\*3.5% respecto al peso del asfalto

**Tabla 6.2.**

Proporción de los componentes de la emulsión ensayada.

Las pruebas realizadas tanto a la emulsión como al residuo de asfalto demuestran que la emulsión utilizada cumple con los requerimientos establecidos por la International Slurry Surfacing Association, en su boletín técnico ISSA A143, las cuales se detallan a continuación.

### **6.2.2.1. Contenido residual de asfalto. Designación ASTM D-244 (sección 11 a la 22)**

#### **1. DESCRIPCION.**

La emulsión asfáltica no es mas que una forma de aplicar asfalto al agregado para la fabricación de concreto asfáltico, siendo el asfalto el ligante que mantendrá unidas cada una de las partículas del agregado pétreo, por consiguiente es de vital importancia verificar si la emulsión utilizada contiene la cantidad mínima de asfalto que garantice una adecuada cohesión entre partículas, de igual forma se debe verificar que el asfalto utilizado cumpla con las características esperadas que garanticen un comportamiento optimo de la mezcla.

La determinación del contenido de asfalto presente en la emulsión se realizo mediante proceso de destilación, como se describe en el estándar ASTM D-244-00 en las secciones 11 a 22. Puesto que se trabajo con una emulsión modificada con polímero, la destilación se realizo a una temperatura de 138°C (280°F), temperatura por debajo de los 215-260°C establecidas por la ASTM, ya que las altas temperaturas pueden producir la separación del polímero del asfalto, por consiguiente se estableció un tiempo superior a los 60 minutos para la realización del ensayo, estimándose que la destilación había cesado cuando ya no se observaba ningún residuo de agua en el condensador.

## **2. EQUIPO UTILIZADO**

- a) *Alambique de aleación de aluminio* – (ver fotografía 6.7a), aproximadamente de 241.3 mm (9.5 plg) de altura por 95.3 mm (3 ¾ plg) de diámetro interno, con un mechero de anillo de diámetro interno de 121 mm (4 ¾ plg), que posea agujeros en el perímetro interno y con tres espaciadores. (ver fotografía 6.7e).
- b) *Aparato de conexión* – Consistente de un tubo conector de metal o vidrio de 12.5 +/- 0.5 mm (fotografía 6.7b). El conector de metal puede ser asegurado a la cubierta por medio de un acople de rosca a presión. Pueden utilizarse otros condensadores además del condensador con tubo de 12.5 +/- 0.5 mm sean de metal o vidrio, procurando que la longitud de hidratación sea de 400 a 550 mm (15.5 a 21 plg). La fotografía 6.7d muestra la forma de ensamblar el equipo de destilación
- c) *Cilindro graduado* – con una capacidad de 100 mL, con graduación a intervalos de 1.0 mL.
- d) *Termómetro* – Dos termómetros ASTM de destilación baja, graduados ya sea en grados Fahrenheit o grados Celsius como se especifique, poseyendo un rango de los -2 a 300°C (30 a 580°F) respectivamente y conforme a los requerimientos para termómetros 7C o 7F como los prescritos en la especificación E 1, o cualquier otro dispositivo termométrico de igual precisión o respuesta.
- e) 13.5. Balanzas, con capacidad de pesar 3500 g con precisión de +/- 0.1 g.

## **3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO**

- a) Pesar 200 +/- 0.1 g de una muestra representativa de emulsión en el alambique de aleación de aluminio previamente pesado (incluyendo la cubierta, abrazadera, termómetro).

- b) Utilizar un obturador de papel engrasado entre el alambique y cubrirlo o pulir las juntas para que aprieten adecuadamente. Sujetar fijamente la cubierta sobre el quietador. Otro material obturador puede ser utilizado proveyendo esta resistencia a la temperatura máxima alcanzada durante la destilación.
- c) Insertar los termómetros u otro dispositivo termométrico, a través del tapón, en cada uno de los pequeños agujeros existentes en la cubierta. Ajustar estos termómetros hasta que el final del bulbo de uno este a 6.4 mm desde el fondo del quietador y el bulbo de otro este aproximadamente a 165.1 mm del fondo del quietador.
- d) Colocar el mechero de anillo alrededor del alambique mas o menos a 152.4 mm (6 plg) desde el fondo del alambique. Aplicar calor encendiendo el mechero y ajustando en una llama baja. Además, aplicar exactamente el suficiente calor desde un mechero Bunzen al tubo conector para prevenir la condensación del agua en el tubo.
- e) Mover el mechero de anillo hasta aproximadamente el fondo del alambique cuando la temperatura registrada en el termómetro inferior alcance aproximadamente 100°C. Incrementar la temperatura a 138°C +/-5°C, manteniendo esta temperatura hasta que el proceso de destilación sea completada. La destilación se completara cuando no se observen residuos de agua saliendo del tubo condensador.
- f) Inmediatamente después del periodo de calentamiento, pesar nuevamente el alambique y sus accesorios. El porcentaje de residuo asfáltico se calcula como la relación en peso del alambique después de destilado entre el peso del alambique mas emulsión antes de la destilación.
- g) Remover la cubierta del alambique, agitar e inmediatamente verter una adecuada porción del residuo dentro de una charola o recipiente de 8 onz o un molde adecuado y almacenar para realizar los ensayos requeridos.

El alambique de aleación de aluminio a temperatura ambiente (9.1) pesa 1.5 g mas a 260°C. Corregir este error añadiendo 1.5 g a el peso bruto obtenido en el numeral 14.6 previamente para calcular el porcentaje de residuo por destilación.



(A)



(B)



(C)



(D)



(E)

**Fotografía. 6.7.**

Componentes de equipo de destilación: (A) Alambique, (B) condensador, (C) Mechero Bunsen, (D) Equipo de destilación ensamblado, (E) Mechero de anillo.

Los resultados obtenidos mediante este ensayo se muestran en el formulario 6.5.



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAS DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELAS DE INGENIERIA CIVIL**

**FORMULARIO 6.5  
RESIDUO DESPUÉS DE DESTILACIÓN (ASTM D244-00)**

HOJA No.:                     1                    

Solicita: Universidad de El Salvador	
Proyecto: Trabajo de Graduación	
Fecha de solicitud: 27-02-06	Fecha de recepción: 11-06-07

Laboratorista: Hugo Mejía	Fecha de ensayo: 18-06-07
Emulsión tipo: CSS-1hp	Método utilizado: Destilación
Tipo de polímero: Latex UP1140 (SBR)	Especificación: <b>Mínimo 62%</b>

Ensayo	FORMULA DE TRABAJO			
	1	2	3	4
Peso Alambique, g	997	996	997	996
Peso muestra ©, g	200	200	200	200
Peso Alambique +muestra, g	1197	1196	1197	1196
Peso Total antes destilado (A), g	2509	2510	2511	2509
Peso después destilado, g	2432	2435	2437	2434
Peso por destilación, g	1,5	1,5	1,5	1,5
Peso Total después destilado, g	2433,5	2436,5	2438,5	2435,5
Peso destilado total (B), g	75,5	73,5	72,5	73,5
% Residuo (D)	37,75	36,75	36,25	36,75
% destilación	62,25	63,25	63,75	63,25
Promedio	<b>63,12</b>			

$$D = \frac{B-A}{C} * 100$$

$$\% \text{ Destilación} = 100 - D$$

Observaciones Se obtienen aproximadamente de 65 a 70 ml en una probeta de agua destilada de la emulsión que se somete a una temperatura final de 216 °C.

---



---

\_\_\_\_\_  
ING. JEFE DEL LABORATORIO

### **6.2.2.2. Penetración al residuo de asfalto. ASTM D-5-97**

#### **1. DESCRIPCION.**

Este ensayo Consiste en calentar un recipiente con cemento asfáltico hasta una temperatura de referencia, 25°C (77°F), en un baño de agua a temperatura controlada. Se apoya una aguja normalizada, de 100 g de peso sobre la superficie del cemento asfáltico durante 5 segundos. La medida de la penetración es la longitud que penetró la aguja en el cemento asfáltico en unidades de 0,1 mm.

Este ensayo es un método empírico de medir la consistencia del asfalto que no es más que el grado de fluidez o plasticidad que este presenta a una temperatura cualquiera. Para medir la penetración que presentaba el asfalto que componía la emulsión se ensayaron cuatro muestras, obteniéndose los resultados mostrados en el formulario 6.6.

#### **2. EQUIPO UTILIZADO**

- a) *Aparato de penetración*– Se aceptara cualquier aparato que permita al sostén de la aguja moverse verticalmente sin fricción apreciable y que sea capaz de indicar la profundidad de penetración a una precisión de 0.1 mm. El peso del husillo deberá ser de 47.5 +/- 0.05 g. El peso total de la aguja y el husillo ensamblados deberá ser de 50.0 +/- 0.05 g. Pesos extras de 50 +/- 0.05 g y de 100 +/- 0.05 g deberán ser provisto para cargas totales de 100 g y 200 g, según se requiera para ciertas condiciones de ensayo. La superficie sobre la cual el contenedor con la muestra reposara deberá ser completamente plano y el eje del pistón deberá estar aproximadamente a 90° de esta superficie. El husillo deberá ser fácilmente



removible para revisar su peso (Fotografía 6.8)

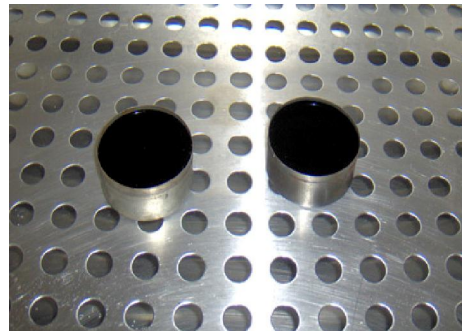
- b) *Aguja de penetración* - La aguja deberá estar fabricada de acero templado inoxidable y completamente endurecido, tendrá aproximadamente 50 mm de largo, con una longitud aproximada de 60 mm. El diámetro de toda la aguja deberá ser de 1.00 a 1.02 mm, la cual deberá ser simétricamente cónica en uno de sus extremos afilado en forma de cono, teniendo un ángulo entre 8.7° y 9.7° a lo largo de todo el cono.
- c) *Contenedores de muestras* – Un cilindro metálico o de vidrio, contenedores de fondo plano con las siguientes dimensiones deberán ser utilizados:

Para penetración debajo de 200	
Diámetro, mm	55
Profundidad interna, mm	35
Para penetraciones entre 200 y 350	
Diámetro, mm	55
Profundidad interna, mm	70

- d) *Baño de agua* – Un baño de agua con una capacidad de 10 litros como mínimo y capaz de mantener una temperatura de 25 +/- 0.1°C ó cualquier otra temperatura de ensayo dentro de los 0.1°C. El baño deberá contener un estante perforado de apoyo en una posición no menor de los 50 mm desde el fondo y no mayor de 100 mm abajo del nivel del líquido en el baño.
- e) *Dispositivo de cronometraje* – Para penetrometros manuales cualquier dispositivo que mida el tiempo es conveniente, estará graduado a los 0.1 s o menor y con una exactitud de +/- 0.1 s para intervalos de 60 segundos. Un contador de segundos audible ajustado para dar una señal cada 0.5 segundos puede utilizarse. El tiempo

para 11 conteos deberá ser de 5 s +/- 0.1 s. Cualquier dispositivo de tiempo automático sujetado al penetrometro deberá ser adecuadamente calibrado para proporcionar el tiempo deseado de ensayo a intervalos dentro de +/- 0.1 s.

- f) *Termómetros* – Termómetros líquidos calibrados de rangos adecuados con subdivisiones y con escala máxima de error de 0.1oC o cualquier otro dispositivo termométrico de igual exactitud, precisión y sensibilidad deberá ser utilizado. Los termómetros deben ser conformes con los requerimientos de la especificación E 1.



**Fotografía 6.8.**

Equipo utilizado para ensayo de penetración según estándar ASTM D-5

### **3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO**

- a) Calentar la muestra cuidadosamente, agitar en lo posible para prevenir el sobrecalentamiento local, hasta que este lo suficientemente fluido para ser vertida. En ningún caso la temperatura debe ser elevada excediendo los 90°C para asfalto de petróleo (betumen). No calentar las muestras por más de 30 minutos. Evitar la incorporación de burbujas dentro de la muestra.
- b) Verter la muestra dentro del contenedor de muestras a una profundidad tal que, cuando enfríe a la temperatura de ensayo, la profundidad de la muestra este como mínimo a 10 mm por encima de la profundidad a la cual se espera que penetre la aguja. Verter dos porciones separadas para cada variación en las condiciones de ensayo.
- c) Cubrir holgadamente cada contenedor con una protección contra el polvo y permitir que enfríe al aire a una temperatura entre 15 y 30°C por un tiempo entre 1 a 1.5 horas para los contenedor pequeño y de 1.5 a 2 horas para el mas alto.
- d) Colocar los dos ejemplares juntos en el baño de agua el cual se mantendrá a la temperatura prescrita para el ensayo. Permitir al contenedor pequeño permanecer por 1 a 1.5 horas y al contenedor mas alto (6 onz) permanecer por 1.5 a 2 horas.
- e) Examinar el sostén de la aguja y guiar para establecer la ausencia de agua y de otros materiales extraños. Si se espera que la penetración exceda de 350 utilizar una aguja larga, de otra manera utilizar una aguja pequeña. Limpiar la aguja de penetración con tolueno u otro solvente adecuado, secar con un paño limpio e insertar la aguja dentro del penetrometro. A menos que se especifique de otra manera, colocar el peso de 50 g encima de la aguja, para hacer un peso total de 100 g +/- 0.1 g.
- f) Posicionar la aguja descendiendo suavemente hasta que la punta haga contacto con la superficie de la muestra. Anotar ambas lecturas de la marca del penetrometro o

llevar el puntero a cero. Liberar rápidamente el sujetador de la aguja por el periodo especificado de tiempo y ajustar el instrumento para medir la distancia de penetración en décimas de milímetro. Si el contenedor se mueve, ignorar los resultados.

- g) Realizar como mínimo tres determinaciones en puntos sobre la superficie de la muestra a no menos de 10 mm desde los costados del contenedor y a no menos de 100 mm de separación. Utilizar una aguja limpia para cada determinación. Si la penetración es mayor de 200, usar por lo menos tres agujas retirándolas de la muestra hasta que las tres determinaciones han sido realizadas.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAS DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELAS DE INGENIERIA CIVIL

FORMULARIO 6.6  
PENETRACIÓN A 25° C (ASTM D5-97)

HOJA No.: 1

Solicita: Universidad de El Salvador	
Proyecto: Trabajo de Graduación	
Fecha de solicitud: 27-02-06	Fecha de recepción: 11-06-07

Laboratorista: Hugo Mejía	Fecha de ensayo: 15-06-07
Emulsión tipo: CSS-1hp	Método utilizado: Penetración con Aguja de Vicat
Tipo de polímero: Latex UP1140 (SBR)	Especificación: <b>Mínimo 40</b>

Ensayo	FÓRMULA DE TRABAJO			
	1	2	3	4
Temperatura, °C	26	25	26	26
Penetración 1 (P1), mm	77	79	79	78
Penetración 2 (P2), mm	79	78	77	77
Penetración 3 (P3), mm	78	81	76	77
Promedio (P), mm	78	79,3	77,3	77,3
Promedio general (PG), mm	<b>78</b>			

$$P = \frac{P1 + P2 + P3}{3}$$

Observaciones \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
ING. JEFE DEL LABORATORIO

### **6.2.2.3. Punto de ablandamiento por anillo y bola. ASTM D-36-95**

#### **1. DESCRIPCION**

Puesto que los asfaltos son materiales termoplásticos que son afectados por los cambios de temperatura, es necesario tener una idea de la temperatura que puede soportar el asfalto antes de que cambien algunas de sus propiedades físicas como su consistencia y fluidez. El punto de ablandamiento no es más que la temperatura que necesita el asfalto para alcanzar un determinado estado de fluidez. La susceptibilidad térmica que pueda presentar una mezcla asfáltica esta influenciada grandemente por la temperatura a la cual el asfalto comienza a fluir, por consiguiente es de tener muy en cuenta dicha característica a la hora de proyectar la colocación de mezclas asfálticas en climas calidos como en nuestro país, puesto que la utilización de asfaltos que alcancen su estado de fluidez a temperaturas por debajo de las esperadas en campo provocara desplazamientos y deformaciones en la carpeta.

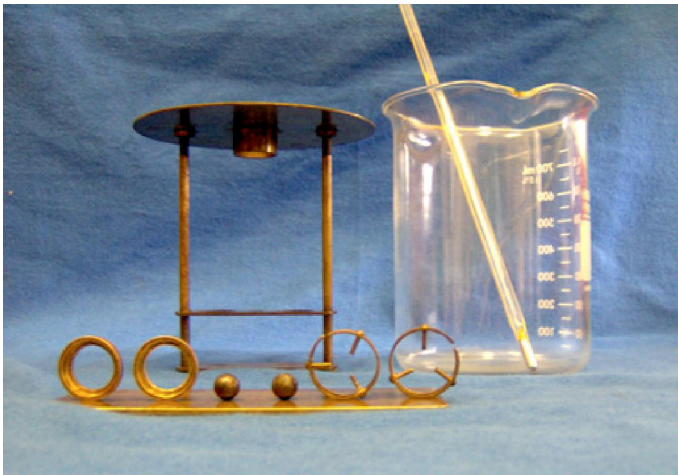
Para la realización de este ensayo se seleccionaron cuatro muestras representativas de emulsión, obteniéndose resultados por debajo de las especificaciones establecidas en el estándar ISSA A143, principalmente debido al tipo de modificador utilizado en el asfalto, situación que no presenta ningún inconveniente debido a que los rangos de puntos de ablandamiento están acordes a las temperaturas esperadas en campo. Los resultados obtenidos en esta prueba se muestran en el formulario 6.7

## 2. EQUIPO UTILIZADO

- a) *Anillos*– Dos anillos de bronce cuadrados y con tope conforme con las dimensiones mostradas en la fotografía 6.9.
- b) *Plato de vertido*– un plato de bronce plano y suave aproximadamente de 50 por 75 mm.
- c) *Bolas*– Dos bolas de acero, de 9.5 mm de diámetro cada una con una masa de 3.50 +/- 0.05 g.
- d) *Guías de centrado para las bolas* – Dos guías de bronce para centrar las bolas de acero, una por cada anillo.
- e) *Baño*– Una Beaker de vidrio, que pueda ser calentado, con no menos de 85 mm de diámetro interno y no menos de 120 mm de profundidad desde el fondo del bocel.
- f) *Soporte de anillo y su conjunto*– Un soporte de bronce destinado para soportar los dos anillos en una posición horizontal, El fondo de los anillos en el soporte deberá estar a 25 mm arriba de la superficie del fondo del plato, y superficie inferior del fondo del plato deberá estar a 16 +/- 3 mm del fondo del baño.
- g) Un termómetro ASTM de bajo punto de ablandamiento, con un rango de temperaturas de -2 a 80°C y conforme a los requerimientos para termómetros 15C o 15F establecidos en la especificación E 1.
- h) Un termómetro ASTM de alto punto de ablandamiento con un rango de temperaturas de 30 a 200°C y conforme a los requerimientos para termómetros 16C o 16F establecidos en la especificación E 1.

El termómetro apropiado deberá ser suspendido en el conjunto como se muestra en la de manera que el fondo del bulbo este nivelado con el fondo de los anillos y aproximadamente a 13 mm de los anillo, pero sin tocar los anillo o el soporte de los

mismos. La sustitución de otros termómetros no debe ser permitida.



**Fotografía 6.9.**

Medición del punto de ablandamiento, aparato de anillo y bola. ASTM D-36

### **3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO**

- a) No empezar a menos que este planeado completar la preparación y ensayar todos los especímenes dentro de 6 horas después de preparados. Calentar las muestras de asfalto con cuidado, agitando frecuentemente para prevenir sobrecalentamientos locales, hasta que este alcance suficiente fluidez para ser vertido. Agitar cuidadosamente para evitar la incorporación de burbujas de aire en la muestra.
- b) No debe tomarse más de 2 horas calentar una muestra de asfalto para llevarla a temperatura de vertido; en ningún caso la temperatura debe de estar arriba de 110°C del punto de ablandamiento esperado para el asfalto.
- c) Si el ensayo debe de repetirse mas adelante, no recalentar las muestras; utilizar muestras nuevas en un contenedor limpio para preparar nuevos especímenes de ensayo.



- d) Calentar los dos anillos de bronce (pero no el plato de vertido) aproximadamente a la temperatura de vertido de la muestra, y colocar luego sobre el plato de vertido tratado con uno de los agentes antiadhesivos.
- e) Verter un ligero exceso de asfalto calentado dentro de cada anillo y luego permitir a los especímenes enfriar a temperatura ambiente al aire por un tiempo de al menos 30 minutos. Para materiales que sean blandos a la temperatura de laboratorio, enfriar los especímenes por lo menos durante 30 minutos a temperatura ambiente de cómo mínimo 10°C arriba del punto de ablandamiento esperado. Desde el momento en que los discos han sido moldeados, no deben de transcurrir más de 240 minutos antes de completar el ensayo.
- f) Cuando los especímenes han enfriado, quitar el exceso de asfalto limpiándolo con un cuchillo calentado levemente o con una espátula, a modo que cada disco quede enrasado y nivelado con la parte superior del anillo.
- g) Para puntos de ablandamiento entre los 30 y 80°C, utilizar agua destilada recién hervida como baño líquido; utilizar termómetros 15C ó 15F. La temperatura inicial del baño deberá ser de 5 +/- 1°C.
- h) Ensamblar los aparatos en la marquesina de laboratorio con los anillos, guías de centrado y los termómetros en posición, y llenar el baño de manera que el líquido alcance una profundidad de 105 +/- 3 mm con todos los aparatos colocados. Utilizar pinzas, para colocar las dos bolas de acero en el fondo del baño para que estas alcancen la misma temperatura inicial como el resto del conjunto.
- i) Colocar el baño en agua helada si fuera necesario, o calentar suavemente para establecer y mantener la temperatura inicial apropiada por 15 minutos con los aparatos en su lugar. Tener cuidado de no contaminar el baño líquido.
- j) Utilizar pinzas nuevamente para colocar las bolas de acero, desde el fondo del baño, hasta la guía de centrado.

- k) Calentar el baño desde abajo del recipiente de manera que la temperatura indicada por el termómetro ascienda a un rango uniforme de  $5^{\circ}\text{C} / \text{min}$ . Proteger el baño de las corrientes de aire utilizando escudos si es necesario. No promediar los rangos de ascenso de temperatura sobre el periodo de ensayo. La variación máxima permisible para cualquier minuto después de los primeros 3 minutos debe ser de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ . Rechazar cualquier ensayo en el cual los rangos de ascensión de temperatura no cumplieron con estos límites. El apego rígido a los rangos de calentamiento prescritos es esencial para la reproducibilidad de los resultados.
- l) Registrar la temperatura indicada de cada anillo y bola por medio de los termómetros en el instante en que el asfalto envuelva la bola tocando el fondo del plato. No realizar correcciones por los descensos del termómetro. Si la diferencia entre las dos temperaturas excede los  $1^{\circ}\text{C}$ , repetir el ensayo.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAS DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELAS DE INGENIERIA CIVIL

FORMULARIO 6.7  
PUNTO DE ABLANDAMIENTO (ASTM D36-97)

HOJA No.: 1

Solicita: Universidad de El Salvador	
Proyecto: Trabajo de Graduación	
Fecha de solicitud: 27-02-06	Fecha de recepción: 11-06-07

Laboratorista: Hugo Mejía	Fecha de ensayo: 15-06-07
Emulsión tipo: CSS-1hp	Método utilizado: Anillo y bola
Tipo de polímero: Latex UP1140 (SBR)	Especificación: <b>Mínimo 57 °C</b>

Ensayo	FÓRMULA DE TRABAJO			
	1	2	3	4
Temperatura inicial, °C	25	26	26	26
Tiempo transcurrido, m:s	07:25	08:12	07:51	07:35
Temperatura final 1 (T1), °C	49	51	50	49
Temperatura final 2 (T2), °C	49	52	50	50
Promedio (P), °C	49	51,5	50	49,5
Promedio general (PG), °C	<b>50</b>			

$$P = \frac{T1 + T2}{2}$$

Observaciones Las variaciones entre T1 y T2 no deben ser mayores de 1 °C  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
ING. JEFE DEL LABORATORIO

#### **6.2.2.4. Análisis de tamizado. ASTM D-244-00 (Sección 53 a la 58)**

##### **1. DESCRIPCION**

En análisis de tamices para emulsiones asfálticas se realiza para determinar en que grado una emulsión asfáltica puede contener partículas de asfalto u otro sólido diseminado con tamaño mayor a 0.850 mm. La presencia excesiva de estas partículas puede causar aglomeración de la fase dispersa en la emulsión provocando floculación y coalescencia temprana, lo que puede perjudicar la estabilidad de la emulsión, igualmente pueden ocurrir problemas al momento de manejar y aplicar la emulsión. La retención de una cantidad excesiva de partículas sobre el tamiz indica que pueden ocurrir problemas en el manejo y aplicación del material.

Partículas de asfalto retenidas sobre el tamiz a menudo son causa de aglomeración de la fase dispersa. Almacenaje, bombeo, el manejo o manipulación y la temperatura pueden contribuir a la formación de partículas. Contaminación desde el depósito, en el transporte o en las mangueras u otros factores afectan la formación de partículas Se ensayaron cuatro muestras, mediante el procedimiento descrito en el estándar ASTM D-244, sección 53-58, obteniéndose los resultados mostrados en el formulario 6.8.

##### **2. EQUIPO UTILIZADO**

*Tamiz* – Un tamiz con un marco de 76.2 mm y una malla metálica No. 20 (850  $\mu$ m), según la especificación E 11 (Fotografía 6.10).

- a) *Charola* – una caja de hojalata o un plato de metal de un tamaño aproximado para cubrir la parte superior del tamiz estándar.

- b) Balanzas, con capacidad de pesar 2000 g con precisión de 1 g, y balanza con capaz de pesar 500 g a una precisión de 0.1g (Fotografía 6.10).

### 3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

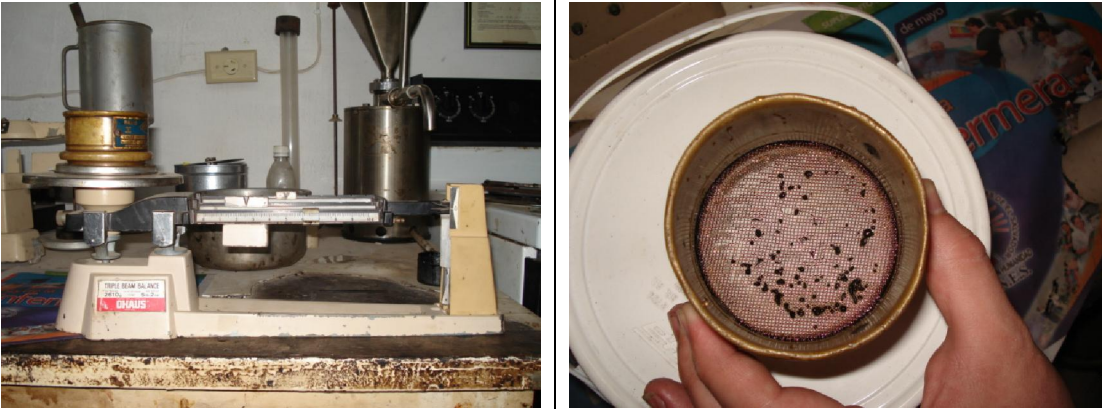
- a) La temperatura a la cual el ensayo de tamices debe ser realizado esta relacionada con la viscosidad de la emulsión. Para aquellos materiales cuya viscosidad es de 100 s o menores a 25°C, realizar el ensayo a temperatura ambiente. Para aquellos materiales cuya viscosidad se especifica a 50°C, utilizar una temperatura de ensayo de 50 +/- 3°C. Si es necesario calentar la emulsión, esta puede ser colocada en el horno o en un baño de agua dentro de un contenedor cerrado, permitiendo agitar para conseguir una emulsión homogénea.
- b) Registrar el peso del tamiz y la charola y empapar la malla metálica del tamiz con agua destilada.
- c) Pesar 1000 g de emulsión asfáltica dentro de un contenedor adecuado y verter a través del tamiz.
- d) Lavar el contenedor y el residuo presente sobre el tamiz con agua destilada hasta que este completamente limpio.
- e) Colocar la charola bajo el tamiz y calentar por 2 horas en un horno de secado a 105°C. Secar en un evaporador y pesar el conjunto de tamiz, charola y residuo.
- f) Calcular el porcentaje de muestra retenida sobre el tamiz como sigue:

$$\text{Muestra retenida, \%} = (B - A)/10 \quad (5)$$

En donde:

A = Peso del tamiz mas charola, g y

B = Peso del tamiz mas charola y residuo, g.



**Fotografía. 6.10.**

(A) Equipo utilizado en la prueba de tamizado para emulsiones asfálticas, según ASTM D-244, (B) Partículas retenidas en el tamiz de 0.850 mm, después de realizado en ensayo.



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAS DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELAS DE INGENIERIA CIVIL**

**FORMULARIO 6.8  
DETERMINACION DE PARTICULAS RETENIDAS EN TAMIZ No. 20  
ASTM D244-00**

HOJA No.:                     1                    

Solicita: Universidad de El Salvador	
Proyecto: Trabajo de Graduación	
Fecha de solicitud: 27-02-06	Fecha de recepción: 11-06-07

Laboratorista: Hugo Mejía	Fecha de ensayo: 15-06-07
Emulsión tipo: CSS-1hp	Método utilizado: Tamizado
Tipo de polímero: Latex UP1140 (SBR)	Especificación: <b>Máximo 0,1 %</b>

Ensayo	FÓRMULA DE TRABAJO			
	1	2	3	4
Peso tamiz + recipiente, g (A)	158	156,1	158	156,9
Peso tamiz + recipiente + residuo, g (B)	158,7	156,7	158,5	157,5
Diferencia, g	0,7	0,6	0,5	0,6
% Tamizado	0,07	0,06	0,05	0,06
Promedio tamizado	<b>0,06</b>			

$$\% \text{ Tamizado} = \frac{B-A}{10}$$

Observaciones \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
 ING. JEFE DEL LABORATORIO

### **6.2.2.5. Análisis de sedimentación ASTM D-244-00 (Sección 77 a la 83)**

#### **1. DESCRIPCION**

La sedimentación es una medida de la estabilidad que presenta una emulsión asfáltica al ser almacenada en contenedores cilíndricos, mide la uniformidad de la dispersión de la emulsión almacenada por un periodo determinado de tiempo. Este ensayo es un indicador de la calidad que presenta la emulsión, aun cuando esta no vaya a ser almacenada ya que una falla en el ensayo de sedimentación indica un problema en el proceso de emulsificación. Para su determinación, se realizaron ensayos a cuatro muestras para periodos de reposo de uno y cinco días, según lo especificado en el estándar ASTM D-244 sección 43-45, obteniéndose los resultados mostrados en el formulario 6.9 y 6.10.

#### **2. EQUIPO UTILIZADO**

- a) *Cilindros* – Dos cilindros de vidrio con capacidad para 500 mL, con bases de vidrio presurizado o moldeado y con tapones de corcho o vidrio, teniendo un diámetro exterior de 50 +/- 5 mm (Fotografía 6.11).
- b) *Pipeta de vidrio* – una pipeta de tubo de vidrio con sifón de forma opcional con capacidad de 60 ml.
- c) *Balanza*, capaz de pesar 500 g con precisión de 0.1 g.





**Fotografía. 6.11.**

Cilindros de vidrio de 500 mL utilizados en el ensayo de sedimentación

### **3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO**

- a) Colocar una muestra representativa de 500 ml en cada uno de los dos cilindros de vidrio. Tapar los cilindros y permitir que estos reposen sin perturbarlos a temperatura ambiente del laboratorio por 1 y 5 días. Después del periodo de reposo, extraer desde la parte superior aproximadamente 55 ml de emulsión por medio de una pipeta o sifón sin alterar el balance. Mezclar cada porción vigorosamente. Pesar 50 gramos de cada muestra dentro de beakers de vidrio separados con capacidad de 1000 ml y determinar el residuo de asfalto por evaporación conforme al estándar ASTM D 244, sección 16.
- b) Después de remover las muestras superiores, extraer aproximadamente otros 390

ml de cada uno de los cilindros. Mezclar vigorosamente la emulsión remanente en los cilindros y pesar 50 g dentro de beakers de vidrio separados con capacidad de 1000 m. Determinar el residuo de asfalto de estas muestras utilizando el mismo procedimiento del primer paso.

- c) Calcular la sedimentación para cada cilindro como sigue:

$$\text{Sedimentación, \% (5 días)} = B - A(4)$$

En donde:

A = El porcentaje de residuo desde la muestra superior, y

B = Porcentaje de residuo de la muestra del fondo.

- d) Reportar la sedimentación como el promedio de los resultados de los dos cilindros individuales.



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAS DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELAS DE INGENIERIA CIVIL**

**FORMULARIO 6.9  
SEDIMENTACIÓN A UN DÍA (ASTM D244-00)**

HOJA No.: 1

Solicita: Universidad de El Salvador	
Proyecto: Trabajo de Graduación	
Fecha de solicitud: 27-02-06	Fecha de recepción: 11-06-07

Laboratorista: Hugo Mejía	Fecha de ensayo: 15-06-07
Emulsión tipo: CSS-1hp	Método utilizado: Sifonaje y evaporación
Tipo de polímero: Latex UP1140 (SBR)	Especificación: <b>Un día 1%</b>

Ensayo	FORMULA DE TRABAJO			
	1	2	3	4
Temperatura de ensayo	26	26	27	28
Volumen superficie 1, ml	55	50	55	50
Peso charola + agitador, g	77,5	77,5	77,5	77,5
Peso charola + agitador+ muestra 1	121,6	123,4	124,8	123,7
Peso muestra (W1), g	44,1	45,9	47,3	46,2
Volumen superficie 2, ml	50	50	55	55
Peso charola + agitador, g	121,6	123,4	124,8	123,7
Peso charola + agitador+ muestra 2	138,1	141	142,5	141,6
Peso residuo muestra (W2), g	16,5	17,6	17,7	17,9
% Residuo emulsión superficie (RE)	37,42	38,34	37,42	38,74
% Residuo asfalto superficie (RAA)	62,58	61,66	62,58	61,26
Volumen fondo 1, ml	65	70	85	65
Peso charola + agitador, g	138,1	141	142,5	141,6
Peso charola + agitador+ muestra 1	197,6	203,9	223,6	200
Peso muestra (W1), g	59,5	62,9	81,1	58,4
Volumen fondo 2, ml	55	50	50	55
Peso charola + agitador, g	197,6	203,9	223,6	200
Peso charola + agitador+ muestra 2	219,3	227,5	253,2	222
Peso residuo muestra (W2), g	21,7	23,6	29,6	22
% Residuo emulsión superficie (RE)	36,47	37,52	36,5	37,67
% Residuo asfalto fondo (RAB)	63,53	62,48	63,5	62,33
% Asentamiento (A)	0,95	0,82	0,92	1,07
Promedio asentamiento	<b>0,94</b>			

$$RE = \frac{W2}{W1} * 100$$

$$RAA, RAB = 100 - RE$$

$$A = RAB - RAA$$

Observaciones El volumen inicial es de 500 ml, pero se deben hacer dos ensayos simultaneos tanto para el peso de superficie como para el del fondo.

\_\_\_\_\_  
ING. JEFE DEL LABORATORIO



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAS DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELAS DE INGENIERIA CIVIL**

**FORMULARIO 6.10  
SEDIMENTACIÓN A CINCO DÍAS (ASTM D244-00)**

HOJA No.: \_\_\_\_\_

Solicita: Universidad de El Salvador	
Proyecto: Trabajo de Graduación	
Fecha de solicitud: 27-02-06	Fecha de recepción: 11-06-07

Laboratorista: Hugo Mejía	Fecha de ensayo: 15-06-07
Emulsión tipo: CSS-1hp	Método utilizado: Sifonaje y evaporación
Tipo de polímero: Latex UP1140 (SBR)	Especificación: <b>Cinco días 5 %</b>

Ensayo	FORMULA DE TRABAJO			
	1	2	3	4
Temperatura de ensayo	26	26	27	26
Volumen superficie 1, ml	55	60	55	60
Peso charola + agitador, g	77,5	77,5	77,5	77,5
Peso charola + agitador+ muestra 1	124,4	131	127,9	133,7
Peso muestra (W1), g	46,9	53,5	50,4	56,2
Volumen superficie 2, ml	50	55	55	55
Peso charola + agitador, g	124,4	131	127,9	133,7
Peso charola + agitador+ muestra 2	143,4	152	147,9	156,4
Peso residuo muestra (W2), g	19	21	20	22,7
% Residuo emulsión superficie (RE)	40,51	39,25	39,68	40,39
% Residuo asfalto superficie (RAA)	59,49	60,75	60,32	59,61
Volumen fondo 1, ml	75	65	80	70
Peso charola + agitador, g	143,4	152	147,9	156,4
Peso charola + agitador+ muestra 1	214,7	212,4	222,3	222,3
Peso muestra (W1), g	71,3	60,4	74,4	65,9
Volumen fondo 2, ml	55	50	55	55
Peso charola + agitador, g	214,7	212,4	222,3	222,3
Peso charola + agitador+ muestra 2.	239,9	233,6	248,4	245,4
Peso residuo muestra (W2), g	25,2	21,2	26,1	23,1
% Residuo emulsión superficie (RE)	35,77	35,1	35,08	35,05
% Residuo asfalto fondo (RAB)	64,23	64,9	64,92	64,95
% Asentamiento (A)	4,74	4,15	4,6	5,34
Promedio asentamiento	<b>4,71</b>			

$$RE = \frac{W2}{W1} * 100$$

$$RAA, RAB = 100 - RE$$

$$A = RAB - RAA$$

Observaciones \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
ING. JEFE DEL LABORATORIO

### **6.2.2.6. Viscosidad Saybolt Furol. ASTM D-244-00 (Sección 29 a la 33)**

#### **1. DESCRIPCION**

La viscosidad tiene importancia en el uso de emulsiones asfálticas porque es una propiedad que afecta su utilidad. Cuando se utiliza en aplicaciones constructivas, el material debe estar lo suficientemente diluido para ser aplicado uniformemente a través de las barras de aspersión del distribuidor, no obstante debe ser lo bastante gruesa tanto que no fluya desde la corona o pendiente de la calle. Para mezclas de emulsiones calificadas, la viscosidad puede afectar la mezclabilidad y en el resultado de los espesores de película sobre los agregados.

El ensayo consiste en la medición del tiempo en segundos que tardan 60 mL en recorrer la longitud de un tubo normalizado. Generalmente los ensayos se realizan a 25°C y 50°C para cubrir los rangos posibles de temperaturas de trabajo.

Se ensayaron cuatro muestras, determinándose los valores de viscosidad mostrados en el formulario 6.11

#### **2. EQUIPO UTILIZADO**

- a) *Viscosímetro* – Un viscosímetro Saybolt Furol conforme a los requerimientos especificados en el método de ensayo D 88.
- b) *Tamiz* – Un tamiz de 850 µm una malla de filtro de tela de alambre, con o sin marco.
- c) *Termómetros* – ASTM No. 17C o 17F para ensayos a 25°C y ASTM No. 19F o 19C para ensayos a 50°C, conforme a los requerimientos de la especificación E 1.

- d) *Baño de agua*, que sea capaz de mantener los requerimientos de temperatura del ensayo dentro de los límites especificados en la tabla 2 del método de ensayo ASTM D 88.

### **3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO**

- a) Agitar la muestra vigorosamente sin incorporar burbujas y verter 118 ml dentro de una botella. Colocar la botella en el baño de agua a 25°C por 30 minutos y mezclar la muestra dentro de la botella, girando e invirtiendo la botella varias veces lentamente lo suficiente como para prevenir la formación de burbujas.
- b) Verter la muestra dentro del viscosímetro a través del tamiz de 850 µm o de una malla filtro #20, permitiendo que una pequeña porción fluya a través del tubo de salida de pérdida. Colocar el tapón en posición, llenar el viscosímetro y, sin agitar nuevamente la muestra, determinando el tiempo que le toma a la emulsión llenar el recipiente de ensayo.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAS DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELAS DE INGENIERIA CIVIL

FORMULARIO 6.11  
VISCOSIDAD A 25 °C (ASTM D244-00)

HOJA No.: 1

Solicita: Universidad de El Salvador	
Proyecto: Trabajo de Graduación	
Fecha de solicitud: 27-02-06	Fecha de recepción: 11-06-07

Laboratorista: Hugo Mejía	Fecha de ensayo: 15-06-07
Emulsión tipo: CSS-1hp	Método utilizado: Seybolt Furol
Tipo de polímero: Latex UP1140 (SBR)	Especificación: <b>Mínimo 20</b>

Ensayo	FÓRMULA DE TRABAJO			
	1	2	3	4
Temperatura inicial, °C	26	25	25	26
Tiempo transcurrido 1 (t1), s	27,89	27,68	27,71	27,75
Tiempo transcurrido 2 (t2), s	27,72	27,84	27,92	27,92
Promedio (P), s	27,805	27,76	27,815	27,835
Promedio general (PG), s	<b>27,804</b>			

$$P = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

Observaciones Se vierten en la máquina Seybolt Furol 100 ml de emulsión a 25 °C modo que  
estos se viertan en 60 ml en un beaker.

\_\_\_\_\_  
ING. JEFE DEL LABORATORIO

### **6.3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL DE DISEÑO DE MEZCLAS**

El procedimiento que se utilizó para la determinación de las proporciones exactas de los componentes de la mezcla para sistemas de microsurfacing se basó en la metodología de diseño propuesta por la International Slurry Surfacing Association ISSA, en base a las especificaciones descritas en su boletín ISSA A 143.

El diseño de mezcla para sistemas de microsurfacing pretende, además del proporcionamiento de los componentes de la mezcla, estimar el comportamiento que tendrá la mezcla ya elaborada tanto al momento del mezclado, manejo y colocación; como una vez expuesta a la acción del tráfico y a lo largo de su vida de servicio, para lo cual se realizaron ensayos que establecen características como manejabilidad, consistencia, tiempo de mezclado y tiempo de apertura al tráfico que son claves para el adecuado manejo y colocación de la mezcla, así como ensayos que estiman el comportamiento de servicio, como lo son desarrollo de cohesión, resistencia al desgaste y la susceptibilidad al ahuellamiento y deformación.

Se establecieron tres porcentajes tentativos de contenido de emulsión asfáltica del 10%, 11%, y 12% (6.2%, 6.82%, 7.44% de contenido de asfalto residual respectivamente) para realizar las fórmulas de trabajo tomando como base los rangos establecidos en el estándar ISSA A143 (Ver tabla 4.5), luego se elaboraron distintas mezclas de prueba hasta establecer la fórmula más adecuada para cada contenido de emulsión. Se elaboraron tres especímenes por cada ensayo a realizar, uno por cada contenido de emulsión a ensayar.



La prueba de cohesión ISSA TB 139 no pudo realizarse por problemas técnicos en el equipo. El contenido de filler mineral se estableció en base a la experiencia previa con la utilización tanto del agregado, como de la emulsión en trabajos anteriores. Los ensayos se realizaron a temperaturas aproximadas de 27°C. Los resultados de los ensayos y el diseño final obtenidos se muestran a continuación.

### **6.3.1. PARAMETROS DE DISEÑO**

- a) Los contenidos de emulsión a ensayar deben estar dentro del rango permitido por la ISSA para granulometrías tipo III, pudiéndose ensayar contenidos de asfalto residual que oscilen entre el 5.5% y el 9.5%.
- b) El tiempo de mezcla debe de ser establecido de tal forma que la mezcla sea controlable como mínimo por un tiempo de 2 minutos (120 s).
- c) El límite de pérdida de abrasión en pista húmeda será de 538 g/m<sup>2</sup> y se realizará el ensayo para un período de remojo de 1 hora. El ensayo para un período de remojo de 6 días no se realizara ya que las condiciones de humedad en la zona del proyecto no son severas.
- d) El límite de adhesión de arena establecido por el ensayo LWT será de 538 g/m<sup>2</sup>, puesto que la vía a ser pavimentada esta sometida a tráfico intenso (TPDA > 1500, ver sección 4.4.6).
- e) El sistema debe de poder ser catalogado como un “sistema de fraguado acelerado y rápida apertura al trafico” mediante el ensayo de cohesión húmeda ISSA TB 139, debiendo alcanzar torques de 12 Kg -cm en un tiempo de 30 minutos y 20 Kg -cm en un tiempo de 1 hora.
- f) Al realizar el ensayo ISSA TB 114, la mezcla deberá mostrar más del 90% de su superficie recubierta con asfalto, para poder considerar que existe compatibilidad

entre los componentes del sistema.

La tabla 6.3 resume los requerimientos de diseño que deben ser cumplidos y en base a los cuales se establecerá el proporcionamiento de los componentes de la mezcla.

<b>No. De ensayo ISSA</b>	<b>Descripción</b>	<b>Especificación</b>
ISSA TB-139	<u>Cohesión húmeda:</u> a 30 minutos, mínimo (fraguado) a 60 minutos, mínimo (trafico)	12 Kg -cm. 20 Kg -cm
ISSA TB-109	Exceso de asfalto por adhesión de arena	50 g/ft <sup>2</sup> max. 538 g/m <sup>2</sup> max
ISSA TB-114	Ensayo de desgaste en húmedo	Pasa (90% min)
ISSA TB-100	<u>Perdida por abrasión en húmedo</u> Remojo por 1 hora	50g/ft <sup>2</sup> (538 g/m <sup>2</sup> ) 75 g/ft <sup>2</sup> (807 g/m <sup>2</sup> )
ISSA TB-113	Tiempo de mezclado a 25°C (77°F)	Controlable a 120 s

**Tabla 6.3.**

Requerimientos para el establecimiento del diseño de mezcla.

### **6.3.2. PROPORCIONAMIENTO INICIAL DE LA MEZCLA.**

La determinación del proporcionamiento adecuado de los componentes es un método experimental de prueba y error, primeramente deben de establecerse distintas formulas de trabajo que determinen un proporcionamiento aproximado de todos los componentes a fin de verificar si dichos proporcionamientos cumplen con un tiempo de mezclado de

120 s. La variable principal que determinara estas formulas es la cantidad de asfalto a utilizar en la mezcla, para lo cual se establecen distintos porcentajes de emulsión asfáltica que se mantendrán fijos variando, para cada uno de estos porcentajes, el contenido de los demás componentes. Es así que el proporcionamiento inicial de la mezcla puede dividirse en dos pasos fundamentales: El establecimiento de los porcentajes de asfalto a ensayar y la determinación de la cantidad de agua, filler y aditivo para cada porcentaje establecido, cantidades que se determinan en base al establecimiento del tiempo de mezcla de cada mezcla de prueba.

Se trabajo con granulometría tipo III, como relleno mineral cemento Pórtland tipo I, aditivo solución al 25% de emulsificante amina grasa, agua potable.

#### **6.3.2.1. Tiempo de mezclado ISSA TB 113.**

##### **1. DESCRIPCION**

Inicialmente se realizaron proporcionamientos sin incluir aditivo en la mezcla, buscando tiempos de mezclado de aproximadamente 45-60 s, de modo que al incluir el aditivo se lograran tiempos superiores a los 120 s, el contenido de relleno mineral se mantuvo constante en 0.50%, valor que se estableció en base a la experiencia adquirida anteriormente con los materiales utilizados, el aditivo químico fue una solución al 25% de emulsificante.

No se recomienda alcanzar tiempos de mezclado cercanos a los 120 segundos sin la inclusión de aditivos ya que esta mezcla tendrá menos posibilidad de ser acomodada a las condiciones de fraguado y curado que se puedan presentar en campo. Al final del proceso se establecieron tres formulas de trabajo cuyas proporciones se muestran en la

tabla 6.4., dichas formulas sirvieron para fabricar los especimenes para cada ensayo a realizar a la mezcla. En cada momento se contó con la supervisión de un técnico diseñador de sistemas de microsurfacing, puesto que esta etapa requiere de mucha experiencia en la determinación del tiempo de fraguado y curado de la mezcla.

## **2. EQUIPO UTILIZADO**

- a) *Contenedor de mezclado* – contenedor metálico de 500 ml de capacidad (16 oz)
- b) Cuchara mezcladora – con una hoja depresora de 150 mm
- c) Cronometro
- d) Balanza con capacidad para pesar 600 +/- 0.1g.

## **3. PROCEDIMIENTO**

- a) Obtener una muestra representativa de campo del agregado. Secar el agregado a una temperatura entre 38 - 150°C. Enfriar el agregado a una temperatura de 25°C.
- b) Preparar una solución diluyendo aditivos líquidos a 25 +/- 3°C. Sustituir por una pequeña cantidad de la porción de agua para mezclado.
- c) Pesar y mezclar la cantidad deseada de agua y aditivo liquido diluido dentro de un contenedor.
- d) Pesar dentro de un tazón de mezclado, 200 g de agregado. Mantener todos los componentes a 25 +/- 3°C durante la preparación de la muestra.
- e) Añadir el relleno mineral al agregado y mezclar en seco a una velocidad moderada.
- f) Añadir a la mezcla la cantidad de agua y aditivo y mezclar hasta que la muestra presente una humedad homogénea. Formar un cráter en la mezcla de agregado y

añadir la cantidad requerida de emulsión asfáltica (fotografía 6.12).



**Fotografía. 6.12.**

**Materiales utilizados en el proporcionamiento de la mezcla**

- g) Mezclar vigorosamente con un mezclador mecánico. Mezclar hasta que el agregado este completamente recubierto. Ensayar con cuidado para prevenir la perdida de material durante el mezclado y manejos subsecuentes.
- h) Luego de añadir la emulsión, comenzar a tomar el tiempo y mezclar a 60-70 rpm. Continuar mezclando hasta que la emulsión haya roto. El cambio de color es un primer indicio de que una emulsión ha roto. Esta normalmente cambia a color negro o a un color oscuro.
- i) Registrar el tiempo, en segundos, cuando la emulsión rompa.
- j) Verter parte de la mezcla dentro de un plato plástico esparciendo uniformemente la mezcla hasta lograr un espesor aproximado de 5.0 mm.
- k) Registrar el tiempo que tarde la mezcla en comenzar a exudar agua y anotar como tiempo de “inicio de curado”, igualmente registrar el tiempo cuando la mezcla ya no pueda ser remezclada y registrar como “tiempo de fraguado”.

La fotografía 6.13 muestra las consistencias obtenidas en las distintas mezclas de prueba realizadas, la fotografía 6.14 muestra la consistencia adecuada para tiempos de mezcla mayores a los 120 segundos. Las distintas mezclas de prueba realizadas para establecer las formulas de trabajo iniciales se resumen en el formulario 6.12, estableciéndose tres formulas de trabajo una por cada contenido de emulsión a ensayar, la tabla 6.4 muestra el proporcionamiento inicial obtenido para cada una de ellas.



**Fotografía. 6.13.**

Mezcla con consistencia muy seca, tiempo de mezcla <120s



**Fotografía. 6.14.**

Mezcla con consistencia adecuada, tiempo de mezcla >120s



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAS DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELAS DE INGENIERIA CIVIL**

**FORMULARIO 6.12  
DETERMINACION DE LA FORMULA DE TRABAJO  
MEZCLA DE PRUEBA. ISSA TB 113**

HOJA No.: 1

Solicita: Universidad de El Salvador	
Proyecto: Trabajo de Graduación	
Fecha de solicitud: 27-02-06	Fecha de recepción: 11-06-07

Fecha de ensayo: 20-06-07	Tipo de aditivo: MQ3 (Amida Grasa)
Laboratorista: Hugo Mejía	Tipo de filler: Cemento Portland Tipo I
Emulsion tipo: CSS-1hp	Especificación: <b>Tiempo de mezclado mínimo 2 min.</b>
Granulometría: Tipo III	

Prueba #	Temp oC	Emulsion %	Agua %	Filler %	Aditivo %	Rompimiento m:s	Comentarios
1	28	9	9	0,5	1	02:38	Rompimiento controlado
2	26	10	9	0,5	0	****	Muestra muy seca
3	27	10	10	0,5	0	****	Muestra muy seca
4	28	10	11,5	0,5	0	00:35	Rompimiento muy rápido
5	29	10	12,5	0,5	0	****	Muestra muy fluida
6	27	11	10	0,5	0	01:20	Rompimiento controlado
7	28	12	9	0,5	0	00:40	Rompimiento muy rápido
8	29	10	12,5	0,5	0,4	>4:00	Curado muy lento
9	28	10	12,5	0,5	0,25	04:00	Curado lento
10	29	10	12,5	0,5	0,15	04:00	Curado lento
11	27	12	9	0,5	0,15	03:30	Rompimiento controlado

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
 Ing. Jefe de Laboratorio

<b>Emulsión (%)</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
Agua (%)	12.5	10	9
Agregado Mineral (%)	100	100	100
Aditivo (%)*	0.15	0.15	0.15
Relleno Mineral (%)	0.5	0.5	0.5
Tiempo de mezcla (s)	> 120 s	> 120 s	> 120 s

\*Referido al peso de la emulsión

**Tabla 6.4.**

Formulas de trabajo para cada porcentaje de emulsión a ensayar, establecidas según estándar ISSA TB 113.



### **6.3.3. DETERMINACION DE LA COMPATIBILIDAD DEL SISTEMA**

Para la determinación de la compatibilidad de los componentes de la mezcla se utilizó el ensayo de Remoción en húmedo descrito en el estándar ISSA TB 114, que consiste en sumergir un espécimen de mezcla fraguada en agua en ebullición por un tiempo de 3 minutos, después del se determina el porcentaje total de superficie que ha permanecido cubierta por asfalto.

Baja retención de asfalto en el sistema puede indicar ausencia de adhesión, película de baja coalescencia, pobre formulación de la emulsión, re-emulsificación, posible falsa lechada, también la presencia de mucho relleno mineral o agregados finos de poca calidad. Se ensayaron muestras tomadas del ensayo de tiempo de mezcla a 25°C para cada uno de los porcentajes de emulsión obteniéndose porcentajes de recubrimiento mayores del 90% en todos los especímenes ensayados.

#### **6.3.4. DETERMINACION DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO**

La obtención del contenido óptimo de asfalto es un proceso teórico-experimental, determinado básicamente por los resultados obtenidos por dos ensayos: (1) Ensayo de Abrasión en Pista Húmeda ISSA TB 100 y (2) Ensayo de la Rueda Cargada ISSA TB 109. El primero establece el contenido mínimo de asfalto que debe poseer la mezcla y el segundo el contenido máximo. Los datos obtenidos en dichos ensayos y el resultado final de asfalto óptimo se describen a continuación.

##### **6.3.4.1. Determinación del contenido mínimo de asfalto ISSA TB 100**

#### **1. DESCRIPCION**

El contenido mínimo de asfalto que debe poseer la mezcla de microsurfacing se establece mediante los datos obtenidos del ensayo de abrasión en pista húmeda ISSA TB 100. Como su nombre lo establece, este ensayo mide las cualidades de desgaste que presentan los sistemas de microsurfacing al estar sometidos a condiciones de abrasión húmeda y simula el desempeño de la mezcla en campo. El contenido mínimo de asfalto es aquel para el cual la mezcla presenta la suficiente cohesión entre partículas para soportar la acción del tráfico en condiciones de humedad severa.

Se ensayaron seis especímenes, dos por cada contenido de emulsión establecido (10%, 11% y 12%) para condiciones de remojo de 24 horas, obteniéndose los resultados mostrados en formulario 6.13. Para establecer la susceptibilidad que presenta la mezcla a condiciones de humedad por un periodo mas largo, se realiza el ensayo sumergiendo los especímenes en agua por un periodo de 6 días antes de ensayarlos. El contenido mínimo de asfalto establecido mediante este ensayo correspondió al 6.0% en base al peso seco del agregado (Gráfica 6.2).

#### **2. EQUIPO UTILIZADO**

- a) Balanza capaz de pesar 5000 +/- 0.1 g.

- b) Mezclador mecánico tipo planetario como el Hobart C-100, N-50, o A-120 (Fotografía 6.15)
- c) Cabeza abrasiva de 2.27 kg (5 lb) (Fotografía 6.16)
- d) Charola de fondo plano resistente al oxido de 300 mm de diámetro (12 plg) y una placa de montaje con abrazaderas.
- e) Cuadrados de 300 mm x 300 mm cortados de fieltro impermeable saturado de 14 kg (30 lb).
- f) Tazón de mezclado con fondo redondeado resistente al oxido.
- g) Espiga de madera de 25 mm de diámetro por 400 mm de longitud.
- h) Horno de corriente forzada de temperatura controlada, a  $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ .
- i) Baño de agua con una temperatura constante de  $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ .
- j) Manguera de hule reforzado de 127 mm de longitud, 19 mm de diámetro interno con espesor de pared de 6.25 mm. (Fotografía 6.16)

### **3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO**

- a) Secar los agregados a peso constante en un horno entre  $38$  y  $150^{\circ}\text{C}$ , cuando se evalúe el ensayo de abrasión húmeda para calcular el porcentaje óptimo de asfalto. Enfriar a  $25 \pm 3^{\circ}\text{C}$ . Si el ensayo se realizara solamente para verificar el diseño de una mezcla o para control en campo, los agregados se secan solamente al aire.
- b) Tamizar el agregado utilizando los tamices de 9.5 mm (3/8), 4.75 mm (No.4) Y 2.36 mm (No.8).
- c) Determinar el peso del relleno mineral, aditivos, agua y emulsión requeridos según la formula de trabajo a ensayar.



**Fotografía. 6.15.**

**Maquina de Abrasión húmeda C-100, según ISSA TB 100**

- d) Añadir el relleno mineral y mezclar en seco por 60 segundos, o hasta obtener una distribución uniforme. Añadir el agua deseada y cualquier aditivo líquido y mezclar por 60 s o hasta que el agregado este completamente húmedo.
- e) Añadir la cantidad de emulsión requerida y mezclar por 30 segundos.
- f) Centrar el molde sobre los cuadrados de fieltro impermeable. Verter inmediatamente la mezcla dentro del molde.
- g) Enrasar la muestra con una varilla de madera, utilizando un movimiento de aserrado para prevenir la segregación. Completar este paso en 45 segundos después de añadida la mezcla (fotografía 6.17).
- h) Remover el molde y colocar la muestra en un horno a 60°C, y secar a peso constante por 15 horas.



(A)



(B)

**Fotografía. 6.16.**

(A) Cabeza abrasiva compuesta por tubo de caucho, (B) espécimen sumergido y sometido a abrasión.

- i) Remover la mezcla seca del horno y permitir que enfríe a la temperatura de ensayo.
- j) Remover el exceso de fieltro cortándolo alrededor de la muestra, dejando como mínimo 10 mm fuera de las orillas de la muestra.
- k) Pesar la muestra y colocarla en el baño de agua a 25°C, por un periodo de 1 a 6 días. Transcurrido este tiempo remover la muestra y colocarla sobre la charola de fondo plano.
- l) Montar el espécimen a la placa de montaje mediante las abrazaderas. Cubrir la muestra con agua destilada a 25°C, a una profundidad de 6 +/- 0.5 mm.



**Fotografía. 6.17.**

Elaboración de espécimen de ensayo para prueba de abrasión en pista húmeda, según ISSA TB 100

- m) Colocar una manguera nueva sobre la cabeza de abrasión. Una opción es utilizar una sección de la manguera por ensayo, rotándola 90° para cada ensayo realizado.
- n) Fijar la cabeza abrasiva sobre el husillo de la mezcladora. Levantar la placa de montaje hasta que la manguera de caucho este en un leve contacto (flotando) sobre la superficie de la muestra.
- o) Encender el mezclador a baja velocidad y someter el espécimen a abrasión mecánica por un período de 5 minutos.
- p) Remover la muestra y lavar el material desprendido con un chorro suave de agua fría (Fotografía 6.18).
- q) Colocar el material lavado en un horno a 60°C y secar a peso constante. Remover la muestra seca y permitir que enfríe hasta alcanzar la temperatura de ensayo.
- r) Pesar la muestra y calcular la pérdida por abrasión.



(A)



(B)

**Fotografía. 6.18.**

Especímenes WTAT (A) antes del ensayo, y (B) después de ensayados



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAS DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELAS DE INGENIERIA CIVIL**

**FORMULARIO 6.13  
DETERMINACION DE PERDIDA POR ABRASION  
EN PISTA HUMEDA (WET TRACK ABRASION TEST). ISSA TB 100**

HOJA No.: 1

Solicita: Universidad de El Salvador	
Proyecto: Trabajo de Graduación	
Fecha de solicitud: 27-02-06	Fecha de recepción: 11-06-07

Laboratorista: Hugo Mejía	Fecha de ensayo: 22-06-07
Emulsion tipo: CSS-1hp	Maq. Utilizada: C-100 Hobart
Granulometria: Tipo III	Especificacion: <b>1 hora 538 g/m2</b>

Porcentaje de emulsion	FORMULA DE TRABAJO					
	10	10	11	11	12	12
% Residuo de asfalto	6,2	6,2	6,82	6,82	7,44	7,44
Temp. De ensayo (oC)	27	27	26	26	27	27
Peso original (gr)	2000	2196	2299	2132	2098	2244
Peso final (gr)	1984	2182	2291	2123	2091	2236
Perdida WTA (gr)	16	14	8	9	7	8
Perdida por área (g/m2)	526,4	460,6	260,8	293,4	228,2	260,8
Perdida por área (g/ft2)	48,96	42,84	24,48	27,54	21,42	24,48
Perdida promedio (g/m2)	<b>493,5</b>		<b>279,6</b>		<b>246,8</b>	

Para obtener la perdida por unidad de area. Multiplicar los gramos perdidos por el factor apropiado			
	Tiempo en minutos	Factor g/ft2	Factor g/m2
C-100	5 min = +/- 2 s	3.06 x 1.0	32.9 x 1.0
A-120	6 min 45 s = +/- 2 s	2.78 x 1.17	29.9 x 1.17
N-50	5 min 15 s = +/- 2s	3.48 x 0.78	37.5 x 0.78
N-50 Modificada	5 min 15 s = +/- 2s	3.06 x 1.0	32.9 x 1.0

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Ing. Jefe de Laboratorio

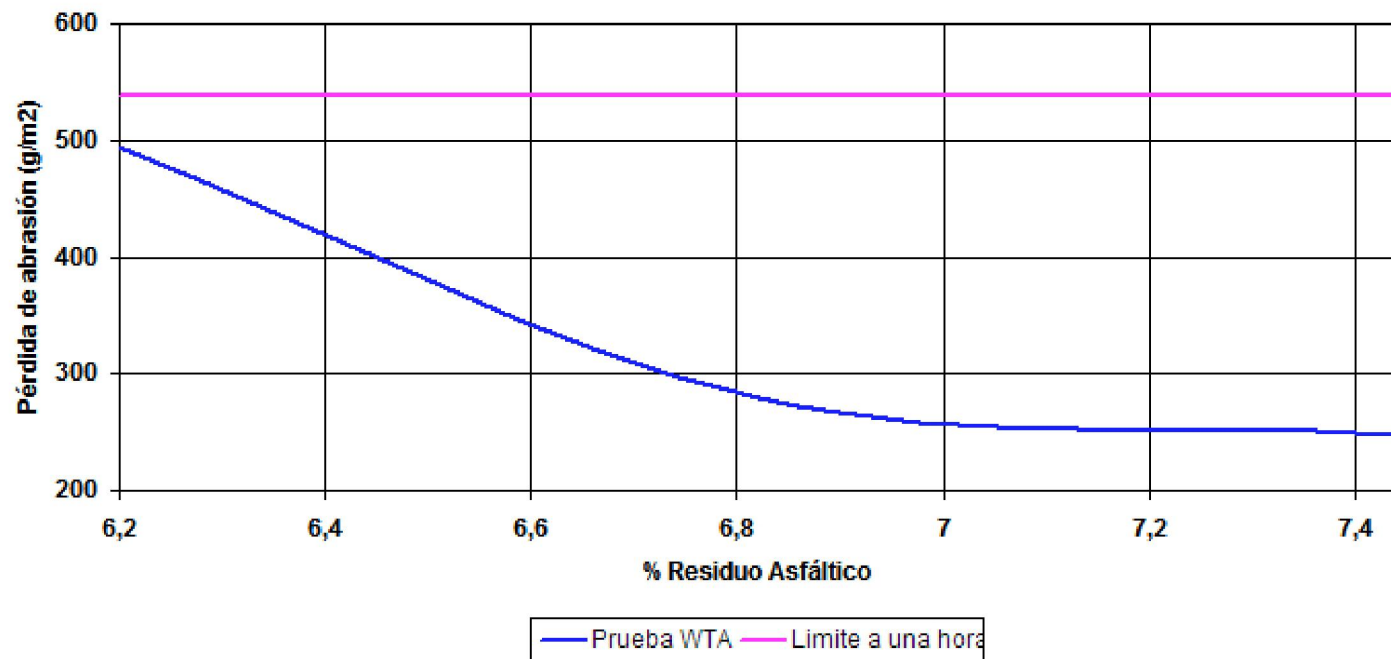




UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO MÍNIMO  
DE ASFALTO. ISSA TB 100  
GRAFICA 6.2

### Pérdida por WTA



### **6.3.4.2. Determinación del contenido máximo de asfalto ISSA TB 109**

#### **1. DESCRIPCION**

El contenido máximo de asfalto es el porcentaje para el cual la mezcla no presenta exudación excesiva de asfalto al ser sometida a cargas de tráfico intenso y se determina mediante los datos obtenidos del ensayo de la rueda cargada descrito en el estándar ISSA TB 109. La mezcla es compactada por medio de una rueda de caucho cargada con 57 Kg que proporciona fatiga a la muestra mediante un movimiento alternativo.

El exceso de asfalto se mide vertiendo arena de Ottawa sobre la muestra antes de ser ensayada y calculando la ganancia en peso del espécimen por la arena adherida a él debido al asfalto exudado y se expresa en gramos de arena adherida por área en  $g/m^2$  o  $g/pie^2$ . El método puede ser utilizado además para medir otras características de la mezcla como rangos de compactación (gravedad específica compactada) y deformaciones plásticas de la mezcla (estabilidad, ver ensayo ISSA TB 147).

Se ensayaron seis especímenes, dos por cada contenido de emulsión a analizar, obteniéndose los resultados mostrados en el formulario 6.14. El contenido máximo de asfalto residual establecido mediante este ensayo corresponde al 7.5% con respecto al peso seco del agregado (Grafica 6.3).

#### **2. EQUIPO UTILIZADO**

- a) Maquina de ensayo de rueda cargada como la mostrada en la fotografía 6.19.
- b) Balanza con capacidad para 2000 g o mas y con precisión de 0.1 g.
- c) Horno capaz de proporcionar una temperatura constante (140oF).
- d) Tazones de mezclado o beakers de 600 a 1000 ml.
- e) Placas de montaje para especímenes (2.1 k).
- f) Arena fina de Ottawa <30, malla >100 (designación ASTM C-109 de grado estándar), Tazón metálico de 1000-5000 ml.
- g) Aspiradora casera.
- h) Termómetro para medir la temperatura de la arena.

- i) Marco de acero para arena con banda de espuma de caucho (2.1 n).



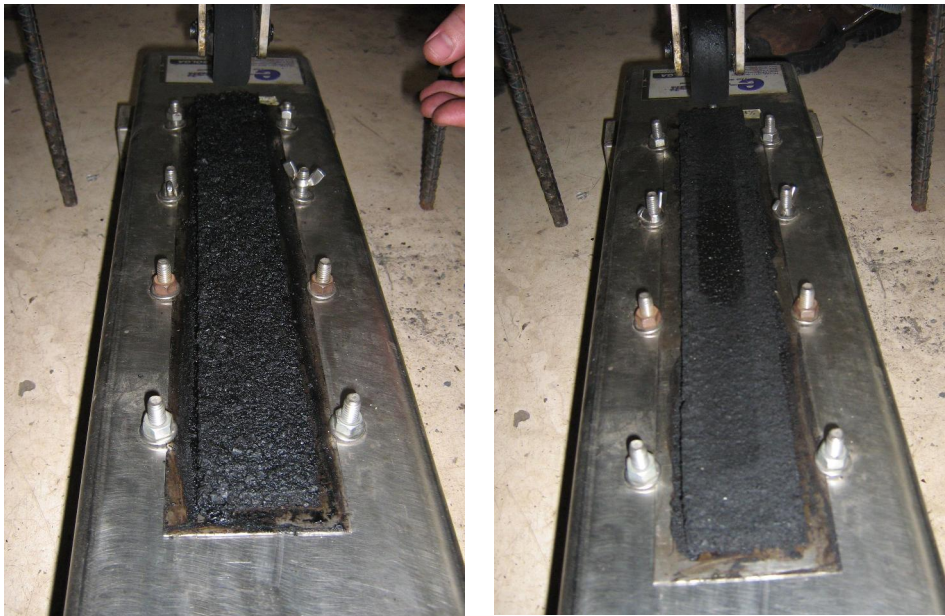
**Fotografía. 6.19.**

Maquina de Rueda Cargada, según estándar ISSA TB 109

### **3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO**

- a) Secar los agregados a peso constante en un horno entre 38 y 150°C, cuando se evalúe el ensayo de abrasión húmeda para calcular el porcentaje óptimo de asfalto. Enfriar a 25 +/-3°C. Si el ensayo se realizara solamente para verificar el diseño de una mezcla o para control en campo, los agregados se secan solamente al aire.
- b) Determinar el peso del relleno mineral, aditivos, agua y emulsión requeridos según la formula de trabajo a ensayar.
- c) Añadir el relleno mineral y mezclar en seco por 60 segundos, o hasta obtener una distribución uniforme. Añadir el agua deseada y cualquier aditivo liquido y mezclar por 60 s o hasta que el agregado este completamente húmedo.
- d) Añadir la cantidad de emulsión requerida y mezclar por 30 segundos.
- e) Centrar el molde sobre los cuadrados de fieltro impermeable. Verter inmediatamente la mezcla dentro del molde.

- f) Enrasar la muestra con una varilla de madera, utilizando un movimiento de aserrado para prevenir la segregación. Completar este paso en 45 segundos después de añadida la mezcla (fotografía 6.17).
- g) Remover el molde y colocar la muestra en un horno a 60°C, y secar a peso constante por 15 horas.
- h) Remover la mezcla seca del horno y permitir que enfríe a la temperatura de ensayo.
- i) Colocar el espécimen sobre la placa de montaje, fijamente contra los pines de emplazamiento y sujetarlo en posición con los sujetadores de arandela y las tuercas de oreja proporcionadas (Fotografía 6.20).
- j) Mantener la temperatura a 77oF +/- 2oF o como se establezca en otras especificaciones.
- k) Examinar la rueda y limpiarla completamente con solventes evaporatorios y agua.
- l) Colocar la rueda sobre el espécimen y cargar la caja de carga con el peso deseado.
- m) Colocar el contador a cero e iniciar la compactación.



(A)

(B)

**Fotografía. 6.20.**

(A) Espécimen ensamblado antes de ensayar, (B) Espécimen después de 1000 ciclos de compactación.

- n) Después de 1000 ciclos, o por otras especificaciones, parar la maquina, descargar y lavar el espécimen removiendo las partículas perdidas y secar a 140°F a peso constante.
- o) El peso seco del espécimen es anotado y se monta nuevamente en la placa de montaje en su posición original. El marco para arena es centrado sobre el espécimen. 300 gramos de arena caliente (180°F) son esparcidos uniformemente en el molde para arena. La rueda es inmediatamente cargada sobre el espécimen y se completan otros 100 ciclos (Fotografía 6.21).
- p) Toda la arena perdida es removida con la aspiradora casera y el espécimen es removido y pesado. El incremento en peso debido a la adhesión de arena es anotado.



(A)



(B)

**Fotografía. 6.21.**

(A) Especímenes de ensayo fraguados antes de ensayar,

(B) Espécimen montado listo para ensayar.



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAS DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELAS DE INGENIERIA CIVIL**

**FORMULARIO 6.14  
DETERMINACION DE ADHESION DE ARENA POR METODO  
DE LA RUEDA CARGADA (LOAD WHEEL TEST) ISSA TB 109**

HOJA No.:           1          

Solicita: Universidad de El Salvador	
Proyecto: Trabajo de Graduación	
Fecha de solicitud: 27-02-06	Fecha de recepción: 11-06-07

Laboratorista: Hugo Mejía	Fecha de ensayo: 25-06-07
Emulsion tipo: CSS-1hp	Carga: 125 Lb
Granulometría: Tipo III	Especificación: <b>Adhesión 538 g/m<sup>2</sup></b>

Porcentaje de emulsion	FORMULA DE TRABAJO					
	10A	10B	11A	11B	12A	12B
% Residuo de asfalto	6,2	6,2	6,82	6,82	7,44	7,44
Temp. De ensayo (oC)	28	28	27	28	28	27
Peso original (gr)	469	550	524	520	515	545
Peso final (gr)	476	556	532	528	527	556
Adhesion LWT (gr)	7	6	8	8	12	11
Adhesion por área (g/m <sup>2</sup> )	516,48	442,7	590,26	590,26	885,39	811,61
Adhesion por área (g/ft <sup>2</sup> )	48	41,14	54,86	54,86	82,28	75,43
Adhesion promedio (g/m <sup>2</sup> )	<b>479,59</b>		<b>590,26</b>		<b>848,5</b>	

Factor de area g/ft <sup>2</sup> =	0,14583	Adhesion por area =	Adhesion LWT
Factor de area g/m <sup>2</sup> =	0,0135533		Factor de area

Observaciones: Se realiza 1000 ciclos iniciales en la muestra para obtener el la  
huella, luego se coloca la arena a 180 °C en la huella de la muestra y se realizan los 100 ciclos  
finales  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

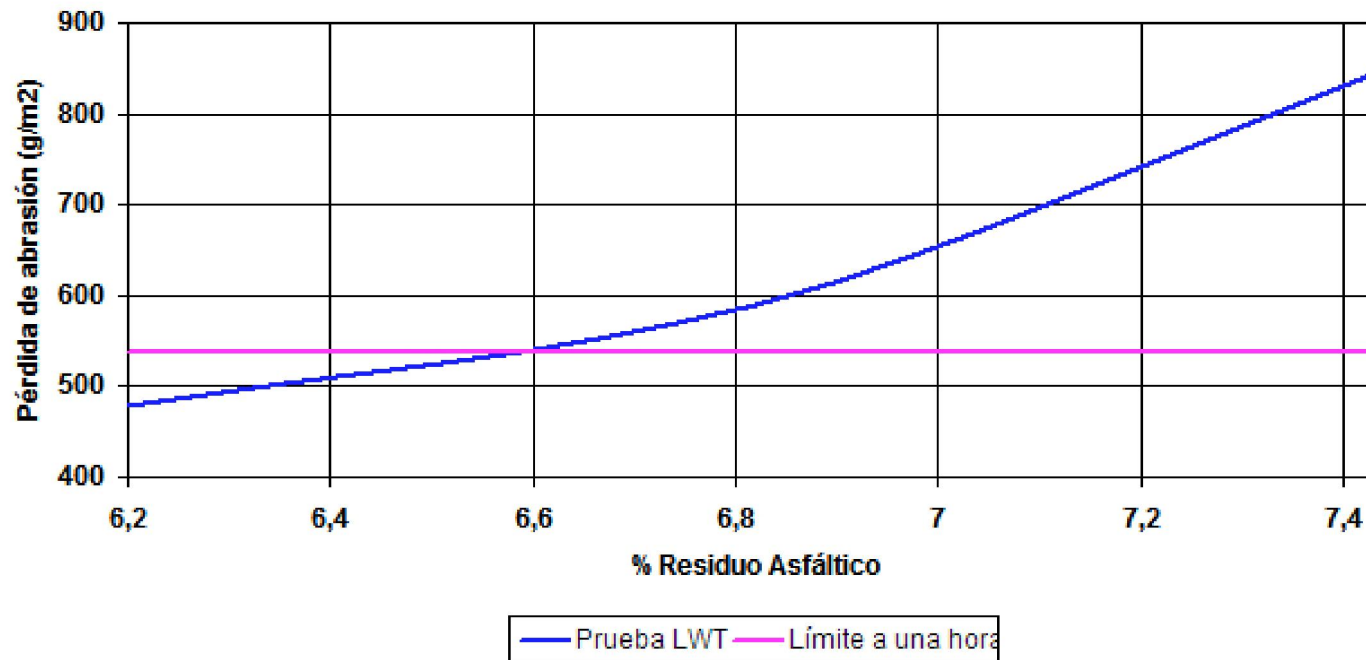
\_\_\_\_\_   
 Ing. Jefe de Laboratorio



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO MÁXIMO  
DE ASFALTO. ISSA TB 109  
GRAFICA 6.3

### Adhesión por LWT



#### **6.3.4.3. Cálculo del contenido óptimo de asfalto**

La determinación del contenido óptimo de asfalto en la mezcla se determina mediante la intersección de las gráficas obtenidas con los datos ploteados para la prueba de abrasión en pista húmeda y el ensayo de la rueda cargada, según el procedimiento establecido en el boletín técnico ISSA TB 111 y que se ilustra en la figura 4.4.

El contenido óptimo se estableció en aproximadamente 10% de contenido de emulsión equivalente al 6.25% de contenido de asfalto residual, que se encuentra muy cercano al contenido mínimo establecido por la ISSA (Ver tabla 4.5). La determinación gráfica del contenido óptimo de asfalto se ilustra en la gráfica 6.4.

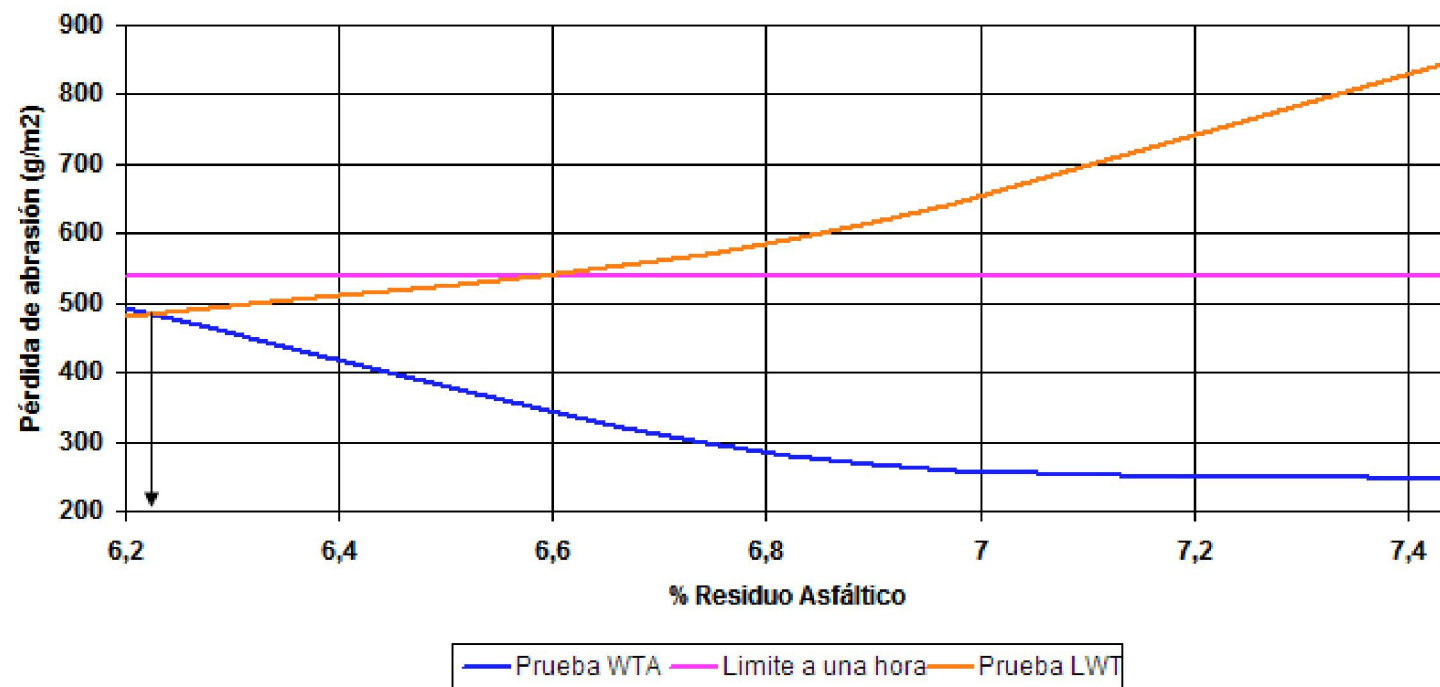




UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO  
DE ASFALTO. ISSA TB111  
GRAFICA 6.4

### Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto



### **6.3.5. DETERMINACION DE LA ESTABILIDAD DEL SISTEMA ISSA TB 147**

Una de las características de los sistemas de microsurfacing es que estos pueden ser utilizados como relleno de rodaderas en pavimentos deformados, en estos casos dado que el espesor de colocación medio es mucho mayor de 10 mm, es conveniente verificar las características de desplazamiento lateral como vertical y de compactación que presentan las mezclas de microsurfacing bajo compactación simulada de cargas de tráfico. El boletín técnico ISSA TB establece tres posibles métodos para determinar dichas características los cuales contemplan el ensayo modificado de la rueda cargada, el ensayo británico modificado de rueda cargada y el ensayo LAI/GA para rueda cargada.

El método utilizado para determinar la estabilidad de la mezcla fue el del ensayo modificado de la rueda cargada, el cual se diferencia del ensayo convencional descrito para encontrar el contenido máximo de asfalto, en que se fabrican especímenes de mayor espesor (0.5 plg) y se realizan 1000 ciclos de carga de 57 Kg, sin adhesión de arena.

Una vez sometido el espécimen al ciclo de carga correspondiente este es lavado y medido, anotándose la deformación vertical (ahuellamiento) y lateral que este presenta, anotándose como porcentaje del espesor y ancho inicial respectivamente.

A pesar que no estaba contemplado realizar trabajos específicos de relleno de rodaderas con el diseño establecido, se realizó esta prueba para comprobar la estabilidad que presentaría la mezcla en secciones donde se colocaran espesores mayores de los 10 mm (frecuentemente se encuentran secciones con deformaciones plásticas de la carpeta que son rellenas con espesores mayores al espesor del tiraje general).

Se ensayaron seis especímenes, dos por cada contenido de asfalto a analizar, obteniéndose los resultados que se muestran en la tabla 6.5 y en el formulario 6.15.



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAS DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELAS DE INGENIERIA CIVIL**

**FORMULARIO 6.15**  
**DETERMINACION DE LA ESTABILIDAD Y RESISTENCIA A LA COMPACTACIÓN**  
**POR METODO DE LA RUEDA CARGADA (LOAD WHEEL TEST) ISSA TB 147**

HOJA No: 1

Solicita: Universidad de El Salvador	
Proyecto: Trabajo de Graduación	
Fecha de solicitud: 27-02-06	Fecha de recepción: 11-06-07
Laboratorista: Hugo Mejía	
Fecha de ensayo: 27-06-07	
Emulsion tipo: CSS-1hp	
Carga: 125 lb	
Granulometría: Tipo III	
Especificación: 5% de desplaz. Lateral	

% Emulsion	FORMULA DE TRABAJO																	
	10A			10B			11A			11B			12A			12B		
Ensayo	<b>Antes</b>																	
Descripción	Superior	Centro	Inferior	Superior	Centro	Inferior	Superior	Centro	Inferior	Superior	Centro	Inferior	Superior	Centro	Inferior	Superior	Centro	Inferior
Ancho	5,04	4,88	4,96	5	4,96	4,93	5,03	4,95	5,069	5,01	5,03	4,98	4,93	4,95	4,95	4,89	4,92	4,9
Espesor	0,97	0,89	0,95	0,89	0,92	0,88	0,97	0,88	0,89	0,96	0,9	0,93	1,05	0,98	1,03	1,01	0,98	1
Ensayo	<b>Despues</b>																	
Ancho	5,59	5,2	5,42	5,51	5,22	5,33	5,43	5,05	5,28	5,31	5,15	5,19	6,31	5,53	5,82	6,12	5,43	5,67
Espesor	1,08	0,94	1,05	1	0,97	0,94	1,04	0,91	0,94	1,02	0,93	0,98	1,59	1,34	1,24	1,46	1,29	1,2
Huella	0,42	0,31	0,36	0,38	0,26	0,31	0,32	0,23	0,28	0,36	0,26	0,32	1,52	0,49	0,76	1,46	1,29	1,2
Prueba	<b>Desplazamiento lateral</b>																	
Diferencia	0,55	0,32	0,46	0,51	0,26	0,4	0,4	0,1	0,22	0,3	0,12	0,21	1,38	0,58	0,87	1,23	0,51	0,77
Diferencia (%)	10,91	6,56	9,27	10,2	5,24	8,11	7,95	2,02	4,35	5,99	2,39	4,22	27,99	11,72	17,58	25,15	9,36	15,71
Promedio (%)	8,91			7,85			4,77			4,2			19,1			16,74		
Desplazamiento (%)	<b>8,38</b>						<b>4,48</b>						<b>17,92</b>					
Prueba	<b>Desplazamiento vertical</b>																	
Diferencia	0,11	0,05	0,1	0,11	0,05	0,06	0,07	0,03	0,05	0,06	0,03	0,05	0,54	0,36	0,21	0,45	0,31	0,2
Diferencia (%)	11,34	5,62	10,53	12,36	5,44	6,82	7,22	3,41	5,62	6,25	3,33	5,38	51,43	36,73	20,39	44,55	31,63	20
Promedio (%)	9,16			8,21			5,41			4,99			36,18			32,06		
Desplazamiento (%)	<b>8,68</b>						<b>5,2</b>						<b>34,12</b>					

Observaciones: Se realizan 1000 ciclos a la muestra para obtener la huella y luego se mide dicha muestra tanto el ancho como el espesor.

\_\_\_\_\_  
 Ing. Jefe de Laboratorio

<b>Porcentaje de Emulsión (%)</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
Desplazamiento lateral promedio (%)*	8.38	4.48	17.92
Ahuellamiento promedio (%)*	8.68	5.20	34.12
Limite Desplaz. Lateral ISSA A143	5%	5%	5%
Limite Ahuellamiento ISSA TB A143	10%	10%	10%

\* Porcentaje en base a las dimensiones iniciales del espécimen

**Tabla 6.5.**

Resultados de ensayo de estabilidad de mezcla mediante el método modificado de la rueda cargada, ISSA TB 147

#### **6.4. ANALISIS DE RESULTADOS.**

Se describen a continuación los aspectos más relevantes observados al realizar los ensayos respectivos a cada componente y analizar los resultados obtenidos en cada uno de ellos.

##### **6.4.1. AGREGADO MINERAL.**

El agregado mineral es roca basáltica de muy buena calidad con un índice de desgaste muy bajo, y que se encuentra dentro de los rangos establecidos en las especificaciones, cuya granulometría se acopla a la establecida para microsurfacing con granulometría tipo III, con tamaño máximo nominal de 3/8" (Tabla 6.7).

Se eligió el banco de préstamo de "LA CANTERA S.A. DE C.V.", por ser un material con una historia reciente de buen desempeño en este tipo de sistemas de capa delgada, lo cual se pudo corroborar mediante los datos obtenidos en los ensayos que se le realizaron, resultados que se muestran en la tabla 6.6.

##### **6.4.2. EMULSION ASFALTICA.**

Se comprobó que la emulsión asfáltica utilizada es compatible con el agregado, con un contenido de asfalto adecuado y con propiedades aceptables según el proyecto para el

cual se utilizara. El residuo de asfalto presento una penetración alta y un punto de ablandamiento por debajo del establecido por las especificaciones pero adecuado para los rangos de temperaturas encerrados en el proyecto. Es de notar que el punto de ablandamiento esta íntimamente relacionado con el tipo de asfalto utilizado y el tipo de modificante añadido a la emulsión, en nuestro caso se utilizo un polímero elastómero SBR, el cual se clasifica como modificador tipo I, este tipo de modificador puede aumentar en aproximadamente 10°C . El punto de ablandamiento del asfalto y es el que presenta mayor estabilidad para modificar emulsiones asfálticas, además de ser el mas adecuado para utilizarse en climas calidos.

<b>ASTM</b>	<b>Descripción</b>	<b>Resultado</b>	<b>Especificado*</b>
C-131	Resistencia a la Abrasión (%)	23.2	< 30
D-2419	Equivalente de arena (%)	71.4	> 65
C128	Gravedad Especifica Seca	2.50	2.40 - 2.90
	Absorción (%)	2.69	---
C-29	Peso Unitario Suelo (g/cm <sup>3</sup> )	1.40	---
	Peso Unitario Varillado (g/cm <sup>3</sup> )	1.61	---
C-136	Análisis Granulométrico	Tipo III	Tipo III

\* Según boletín ISSA A143

**Tabla 6.6.**

Resultados obtenidos en ensayos realizados al agregado mineral

La elección del asfalto base es indispensable cuando se requieran puntos de ablandamiento altos puesto que los agentes modificadores varían esta propiedad aproximadamente entre 8 - 12°C.

Se concluye que la emulsión asfáltica utilizada presenta compatibilidad con el agregado base y cumple con todos los requisitos establecidos por la ISSA a excepción del punto de ablandamiento, el cual, sin embargo, es adecuado para los rangos de temperaturas esperadas en campo (Tabla 6.8).

Tamiz		Resultado (%)	Especificación ISSA A143	Tolerancia (%)
9.52 mm	3/8"	100	100	+/- 5
4.75 mm	#4	85.4	70-90	+/- 5
2.38 mm	#8	55.9	45-70	+/- 5
1.19 mm	#16	35.5	28-50	+/- 5
0.60 mm	#30	23.2	19-34	+/- 5
0.30 mm	#50	15.9	12-25	+/- 4
0.15 mm	#100	11.4	7-18	+/- 3
0.075	#200	8.5	5-15	+/- 2

**Tabla 6.7.**

Resultados obtenidos del análisis granulométrico, según estándar ASTM C-136-01.

Ensayo	Descripción	Resultado	Especificado*
D-244	Residuo después de destilación (%)	63.1	>62
D-5	Penetración a 25°C (mm)	78	40 - 90
D-36	Punto de ablandamiento por anillo y bola (°C)	50	>57
D-244	Viscosidad Saybrot -Furol a 25°C (s)	27.8	20 - 100
	Sedimentación a 1 día (%)	0.94	< 1
	Sedimentación a 5 días (%)	4.71	< 5
	Análisis de tamices (%)	0.06	< 0.1

\* Según boletín ISSA A143

**Tabla 6.8.**

Resultados obtenidos en ensayos realizados al agregado mineral

### 6.4.3. DISEÑO DE MEZCLA.

El diseño de la mezcla estableció que los parámetros de pérdida por abrasión en pista húmeda y de adhesión de arena por ensayo de la rueda cargada se encuentran por debajo de los límites establecidos en las especificaciones de la ISSA, igualmente el contenido de asfalto residual cumple con el mínimo establecido, el tiempo de mezclado para el diseño de la mezcla se estableció mayor de 120 s, con consistencia fluida. El ensayo de estabilidad (ISSA TB 147) de mezcla proporcionó valores que sobrepasaban las deformaciones mínimas establecidas, sin embargo dado que la mezcla no se utilizó para relleno de rodaduras, los resultados pueden considerarse aceptables.

Se utilizó agregado pétreo con granulometría Tipo III y emulsión tipo CSS-1hp, la fórmula de laboratorio obtenida se resume en la tabla 6.9.

El rango admisible en laboratorio para el contenido de asfalto residual en la mezcla se estableció en 6.0% como mínimo y 7.5% como máximo. El rango de tolerancia establecido en base a los valores admisibles es de 6.0 % como mínimo y de 6.4% como máximo, sin embargo pueden admitirse contenidos de asfalto mayores a 6.4% siempre y cuando no sobrepasen el rango máximo admisible de 7.5% en laboratorio.

<b>Materiales</b>	<b>Formula</b>	<b>Tolerancia</b>	<b>Especificación</b>
Agregado (%)	100	-	-
Relleno mineral (%)	0.5	+/- 0.25	0-3%
Agua (%)	9.0	-	La necesaria
Aditivo (%)	0.15	-	El necesario
Contenido Asfalto (%)	6.2	+/- 0.2	5.5-9.5%
Rango aplicación (Kg/m <sup>2</sup> )	15.1	-	8.1-16.2 Kg/m <sup>2</sup>

**Tabla 6.9.**

Proporcionamiento de la mezcla obtenido en laboratorio

#### **6.4.4. RESUMEN**

El desempeño que tendrá una mezcla de microsurfacing durante su vida de servicio depende mucho de la calidad de los materiales utilizados en su elaboración y a su vez del correcto diseño de la mezcla, puesto que un mal diseño puede resultar en un desempeño defectuoso aun y cuando los materiales sean de la mejor calidad.

Se debe tener especial cuidado en la selección del agregado que se utilizara, puesto que este es el encargado de soportar las cargas de tráfico una vez colocada la carpeta, de igual forma debe tenerse mucho cuidado en la selección y diseño de la emulsión, la cual deberá de diseñarse en base a la química que presente el agregado.

El correcto diseño de la emulsión depende también de la elección acertada del asfalto base, puesto que dependerá de las características de este (viscosidad, punto de ablandamiento, penetración, composición química, etc.) que se establecerá el agente modificador idóneo para alcanzar las prestaciones requeridas para un proyecto en particular. El mejoramiento de las características del asfalto al momento de modificarlo a través de un polímero, están íntimamente relacionados con el tipo de polímero utilizado y las características iniciales del asfalto.

Es de tener en cuenta que las especificaciones establecidas por la International Slurry Surfacing Association son solamente una guía, y deben adecuarse a las características técnicas que presente cada proyecto.



# ***Capítulo VII***

---

***Aplicación del Sistema de Microsurfacing,  
Proyectos Avenida Masferrer Norte y Km 37+500  
Carretera CA-08W***



## **7.1. INTRODUCCION**

El objetivo principal de este capítulo es la descripción de la metodología y los aspectos constructivos a tomar en cuenta para la implementación de sistemas de microsurfacing tanto en jornadas diurnas como en jornadas nocturnas. Los proyectos que serán descritos en el presente trabajo de investigación corresponden a: (1) Colocación de microsurfacing Avenida Alberto Masferrer en la colonia escalón entre el Paseo General Escalón (Redondel Masferrer) y la 9ª. Calle Poniente bis, (2) colocación microsurfacing Km 37+500 carretera CA-8W que de San Salvador conduce a Sonsonate. Los proyectos fueron realizados en horario nocturno y diurno respectivamente para evaluar los métodos de construcción de los sistemas de microsurfacing tanto en condiciones permanentes de insolación y temperaturas elevadas como en condiciones de temperaturas bajas.

Antes de la implementación de cualquier proyecto de microsurfacing, se deben realizar estudios preliminares con el fin de recabar datos que nos permitan diseñar mezclas acordes a las condiciones particulares de cada proyecto. Es así que primeramente se debe estudiar y analizar el pavimento a ser tratado, verificar las condiciones superficiales y de macro textura que presenta, si posee algún tipo de deterioro que deba ser reparado antes de la colocación o si en verdad amerita la colocación de microsurfacing y no otra opción de mantenimiento o reparación. Además, Se deben de conocer las condiciones de tráfico a las que estará sometido el sistema, evaluar el tránsito promedio diario anual (TPDA) y la distribución de ejes en la vía así como su proyección de crecimiento a futuro (tráfico esperado). Es de vital importancia el estudio de las condiciones ambientales predominantes en la zona en que se desarrollara

cualquier proyecto de microsurfacing, puesto que el comportamiento a corto plazo de la mezcla se ve influenciado directamente por las condiciones de humedad y temperatura durante su colocación.

Es así que en lugares donde históricamente las temperaturas son relativamente frescas se tendrán tiempos promedios de curado mucho mayores que en lugares en donde las temperaturas sean muy elevadas, aspecto de vital importancia para determinar la cantidad de agua y la trabajabilidad de la mezcla en campo y el uso que se le dará al aditivo. De igual forma, las condiciones de lluvia esperadas en la zona donde el proyecto estará en servicio deben considerarse en la etapa de diseño, ya que los parámetros de desgaste en pista húmeda (ISSA TB 100) deberían ser un poco más restrictivos que en lugares donde no se esperen condiciones de humedad y lluvias severas.

Nuestro país se caracteriza por registrar precipitaciones intensas en su época lluviosa, por lo que el valor de desgaste en pista húmeda deberá ser muy controlado. De igual manera, la humedad relativa al ser la medida de la cantidad de vapor de agua presente en el aire, nos da una idea de la cantidad de agua que todavía puede absorber el ambiente, una humedad relativa del 100% significa que no se traspiraría. Esto es de mucha relevancia en sistemas de microsurfacing y sistemas de emulsiones asfálticas en general, puesto que el mecanismo de curado de las mezclas es la evaporación del agua, los valores altos de humedad relativa afectaran el tiempo de curado de la mezcla prolongándola, igualmente la presencia de temperaturas bajas, caso contrario temperaturas muy altas pueden acelerar drásticamente el curado de la mezcla.

Una vez conocidas las condiciones pre-tratamiento que presenta un proyecto se deben

de establecer parámetros que definan los objetivos que se pretenden alcanzar al implementar el mantenimiento, determinando el nivel de IRI (Índice de Rugosidad Internacional) que se desea alcanzar, si los sistemas de microsurfacing serán utilizados para relleno de rodaderas o solamente como un tratamiento superficial, si se busca solamente comprar tiempo a una carretera para que no presente deterioros mayores mientras es reparada, etc. Estos parámetros establecerán los objetivos planteados para el proyecto y definirán en gran medida el diseño del sistema de microsurfacing.

## **7.2. ANALISIS TRAMO AVENIDA ALBERTO MASFERRER NORTE**

### **7.2.1 ANTECEDENTES**

#### **7.2.1.1 Ubicación geográfica del proyecto**

El proyecto analizado está localizado en la avenida Alberto Masferrer entre redondel Masferrer y redondel Coronel José Artiga, localizado en la colonia Escalón, departamento de San Salvador y consistió en la pavimentación de 8,374 m<sup>2</sup> de dicha avenida con sistema de microsurfacing en ambos carriles. (Ver figura 7.1.)

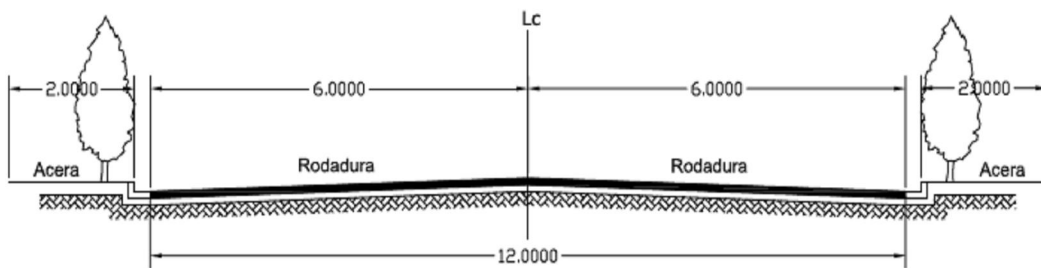
#### **7.2.1.2 Diseño geométrico de la vía**

La avenida Alberto Masferrer consta de aproximadamente 850 m de longitud, con ancho de rodaje de 12.0 m, constituida por dos carriles en sentido Norte-Sur y dos más en sentido Sur-Norte de 3.0 m cada uno de pendiente transversal aproximada de 2%, con aceras de 1.50 m, teniendo un derecho de vía de aproximadamente 15.0 m (Ver figura 7.2.).



**Figura 7.1.**

Ubicación proyecto Avenida Alberto Masferrer.



**SECCION TÍPICA DE LA CALLE  
AV. MASFERRER NORTE-SUR  
Via Principal Urbana**

**Figura 7.2.**

Sección transversal Avenida Alberto Masferrer Norte.

### **7.2.1.3 Condiciones existentes del pavimento.**

La avenida Alberto Masferrer es catalogada, de acuerdo a la Ley de Carreteras y Camino Vecinales de El Salvador, como una vía urbana principal sometida a tráfico intenso (TPDA > 2,000), con un índice de servicialidad de 3.10 y un valor de IRI de 3.7, por lo que la arteria se considera con "serviciabilidad media", la cual presentaba daños mayormente superficiales, con daños estructurales aislados.

La severidad de estos daños variaba de moderada a intensa, observándose desde fisuramiento, agrietamiento, peladuras hasta agrietamiento tipo piel de cocodrilo. Debido a los trabajos de cambio de drenaje principal efectuados sobre la vía y el Paseo general escalón (Junio 2007), la mayor parte de la carpeta sufrió abrasión mecánica, peladuras y raspaduras, muchas de las cuales presentaban profundidades considerables (>3.0 cm), por lo que además de causar una reducción en los niveles de servicio, estos deterioros podían haber aumentado su nivel de severidad con el paso del tiempo y la acción del intemperismo. Los daños observados a través de una inspección visual general se describen en el cuadro 7.1.

A continuación se describen los daños más relevantes observados a lo largo de la Avenida Alberto Masferrer, al realizar una inspección visual general de la vía.

<b>Tipo de Deterioro Observado</b>	<b>Estado</b>	<b>Severidad</b>
Piel de Cocodrilo	< 50% en tramos de 100 m	MODERADO
Fisuramiento individual o en retícula.	10% - 50%	MODERADO
Peladuras	Zonas aisladas	LIGERO
Daños por maquinaria	Presente por toda la vía oquedades con profundidades >5.0 cm	SEVERO

**Tabla 7.1.**

Resumen de deterioros observados y nivel de severidad. Avenida Alberto Masferrer.

*1. Piel de cocodrilo*

La falla tipo Piel de Cocodrilo se reconoce por presentar la carpeta roturas longitudinales y transversales, con separación menor que 15 cm, y con abertura creciente según avanza el deterioro, este tipo de deterioro generalmente presenta hundimiento del área afectada y su aparición se debe principalmente a fallas en las capas subyacentes a la carpeta de rodadura del pavimento, a envejecimiento del asfalto, uso de ligantes muy duros o a gradientes térmicos superiores a los 30°C. Al inspeccionar la Avenida Masferrer, se observaron ciertos sectores que presentaban este tipo de deterioro con un nivel de severidad que puede catalogarse como MEDIANO (<50% de daños en tramos de 100 m), no siendo un daño generalizado en toda la arteria, sino más bien daños aislados en ciertos sectores (Fotografía 7.1). Este tipo de deterioro no puede ser corregido por los sistemas de microsurfacing, por lo que antes deben de ser reparados, removiendo la carpeta existente y realizando un bacheo a profundidad total.





**Fotografía 7.1.**

(A) Piel de cocodrilo, altura redondel Masferrer, (B) trabajos de bacheo en zona dañada

## *2. Daños por maquinaria pesada*

Este tipo de deterioro corresponde a desprendimientos, ralladuras, oquedades realizadas por el paso de maquinaria de construcción pesada como consecuencia de trabajos realizados en la zona, o por la exposición a abrasión de tipo mecánica, y se debió principalmente a los trabajos de cambio de drenaje realizados en la zona en (Junio 2007).

Gran parte de la vía analizada presenta este tipo de deterioro debido principalmente a trabajos realizados en la zona, en donde se utilizó maquinaria pesada, la severidad de los daños se puede considerar con un nivel de severidad MODERADO y en ciertas zonas SEVERO (Fotografía 7.2). Antes de realizarse cualquier trabajo con microsurfacing todas las oquedades debieron ser rellenadas, para dejar la superficie del pavimento a tratar lo más nivelada que fuera posible, aun cuando el mismo sistema de microsurfacing pudo haber rellenado las de menor profundidad.



**Fotografía 7.2.**

Oquedades y raspaduras producidas por maquinaria pesada.

### *3. Peladuras*

Este daño consiste en desprendimientos de la última capa de rodadura del pavimento y su presencia es debida principalmente a una inadecuada dosificación de agregado-ligante, a un esparcido heterogéneo del ligante asfáltico, colocación con lluvia o exceso de agua en la capa de apoyo donde se produce la de laminación, envejecimiento del ligante asfáltico, entre otras. Las pérdidas de carpeta superficial observadas se encontraban en zonas aisladas y presentaban un nivel de severidad de LIGERO a MODERADO, en los tramos en los que estaba presente dicho deterioro (Fotografía 7.3).

Este tipo de deterioro, para severidades medias y ligeras puede ser corregido con un tratamiento superficial, en nuestro caso perfectamente corregido con un tratamiento de microsurfacing, en casos más severos es recomendado un bacheo de la zona antes de la colocación del tratamiento superficial.



**Fotografía 7.3.**

Peladuras de mediana severidad, Avenida Alberto Masferrer.

#### *4. Fisuramiento individual o en retícula*

Este tipo de fisuramiento se presenta tanto longitudinal como transversalmente ya sea individual o en retícula, con aberturas menores a 3 mm, y separación mayor que 15 cm entre fisuras. Se debe principalmente al empleo inadecuado de asfaltos muy duros, gradientes térmicos y al reflejo de fisuras en la base.

En la avenida Alberto Masferrer se observó la existencia de fisuras y grietas de manera generalizada, los daños variaban desde grietas con promedio de 4.0 mm de ancho hasta fisuras de menos de 3.0 mm de ancho con longitudes variables. Los daños presentaban niveles de severidad que variaban de LIGEROS a MEDIANOS (Fotografía 7.4) de entre el 10% y 50% en tramos de 100 m. Según el nivel de deterioro que presentaba el tramo

observado, las fisuras debieron sellarse antes de colocar cualquier tratamiento superficial, aun y cuando la mezcla de microsurfacing puede rellenar fisuras menores.



**Fotografía 7.4.**

Agrietamiento moderado presente en Avenida Masferrer.

#### **7.2.1.4 Condiciones de tráfico**

En base a estudios realizados por el Ministerio de Obras Publicas, se estableció que la avenida Alberto Masferrer soporta un transito promedio diario anual de 27,284 autos, correspondiendo al 77.40% la carga de autos ligeros, 17.75% a Pickups, 1.56% a transporte colectivo, 1.54% a microbuses y 1.76% a camiones tipo C2.

Este nivel de servicio es muy exigente por lo que se determino utilizar un sistema de microsurfacing con granulometría tipo III, ya que estos son recomendados para arterias

viales con tráfico intenso y realizar las obras de colocación de mezcla en horas nocturnas para interrumpir lo menos posible la circulación de vehículos.

#### **7.2.1.5 Condiciones ambientales predominantes**

Para evaluar las condiciones ambientales de la zona donde se realizó el proyecto, se analizaron los registros de la estación El Boquerón perteneciente a la red de estaciones meteorológicas del Servicio Nacional de Meteorología, siendo esta estación la más cercana a la zona del proyecto.

Se analizaron registros de temperatura, precipitación y humedad relativa, registrándose un promedio histórico de 24.0°C de Temperatura y registros máximos y mínimos promedio de 17.5°C y 27.0°C respectivamente; con humedad relativa que oscila entre el 80% y 100%, y registros de precipitación acumulada promedio de 45.0 litros por metro cuadrado. La zona presenta temperaturas templadas y condiciones de lluvia normales para climas tropicales.

#### **7.2.2 DESCRIPCION DEL PROYECTO**

La avenida Alberto Masferrer Norte presentaba problemas superficiales generalizados y estructurales aislados que afectaban la servicialidad de la vía, sin embargo estos deterioros podían ser reparados con un tratamiento superficial que recobraría las condiciones de la carpeta de rodadura, con reparaciones aisladas del espesor total de la carpeta (bacheo). Al ser una vía urbana principal sometida a tráfico intenso

prácticamente durante todo el día, debía proporcionarse un tratamiento que resistiera estas solicitudes. Se necesitaba un sistema que fuera resistente a cargas pesadas y tráfico intenso, durable y que pudiera colocarse de manera rápida para interrumpir lo menos posible el tránsito de vehículos en la zona.

El Fondo de Conservación Vial FOVIAL necesitaba restaurar las condiciones de servicialidad en la arteria al menor costo y en el menor tiempo posible. Se escogió la implementación de sistemas de microsurfacing como alternativa de mantenimiento en la Avenida Masferrer Norte, debido a que estos sistemas son diseñados para solicitudes de tráfico en rangos moderados o intensos, presentan una vida de servicio promedio de 3-5 años, y puede permitirse la libre circulación vehicular después de 60 minutos de haber sido colocados.

El proyecto consistió en la pavimentación de 8,374 m<sup>2</sup> sobre la avenida Alberto Masferrer, pavimentándose el ancho total de la vía con una capa de espesor de 9.0 mm de microsurfacing. El proyecto se realizó en dos etapas, la primera consistió en la pavimentación del carril con sentido Sur-Norte, continuando un día después con la pavimentación del carril con sentido Norte-Sur. Ambas jornadas se realizaron en turno nocturno de 7:00 de la noche a 2:00 de la madrugada.

### **7.2.3 ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO**

La avenida Alberto Masferrer es una de las arterias más transitadas en el área metropolitana, por lo que para el proyecto se utilizó agregado según granulometría tipo III de acuerdo a lo establecido en las especificaciones ISSA A143 (Ver Tabla 4.1). La tabla 7.2 muestra las especificaciones establecidas por el Fondo de Conservación Vial FOVIAL para este proyecto.

El diseño de la mezcla se estableció mediante la metodología de diseño establecida por la ISSA y en base a los estándares presentados en el boletín técnico A143 (Ver tabla 4.5 y 4.6) para granulometrías tipo III. El ensayo Marshall modificado (ISSA TB 148) se utilizó solamente para chequear el contenido de asfalto en campo, no para establecer el proporcionamiento en laboratorio.

Los valores límite de pérdida por abrasión en pista húmeda, para el diseño de mezcla, se establecieron en  $538 \text{ g/m}^2$  para remojo en 1 hora, correspondiendo al límite inferior de pérdida por abrasión según el boletín técnico ISSA TB 100, para condiciones moderadas de humedad y lluvia. El límite de adhesión de arena según el ensayo ISSA TB 109 se estableció en  $538 \text{ g/m}^2$  puesto que la carretera está sometida a cargas pesadas y tráfico intenso con TPDA  $>1500$  (Ver sección 4.4.6), los demás requerimientos de diseño se resumen en la tabla 7.2 para sistemas de fraguado acelerado y rápida apertura al tráfico.

En la tabla 7.4 se resumen las especificaciones establecidas por el Fondo de Conservación Vial FOVIAL para este proyecto.

<b>No. De ensayo ISSA</b>	<b>Descripción</b>	<b>Especificación</b>
ISSA TB-109	Exceso de asfalto por adhesión de arena	50 g/ft <sup>2</sup> máx. 538 g/m <sup>2</sup> máx.
ISSA TB-100	<u>Perdida por abrasión en húmedo</u> Remojo por 1 hora	50g/ft <sup>2</sup> (538 g/m <sup>2</sup> )
ISSA TB-147	Desplazamiento lateral	5% máximo
ISSA TB-113	Tiempo de mezclado a 25°C (77°F)	Controlable a 120 s

**Tabla 7.2.**

Especificaciones de diseño para sistemas de microsurfacing, establecida en base a condiciones del proyecto<sup>1</sup>

<b>Parámetro</b>	<b>Especificación</b>	<b>Normativa</b>
Tipo de Emulsión	CSS-1h	ASTM D
Granulometría	Tipo III	ISSA A143
Contenido óptimo de asfalto.	680 Kg	Marshall modificado ISSA TB 148
Relleno mineral (máx.)	3% +/- 0.25	ISSA A143
Adherencia asfalto-agregado	>90%	ISSA TB 114
Compatibilidad	Pasa	ISSA TB 115
Habilidad para el curado	12 Kg/cm en 30 min + 20 Kg/cm en 60 min.	ISSA TB 139

**Tabla 7.3.**

Especificaciones de diseño proyecto Av. Alberto Masferrer



### 7.2.3.1 Formula del diseño de mezcla en laboratorio

Se utilizó agregado pétreo con granulometría Tipo III y emulsión tipo CSS-1hp, la formula de laboratorio obtenida se resume en la tabla 7.4.

<b>Materiales</b>	<b>Formula</b>	<b>Tolerancia</b>	<b>Especificación</b>
Agregado (%)	100	-	-
Relleno mineral (%)	0.5	+/- 0.25	0-3%
Agua (%)	9.0	-	La necesaria
Aditivo (%)	0.15	-	El necesario
Contenido Asfalto (%)	6.2	+/- 0.2	5.5-9.5%
Rango aplicación (Kg/m <sup>2</sup> )	15.1	-	8.1-16.2 Kg/m <sup>2</sup>

**Tabla 7.4.**

Proporcionamiento de la mezcla obtenido en laboratorio

El contenido de agua de mezclado depende de las condiciones bajo las cuales se realizo el ensayo. Todos los porcentajes están en base al peso seco del agregado. El rango admisible en laboratorio para el contenido de asfalto residual en la mezcla es de 6.0% como mínimo y 7.5% como máximo. El rango de tolerancia establecido en base a los valores admisibles es de 6.0 % como mínimo y de 6.4% como máximo, sin embargo pueden admitirte contenidos de asfalto mayores a 6.4% siempre y cuando no sobrepasen el rango máximo admisible en laboratorio (7.5%).

### 7.2.3.2 Formula de diseño de mezcla en campo

Durante la realización del proyecto se estableció la formula de campo a utilizar, obteniéndose las proporciones resumida en la tabla 7.5, en base a informes realizados por los operadores de la maquina de proceso continuo.

<b>Materiales</b>	<b>No. clips</b>	<b>Lb / Clip de agregado</b>	<b>Peso total (lb)</b>	<b>Formula Campo (%)</b>	<b>Formula Laboratorio (%)</b>	<b>Rendimiento Lb/m<sup>2</sup></b>
Agregado	5583	44	245,652	100	100	29.34
Filler *	9,100	0.34	1,898	0.77	0.5 +/- 0.25	0.23
Emulsión	13,399	4.96	27,692	11.27*	10 +/- 1.0	3.37
Aditivo	-	-	368	0.15	-	-
Agua	-		22,109	9.0	-	

\* Cemento Pórtland

**Tabla 7.5.**

Registro de materiales obtenido de registros de la maquina de proceso continuo, proyecto Avenida Masferrer Norte.

\*NOTA: El contenido de emulsión (11.27%) colocado corresponde al 6.82% de asfalto residual, cantidad mayor del limite tolerable (6.4%) pero menor que el limite máximo admisible (7.5%).

#### **7.2.4 APLICACIÓN DE LA TECNICA DE MICROSURFACING SOBRE AVENIDA ALBERTO MASFERRER NORTE.**

El Proyecto de colocación de la mezcla de microsurfacing se realizó en la Avenida Alberto Masferrer Norte, entre la Calle Paseo General Escalón (PSG) y la 9ª Calle Poniente Bis. La colocación de la mezcla abarcó los cuatro carriles; dos carriles en sentido hacia la Calle El Mirador y los otros dos en sentido hacia la Calle Paseo General Escalón y el área colocada de microsurfacing fue de 8374 m<sup>2</sup>; y esta se realizó en la jornada nocturna, iniciando a las 9:00 p.m. del día 29 de junio del 2007.

Las condiciones meteorológicas esperadas en la jornada nocturna fueron de nula precipitación y la temperatura ambiente fue de 25 °C, por tanto se dio el visto bueno para iniciar la ejecución del colocado de la mezcla de microsurfacing

En las condiciones antes descritas, se realizaron varios procesos que se llevaron a cabo para poder iniciar dicha actividad. El orden es importante ya que se lleva un control estricto del procedimiento a seguir, el cual es el siguiente:

1. Notificación de la actividad,
2. Control vehicular,
3. Preparación de la superficie,
4. Acopio y abastecimiento de los materiales,
5. Calibración de la maquina extendora de microsurfacing (Bergkamp),
6. Calibración del agua de mezclado,
7. Colocación del microsurfacing,

8. Finalización del colocado del microsurfacing
9. Apertura al tráfico.

A continuación se describe cada uno de los procesos que se siguieron para obtener un proceso constructivo adecuado y regido bajo la ISSA A-143:

#### **7.2.4.1 Notificación de la actividad**

Una característica muy importante que se presentó en la vía es que en la zona de su influencia existen muchos negocios, encontrándose entre ellos restaurantes, gasolineras, bancos, así como zonas residenciales (Residencia Presidencial como una de las más importantes) y otros. El medio de notificación de la ejecución de la reparación de Avenida Alberto Masferrer Norte fue a través del FOVIAL difundándose en diferentes medios de comunicación así como en Internet, debido a la importancia del lugar y por la alta circulación vehicular. La hora estipulada para el inicio de los trabajos fue para las 21: 00 horas del día 29 de junio del 2006.

#### **7.2.4.2 Control Vehicular**

Se inicia la ejecución de la reparación de la Avenida Masferrer Norte, lo cual consiste en:

- a. El desvió a otras arterias y el cierre al tráfico vehicular, a través de banderas de señalización como el mostrado en la fotografía 7.5, este punto de desvío se realizó en la intersección entre el Paseo General Escalón y la Avenida Alberto Masferrer Norte a la altura de la Plaza Alberto Masferrer, conocido como

Redondel Masferrer. Es importante notificar que solamente se realizó el cierre del carril en dirección hacia Calle El Mirador (Plaza General José Arteaga, comúnmente llamado Cruceiro), terminada la colocación de la mezcla de microsurfacing en este carril se abre al tráfico en una hora y luego se cierra el tráfico en el carril en dirección hacia el Paseo General Escalón (Plaza Alberto Masferrer), siendo el punto de desvío en la 9ª Calle Poniente Bis.



**Fotografía 7.5.**

Señalización del tramo a colocar microsurfacing

- b. Se colocan los Paneles Electrónicos, los carteles de disminución de velocidad y los conos vehiculares en los puntos de desvíos antes mencionados, mostrados en la fotografía 7.6. Es conocer que los conos vehiculares son colocados únicamente para cerrar la vía parcial en una dirección (ver el círculo que encierra los conos de la fotografía de la derecha), ya que el tráfico circula inicialmente en dirección a la Plaza Alberto Masferrer y finalmente en dirección a Plaza General José Arteaga.



**Fotografía 7.6.**

Señalización del tramo a colocar microsurfacing

### **7.2.4.3 Preparación de la superficie**

Para realizar la preparación de la superficie, se debe verificar los daños que presenta la Avenida Alberto Masferrer Norte, según el levantamiento de daños realizado visualmente se encontró que la vía presentaba fallas tipo piel de cocodrilo provocados por el alto tráfico y por el daño de la estructura del pavimento, la fotografía 7.7 (a) muestra una falla de este tipo. También se identificaron raspaduras ocasionadas por maquinaria pesada (cargadores, palas mecánicas, compactadores entre otros) ocupadas para construir una zona residencial con acceso directo a la vía, la fotografía 7.7 (b) muestra una falla de este tipo. Otros daños fueron considerados como el caso de peladuras y fisuramientos la cual presenta dicho daños mencionados, también se presentaron algunas peladuras.



(a)



(b)

**Fotografía 7.7.**

**Daños en la Ave. Masferrer Norte-Sur. En (a) se muestra una piel de cocodrilo y en (b) raspaduras**

Cuando se identificaron las fallas en la Avenida Alberto Masferrer Norte, se procedió a corregirlas con un tratamiento según la falla presentada; para el caso de las raspaduras se trató con un sellado de arena, la fotografía 7.8 (a) muestra su reparación. Las fallas provocadas por piel de cocodrilo se trataron con un fresado y relleno de bacheo, ver la fotografía 7.7 (a). Las raspaduras presentadas en la vía fueron tratadas con un sellado de arena, ver la fotografía 7.8 (b).



(a)



(b)

### **Fotografía 7.8**

**Reparación de Daños. En (a) tratamiento de la piel de cocodrilo con un tratamiento de bacheo y en (b) se repara la raspadura con un sellado de arena**

Quando se ha realizado las reparaciones respectivas de las fallas encontradas el la Avenida Masferrer Norte, se procede a hacer la limpieza de la vía el objeto de quitar todo elemento que sea perjudicial para el colocado como material suelto, vegetación y otros. Para el caso de este proyecto los tratamientos fueron realizados con anticipación (en el día) al colocado de microsurfacing en la jornada nocturna, agilizando el proceso constructivo pero con la constante de cerrar parcialmente la vía para poder efectuar las reparaciones respectivas.

Al limpiar la superficie este se realiza por medio de pistolas de aire a presión, las cuales retiran todas las partículas como la que se muestra en la fotografía 7.9 (a); también otra de las tareas muy importantes que se realizó, es la protección de las tapaderas (aguas lluvias, agua potable, aguas negras, telefonía y otros), tragantes y marcadores reflectivos (ojos de gato) que se encuentran dentro de la vía, utilizando plástico y cinta adhesiva para dicha actividad y es mostrado en la fotografía 7.9 (b).





(a)



(b)

### **Fotografía 7.9.**

(a) Limpieza de la superficie del tramo de microsurfacing, (b) protección de una tapadera de agua potable

#### **7.2.4.4 Acopio y abastecimiento de los materiales**

El acopio de los materiales es una parte fundamental del proyecto ya que utiliza espacio para poder descargar y proveer a la máquina extendedora de microsurfacing (Bergkamp); para el proyecto de la Avenida Alberto Masferrer Norte se utilizaron camiones de volteo de 14 m<sup>3</sup>, ver la fotografía 7.10 (a). También se utilizaron pipas como el de la fotografía 7.10 (b), que abastecieron de emulsión a la máquina Bergkamp; otro material que se acopió fue el agua que también abasteció a la máquina Bergkamp.



(a)



(b)

**Fotografía 7.10.**

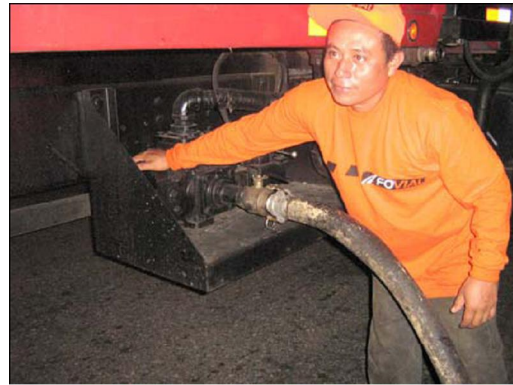
Ubicación del acopio para los materiales del Microsurfacing. En (a) se muestra un camión de volteo y en (b) se muestra una pipa con emulsión.

Un carril del Paseo General Escalón (PGE) a la altura del Redondel Masferrer (cerca de la intersección entre la PGE y la Ave. Masferrer Norte-Sur), fue el espacio utilizado por las pipas y los camiones de volteo, así como también fue el lugar de abastecimiento de agregados y emulsión por parte de la máquina extendedora de microsurfacing.

El método utilizado para abastecer de agregados a la maquina micro, fue utilizando un cargador como el mostrado en la fotografías 7.11 (a), también si fuese requerido se recargaría la máquina Micro con emulsión por medio de mangueras como el observado en la figura 7.11 (b). El abastecimiento del agregado y la emulsión se realiza en el proyecto por más facilidad debido a que la máquina es del tipo de carga frontal, así como por cualquier inconveniente que pudiese darse en dicho proyecto.



(a)



(b)

**Fotografía 7.11.**

En (a) Abastecimiento de agregado al camión de microsurfacing. (b) Abastecimiento de emulsión al camión de microsurfacing.

**7.2.4.5 Calibración de la Máquina extendora de microsurfacing (Bergkamp)**

La calibración se realiza en la planta donde se le da el mantenimiento adecuado, luego cuando es requerida para un proyecto estipulado como es el caso de la Avenida Alberto Masferrer Norte, entonces la calibración se realiza en base al peso del agregado. En el proyecto la máquina se abastece de agregado y emulsión, sin embargo, cuenta con los otros materiales disponibles como lo son el agua, el aditivo y el relleno mineral (se utiliza cemento Pórtland) este último se cuenta en bolsas.

#### 7.2.4.6 Calibración del agua de Mezclado

Al tener todos los materiales componentes del sistema Microsurfacing dentro de la máquina Micro, el siguiente paso es calibrar la proporción de agua con que se va a trabajar, es importante conocer la humedad del agregado ya que también depende de ello para darle la dosificación adecuada a la mezcla y que rompa fuera de la caja extendedora de forma controlada. No se recomienda trabajar con una mezcla muy fluida, porque rompería muy tardado y ocasionaría retraso en la apertura al tráfico, este se muestra en la fotografía 7.12 (a). En el proyecto se ajustó la dosificación del agua para obtener la mezcla deseada para poder colocarla en la superficie del pavimento, se conoció que la humedad del agregado fue de 3% y que la mezcla lleva una proporción de agua de 10% del peso del agregado seco.



(a)



(b)

**Fotografía 7.12.** Calibración del agua de mezclado, en (a) es una mezcla muy fluida y en (b) prueba final de la mezcla deseada

#### **7.2.4.7 Colocación del microsurfacing**

El procedimiento seguido por parte de los constructores en la Avenida Masferrer Norte, que es el más importante es el colocado del microsurfacing. Cuando se ha realizado el desvío de los vehículos a otras arterias y controlado el tráfico con el cierre parcial de la vía, darle tratamiento de la vía debido a las fallas que se identificaron antes del colocado del microsurfacing, limpieza antes del colocado y calibración de la formula de trabajo de la mezcla se procede a la ejecución como se puede observar en las fotografías 7.13 y fotografías 7.14.



**Fotografía 7.13.**

Revisión para el inicio del colocado.



**Fotografía 7.14.**

Revisión para el inicio del colocado.

De debe tener en consideración que la máquina extendedora de microsurfacing posee dos partes fundamentales y son:

- a. Manejo del camión que contiene la máquina misma como el mostrado en la figura 7.15 (a)
- b. Manejo de la máquina, ver la fotografía 7.15 (b).



(a)



(b)

**Fotografía 7.15.**

Manejo de la máquina micro, en (a) manejo del camión que contiene la máquina y en (b) manejo de la máquina microsurfacing

Como se indicó en el numeral 2 de la sección 7.3.1, solo se cerró parcialmente la Avenida Alberto Masferrer Norte, en el tramo direccional hacia la Calle El Mirador, entonces la máquina extendedora de microsurfacing se colocó en la esquina de la intersección entre el Paseo General Escalón y la vía a tratar. Para iniciar el tirado de la mezcla se colocó debajo de la llana (de la caja extendedora) un plástico para formar la junta transversal, como se muestra en la fotografía 7.16 (a). En el proceso del colocado de la mezcla de microsurfacing se dividen en dos cuadrillas una encargada de controlar la linealidad de la caja extendedora y generar juntas longitudinales que no se separen entre tirada y tirada más de 75 mm., como en la fotografía 7.16 (b).



(a)



(b)

**Fotografía 7.16.**

(a) Junta transversal y (b) Junta Longitudinal

Por otra parte la segunda cuadrilla hace el trabajo manual que consiste en arreglar imperfecciones dejadas por la caja extendedora, quitar grumos que se dan debido a que la mezcla ha roto antes de tiempo o los agregados son muy gruesos, como el mostrado en la fotografía 7.17 (a); aquí utilizan squeegees (llanas) para darle el acabado final (una muy buena textura superficial) y/o llanas manuales para pequeños acabados, ver la fotografía 7.17 (b). Otra labor importante que realizan en esta cuadrilla es la unión entre tiradas de la mezcla, como se mencionó el máximo traslape permitido es 75 mm, por tanto ellos realizan la labor de unir las juntas longitudinales y permitir una textura unida sin cortes; también ellos le dan forma a las esquinas de los cruces e intersecciones, los bordes de los tragantes y pozos.





(a)



(b)

**Fotografía 7.17.**

(a) Trabajador quitando brumos y (b) Trabajadores acabando la superficie final.

#### **7.2.4.8 Finalización del colocado de microsurfacing**

En la obra finalizada se debe verificar que el acabado final sea el adecuado para las exigencias al tráfico y después de una hora se puede transitar para el tramo de dirección hacia la calle El Mirador. Luego se debe respetar el mismo procedimiento para el cierre del carril en dirección hacia la Calle Paseo General Escalón, con la salvedad de que la formula de mezcla se mantenga. Cuando recién es colocada una mezcla de microsurfacing, sin embargo, si se conduce en este estado en el pavimento deja las huellas del neumático impreso en la superficie, como se puede mostrar ver la fotografía 7.18 (a); se puede decir que a pesar de todo se puede recuperar ese tramo dañado con trabajos manuales.

Al final se tiene una superficie acabada con un espesor de 9 mm como promedio y al poder ver en la fotografía 7.18 (b) es poco visible el cambio entre la superficie tratada y la no tratada.



(a)



(b)

### **Fotografía 7.18.**

(a) Superficie tratada con microsurfacing y (b) Daño en la mezcla fresca debido a un vehículo

#### **7.2.4.9 Apertura al tránsito**

Al concluir todo y abrirse al tráfico se coloca las señalizaciones termoplásticas tanto en las intersecciones como en las delimitaciones de los carriles en la Avenida Alberto Masferrer Norte, como se puede observar en la fotografía 7.19. Se vuelve a hacer una inspección en el lugar al siguiente día del colocado para la verificación de que después del colocado esté en perfecto estado. Sí en este proyecto en particular se hubiese presentado algún daño por una práctica de colocado o por mal rompimiento o curado de

la mezcla, entonces se tendría que volver a tratar la parte dañada.



**Fotografía 7.19.**

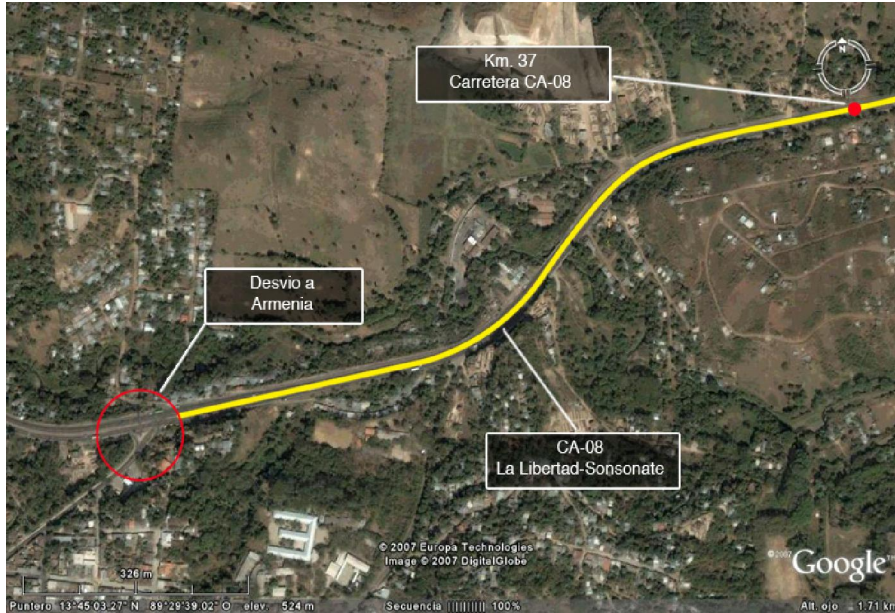
El tramo terminado el cual se puede apreciar la calidad de la superficie

### **7.3. ANALISIS PROYECTO KM 37+500 CARRETERA CA-08W**

#### **7.3.1 ANTECEDENTES**

##### **7.3.1.1 Ubicación geográfica del proyecto**

El proyecto se localiza sobre el Km 37 + 000 de la carretera interdepartamental CA-08w que de San Salvador conduce a Sonsonate, y comprendió la pavimentación de aproximadamente 800 m con sistema de microsurfacing, en el carril interior con dirección San Salvador-Armenia. (Ver fig. 7.3.)



**Fig. 7.3.**

Ubicación General del Proyecto Carretera CA-08

### 7.3.1.2 Diseño geométrico de la vía

El tramo pavimentado consta de aproximadamente 577.50 m<sup>2</sup> comprendidos en el Km 37+000 de la carretera CA-08W, la sección transversal de la carretera esta constituida por 4 carriles, divididos en 2 carriles con sentido Este-Oeste y 2 carriles con sentido Oeste-Este, de aproximadamente 3.45 m cada uno, con hombros laterales con promedio de 2.44 m. y con separador de concreto en curvas cerradas y arriate intermedio de 0.50 m a 1.50 m en las demás secciones (Ver Fig. 7.4.), y con pendiente transversal de aproximadamente 2% variando en las curvas. El alineamiento horizontal se compone de curvas suaves y rectas de no más de 500 m aproximadamente.



**Fig. 7.4.**

Sección transversal Km 37+000, carretera CA-08W.

### **7.3.1.3 Condiciones existentes del pavimento**

Las condiciones generales existentes antes de la realización del proyecto eran en general daños superficiales en su mayoría desprendimientos de agregados y oxidación de asfalto, pérdida de textura, pulimentos leves, fisuras longitudinales y transversales de no más de 1.0 m, y en ciertas secciones la existencia de hundimientos y grietas de piel de cocodrilo.

En general la severidad de los daños variaba de moderada a intensa, presentando mayormente exposición de agregado en casi el 50% del tramo analizado, la tabla 7.6 muestra en resumen los daños encontrados al realizar una inspección visual general.

<b>Tipo de Deterioro Observado</b>	<b>Estado</b>	<b>Severidad</b>
Piel de Cocodrilo	< 1% en tramos de 100 m	LIGERO
Perdidas de Agregado	< 5% área evaluada	LIGERO
Exposición de agregados	> 40% área evaluada	MODERADO
Desgaste de agregado	De manera aislada	LIGERO
Agrietamiento Longitudinal	L<4.0 m, aislado	LIGERO
Fisuramiento individual o en retícula.	De manera aislada	LIGERO

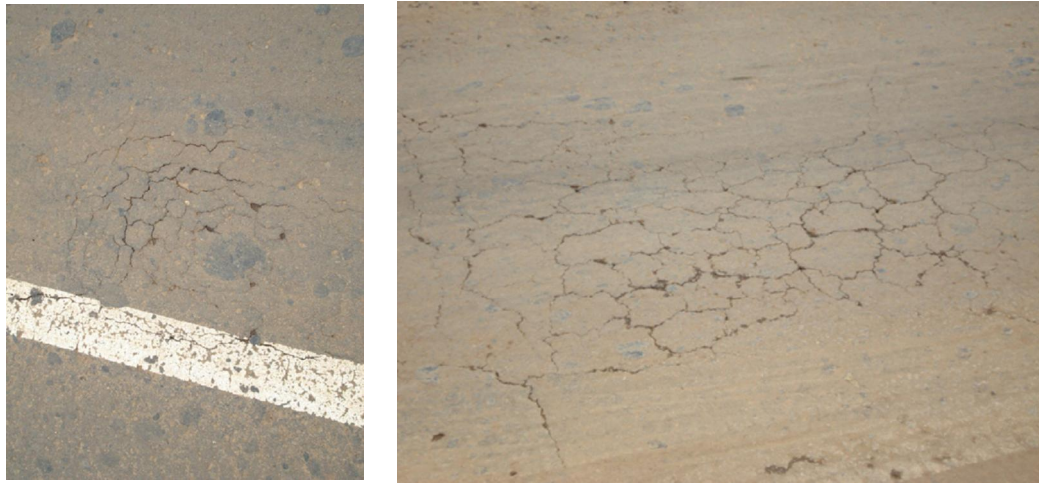
**Tabla 7.6.**

Resumen de deterioros observados y nivel de severidad.

Entre Km 37 +000 al 39+000, carretera CA-08W

*1. Piel de cocodrilo*

Se observaron agrietamientos de este tipo en zonas aisladas de la carretera, específicamente sobre el Km 39+000, que abarcaban alrededor del 5% en un tramo de 30 m, que no representan más del 1% en un tramo de 100 m, por lo que el daño se cataloga como LIGERO, además de no ser extendido. (Catalogo de deterioros de pavimentos flexibles, consejo de directores de carreteras de Ibero América). La sección donde se observo este tipo de deterioro es de menos de 10 m<sup>2</sup> , no presentaba hundimiento. Antes de la colocación del tratamiento con microsurfacing debe realizarse un bacheo en la zona, aun cuando por la ligereza del deterioro pudiera colocarse la carpeta sin tratamiento previo (ver fotografía 7.20).



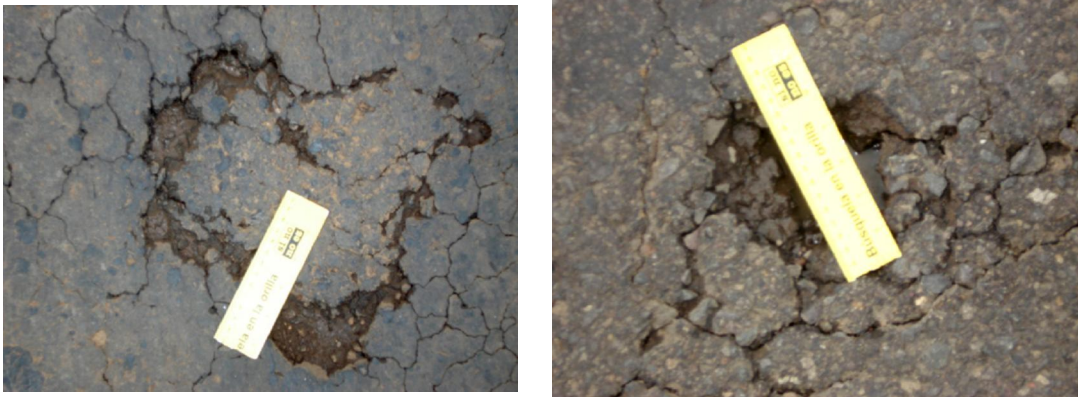
**Fotografía 7.20.**

Deterioro tipo piel de cocodrilo observado en Km 39+000 carretera CA-08W.

## *2. Perdidas de agregado*

Este tipo de deterioro presenta pérdidas de agregado en la superficie de las carpetas asfálticas con espesores mayores de 5.0 cm.

Los desprendimientos observados en la vía no son generalizados, sino más bien aislados y de tamaño pequeño, pudiéndose catalogar como daño LIGERO, puesto que menos del 5% del área total evaluada presenta estas características. Este tipo de deterioro debe repararse mediante bacheo de la zona afectada antes de colocar cualquier tratamiento superficial (ver fotografía 7.21).



**Fotografía 7.21.**

Desprendimientos aislados observados sobre Km 38+000 carretera CA-08W.

### *3. Exposición de agregados*

Este deterioro se distingue por la presencia de agregado parcialmente expuesto fuera del mortero ligante y es el que mayormente se presenta en los tramos de la vía estudiada, oscilando entre el 20% al 50% del área superficial total, con una media de más del 40% para tramos de 100 m. Este estado corresponde a un nivel de daño MEDIANO según el criterio de evaluación de área afectada y severidad del desprendimiento de finos puesto que no se observaron oquedades pronunciadas en ningún tramo evaluado.

Los sistemas de microsurfacing son muy adecuados para este tipo de deterioro sobretodo para arterias de alto tráfico como la carretera CA-08W en cuestión (ver fotografía 7.22).





**Fotografía 7.22.**

Exposición de agregado generalizado entre Km 37+000 y 39+000.

#### *4. Desgaste de agregados*

Este tipo de deterioro puede describirse como la presencia de agregados que presentan una cara plana en la superficie, generalmente embebidos en el ligante. Presente en forma aislada a lo largo del tramo analizado y debido principalmente a la exposición severa que presenta el agregado grueso en toda la vía, su evaluación se basa en coeficientes de fricción por lo que su nivel de severidad no pudo ser catalogado cualitativamente. Este tipo de deterioro se corrige con tratamientos superficiales como los sistemas de microsurfacing, si el daño es severo se recomienda realizar un recarpeteo (ver fotografía 7.23).

#### *5. Agrietamiento longitudinal*

Se reconoce por la presencia de roturas longitudinales individuales sensiblemente paralela al eje de la carretera, con aberturas mayores a los 3.00 mm. En el tramo observado las grietas longitudinales se presentan de manera aislada y en longitudes no

mayores de 4.0 m, según el criterio de análisis de área dañada se puede catalogar como daño LIGERO, con severidades de daño bajas (ancho promedio menor de 3.0 m). Este tipo de grietas deben de ser selladas antes de cualquier aplicación de microsurfacing (ver fotografía 7.24)



**Fotografía 7.23.**

Agregado pulido expuesto a intemperie Km 37+000.

#### *6. Fisuramiento individual o en retícula*

Rotura longitudinal o transversal, con aberturas menores de los 3.0 mm y separaciones mayores a los 15 cm. Se registraron varios tramos fisurados, sin embargo las fisuras no sobrepasaban los 3.00 mm de ancho y se presentaban de manera aislada por toda la vía, pudiéndose catalogar como un daño de severidad LIGERA. Al igual que para las grietas longitudinales este tipo de deterioro debe de ser reparado sellando las grietas antes de cualquier aplicación de microsurfacing, fisuras menores de los 2.0 mm pueden ser selladas con la misma mezcla de microsurfacing al momento de su colocación (ver fotografía 7.25).



**Fotografía 7.24.**

Grietas longitudinales que alcanzan los 3.0 m, Km 38+000.



**Fotografía 7.25.**

Fisuras tanto longitudinales como transversales, Km 37+000.

Además de estos deterioros, se encontraron una combinación variada de los mismos, en zonas aisladas principalmente en el Km 38+000 de la vía.

Cada uno de los deterioros, que presenta el tramo en estudio solo afectan la serviciabilidad de la vía, sin embargo ciertas áreas son susceptibles a presentar daños mas severos si no se realiza intervención.

A pesar de presentarse fisuramiento en muchas secciones del tramo analizado, estas fisuras presentan severidad ligera, por lo que son muy pocas las que necesitarían un tratamiento previo, siendo las demás corregidas fácilmente a través de la misma carpeta de microsurfacing.

#### **7.3.1.4 Condiciones de tráfico**

Estudios realizados por el Ministerio de Obras Publicas establecen que la carretera CA-08W en el tramo que de La Libertad conduce a Armenia se encuentra sometido a un transito promedio diario anual de 12,760 autos, correspondiendo al 69.4% autos ligeros incluyendo pickups, 15.80% a transporte colectivo entre buses y microbuses y, 14.80% para camiones y transporte de carga entre los que se encuentran vehículos tipo C2, C3, T3S2, T2S1 y T3S3.

Este nivel de servicio es muy exigente por lo que se determino utilizar un sistema de microsurfacing con granulometría tipo III, ya que estos son recomendados para arterias viales con tráfico intenso. Debido a que la circulación de vehículos no es muy intensa, se determino realizar la colocación en horario diurno.

### **7.3.1.5 Condiciones ambientales predominantes**

Para evaluar las condiciones climáticas de la zona donde se realizó el proyecto, se analizaron registros de dos estaciones climatológicas pertenecientes a la red de estaciones meteorológicas del Servicio Nacional de Meteorología. La estación de San Andrés (L-4), ubicada en el departamento de La Libertad y la estación de Izalco (T-3), ubicada en el departamento de Sonsonate, siendo estas dos estaciones las más cercanas a la zona del proyecto. La estación de San Andrés fue la que poseía registros más completos de precipitación, temperatura y humedad, contando con registros desde el año 1949 hasta el año 2005, por lo que se tomaron los parámetros de dicha estación como indicativo del clima de la zona.

Con un promedio histórico de 24.2<sup>o</sup>C de Temperatura y registros máximos y mínimos promedio de 26.1<sup>o</sup>C y 22.7<sup>o</sup>C respectivamente; humedad relativa promedio del 87% y promedios de lluvia de 50 litros por metro cuadrado. La zona presenta temperaturas templadas y condiciones de lluvia normales para climas tropicales.

### **7.3.2 DESCRIPCION DEL PROYECTO.**

La carretera CA-08W corresponde a una vía especial con un TPDA >10,000 por lo que se considera de tráfico intenso, los deterioros observados eran en su totalidad deterioros superficiales con exposición severa de agregado grueso y pérdida de agregado fino, requiriendo reestablecer las características de servicialidad de la carpeta asfáltica con reparaciones aisladas de bacheo y sellado de grietas.

Se requería de un tratamiento superficial que proporcionara alta resistencia al tráfico (alta concentración de camiones de carga y transporte colectivo) y durabilidad, siendo los sistemas de microsurfacing los más adecuados para este tipo de proyectos, por su bajo costo y alta eficiencia al proporcionar carpetas resistentes con una vida útil promedio de 4 años en carreteras.

La colocación de microsurfacing sobre el Km 37+500 de la carretera CA-08W, corresponde a la construcción de un tramo de prueba como parte del seminario “EMULSIONES ASFALTICAS: LA MEJOR HERRAMIENTA PARA EL MANTENIMIENTO DE LOS PAVIMENTOS.”, ASIA Julio 2007. Escogido debido a las características de tráfico presentes en la vía y la cercanía de la planta productora de emulsión.

La totalidad del proyecto consistió en el sellado de grietas y la pavimentación con microsurfacing de aproximadamente 577.50 m<sup>2</sup> sobre el carril interno con sentido San Salvador - Sonsonate. La capa de microsurfacing colocada constaba de un espesor de 1.50 cm y el ancho de un carril de la vía (3.75 m) en el tramo de Este a Oeste. El proyecto se realizó en jornada diurna en horas de la mañana.

### **7.3.3 ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO**

Por ser la carretera CA-08, una vía principal y estar expuesta a solicitudes de alto tráfico y expuesta a cargas de tráfico intensas al ser una arteria que conecta el puerto de Acajutla y la capital, la granulometría implementada se estableció como de tipo III

según recomendaciones de la ISSA en su boletín técnico A143 (Ver tabla 4.1).

El diseño de la mezcla se estableció mediante la metodología de diseño establecida por la ISSA y en base a los estándares presentados en el boletín técnico A143 (Ver tabla 4.5 y 4.6) para granulometrías tipo III. El ensayo Marshall modificado (ISSA TB 148) se utilizó solamente para chequear el contenido de asfalto en campo, no para establecer el proporcionamiento en laboratorio. Los valores límite de pérdida por abrasión en pista húmeda (ISSA TB 100) y adhesión de arena (ISSA TB 109), utilizados para el diseño de mezcla, fueron los mismo que se establecieron para el diseño de mezcla realizado para el proyecto de la Avenida Masferrer Norte y se resumen en la tabla 7.2. Las especificaciones para el proyecto fueron establecidas por el Fondo de Conservación Vial FOVIAL y mostradas en la tabla 7.3.

#### **7.3.3.1 Fórmula de diseño de mezcla en laboratorio**

El diseño de mezcla utilizado fue el mismo que se obtuvo para el proyecto de mantenimiento en la avenida Masferrer Norte, ya que no se efectuaron cambios en el origen de los agregados, ni en el tipo de emulsión a utilizar, además las solicitudes de servicio eran mucho menos severas que las especificadas en la avenida Masferrer Norte y las condiciones ambientales no presentaban variaciones significativas. La fórmula de laboratorio establecida para este proyecto se muestra en la sección 7.1.3.1. del presente capítulo.

### 7.3.3.2 Formula de diseño de mezcla en campo

Durante la realización del proyecto se estableció la formula de campo a utilizar, obteniéndose las proporciones resumida en la tabla 7.7, en base a informes realizados por los operadores de la maquina de proceso continuo.

<b>Materiales</b>	<b>No. clips</b>	<b>Lb / Clip de agregado</b>	<b>Peso total (lb)</b>	<b>Formula Campo (%)</b>	<b>Formula Laboratorio (%)</b>	<b>Rendimiento Lb/m<sup>2</sup></b>
Agregado	<b>393</b>	44	17,292	100	100	29.90
Filler *	639	0.34	133.62	0.77	0.5 +/- 0.25	0.23
Emulsión	926	4.96	1,949.28	11.27*	10 +/- 1.0	3.37
Aditivo	-	-	43.0	0.25	-	-
Agua	-	-	2,075	12.0	-	-

\* Cemento Pórtland

**Tabla 7.7.**

Registro de materiales obtenido de registros de la maquina de proceso continuo

Proyecto Km 37+500 carretera CA-08W

\*NOTA: El contenido de emulsión (11.27%) colocado corresponde al 6.82% de asfalto residual, cantidad mayor del limite tolerable (6.4%) pero menor que el limite máximo admisible (7.5%).



#### **7.3.4 APLICACIÓN DE LA TECNICA DE MICROSURFACING. KM 37+500 CARRETERA CA-08, SAN SALVADOR – SONSONATE.**

El Proyecto de colocación de la mezcla de microsurfacing se realizó en la Carretera Centroamericana CA-08W, entre el Km 37+500 (sobre el puente Tres Ceibas) y el Km 37+000. Esta carretera es de clasificación especial debido a que posee doble carril en ambas direcciones, así como el tráfico es alto presentando un TPDA mayor de 10000. La colocación de la mezcla abarcó uno de los dos carriles en dirección a San Salvador, y el área colocada de microsurfacing fue de 578 m<sup>2</sup>; y esta se realizó en la jornada diurna, iniciando a las 11:00 a.m. del día 14 de julio del 2007.

Las condiciones meteorológicas esperadas en la jornada diurna fueron de nula precipitación y cielos despejados, con la temperatura ambiente de 34 °C, por tanto se dio el visto bueno para iniciar la ejecución del colocado de la mezcla de microsurfacing

El procedimiento que se siguió en la CA-08W es el siguiente:

##### **7.3.4.1 Notificación de la actividad y control vehicular**

La colocación de la mezcla fue considerado un tramo de prueba, solo se informo parte a las autoridades encargadas como lo es el FOVIAL, que se realizaría el tramo de prueba a las 11:00 a. m. del día 14 de julio del 2007 y considerando también que es una carretera especial no se difundió el comunicado de trabajo en la vía.

Se colocó banderas de señalización para desviar al otro carril el tránsito vehicular en el

punto del Puente Tres Ceibas en el Km. 37+500, luego se colocó rótulos con indicaciones de desvío vehicular como los que se observan en la fotografía 7.26 (a) y conos vehiculares para cerrar la vía parcialmente, ver fotografía 7.26 (b)



(a)



(b)

### **Fotografía 7.26.**

(a) Señalización de desvío vehicular por rótulos, (b) colocación de conos vehiculares para cierre del carril parcialmente.

#### **7.3.4.2 Preparación de la superficie**

Antes de preparar la superficie para la colocación de los agregados, se verifica los daños que existen y clasificar el tipo de falla, para el caso de la CA-08 W entre el Km. 37+500 y Km. 37+000 se observaron fallas tipo piel de cocodrilo, por agrietamiento longitudinal, desgaste de agregados, exposición de los agregados y fisuramiento por retícula.

Para tratar estas fallas solamente se realizaron sellados de grietas como el mostrado en la fotografía 7.27 (a) y limpieza general de la superficie para colocar la mezcla de

microsurfacing, mostrada en la fotografía 7.27 (b), ya que esta última es el tratamiento correctivo para desgaste de los agregados.

Luego se procede a la preparación de la superficie, el cual siempre con tiempo anticipado se repara cualquier daño en el pavimento que no pueda corregir el microsurfacing, que en el caso de este proyecto y solamente fue tratado con sellado de grietas; antes de la colocación se realizó la limpieza debida para dejar lista la superficie.



(a)



(b)

**Fotografía 7.27.**

(a) Sellado se grietas y (b) superficie limpia

La limpieza de la superficie se realizó con pistolas de aire a presión y esta fue la única tarea realizada, ya que en todo el tramo de prueba no se encontraron pozos de agua potables, aguas lluvias o negras así como tragantes.

### **7.3.4.3 Acopio y abastecimiento de los materiales**

Los materiales fueron cargados directamente desde la planta de la empresa constructora, dicha planta se encuentra muy cercana al proyecto (Km 38+500, cantón Tres Ceibas), es decir a 3 Km; por tanto el agregado necesario solo fue para un tiraje de 578 m<sup>2</sup> y por tanto no necesito de abastecerse, como se observa en la fotografía 7.28, tampoco la emulsión no necesito abastecerse ya que fue calculada para una tirada. El agua, aditivo y relleno mineral fueron calculados para un tirado de mezcla microsurfacing.



**Fotografía 7.28.**

Abastecimiento de agregado para la maquina microsurfacing.

### **7.3.4.4 Calibración de la Máquina Micro (Bergkamp)**

La calibración de la máquina micro se realiza en la planta, antes de iniciar un colocado de microsurfacing. Esta se calibra con respecto al peso de los agregados.

#### 7.3.4.5 Calibración del agua de Mezclado y colocado de la mezcla

El agua se calibra de acuerdo a las condiciones del clima en donde se coloque, para el caso de la CA-08 W donde la temperatura es de 34 °C e incrementándose, se tiene la necesidad de remojar la caja extendedora, como se muestra en la fotografía 7.29 (a) así como a la superficie del pavimento donde se va a colocar el microsurfacing, ver la fotografía 7.29 (b), debido a que se debe controlar el rompimiento de la mezcla (aunque contenga aditivo), si estas actividades auxiliares no se realizan entonces el calibrado del agua para la mezcla no va a ser la adecuada y rompería dentro de caja extendedora o en el pavimento debido a la condición climática calurosa, generando que la mezcla no funcione y se pierda todo el mezclado.



(a)



(b)

**Fotografía 7.29.**

(a) Remojado de la caja extendedora y (b) remojo de la superficie del pavimento.

Es importante tomar detalle cuando se remoja la superficie del pavimento y la caja extendedora, ya se ha colocado el plástico como se observa en la figura 7.28 (a) y

ajustado la caja para que el espesor que salga de las llanas sea de 9 mm como se muestra en la figura 7.28 (b)



(a)



(b)

**Fotografía 7.30.**

(a) Colocación del plástico y (b) ajuste de la caja extendedora para tirar el espesor de 9 mm.

Al iniciarse el colocado de la mezcla se debe tener en cuenta de que el tránsito haya sido desviado a otro carril, la superficie del pavimento esté limpia, la cantidad de los materiales componentes deben ser los correctos, la máquina extendedora de microsurfacing haya sido calibrada así como también el agua de la mezcla, el humedecimiento del pavimento y la caja extendedora, y por ultimo los espesores estén ajustados para colocarse a 9 mm de mezcla; entonces se coloca la mezcla de microsurfacing en la superficie del pavimento, teniendo en cuenta que con el plástico se formará la junta transversal (aunque aquí solo es un tramo de prueba), es importante recordar que la función principal del plástico es el traslape entre juntas transversales y luego se retira el plástico, como el que se observa en la fotografía 7.29 (a). No se

formarán juntas longitudinales en este caso porque solo se hará un tramo de prueba y esto significa que solo cubrirá el carril cerrado al tráfico, ver la fotografía 7.29 (b).



(a)



(b)

**Fotografía 7.31.**

(a) Retiro del, plástico, (b) colocación de la mezcla microsurfacing.

El trabajo manual es muy importante y por eso es importante que se dividan en dos cuadrillas; la primera debe estar sobre la caja extendedora para estar regulando el movimiento, ver la fotografía 7.30 (a) y a la vez controlar que no se rompa la mezcla dentro de la caja; la otra cuadrilla se encarga de mejorar la superficie del pavimento, darle forma a los bordes de la cuneta, quitar los grumos debido a agregados demasiados gruesos, o alguna imperfección dejada por ondulaciones de la llana y otros, como el mostrado en la fotografía 7.30 (b),

En la parte final de la colocación de la mezcla microsurfacing, es importante reconocer que se debe definir hasta donde se va a colocar la mezcla microsurfacing raspando con los squeegee la capa de micro del pavimento que no es deseada, como se muestra en la

fotografía 7.31 (a), y retirar todo material sobrante con palas y carretas para botar el material sobrante en un lugar adecuado, ver la fotografía 7.31 (b)



(a)



(b)

**Fotografía 7.32.** (a) Cuadrilla sobre la caja extendedora, (b) Cuadrilla sobre la superficie de la mezcla.



(a)



(b)

**Fotografía 7.33.**

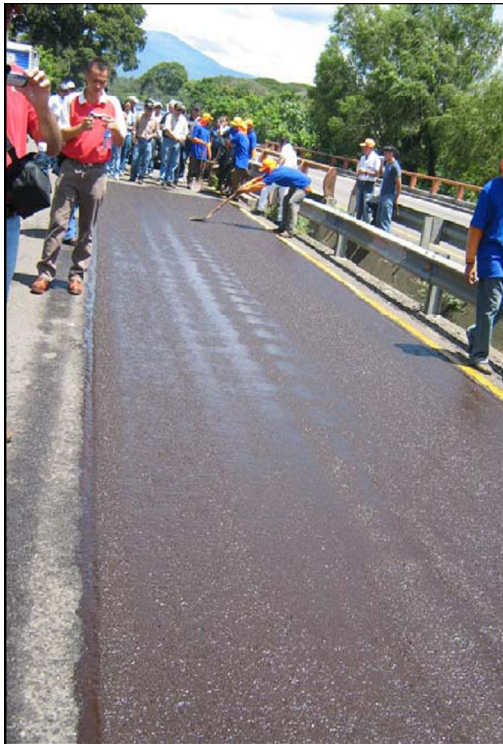
(a) Definiendo hasta donde llegará el colocado de la mezcla, (b) Retiro de todo material sobrante.



#### **7.3.4.6 Finalización del colocado de microsurfacing y Apertura al tránsito**

Antes de la apertura al tráfico se debe conocer la condición en que se encuentra la mezcla ya colocada de microsurfacing, en la fotografía 7.32 (a) se muestra que la mezcla todavía rompe debido a su color café castaño, además todavía se le realizan trabajos manuales de acabado final, esto significa que el agua está siendo expulsada de la mezcla agregado-asfalto, también la evaporación contribuye a la expulsión del agua debido al incremento de la temperatura del ambiente (a más de 34 °C) y hace que la mezcla cure más rápidamente.

En la fotografía 7.32 (b) se observa que la mezcla se torna en un color más oscuro (del color del asfalto), esto es debido a que el proceso de expulsión del agua de la mezcla ha sido completado, pero se debe notar también que en algunas zonas del carril es más rápido el proceso de curado que otras y eso puede ser a que la mezcla contenga menos cantidad de agua; pero en todo caso la apertura al tráfico puede darse seguido del curado de la mezcla, en este caso se abrió a los 45 minutos después de colocada la mezcla.



(a)



(b)

**Fotografía 7.34.**

(a) Rompimiento de la mezcla, (b) curado de la mezcla.

Otro aspecto importante que debe tener en cuenta es que después de 30 minutos de colocado de la mezcla, en especial para este proyecto, se hace una prueba de carga y esta consiste en caminar sobre la mezcla que está curando, si no se adhiere mezcla al calzado entonces la capa esta apta para abrirse al tráfico, ver la fotografía 7.33 (a). La superficie de la mezcla colocada la superficie del pavimento debe poseer una textura bastante rugosa ya que esa es la exigida para este tipo de vías de alto tráfico, como la mostrada en la fotografía 7.33 (b).



(a)



(b)

**Fotografía 7.35.**

(a) Carga sobre la capa de microsurfacing recién colocada, (b) textura de rugosa exigida en una vía de alto tráfico.

La apertura al tráfico se realiza 45 minutos después de que se realizara la colocación de la mezcla de microsurfacing, en la fotografía 7.34 (a) se puede observar que la capa de microsurfacing ya rompió completamente y el proceso de rompimiento también llegó a su final después de 10 minutos del rompimiento. En la fotografía 7.34 (b) se observa la apertura al tráfico, para este caso se realizó 15 minutos antes de lo estipulado (1 hora) debido a que la temperatura del ambiente se incrementó hacia las 12:00 en 36 °C, esto aunado a que la carga de los vehículos que se mueven sobre la capa de microsurfacing expulsarán los últimos restos de agua y a la vez ayudará a compactar la mezcla.



(a)



(b)

**Fotografía 7.36.**

(a) Curado completo de la capa de microsurfacing, (b) apertura al tráfico vehicular.

# ***Capítulo VIII***

---

***Eficiencia del Microsurfacing  
como técnica de  
Mantenimiento Preventivo***



## **8.1 MARCO PARA LA SELECCIÓN DE UN TRATAMIENTO EN MANTENIMIENTO**

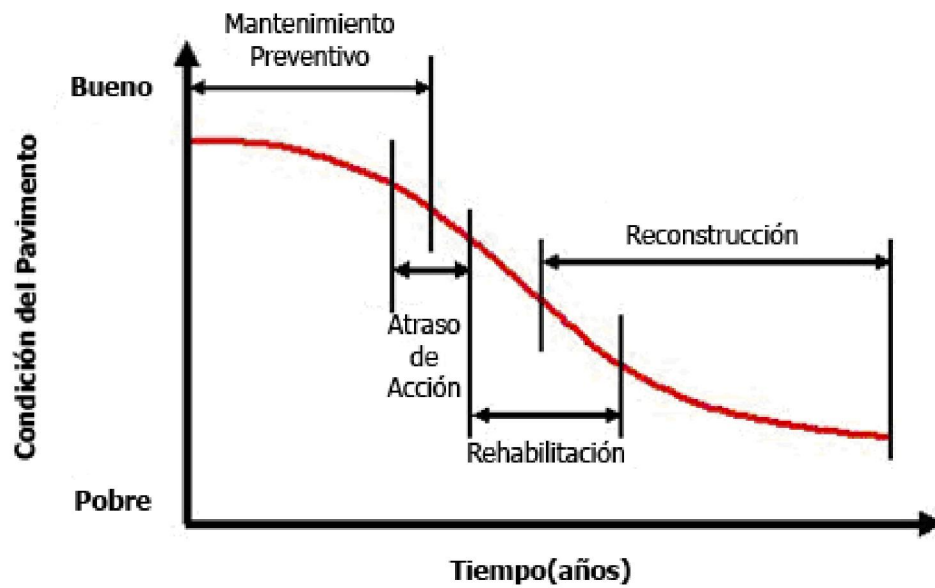
### **8.1.1 INTRODUCCIÓN**

Hay muchos factores que se consideran en el proceso de seleccionar un tratamiento apropiado para el tratamiento de un pavimento; estos incluyen la edad del pavimento, su condición, niveles del tráfico, futuros planes previstos, el financiamiento disponible y la situación política. Para un nuevo pavimento construido correctamente, los únicos tratamientos que se requieren son los mantenimientos preventivos (este es realizado para retrasar el inicio de los deterioros). Entonces, la edad del pavimento es un buen candidato para realizarle un mantenimiento rutinario (sello de grieta o un chip seal), a la rehabilitación y una eventual reconstrucción.

El propósito de este capítulo es proporcionar la dirección en la selección del tratamiento adecuado de acuerdo en las condiciones del pavimento presente, luego la decisión de seleccionar el tratamiento apropiado está basada en el ciclo de vida, el índice de condición del pavimento existente. La estrategia más apropiada del tratamiento en un mantenimiento aplicado a un pavimento relativamente nuevo se diferencia cuando se aplica en el final de su ciclo de vida. La figura 8.1 ilustra la relación de los tratamientos empleadas con respecto al tiempo, contra el índice de la condición del pavimento existente.

Una vez que se haya elegido una estrategia apropiada de mantenimiento, se selecciona un tratamiento específico para dar asistencia al pavimento. Los factores más importantes a considerar cuando se elige un tratamiento en mantenimiento son los siguientes:

- Debe ser tratado el daño presente el pavimento
- Realizar una preparación requerida para el tratamiento a aplicar
- El tratamiento sea rentable
- El tratamiento debe ser sometida a cambios antes de ejecutarse



**Figura 8.1**

Estrategia de tratamiento basado en la condición del pavimento

### 8.1.2 SELECCIÓN DEL PROCESO

Existen tres pasos básicos en el proceso de selección del tratamiento del mantenimiento y estos incluyen:

- Evaluar las condiciones existentes
- Determinar las opciones factibles del tratamiento
- Analizar y comparar las opciones factibles entre cada uno de ellos



### **8.1.2.1 Evaluar las Condiciones Existentes**

El primer paso del proceso de selección del tratamiento, es realizar una evaluación de las condiciones existentes. Esta evaluación se puede analizar en tres procesos que incluyen:

- a. Inspección visual del sitio e inspección de la información del proyecto de una base de datos y/o de expedientes.
- b. Prueba del pavimento existente, condiciones que se requieren
- c. Defina los requisitos de funcionamiento para el tratamiento.

Es útil evaluar los pavimentos usando alguna clase de forma de evaluación, una forma bien desarrollada promueve uniformidad en el proceso de evaluación. El ingeniero encargado del mantenimiento o el supervisor debe completar la forma de evaluación del pavimento en el sitio, para cada pavimento que es considerado en el tratamiento.

### **8.1.2.2 Determinar las Opciones Factibles del Tratamiento**

Una vez que se haya cuantificado la condición del pavimento, los resultados de la prueba se recogen, se analizan, y se repasan otros datos disponibles; y pueden ser identificados los tratamientos factibles. En un tratamiento, es determinada la "viabilidad" debido a la capacidad de tratar la condición funcional y estructural del pavimento mientras pueda resolver cualquier necesidad futura. Al conocer que la viabilidad no es una función de accesibilidad financiera; porque en la etapa actual del proceso de selección, el propósito primario es determinarse que tratamientos se podrían trabajar.

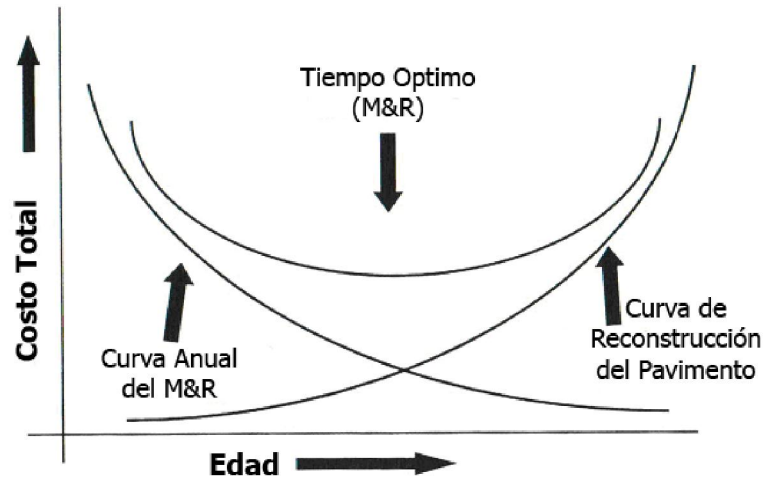
Una vez que se hayan determinado las opciones factibles, las limitaciones de cada uno de las opciones se deben considerar en lo referente a su conveniencia contra las otras opciones factibles. Las limitaciones del tratamiento son impuestas por los factores tales como la deflexión, el pavimento, la curvatura, la rugosidad y la permeabilidad; se debe

considerar primero la opción más barata que satisface los requisitos de mantenimiento dentro de sus limitaciones.

### **8.1.2.3 Analizar y Comparar las Opciones Factibles del Tratamiento**

Es probable que haya varios tratamientos que se identifican como factibles. Al comparar estos diversos tratamientos, se debe pensar en el costo de la colocación del tratamiento, la vida del tratamiento y conocer si el tratamiento amplía la vida del pavimento. Factores adicionales a considerar en el análisis y comparación del tratamiento son: la rentabilidad, el nivel de tráfico, limitaciones de construcción, y otros factores como el clima, tiempo de curado o temas locales que afecten a un tratamiento en específico. El tratamiento más deseable es el que proporciona mayores beneficios (los beneficios están medidos en términos de la mejora en la condición del pavimento, extensión de la vida del pavimento, y de la vida del tratamiento) para los costos del ciclo de vida más bajos. A este punto de un ciclo de vida, deben medirse la efectividad de los costos.

Los costos de la reconstrucción y de mantenimiento se elevan con la edad del pavimento. Sin embargo, si el mantenimiento y/o la rehabilitación (M&R) se realiza anticipadamente, los costos son excesivamente altos. Hay un tiempo óptimo en la cual se puede realizar el mantenimiento para proporcionar los costos efectivos máximos. En la figura 8.2 se muestra una relación típica de la sincronización de los tratamientos con respecto a los costos efectivos.



**Figura 8.2**

Tratamientos sincronizados contra costos

*1. Costos efectivos*

Al calcular los costos efectivos para una evaluación inicial se puede emplear un acercamiento simplificado. Este acercamiento simplificado es útil porque oscilan entre los costos y los precios de oferta reales. Un acercamiento simplificado que puede ser utilizado es el costo equivalente anual (EAC), este es el método para calcular un costo equivalente anual usando la siguiente ecuación:

$$EAC = \frac{\text{Costo unitario del tratamiento}}{\text{Expectativa de vida del tratamiento}}$$

En esta etapa puede ser seleccionado el tratamiento que encuentra las exigencias de funcionamiento con EAC más bajo. Existen otros métodos más complejos, y que pueden ser usados para calcular toda una vida de un tratamiento.

## *2. Eligiendo la matriz del tratamiento en mantenimiento*

Los problemas principales a considerar, cuando es seleccionado entre el listado de tratamientos aceptados en la matriz de selección de tratamientos son:

- a. *Los factores del funcionamiento y la capacidad de construcción:* incluyen la vida prevista de un tratamiento, efectos del tiempo sobre el tratamiento, las condiciones existentes del pavimento, la estructura existente del pavimento y el EAC calculados para el tratamiento. La experiencia del contratista, la disponibilidad de los materiales y las limitaciones del tiempo deben también ser consideradas. Cada uno de estos artículos es clasificado en una escala de 1 a 5, ver tabla 8.1. El ingeniero del mantenimiento o el supervisor debe asignar los grados basados en su experiencia individual. Los grados se basan en el hecho de que un tratamiento es conveniente cuando se aplica correctamente; sin embargo, las limitaciones del proyecto tales como condiciones del clima y las limitaciones de materiales pueden prohibir procedimientos apropiados a seguir. En situaciones donde se están introduciendo nuevos productos o fuentes de materiales debe ser considerado como un factor de riesgo, y dar un grado más bajo a estos materiales. Igualmente, si un contratista desconoce un producto nuevo o tiene un nuevo material se le da un grado más bajo, a pesar de las características técnicas del producto nuevo.
  
- b. *Los factores de la satisfacción al cliente:* son factores sociales estos incluyen: interrupción del tráfico, la resistencia alcanzado al derrape y el nivel de ruidos, ver tabla 8.1. Los factores estéticos tales como polvo y apariencia general también se incluyen. Esto permite que sea evaluada una opción factible con otros factores después del costo y del funcionamiento. El tratamiento más rentable y duradero no puede ser el tratamiento más razonable para el pavimento, y razonable en el momento adecuado en algunas condiciones.

Factor de índice	Criterio de evaluación	Factor de puntaje	Factor de índice	Puntaje total
<b>Tipo de tratamiento</b>				
<b>Atributos de la evaluación de desempeño</b>				
%	Expectativa de vida esperada			
%	Efectos por condiciones de tiempo			
%	Influencia de la estructura del pavimento			
%	Influencia de la condición existente del pavimento			
<b>Atributos de construcción</b>				
%	Costos efectivos (EAC)			
%	Experiencia en los contratistas			
%	Disponibilidad de la calidad en los materiales			
%	limitantes de tiempo			
<b>Atributos de satisfacción del conductor</b>				
%	Interrupción del tráfico			
%	Ruido			
%	Superficie de fricción			
100%			Total	
Factor de índice: porcentaje de impacto en la decisión del tratamiento (suma total =100%)				
Factor de puntaje: 5= muy importante 4= Importante 3= Alguna importancia 2= Poca importancia 1= Ninguna importancia				

**Tabla 8.1**

Matriz del Índice de Evaluación de Trabajo

## **8.2 EFECTIVIDAD DE LOS TRATAMIENTOS DE MICROSURFACING**

### **8.2.1 INTRODUCCIÓN**

En El Salvador se ha tomado un gran auge en el desarrollo de la infraestructura vial, y es necesario guardar esta gran inversión realizada por el país y eso solo puede hacerse por medio de un mantenimiento preventivo, siendo más económico y factible; por eso es necesario aplicar una filosofía de mantenimiento preventivo de los pavimentos. En la sección 8.2 del capítulo VIII se presenta un estudio donde demuestra una metodología para determinar la efectividad a corto y largo plazo de los tratamientos de microsurfacing usando datos de secciones de pavimento tratadas en Indiana (EE.UU.).

Para la efectividad a corto plazo, la medida de eficiencia usada es el salto del rendimiento (el aumento instantáneo en la condición que sigue después del tratamiento). Para la efectividad a largo plazo, se utilizó tres medidas de eficiencia: la vida de servicio del tratamiento, el aumento en la condición del pavimento, y el área limitada por la curva de funcionamiento. Para cada medida de eficiencia, fueron utilizados tres indicadores del funcionamiento del pavimento: IRI, RUT, y PCR.

El Microsurfacing es relativamente un nuevo tratamiento de mantenimiento preventivo que se aplica típicamente a los pavimentos flexibles para tratar daños de menor grado, corregir rodaderas, mejorar la textura superficial, aumentar la calidad del recorrido, y ampliar en última instancia la vida del pavimento, un papel que ha encontrado desempeñando muy bien.

Estos estudios han establecido una base de conocimiento valiosa para la evaluación de la efectividad del microsurfacing. Esta base de conocimiento existente podría ser estudiada más a fondo explícitamente identificando el pavimento, el tráfico, y las cualidades ambientales que influyen la eficiencia de este tratamiento. De esta manera, sería posible desarrollar modelos que se podrían utilizar por las agencias para predecir las vidas previstas de servicio y/o el funcionamiento creciente sobre el tratamiento del microsurfacing, siendo para cualquier combinación dada las tales cualidades, en corto plazo y a largo plazo.

Por eso los modelos de la efectividad del tratamiento del pavimento son vitales para la ingeniería del pavimento, el gobierno (incluyendo análisis de ciclo vida y costos) y los estudios de la evaluación necesarios para la carretera. Conociendo la efectividad de un tratamiento, las agencias se basan mayormente si es necesaria para determinar cuando el pavimento ha sobrepasado cierto umbral o llegar a un nivel inaceptable del funcionamiento y por lo tanto puede especificar confiablemente el año futuro de una actividad de reconstrucción o de rehabilitación. Entonces con los modelos de costos del tratamiento, es posible estimar el costo futuro cuando es debido, con los ajustes apropiados para cualquier inflación, economías de escala, localización geográfica, etc. Con tal información mejorada sobre vida y costo del tratamiento, es más confiable

programar y los presupuestos se pueden elaborar para la preservación del pavimento. Además, el marco para analizar la efectividad de los tratamientos de la preservación del pavimento, es útiles a los encargados del mantenimiento del pavimento y porque permiten los análisis comparativos de las ventajas de los tratamientos que se diferencian por el tipo, material, tecnología, procedimiento, ambiente, jurisdicción, fuente de trabajo (local versus por contrato, o entre los contratistas).

## **8.2.2 ANÁLISIS DE LA EFECTIVIDAD A CORTO-PLAZO**

El funcionamiento máximo en corto plazo puede no traducirse necesariamente al funcionamiento máximo al largo plazo. Sin embargo, el funcionamiento a corto plazo puede proporcionar una cierta indicación aproximada de cómo el tratamiento se podría comportar para realizarse a largo plazo.

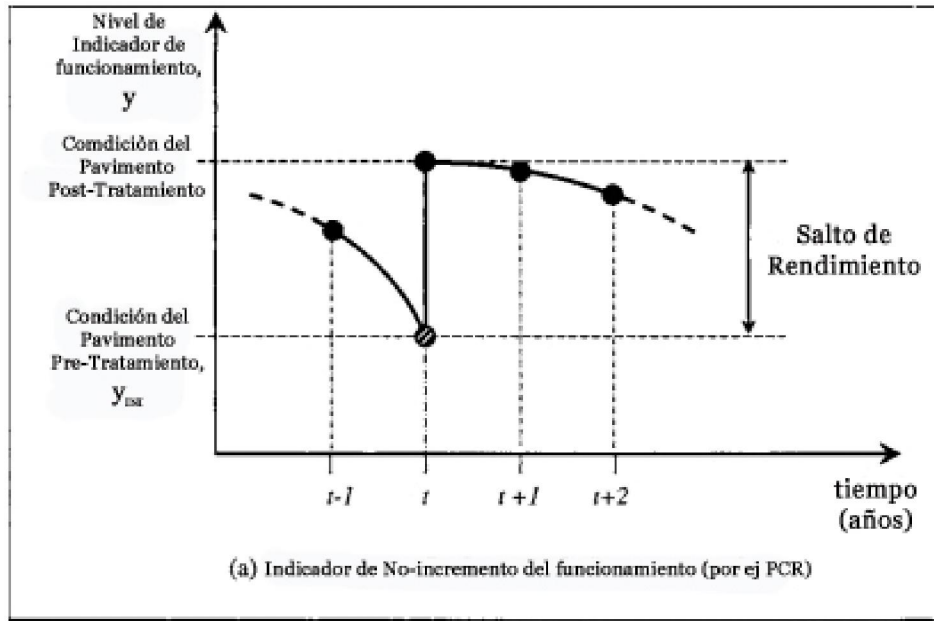
### **8.2.2.1 Medidas de la efectividad a Corto-Plazo**

La eficacia a corto plazo de los tratamientos del pavimento se puede medir en términos de un salto de rendimiento del pavimento inmediatamente después del tratamiento o de una reducción repentina en la cuesta de la curva de deterioro. Según la figura 8.3 el salto de rendimiento debido a un tratamiento se puede determinar usando datos anuales de la condición del pavimento, el tratamiento se realiza antes de medir la condición reportada por ese año. La condición del tratamiento previo es desconocida, pero se puede extrapolar fácilmente los datos anteriores de la condición usando una tendencia lineal (sobre una duración de 1 o 2 años, tal asunción de las linealidades se puede considerar prudente).

### **8.2.2.2 Indicadores del funcionamiento para la efectividad a Corto-Plazo**

Al seleccionar un indicador apropiado del funcionamiento para la efectividad del tratamiento es vital considerarlo para cuestionarse como está funcionando o de la condición del pavimento, debido al hecho de que el microsurfacing es aplicado típicamente para tratar de daños de menor importancia, rodaderas, la textura

superficial, o mejorar calidad del trayecto. El indicador ideal del funcionamiento para determinar el salto de rendimiento del microsurfacing debe ser los índices que capturan directamente el grado y la severidad de estos defectos; y los siguientes indicadores del funcionamiento fueron utilizados en el actual estudio:



**Figura 8.3**

Determinación del salto de Rendimiento en No-Incremento

### 1. Índice Internacional De la Rugosidad (IRI)

Ésta es la medida de la calidad del trayecto del pavimento que cuantifica la desigualdad del pavimento (baches) en unidades de m/km y los valores inician desde cero (un pavimento sin baches), sin el límite superior teórico (pavimentos con muchos baches pueden tener valores de IRI superiores al 4.74 m/km). Se mide el IRI usando un vehículo equipado que pasa sobre el pavimento y mide las variaciones en distancia vertical de un punto de referencia situado debajo de la camioneta, usando un rayo



láser<sup>1</sup>. La mayor rugosidad de la superficie del pavimento la traduce a mayores variaciones en la distancia vertical.

### *2. Índice de Rodamiento o Ahuellamiento (RUT)*

Ésta es la profundidad media de canales longitudinales en trayectorias de la rueda en el pavimento y se mide usando una camioneta equipada o un equipo básico de campo tal como regla calibrada o barras de madera.

### *3. Grado De la Condición Del Pavimento (PCR)*

Ésta es una medida de daños en la superficie del pavimento en una escala que se extiende a partir del cien (excelente) a cero (pavimento fallado), incluye daños por ejemplo grietas transversales, grietas longitudinales, y grietas de bloque. El inspector obtiene PCR usando los grados de la frecuencia y la severidad de la superficie del pavimento dañado.

En el estudio se usaron estos indicadores, por que son los que mejor muestran cuantitativamente los daños a evaluar y también son los que se tenían a disposición en mayor cantidad y constantes en el tiempo; este es un punto muy importante siempre a tomar para escoger los indicadores del funcionamiento del pavimento.

#### **8.2.2.3 Eficacia de Microsurfacing en corto plazo**

Los datos para el análisis del salto del rendimiento se obtuvieron de los tratamientos realizados en 18 secciones de 46 caminos del estado, 465 interestatales, y 231 autopistas en Indiana, EE.UU. Se tomaron datos anuales de la condición para las secciones del pavimento que recibieron tratamiento y las que no recibieron el tratamiento superficial microsurfacing (y ningún otro) entre 1995 y 2000, el salto de rendimiento fue determinado para cada sección del pavimento.

---

<sup>1</sup> Ver sección 2.5.2.2

El análisis a corto plazo demostró que el microsurfacing ofrece un salto significativo del funcionamiento sobre su uso, teniendo: 0.632-0.237m/km de reducción de IRI (un promedio 0.442); 5 milímetros de reducción de la rodadera (promedio 4); 3-9 unidades de aumento de PCR (promedio 6.2). El análisis determinó que la efectividad a corto plazo del tratamiento es influenciada en gran parte por la condición del pavimento momentos antes del tratamiento. Dentro del rango de las condiciones del tratamiento previo encontradas en el estudio, se determinó que mientras más baja es la condición del tratamiento previo, más alto es el salto del funcionamiento.

### **8.2.3 ANÁLISIS DE LA EFECTIVIDAD A LARGO PLAZO**

Para la evaluación a largo plazo de la eficacia de los tratamientos microsurfacing. El estudio considero tres medidas de eficacia las cuales consiste en:

#### **1. Estimación de la Vida del Tratamiento**

En términos del tiempo (años), la vida del tratamiento del microsurfacing se calcula determinando el tiempo estimado que pase antes de tratar de preparar y restituir el umbral de la condición establecida (tal como la condición antes del tratamiento pasado o de provocar la primera condición especificada).

#### **2. Incremento Promedio de la Condición del pavimento sobre la vida del tratamiento**

Es un simple acercamiento a estimar el promedio de la condición del pavimento sobre la vida del tratamiento de microsurfacing, realizando las medidas en el terreno anual de los indicadores del funcionamiento (en este caso, IRI, RUT, y PCR) hasta tal lapso que la condición del pavimento desciende debajo del umbral especificado. Un alternativa y un acercamiento más conveniente es desarrollar modelos de funcionamiento usando datos de una colección de

pavimentos tratados y después con tales modelos determinar el valor medio de la ordenada (condición del pavimento) en cada año de la vida del tratamiento.

### **3. Incremento del área debajo de la curva del funcionamiento debido al tratamiento**

El área limitada por la curva de funcionamiento y la línea del umbral incorpora conceptos de la efectividad de la condición media del pavimento y la vida de servicio. Como tal, el "área limitada por la curva" puede representar la medida más apropiada de efectividad a largo plazo. Un acercamiento simple para determinar el área debajo de la curva del funcionamiento es realizar la supervisión del campo de la condición del pavimento para varias secciones del pavimento que recibieron el tratamiento, trazando un gráfico de las medidas de la condición contra tiempo, se determina el área bajo el diagrama del funcionamiento para cada sección del pavimento, y encontrando el promedio de estas áreas. Alternativamente, se podría desarrollar una sola curva del funcionamiento del pavimento usando datos de todas las secciones tratadas del pavimento y entonces el área limitada por la curva a partir del tiempo del tratamiento al tiempo que alcanzo el umbral especificado se podría calcular usando coordenadas geométricas o cálculo.

#### **8.2.3.1 Efectividad de Microsurfacing en base la vida de servicio del tratamiento**

Los resultados demuestran que en promedio, la oferta del microsurfacing a la vida de servicio media es aproximadamente de 5 años en el IRI y es utilizada como la medida de efectividad, sobre 15 años en base de índice de rodadera, y 7 años en base de PCR. Donde las vidas de servicio múltiples son indicadas por los diversos indicadores del funcionamiento, en lo menos (en este caso, 5 años) se pueden tomar generalmente para representar la vida de servicio real del tratamiento. Este resultado es constante con los resultados de los investigadores anteriores que han indicado que el microsurfacing se realiza bien de 5-7 años después de las condiciones favorables dadas en uso. También,

este resultado indica que la eficacia del microsurfacing a largo plazo es la más perceptible cuando se utiliza el índice de rodadura como el indicador del funcionamiento. Esto parece confirmar las hipótesis y los resultados de la última investigación<sup>2</sup>, que el microsurfacing puede retardar perceptiblemente las rodaderas del pavimento.

### **8.2.3.2 Efectividad del Microsurfacing en base al Incremento de la condición del pavimento**

El estudio demuestran que dependiendo de la clase del pavimento, del nivel del carga de tráfico, y de la severidad del índice de helada, los tratamientos microsurfacing ofrecieron una disminución del 27% al 6% en IRI, una reducción del 96% al 92% en índice de rodadura, y a aumento del 2 al 7% en condiciones iniciales en relación con el PCR, sobre la vida del tratamiento. Los resultados sugieren que la efectividad microsurfacing es la más perceptible cuando se utiliza el índice de rodadura como indicador del funcionamiento y relativamente menos perceptible cuando se utilizan IRI y PCR. En términos de Medida de Efectividad (MOE), los resultados proporcionan relativamente pocas diferencias en el impacto del aumento de la carga al tráfico y de la severidad del índice de helada en la efectividad del tratamiento del microsurfacing. También, fue determinado que el precio de los pavimentos no interestatales es levemente mejor que sus contrapartes las interestatales en base al índice de rodadura y del IRI, mientras que el precio de un pavimento interestatal es mejor en términos de PCR. Esto sugiere que las características estructurales o de diseño inherentes de los pavimentos interestatales son menos susceptibles a agrietarse al post microsurfacing comparado a sus contrapartes las no interestatales. A excepción de los impactos relativos de la carga de tráfico y de la severidad climática, estos resultados son similares a los obtenidos cuando la vida de servicio se utiliza como la medida de efectividad.

---

<sup>2</sup> Fuente: Dwight-Hixon y Ooten 1993; Raza 1994

### **8.2.3.3 La efectividad del Microsurfacing sobre la base del área limitada por la curva del funcionamiento**

El análisis de esta otra medición demuestra la variación significativa en la efectividad de los tratamientos microsurfacing en los términos del área bajo la curva del funcionamiento post tratamiento. Esto demuestra que el tratamiento rinde la efectividad (área) de aproximadamente 0.489-4.074 (m/km) por año (para IRI); de 16-104 milímetros por año (para la RUT), y 18-56 unidades de PCR por año, dependiendo de los niveles del carga de tráfico, del índice de helada, y de la clase de pavimento. A diferencia del caso para la vida de servicio del tratamiento y el incremento de la condición del pavimento, no es apropiado comparar efectividad relativa a través de los indicadores del funcionamiento para esta medida de efectividad debido a las diferencias en las unidades y a las dimensiones para cada indicador. Los resultados demuestran que para un nivel de alto tráfico con un índice de helada constante, así como para un índice de helada más alto con carga de tráfico constante, la efectividad (área limitada por la curva) cae bruscamente, independiente del indicador del funcionamiento. Además, a partir de una clase del pavimento a otro, parece haber diferencias significativas en la efectividad del microsurfacing en base los indicadores del funcionamiento, índice de rodadura y de IRI: los tratamientos microsurfacing parecen ser más efectividad (ofertas a mayor área limitada por las curvas del funcionamiento del RUT o del IRI) en los pavimentos no interestatales comparados con los interestatales, para cualquier combinación de los regímenes del carga y de índice de helada.

A continuación se presenta la tabla resumen de los datos obtenidos en el análisis de la efectividad a largo plazo del tratamiento de microsurfacing para mantenimiento preventivo. (Ver tabla 8.2)

Medida de Eficacia y nivel de trafico / régimen de clima		Indicador de Función y Clase de Pavimento					
		IRI		RUT		PCR	
		Interestatal	No interestatal	Interestatal	No interestatal	Interestatal	No interestatal
<b>Vida de Servicio del Tratamiento</b>	Trafico Bajo Helada Baja	6 años	9.62 años	>15	>15	14 años	11 años
	Trafico Alto Helada Baja	3 años	5 años	>15	>15	7 años	6 años
	Trafico Bajo Helada Alta	3 años	5 años	15 años	>15	7 años	6 años
	Trafico Alto Helada Alta	2 años	3 años	12 años	15 años	4 años	4 años
<b>Aumento en el promedio de la Condición del Pavimento</b>	Trafico Bajo Helada Baja	8.69%	26.77%	92.16%	95.87%	5.91%	4.22%
	Trafico Alto Helada Baja	10.32%	16.21%	93.04%	95.78%	6.24%	3.34%
	Trafico Bajo Helada Alta	6.79%	19.92%	90.86%	94.60%	5.58%	3.29%
	Trafico Alto Helada Alta	8.13%	7.94%	92.09%	94.46%	5.92%	2.42%
<b>Área baja la curva</b>	Trafico Bajo Helada Baja	1.491 (m/km) por año	4.071 (m/km) por año	44.15 mm por año	105.04 mm por año	55.53 PCR por año	36.61 PCR por año
	Trafico Alto Helada Baja	0.710 (m/km) por año	1.938 (m/km) por año	28.10 mm por año	66.82 mm por año	27.98 PCR por año	18.44 PCR por año
	Trafico Bajo Helada Alta	0.785 (m/km) por año	2.143 (m/km) por año	18.19 mm por año	43.26 mm por año	27.55 PCR por año	18.16 PCR por año
	Trafico Alto Helada Alta	0.497 (m/km) por año	1.357 (m/km) por año	14.72 mm por año	35.01 mm por año	18.51 PCR por año	12.20 PCR por año

**Tabla 8.2**

Resumen de resultados de la Eficacia del tratamiento de Microsurfacing a Largo Plazo,

Fuente: Effectiveness of Microsurfacing Treatments

### **8.3 COMPARACIÓN DE LA RENTABILIDAD DEL MICROSURFACING Y MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EN CAPAS DELGADAS (HMA)**

Esta comparación se realizó luego de la investigación de la Efectividad de los Tratamientos de Microsurfacing<sup>3</sup>, y teniendo en cuenta que el microsurfacing y las mezclas asfálticas en caliente en capas delgadas (HMA<sup>4</sup>) constituyen una categoría de mantenimiento preventivo, se realizó este estudio. La investigación muestra como realizar una comparación de la rentabilidad a largo plazo de dos tratamientos competentes al mantenimiento del pavimento, utilizando tres medidas de efectividad, descrita en la sección 8.2.3

#### **8.3.1 ANÁLISIS DEL COSTO DEL TRATAMIENTO**

El costo de cada tratamiento se comprendió de tres componentes: el costo de la agencia (contractual), el costo del usuario durante operaciones de zona de trabajo, y el costo del usuario durante operaciones normales de la carretera. El análisis de rentabilidad fue realizado sobre la base de dos condiciones: solo el costo de la agencia, y tanto el costo de la agencia como la del usuario. Donde tanto el costo de la agencia como la del usuario fueron considerados, y fue asumido que ellos tienen el mismo peso. En otras palabras, un dólar de agencia es asumido para ser igual a un dólar de costo de usuario, por lo tanto su costo total es simplemente la suma de los dos gastos.

##### **8.3.1.1 Estimación del costo en la agencia del tratamiento**

En el estudio los tratamientos en las varias secciones fueron aplicados en diferentes años. Y como tal se utilizó el Índice de Costo de mantenimiento de Carretera del FHWA<sup>5</sup> y fue aplicado a los valores de costo del tratamiento para representar los efectos inflacionistas. Los costos se presentaron en valores promedios y/o los modelos

---

<sup>3</sup> Fuentes: Samuel Labi, Geoffrey Lamptey, y Siew-Hwee Kong

<sup>4</sup> HMA: Hot Mix Asphalt, Mezclas Asfálticas en Caliente

<sup>5</sup> FHWA: Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation

estadísticos relacionan los costos con otros factores. También, los Microsurfacing y las mezclas en caliente en capas delgadas (HMA) tienen vidas de servicio diferentes, sus costos se tuvieron que convertir en costos equivalentes uniformes anuales.

### **8.3.1.2 Estimación del costo del usuario del tratamiento.**

#### *1. Costo del usuario durante operaciones de zona de trabajo*

Los gastos de usuario son asociados sobre todo con la formación de una cola de espera de retrasos experimentados durante la duración de la zona de trabajo y son bajo la influencia de la coordinación de distribución y la duración del microsurfacing y las mezclas en caliente en capas delgadas (HMA), el volumen de tráfico interrumpido debido a la zona de trabajo, y valores de coste de tiempo de viajes establecidos.

#### *2. Costo del usuario durante operaciones normales de la carretera*

Un vehículo que es manejado sobre una superficie de pavimento áspera probablemente se deprecia más rápidamente que un que es manejado sobre un pavimento con superficie lisa. Esto es porque el movimiento de neumáticos de vehículo sobre una superficie de pavimento áspera es asociado con mayor resistencia al movimiento que conduce a los niveles más altos de consumo de combustible comparado a viajes en una velocidad similar sobre una superficie lisa. Asimismo un paseo desigual (baches) conduce al aumento de la vibración y el desgaste de partes del vehículo. La brusquedad del pavimento por lo tanto afecta gastos de usuario por el mantenimiento aumentado, los neumáticos, la reparación, y la depreciación.

## **8.3.2 RESULTADO DEL ANÁLISIS DE COSTOS DE TRATAMIENTO**

### **8.3.2.1 Mezclas Asfálticas en caliente en Capas Delgadas**

Los costos de las capas delgadas son medidos por carril-milla y el grueso del material, que unido representa el volumen (o el tonelaje) del material usado. El costo de cada



tonelada de la mezcla de concreto de HMA es muy constante. Como tal, se espera que los costos de las capas delgadas sean bastante estables sin importar la localización, el tipo, y las cualidades del otro pavimento. Sin embargo, una examinación cercana de los contratos de capas delgadas realizadas dentro del período del estudio revela lo contrario. Con un promedio de \$61.664 (1995 dólares) y una desviación de estándar bastante grande de \$22.935, es obvio que los costos de tratamientos del recubrimiento por carril-milla son influenciados por otros factores al lado del costo unitario básico de la mezcla de concreto de HMA que es generalmente constante cuando está corregida para la inflación. Los contratos de capas delgadas incluyen sumas de la movilización del contratista, el trabajo preparatorio superficial (tal como moler), y otros costos.

Los factores que el estudio demostró que afecta a las mezclas asfálticas en caliente en capas delgadas son: primero los costos son mas altos en áreas urbanas que en áreas rurales; secciones más cortas de colocado del tratamiento se vuelven considerablemente más costosas, en los costos unitarios comparados con tramos mas largos; el espesor de la capa del HMA fue encontrado como un factor significativo que afecta el costo unitario medido por carril-milla.

El costo de usuario de las capas delgadas durante la construcción inicial (trabajo de zona) y operaciones de carretera normales aproximadamente, como se estimaba, eran \$55,000 y \$15,000 por carril-milla, respectivamente.

### **8.3.2.2 Microsurfacing**

Usando datos de 11 secciones que recibieron este tratamiento dentro del período de estudio, se estima que el coste medio de microsurfacing es de \$27,434 por carril-milla (1995 dólares), con una desviación estándar de \$7,933. La pequeña cantidad de secciones desarrollo prevenido modelo para este tipo de tratamiento. En el futuro tiempo, cuando más secciones reciben este tratamiento, puede ser apropiado desarrollar un modelo que estimaría los costes unitarios en términos de atributos de pavimento. El usuario cuesta de microsurfacing durante la construcción inicial (trabajo de zona) y operaciones de carretera normales aproximadamente fueron estimadas como \$35,000 y \$12,000 por carril-milla, respectivamente.

### **8.3.3 Análisis de La Rentabilidad**

#### **8.3.3.1 Vida del tratamiento (extensión en la vida de servicio del pavimento debido al tratamiento)**

Se ve que mientras que el microsurfacing ofrece una vida de servicio más pequeña comparada con la capa delgada de HMA, es 51% - 59% más rentables que el último. La rentabilidad más alta de microsurfacing es constante, independiente del cargamento de tráfico y de la severidad del clima, pero se parece ser más obvia para las secciones con el carga de tráfico bajo y la alta severidad climática.

#### **8.3.3.2 Incremento del área debajo de la curva del funcionamiento debido al tratamiento**

Cuando el área limitada por la curva del funcionamiento se utiliza como medida de eficacia del tratamiento, microsurfacing se encuentra para ser 54% - 71% más rentables que las capas delgadas de HMA. Las tendencias relativas de la rentabilidad a través del tráfico y los regímenes climáticos son similares a las observadas cuando se utiliza como la medida de eficacia la vida del tratamiento.

#### **8.3.3.3 Incremento Promedio de la Condición del pavimento sobre la vida del tratamiento**

En base de la condición inicial en relación al incremento de la condición del pavimento (en la época del tratamiento), el microsurfacing se ve para ser más rentable en todos los casos (no obstante con la variación marcada - extendiéndose a partir de una rentabilidad más alta de la 15% - del 59%). La única excepción es para el alto nivel del tráfico y la severidad climática. Esto sugiere que en la situación donde es muy poblado donde es alto la carga de tráfico, índice de la helada es alto, y el aumento en la condición del pavimento está de mayor interés comparado a la vida del tratamiento, las capas delgadas se puede considerar una opción más rentable.

#### 8.4. EXPERIENCIAS DEL MICROSURFACING EN EL SALVADOR

En El Salvador esta técnica se ha aplicado desde el año 1994, habiéndose colocado a nivel nacional un aproximado de 2, 500,000 m<sup>2</sup><sup>6</sup> hasta la fecha. Algunas de las vías más importantes en las cuales se ha utilizado el microsurfacing, se pueden mencionar: Autopista Sur, Boulevard Venezuela, 1º Calle Poniente, Calle a San Antonio Abad, 39 Av. Norte, Alameda Juan Pablo II, Alameda Roosevelt, 25 Av. Norte, las Calles de Rodaje en el Aeropuerto Internacional de El Salvador y el ultimo proyecto (2007) en la Av. Masferrer Norte-Sur.

Entre Enero y Marzo de 1996 se llevó a cabo un programa de Microsurfacing para el área metropolitana de San Salvador, el cual fue ejecutado para el MOP en un área total de 110,480 m<sup>2</sup> especialmente en vías de alto tráfico como El Paseo General Escalón, 75 Avenida. Norte y Sur, Boulevard Constitución y 27 Calle poniente entre otras (ver fotografías de la 8.1 a 8.3). Luego Entre noviembre 2002 y junio 2003 se aplicó Microsurfacing en los principales corredores del área metropolitana de San Salvador en 14 vías con un área de 28.93 Km<sup>2</sup>, en un programa de Mantenimiento por contrato que ejecuto el MOP. Las vías después de cuatro años solo presentaron un área que ha sido bachada inferior al uno por ciento del pavimento tratado (incluye las cortaduras de ANDA), ver tabla 8.3.

<b>Año de Inspección</b>	<b>Área Dañada</b>	<b>Porcentaje de Bacheo</b>
1996 y 1997		cero bacheo
1998	827 m2	0.7% del total
1999	1,228 m2	1.1% del total
2000	3,031 m2	2.7% del total
Junio 2003		cero bacheo en último proyecto

**Tabla 8.3**

Resumen de Inspección de daños en pavimentos tratados con microsurfacing en El Salvador<sup>7</sup>

---

<sup>6</sup> Fuente: Asfaltos de Centroamérica S.A. de CV. (ASFALCA), año 2006

<sup>7</sup> Fuente: Asfaltos de Centroamérica. S.A. de CV. (ASFALCA)



**Fotografía 8.1**

Aplicación del microsurfacing en el Boulevard Venezuela San Salvador, año 2003



**Fotografía 8.2**

Aplicación del microsurfacing en 25 Av. Sur San Salvador, año 2003



(a)



(b)

### Fotografía 8.3

Aplicación del microsurfacing en San Salvador

(a) Alameda Roosevelt, año 2004 y (b) Boulevard Tutunichiapa, año 2004

A continuación se presenta otros proyectos realizados en los últimos años Fotografía 8.4 y 8.5.



### Fotografía 8.4

Aplicación del microsurfacing en Boulevard Orden de Malta San Salvador 2005



### **Fotografía 8.5**

**Aplicación del Microsurfacing Av. Masferrer Norte-Sur en San Salvador 2007**

Además de ser uno de los métodos de mantenimiento preventivo más integral, el microsurfacing es el más económico, lo que permite que un mayor número de calles o carreteras sean atendidas con un bajo presupuesto. En el país aproximadamente un sistema de recarpeteo cuesta entre los \$10.00 a \$11.66 por metro cuadrado, el microsurfacing tendría un costo aproximado entre los \$3.00 a \$4.00/metro cuadrado, le ahorra el aproximadamente el 70% en una comparación simple. En una programación a 6 años el costo del recarpeteo y mantenimiento cuesta aproximadamente \$27.89 por m<sup>2</sup> durante el período. El microsurfacing tendría un costo aproximado del 28.0 %. Si consideramos un proyecto de 100,000 m<sup>2</sup>, el estado ahorraría casi \$2,008.080.00. A esta cantidad se le quita un 15% de lo que sería el bacheo y sello de grietas necesarias para preparar la superficie, dando un ahorro real de \$ 1,706.868.00. El recarpeteo colocado por el gobierno en una vía principal se hace históricamente cada tres años. El microsurfacing colocado en la misma vía deberá hacerse una vez cada cuatro años.

#### **Otras Ventajas en Resumen**

- No se altera perceptiblemente el perfil del camino, por lo que no necesita ajustes en las guías del mismo.

- Se aplica a temperatura ambiente, no emite emanaciones químicas dañinas al medio ambiente.
- Mínima interrupción al tráfico.
- Proporciona a la vía una nueva superficie de rodamiento, mejorando su textura y dotándola de una superficie con alto grado de fricción.
- En una doble aplicación corrige el ahuellamiento y evita el hidroplaneo.

#### Importante Recordar

- Reparar todas las áreas de falla previa a la aplicación del Microsurfacing. Sellar las fisuras en las superficies del pavimento con un aceptable sellador de fisuras.
- El mantenimiento oportuno es mas barato que la reconstrucción de calle o carretera.

### **8.5 ANÁLISIS DE COSTO UNITARIO (COSTO DIRECTO)**

En esta sección se describe los elementos que conforman la partida para microsurfacing, el cual se ha desglosado en tres rubros: equipos y herramientas, materiales y mano de obra.

#### **8.5.1 Equipos y Herramientas**

*La máquina Bergkamp* es un Camión de fabricación de Microsurfacing<sup>1</sup> el cual puede manejar diversas cantidades de materiales (ver tabla 8.4), este equipo tiene un rango de producción de 1814.4 kg/min (4000 lb/min) con respecto a las especificaciones de la fabrica Bergkamp, pero con diferentes fabricantes los equipos pueden variar la cantidad de materiales y su rendimiento. La Tasa de aplicación puede estar entre 8 a 11 Kilogramos por metro cuadrado generándonos espesores entre 8 y 11 mm de mezcla que son colocados rápidamente y 60 minutos después están listos para el paso del tráfico que ejerce una compactación neumática necesaria para el acabado final. Capacidad de colocación hasta 10,000 mt<sup>2</sup> en Carretera y entre 7,000 a 8,000 mt<sup>2</sup> en la ciudad por jornada de trabajo. (Ver fotografía 8.6),

	<b>M206 Truck-Mounted Paver</b>	<b>M210 Truck-Mounted Paver</b>
<b>Agregado</b>	6 yd <sup>3</sup> (4.5 m <sup>3</sup> )	10 yd <sup>3</sup> (7.7 m <sup>3</sup> )
<b>Emulsión</b>	300 galones (1,135 litros)	600 galones (2,270 litros)
<b>Agua</b>	300 galones (1,135 litros)	600 galones (2,270 litros)
<b>Aditivo</b>	55 galones (200 litros)	55 galones (200 litros)

**Tabla 8.4**  
Cantidades de Materiales para la maquina Bergkamp, Camión de fabricación de  
Microsurfacing<sup>8</sup>



**Fotografía 8.6**  
Maquina Bergkamp, Camión de fabricación de Microsurfacing

Este tipo de maquinaria se puede evaluar con respecto al tiempo de uso para determinar su costo, y sabiendo que aproximadamente que un área de 650m<sup>2</sup> se coloca

---

<sup>8</sup> Fuente: <http://www.bergkampinc.com>



aproximadamente en un tiempo de 10 a 15 minutos y se puede hacer aproximaciones de cuanto tiempo será la colocación del material, otro tiempo a tomar en cuenta es el de traslado de ida y vuelta a la planta, el tiempo de carga de maquinaria que esto va a influir de que tan lejos este el acopio de los materiales que el tiempo deseable es que sea máximo unos 15 minutos de cargado, estos tiempos son muy importantes considerarlos en una jornada de colocado, obteniendo así el total de horas, pero cuando son tramos largos en el proyecto se hará en varios días, este se puede analizar por día. Sumando esos tiempos, se puede encontrar el tiempo de uso de la maquinaria.

***Barredora Mecánica.*** de estas hay diversos tipos, y lo que se busca es que el equipo pueda dejar una superficie limpia con un buen rendimiento (ver fotografía 8.7), para obtener su tiempo de operación variara con respecto a su marca y tipo, el cual al momento de contratar es de solicitar el rendimiento del equipo, este tiempo ayuda para saber en que tiempo podemos iniciar el colocado del microsurfacing. El tiempo a utilizar es el mismo en el que se utiliza la maquina de microsurfacing. Hay casos en el cual no se utiliza barredoras mecánicas, y esto es cuando son tramos pequeños, es más factible utilizar pistolas de aire y poner personal a hacer la limpieza adecuada.



**Fotografía 8.7** Barredora Mecánica

***Cargador Frontal:*** este ayuda a poder cargar de agregado a la tolva del camión de microsurfacing (ver fotografía 8.8 y 8.9), el tiempo aproximado de carga lo puede hacer entre unos 5 minutos, pero este al analizarlo en todo el costo tendrá el mismo tiempo de la maquina de microsurfacing.



**Fotografía 8.8**  
Cargador Frontal



**Fotografía 8.9**  
Cargador Frontal colocando agregado a la tolva de camión de micro

***Pipa para Agua y Emulsión***, es necesario tener en cuenta que se necesitaran camiones cisternas, comúnmente llamadas pipas (ver figura 7.10), para el almacenamiento del agua y la emulsión. Esta parte es mejor tomarla como suma global, y se toma el tiempo que durará la jornada o el proyecto.



**Fotografía 8.10**

Un Camión Cisterna ó Pipa

***Un Pick Up***, para llevar herramientas pequeñas y otros diversos usos hacia el proyecto en ejecución, y se toma como suma global; haciendo un cálculo para aproximar todas los viajes que realizará el vehiculo.

***Low Boy***, para transportar maquinaria Pesada (ver fotografía 8.11), este se realiza también por suma global.



**Fotografía 8.11**

Low Boy transportando un Cargador Frontal

***Herramientas Pequeñas***, en esto se puede mencionar, lo que son Palas, Carretillas, Rastrillos, Pistolas de Aire, Conos, Señales de tránsito, Iluminación móviles, etc. Igual se realiza por suma global, y puede variar la cantidad y tipo de equipo a utilizar; en cada proyecto podría tener un valor diferente.

### **8.5.2 Materiales**

En los materiales analizados son los que se utilizaron para elaborar el microsurfacing, en esta parte se puede comprar la mezcla completa de una vez, o comprar los materiales y proporcionarla al fabricante para que produzca la mezcla de microsurfacing, o la forma en que se tenga el convenio o contrato.

### **8.5.3 Mano de Obra**

En la mano de obra se ha desglosado el personal mínimo que se puede tener en la colocación del microsurfacing, el cual la cantidad de personal puede variar de acuerdo a

las condiciones que se tengan en el proyecto, y el tiempo con que se contara el personal, es el tiempo en que dure el proyecto.

#### **8.5.4 Ejemplo de cálculo de costo unitario para el Microsurfacing**

Se hará un análisis hipotético sencillo de una mezcla de microsurfacing de espesor de 9 mm, analizando un tramo de un kilómetro con un carril de 7.50 m, tenemos un área de 7500 m<sup>2</sup>, un área que muy bien se realiza en una jornada de trabajo. La máquina cubre tramos aproximados de unos 250 a 260 m, el cual lo puede hacer en un tiempo de 10 a 12 minutos, y un tiempo de cargado de 12 a 15 minutos aproximadamente, quiere decir que en un tramo de 250 m con el proceso de cargado y colocado se podría llevar un tiempo de 30 minutos, el cual se haría en 12 colocaciones, teniendo un tiempo total de 6 horas, de colocado. Hay que tomar en cuenta que mínimo se debe tener 2 horas de preparación de lugar y una hora para terminar, teniendo una jornada de trabajo de 9 horas.

Teniendo el tiempo y área a colocar y conociendo los datos de laboratorio, y la tasa de aplicación se puede calcular el costo que este da para la colocación de microsurfacing; pero es importante analizar que los precios y el tiempo es un aproximado y puede variar con respecto a las circunstancias del proyecto; y se presentará una pauta de lo mínimo que puede constar una partida y así tener un aproximado del costo unitario del microsurfacing, a continuación se muestra la tabla para el cálculo del costo unitario del microsurfacing, sin considerar costo indirectos. (Ver tabla 8.5)

Empresa:

Fecha	<b>Nombre de Actividad</b>	<b>Código de Partida:</b>		
	<b>Microsurfacing</b>	Unidad	Cant.	Producción
		m <sup>2</sup>	Analizada	/ Día

**Equipos y Herramientas**

Código	Nombre de Equipo	Unidad	Cantidad	Rendimiento	Valor hora	Valor
	Máq. Bergkamp P/Micro	Horas	6		\$34.28	\$205.68
	Barredora Mecánica	Horas	6		\$34.28	\$205.68
	Cargador Frontal	Horas	6		\$34.28	\$205.68
	Pipa de Agua	SG	1		\$100.00	\$100.00
	Pipa para Emulsión	SG	1		\$100.00	\$100.00
	Pick Up	SG	1		\$135.00	\$135.00
	Low Boy	SG	1		\$3,000.00	\$3,000.00
	Herramientas Pequeñas	SG	1		\$1,000.00	\$1,000.00
<b>Total equipo y herramientas</b>						<b>\$4,952.04</b>

**Materiales**

Código	Nombre	desperdicio %	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Valor
	Emulsión	1	Gal.	1061	\$2.10	\$2,250.38
	Mat. Pétreo seg. Esp. 3/8"	10	m <sup>3</sup>	49	\$22.00	\$1,185.80
	Agua	1	Gal.	454	\$0.25	\$114.64
	Cemento 0.8%	1	Bols.	1	\$6.40	\$6.46
	Aditivos 1%	1	Gal.	16	\$1.00	\$16.16
<b>Total Materiales</b>						<b>\$3,573.44</b>

**Mano de Obra**

Código	Nombre	Unidad	Cantidad	personal	Salario/Hora	Valor
	Ingeniero Auxiliar	Horas	9	1	\$8.35	\$75.15
	Técnicos Especialistas	Horas	9	3	\$3.33	\$89.91
	Auxiliares de Máq. de Micro	Horas	9	7	\$3.33	\$209.79
	Auxiliares Viales	Horas	9	7	\$1.15	\$72.45
Sub Total						\$447.30
<b>Prestaciones 100%</b>						<b>\$62.62</b>
<b>Total Mano de Obra (subtotal + Prestaciones)</b>						<b>\$509.92</b>

<b>Total Costo Unitario (Materiales + Mano de Obra+ Equipo)</b>	<b>\$9,035.40</b>
-----------------------------------------------------------------	-------------------

**Tabla 8.5(a)**

Cálculo de costo unitario para el Microsurfacing

**Empresa:**

Fecha	Nombre de Actividad <b>Microsurfacing</b>	Código de Partida:		
		Unidad m <sup>2</sup>	Cant. Analizada	Producción / Día

**Equipos y Herramientas**

Código	Nombre de Equipo	Unidad	Cantidad	Rendimiento	Valor hora	Valor
	Máq. Bergkamp P/Micro	Horas				
	Barredora Mecánica	Horas				
	Cargador Frontal	Horas				
	Pipa de Agua	SG				
	Pipa para Emulsión	SG				
	Pick Up	SG				
	Low Boy	SG				
	Herramientas Pequeñas	SG				
<b>Total equipo y herramientas</b>						

**Materiales**

Código	Nombre	desperdicio	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Valor
	Emulsión		Gal.			
	Mat. Pétreo seg. Esp. 3/8"	10%	m <sup>3</sup>			
	Agua		Gal.			
	Cemento 0.8%		Bols.			
	Aditivos 1%		Gal.			
<b>Total Materiales</b>						

**Mano de Obra**

Código	Nombre	Unidad	Cantidad	Rendimiento	Salario/Hora	Valor
	Ingeniero Auxiliar	Horas				
	Técnicos Especialistas	Horas				
	Auxiliares de Máq. de Micro	Horas				
	Auxiliares Viales	Horas				
<b>Sub total</b>						
<b>Prestaciones 100%</b>						
<b>Total Mano de Obra (subtotal + Prestaciones)</b>						

<b>Total Costo Unitario (Materiales + Mano de Obra+ Equipo)</b>	
-----------------------------------------------------------------	--

**Tabla 8.5 (b)**

Cálculo de costo unitario para el Microsurfacing.





# ***Capítulo IX***

---

***Conclusiones  
y  
Recomendaciones***



## **9.1 CONCLUSIONES**

- Se considera factible la implementación de sistemas de microsurfacing en la red vial de El Salvador debido a que este sistema puede ser aplicado cuando existen bajos presupuestos que impiden los programas de mantenimiento preventivos; puestos que estos sistemas resisten volúmenes de tráfico intenso y pesado corrigiendo variedad de deterioros superficiales, mejorando los índices de condición de pavimento existente como el índice de Rugosidad internacional (IRI), Índice de Fricción Internacional (IFI) e Índice de Rodaderas (RUT).
- Los sistemas de microsurfacing brindan una protección al pavimento “comprando” tiempo porque impide el avance del deterioro que conlleva a un ahorro significativo para futuras reparaciones.
- En El Salvador hasta hace muy pocos años se ha comenzado un estudio de las condiciones del estado actual en las carreteras y caminos, creando inventarios que permitan darle un mantenimiento oportuno y adecuado a las vías del país, lo cual se selecciona el sistema más propicio según las condiciones que presente en el pavimento.
- Los sistemas de microsurfacing presentan la limitante que no deben utilizarse cuando la vía presenta deterioros que se asocian a problemas de tipo estructural.
- Los sistemas de microsurfacing pueden corregir deformaciones no estructurales en los pavimentos (deformaciones plásticas de la capa de rodadura) en profundidades de hasta 50 mm. Sin embargo, por ser una cubierta de la carpeta ya existente, su comportamiento está supeditado a la calidad y estado de la carpeta sobre la cual se coloque.
- La correcta toma de muestras del agregado y su correcta reducción a tamaños de ensayo, es vital para obtener datos representativos de los requerimientos reales de cada uno de los componentes de la mezcla de microsurfacing, ya que especímenes realizados con granulometrías no representativas provocarían

resultados erróneos tanto en la cantidades requeridas de emulsión y agua de mezclado, como en el comportamiento esperado del sistema.

- El agregado proveniente del deposito denominado “La Cantera S.A. de CV.”, ubicado sobre el km 57+500 de la carretera el litoral es adecuado para utilizarse en sistemas de microsurfacing, ya que presenta una excelente calidad y resistencia, cumpliendo con todas las especificaciones establecidas (granulometría, equivalente de arena y resistencia a la abrasión) por la International Slurry Surfacing Association ISSA.
- Los sistemas de microsurfacing con granulometría tipo III son los más adecuados para la mayoría de las calles del área metropolitana de San Salvador, ya que la gran parte de la red vial del AMSS esta sometida a tráfico catalogado como intenso.
- En toda tecnología basada en lechadas asfálticas debe de determinarse primeramente el origen, disponibilidad y las características del agregado pétreo, para luego en base a ello diseñar la emulsión asfáltica que sea mas adecuada a la química que presente el agregado disponible.
- Los cementos asfálticos que se utilizan en la mezcla de microsurfacing para pavimentación no deben elegirse solamente por medio de sus propiedades físicas (viscosidad y penetración, punto de ablandamiento) sino que también debe de ser considerada la química que presentan (proporción de asfaltenos y maltenos), puesto que la mayor o menor cantidad de ciertos químicos influye grandemente en las características físicas que presentará el pavimento en servicio.
- El punto de ablandamiento al residuo asfáltico obtenido en ensayo de laboratorio, fue de 50°C siendo este adecuado para los rangos de temperatura esperados en campo.

- El polímero látex SBR utilizado como agente modificador en la emulsión, aumenta el punto de ablandamiento del asfalto base en aproximadamente a 7 °C por encima del cemento asfáltico no modificado.
- El látex SBR aniónico utilizado comprobó ser compatible con el cemento asfalto utilizado en la formulación de la emulsión asfáltica.
- La emulsión asfáltica a utilizar en cualquier proyecto en donde se utilice la técnica de microsurfacing debe ser elegida y diseñada en base a la química que presenta el agregado a utilizar (afinidad agregado-asfalto), primeramente debiendo buscar la fuente del agregado y luego diseñar una emulsión para ese tipo de agregado y no viceversa.
- La emulsión asfáltica utilizada fue del tipo CSS-1hp que es adecuada para elaborar la mezcla de microsurfacing y es compatible con el agregado proveniente del deposito de “LA CANTERA S.A. de CV.” y cumple con todos los requerimientos establecidos en el estándar ISSA A143 y ASTM 2397 para emulsiones tipo CSS-1hp.
- La emulsión asfáltica utilizada en el diseño de mezcla no permite la incorporación de mas del 3.5% de polímero látex SBR sobre el peso del asfalto, porcentajes mayores provocan una separación del polímetro y la emulsión asfáltica.
- La emulsión asfáltica utilizada en la mezcla es adecuada para ser utilizada en proyectos en donde no se esperen temperaturas que sobrepasen los 45 °C. Temperaturas mayores provocarían deformaciones en la mezcla debidas a la perdida de rigidez del ligante asfáltico.
- Los métodos de diseño de la ASTM, California Department of Transportation y del Texas Transportation Institute, se basan en gran medida en el procedimiento de diseño y/o ensayos desarrollados por la Internacional Slurry Surfacing ISSA,

tanto para la determinación de las características a corto plazo de la mezcla, (rompimiento y curado) como para evaluar el desempeño esperado bajo cargas de servicio.

- La solución al 25% de emulsificante, utilizada como aditivo controlador de rompimiento es efectiva; proporcionando aumentos significativos en el tiempo de mezclado para porcentajes menores del 0.2% de solución.
- La mezcla diseñada puede contener como mínimo 6% de ligante asfáltico para asegurar la cohesión y el recubrimiento del agregado y no debe sobrepasar del 7.5% en base al peso de emulsión.
- Se deben realizar el ensayo de abrasión de pista húmeda (WTAT) para un período de inmersión en agua de 6 días, tomando en cuenta que la prueba WTAT refleja mejor en nuestro medio la época lluviosa, que por lo general se presenta muy copiosa.
- El diseño de mezcla obtenido en laboratorio puede ser utilizado en proyectos que presenten características similares siempre y cuando no se cambie el origen de ninguno de sus componentes, cualquier cambio en el origen del suministro implica la elaboración de un nuevo diseño de mezcla.
- La formula de trabajo obtenida en la sección 6.4.3 no es adecuada para ser utilizada en relleno de rodaderas, o en aplicaciones en donde se requiera de espesores mayores de 12 mm, ya que no cumple con las especificaciones establecidas por la ISSA para sistemas multicapa, en base al ensayo de estabilidad ISSA TB 147.
- Una colocación de mezcla de microsurfacing en El Salvador bajo las condiciones de temperatura y humedad pueden variar entre 20 °C- 45 °C, lo que permite ajustar correctamente el diseño de laboratorio a las condiciones en campo y lograr tiempos de rompimiento y apertura al tráfico en una hora.

## **9.2 RECOMENDACIONES**

- Los programas de mantenimiento preventivo deben de ser considerados al realizar o proyectar cualquier proyecto vial, y deben de estar basados en análisis técnicos de efectividad costo-beneficio a fin de escoger aquellas tecnologías que permitan optimizar los recursos del estado.
- Los sistemas de microsurfacing pueden ser utilizados como una alternativa de pavimentación en caminos rurales donde sea necesario proporcionar resistencia a la fricción y/o protección al pavimento para prevenir deterioros debidos a las lluvias, puesto que es una técnica de pavimentación económica que presenta alta resistencia y durabilidad y cuyo uso no se limita solamente a su utilización en proyectos de mantenimiento.
- Realizar estudios de los agregados pétreos que se pueden encontrarse en nuestro país para establecer cuales pueden utilizarse para sistemas de espesor delgado y específicamente para sistemas de microsurfacing, ya que deben de ser agregados que presenten una alta calidad con especificaciones muy restrictivas.
- Se debe muestrear y reducir las muestras de agregado bajo las normas ASTM D75 (muestreo en campo) y ASTM C-702 (reducción el laboratorio)
- Se deben realizar estudios que permitan determinar que tipo de modificadores son los mas adecuados a la hora de fabricar asfaltos modificados, en base a las distintas condiciones de temperatura que presenta nuestro país, a fin establecer cuales son los más adecuados para las zonas más calientes y cuales para las zonas más templadas.
- Las especificaciones de la International Slurry Surfacing Association no son las únicas que se utilizan para sistemas de microsurfacing, por lo que deben de realizarse estudios que analicen las especificaciones granulométricas del agregado y las especificaciones de calidad de las emulsiones que se utilizan en

otros países con amplia experiencia en el desarrollo e implementación de micropavimentos y lechadas asfálticas (por ejemplo: España y Francia).

- Los boletines técnicos y especificaciones proporcionados por la International Slurry Surfacing Association son una guía de diseño y como tal deben adecuarse a nuestro país, no debiendo tomarse como estándares sin los debidos estudios técnicos.
- Se recomienda utilizar el ensayo de cohesión húmeda mediante la curva Benedict para establecer el contenido óptimo de relleno mineral en la mezcla, aun y cuando se pueda determinar el proporcionamiento del mismo mediante tanteos y experiencia.
- La maquina de Rueda Cargada utilizada para determinar el contenido máximo de asfalto y la estabilidad de la mezcla en sistemas de microsurfacing, debe cumplir con todos los requerimientos establecidos en el Boletín Técnico ISSA TB 109, y debe estar calibrada de tal forma que el eje de la rueda quede centrado con el espécimen de ensayo tanto en su ancho como en su recorrido.
- La correcta elaboración de los especímenes de ensayo para establecer el contenido mínimo y máximo de asfalto en mezclas de microsurfacing es de vital importancia, por lo que no deben ser ensayados especímenes que presentes segregación de agregado, mala granulometría, poca uniformidad de componentes, etc. La utilización de especímenes en mal estado dará como resultado datos no fiables.
- Se recomienda no utilizar el método Marshall para la determinación del contenido óptimo de asfalto en mezclas de microsurfacing, ya que al ser un método en caliente somete a la mezcla a engañosas condiciones antes de la colocación, provocando incertidumbre en los resultados.



- Se recomienda utilizar como mínimo cinco porcentajes de asfalto para la realización de los ensayos de diseño de mezcla, tres porcentajes dentro de los rangos recomendados por la ISSA según la granulometría utilizada, y los otros dos fuera del rango inferior y superior. Los primeros puntos para determinar con mayor exactitud el contenido óptimo de asfalto y los dos restantes para establecer con mayor certeza el contenido mínimo y máximo de asfalto.
- Los ensayos de laboratorio para la determinación del diseño de mezcla además de realizarse bajo las condiciones ambientales establecidas en las especificaciones, deben de realizarse, en la medida de lo posible, bajo condiciones ambientales similares a las esperadas en campo a fin de que en el diseño final de laboratorio no se le deban realizar ajustes significativos en campo.
- Debe de tenerse especial cuidado es las condiciones de humedad y temperatura registradas en campo a la hora de la colocación de sistemas de microsurfacing, puesto que estos sistemas son muy susceptibles a cambios en estos parámetros.
- Al inicio del colocado siempre debe de realizarse una bachada de prueba que permita corroborar la consistencia de la mezcla en la maquina de proceso continuo.
- Se recomienda realizar investigaciones a cerca de técnicas de pavimentación en frío y de emulsiones asfálticas, ya que estas tecnologías no presentan daño alguno al medioambiente, con el fin de desarrollar cada vez más tecnologías limpias.

## ***Bibliografĩa***



## **BIBLIOGRAFÍA.**

- ISSA Technical Bulletin A105. “Recommended Performance Guideline For Emulsified Asphalt Slurry Seal”. International Slurry Surfacing Association. (Revised) November 2005.
- ISSA Technical Bulletin No. 100. “Test Method for Wet Track Abrasion of Slurry Surfaces”. International Slurry Surfacing Association. January 1990.
- Technical Bulletin No. 102. “Mixing, Setting and Water Resistance Test to Identify “Quick-Set” Emulsified Asphalt”. International Slurry Surfacing Association. January 1990.
- ISSA Technical Bulletin No. 106. “Measurement of Slurry Seal Consistency”. International Slurry Surfacing Association. January 1976 (revised 1990).
- ISSA Technical Bulletin No. 107. “A Method for Unit Field Control of Slurry Seal Quantities”. International Slurry Surfacing Association. January 1990.
- ISSA Technical Bulletin No. 109. “Test Method for Measurement of Excess Asphalt in Bituminous Mixtures by Use of a Loaded Wheel Tester and Sand Adhesion”. International Slurry Surfacing Association. January 1990.
- ISSA Technical Bulletin No. 111. “Outline Guide Design Procedure for Slurry Seal”. International Slurry Surfacing Association. January 1990.
- ISSA Technical Bulletin No. 113. “Trial Mix Procedure for Slurry Seal Design”. International Slurry Surfacing Association. January 1990.
- Technical Bulletin No. 114. “Wet Stripping Test for Cured Slurry Seal Mix”. International Slurry Surfacing Association. January 1990.

- ISSA Technical Bulletin No. 115. “Determination of Slurry System Compatibility”. International Slurry Surfacing Association. January 1990.
- ISSA Technical Bulletin No. 118. “Surface Area Method of Slurry Seal Design”. International Slurry Surfacing Association. January 1990.
- ISSA Technical Bulletin No. 139. “Test Method to Classify Emulsified Asphalt/Aggregate Mixture Systems by Modified Cohesion Tester Measurement of Set and Cure Characteristics”. International Slurry Surfacing Association. January 1990.
- ISSA Technical Bulletin A143. “Recommended Performance Guidelines For Micro-Surfacing”. International Slurry Surfacing Association. (Revised) May 2004.
- ISSA Technical Bulletin No. 144. “Test Method for Classification of Aggregate Filler-Bitumen Compatibility by Schulze-Breuer and Ruck Procedure”. International Slurry Surfacing Association. February 1989.
- ISSA Technical Bulletin No. 145. “Test Method for Determination of Methylene Blue Adsorption Value (MBV) of Mineral Aggregate Fillers and Fines”. International Slurry Surfacing Association. February 1989.
- ISSA Technical Bulletin No. 146. “Flexural Tension Test Method for Determination of Cracking Resistance of Slurry Mixes at Ambient and 4°C”. International Slurry Surfacing Association. February 1989.
- ISSA Technical Bulletin No. 147. “Test Method for Measurement of Stability and Resistance to Compaction, Vertical and Lateral Displacement of Multilayered Fine Aggregate Cold Mixes”. International Slurry Surfacing Association. February 1989.

- **ISSA Technical Bulletin No. 149. “Test Method for Boiling Compatibility of Slurry Seal Mixes”. International Slurry Surfacing Association. February 1990.**
- **ISSA Technical Bulletin No. 151. “Specifications for Quick Traffic Polymer Modified Microasphalt Systems”. International Slurry Surfacing Association. January 1991.**
- **ASTM Designation C 29. “Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight” and Voids in Aggregates. American Society for Testing and Materials (2003).**
- **ASTM Designation C 88. “Standard Test Method for Soundness of Aggregate by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate”. American Society for Testing and Materials (2002).**
- **ASTM Designation C 117. “Standard Test Method for Material Finer Than 75  $\mu$ m (No.200) Sieve in Mineral Aggregate by Washing”. American Society for Testing and Materials (2003).**
- **ASTM Designation C 128. “Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate (2001).**
- **ASTM Designation C 131. “Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine”. American Society for Testing and Materials (2003).**
- **ASTM Designation C 136. “Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates”. American Society for Testing and Materials (2001).**
- **ASTM Designation D5. “Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials”. American Society for Testing and Materials (1997).**

- **ASTM Designation D36. “Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring-and-Ball Apparatus)”. American Society for Testing and Materials (1997).**
- **ASTM Designation D 242. “Standard Specification for Mineral Filler For Bituminous Paving Mixtures”. American Society for Testing and Materials (1995).**
- **ASTM Designation D 244. “Standard Test Methods and Practices for Emulsified Asphalts”. American Society for Testing and Materials (2000).**
- **ASTM Designation D 546. “Standard Test Method for Sieve Analysis of Mineral Filler for Bituminous Paving Mixtures”. American Society for Testing and Materials (1999).**
- **ASTM Designation D 2397. “Standard Specification for Cationic Emulsified Asphalt”. American Society for Testing and Materials (2002).**
- **ASTM Designation D 2419. “Standard Test Method for Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate”. American Society for Testing and Materials (2002).**
- **ASTM Designation D 3910. “Standard Practice for Design, Testing, and Construction of Slurry Seal”. American Society for Testing and Materials (2001).**
- **ASTM Designation D 5148. “Standard Test Method for Centrifuge Kerosine Equivalent”. American Society for Testing and Materials (1997).**
- **ASTM Designation D 6372, “Standard Practice for Design, Testing, and Construction of Micro-Surfacing”. American Society for Testing and Materials (1999).**

- CALTRANS T-303. “Method of Test for Centrifuge Kerosene Equivalent and Approximate Bitumen Ratio (ABR)”. Department of Transportation of California. February 2000.
- TTI Tex-230-F. “Laboratory Method of Mixing and Curing Polymer-Modified Slurry Seal (Microsurfacing) Mixture”. Texas Department of Transportation. December 2004.
- TTI Tex-240-F. “Determining Optimum Residual Asphalt Content (RAC) for Polymer-Modified Slurry Seal (Microsurfacing) Mixtures. Texas Department of Transportation. December 2004.
- European Standard EN 12274-1. “Slurry Surfacing-Test Method-Part 1: Sampling for Binder Extraction”. European Committee for Standardization, Brussels, 2002.
- European Standard EN 12274-2. “Slurry Surfacing-Test Method-Part 2: Determination of Residual Binder Content”. European Committee for Standardization, Brussels, 2001.
- European Standard EN 12274-3. “Slurry Surfacing-Test Method-Part 3: Consistency”. European Committee for Standardization, Brussels, 2002.
- European Standard EN 12274-4. “Slurry Surfacing-Test Method-Part 4: Determination of Cohesion of the Mix”. European Committee for Standardization, Brussels, 2002.
- European Standard EN 12274-5. “Slurry Surfacing-Test Method-Part 5: Determination of Wearing”. European Committee for Standardization, Brussels, 2002.



- European Standard EN 12274-6. “Slurry Surfacing-Test Method-Part 6: Rate of Application”. European Committee for Standardization, Brussels, 2002.
- Provisional European Standard prEN 12274-7. “Slurry Surfacing-Test Method-Part 6: Shaking Abrasion Test”. European Committee for Standardization, Brussels, 2002.
- Provisional European Standard prEN 12274-8. “Slurry Surfacing-Test Method-Part 6: Visual Assessment of Defects European Committee for Standardization, Brussels, 2002.
- José Tulio Pineda Martínez. “Propuesta de Manual para la asignatura de Laboratorio de Pavimentos en la Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de El Salvador”. Tesis UES. Universidad de El Salvador. 1997
- José Mauricio Cortés, Hugo Wilfredo Guzmán, Amilcar Daniel Reyes. “Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente”. Tesis UES. Universidad de El Salvador. Agosto 2007
- Jeannette Mendoza, Melvin Navarro. “Estudio comparativo de los pavimentos rígidos y los pavimentos flexibles en vías interurbanas mediante la aplicación del Highway Development and Management Model (HDM-4)”. Tesis UES. Universidad de El Salvador. 2005
- Ramón Fritz Alvarado, Gilma Estela Díaz, Carlos Guillermo Somoza. “Concreto compactado con pavimentadora como alternativa de pavimentación para la red vial de El Salvador”. Tesis UES. Universidad de El Salvador. 2004
- “Ley de Carreteras y Caminos Vecinales”. Ministerio de Obras Públicas, Transporte Vivienda y Desarrollo Urbano. Noviembre 1992

- Secretaria de Integración Económica Centroamericana. “Condiciones Generales y Especificaciones Técnicas para Actividades de Mantenimiento contratadas con base en Precios Unitarios”, TOMO I 2da. Edición, SIECA.
- California Department of Transportation. “Slurry Seal / Microsurface Mix Design Procedure. Phase I Report”. (CALTRANS). March 2004.
- Department of Transportation of California. “Technical Advisory guide (TAG) for Microsurfacing Pilot Projects”. (CALTRANS). October 2003.
- Department of Transportation of California. “Slurry / Micro-Surface Mix Design Procedure”. Monthly Progress Report. (CALTRANS). August 2003.
- Department of Transportation of California. “Slurry/Micro-Surface Mix Design Procedure”. Monthly Progress Report. (CALTRANS). January 2005
- Department of Transportation of California. “Maintenance Technical Advisory Guide (TAG)”. State of California Department of Transportation (CALTRANS). October 2003
- Rioja, Héctor. “Lechadas Asfálticas - Determinación del asfalto teórico”. Revista de Obras Publicas. Chile, 1998.
- Christine Deneuvillers - Jacques Samanos. “Design of Microsurfacing - Methodology and Applications”. 43rd Annual meeting of ISSA. March 2005, Bal Harbour, FLORIDA.
- Glynn Holleran, Jim Moulthrop, Carol Goldman. “New Approaches to Micro-Surfacing and Slurry Seal Design”. Update Pooled Fund Study.
- International Slurry Surfacing Association. “Proceedings of the 29th Annual Convention” New Orleans, Louisiana. ISSA. February 1991.

- International Slurry Surfacing Association. “2006 Slurry Systems Workshop Hands-On Program for Engineers, Inspectors, and Industry Personnel”. Palace Station Hotel, Las Vegas, NV. January 31-February 3, 2006.
- “Standars Specifications For Asphalt Materials”. Oregon Department of Transportation. January 2006
- Ing. Daniel A. Hernández, Ing. Cesar Adolfo Carrillo. “Tecnicas de Rehabilitación de Superficies Asfálticas”. Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Urbano. Viceministerio de Obras Públicas. Unidad de Investigación y Desarrollo Vial.
- Gay Allan. “History of Slurry and the International Slurry Surfacing Association”. International Slurry Surfacing Association's 5th World Congress Berlin. Germany. March 2002
- Yoshifumi Arao, Yutaka Takeda. “Applications of Microsurfacing Processes to Pavement Repair Work”. Technical Laboratory, The NIPPON ROAD CO., LTD
- Ann Johnson, Pamela J. Snopl. “Best Practices Handbook on Asphalt Pavement Maintenance”. Minnesota Technology Transfer Center. February 2000
- Dr. Jorge O.Agnusdei. “Durabilidad de mezclas asfálticas preparadas con ligantes modificados con polimeros”. Comisión de Investigaciones Científicas - LEMIT, Buenos Aires, Argentina.
- Ing. Pablo E. Bolzan. “Sistema para la evaluación de técnicas de pavimentación costo-efectivas de alta durabilidad”. Argentina, Mayo 2003
- Dr. Jorge Agnusdei, Omar, T.Iosco, Ing. Mario Fair. “Aplicación de nuevas tecnologías para el mantenimiento Vial”.. SHELL BITUMEN

- State of Ohio Department of Transportation. “Microsurfacing with Warranty. Supplemental Specification 881”. April 2005
- Rogelio Vides Talavera, Víctor Castaño Meneses, Miguel Martínez Madrid. “Emulsiones Asfálticas, Documento Técnico No. 23”. Secretaria de Comunicaciones y Transporte. Instituto Mexicano del Transporte. 2001
- “Sector Scheme Document for the Supply and Application of Microsurfacing”. Sector Scheme Advisory Committee for Microsurfacing. United Kingdom Accreditation Service. UKAS. November 2003
- “Pavement Preventive Maintenance Guidelines”. Foundation for Pavement Preservation. March 2001
- Hassan, Raza. “State of the Practice Design, Construction, and Performance of Micro-surfacing”. Federal Highway Administration. U.S. Department of Transportation. June 1994
- “Emulsiones asfálticas” Documento Técnico N° 23, Instituto Mexicano del Transporte, México, 41 páginas, año 2001.
- “Emulsiones Bituminosas información general y aplicaciones”, Sindicatos de Fabricantes de Emulsiones de Betún para Carreteras, Francia, año 2003.
- Glynn Oyeran. “La Química de la emulsión es acerca del manejo”, Valley Slurry Seal Co, año 2000.
- “Manual básico de emulsiones asfálticas” Series manual N° 19, Instituto del Asfalto y Asociación Fabricantes de Emulsiones Asfálticas, Estados Unidos, 113 paginas, año 1986.

- “Principios de construcción de mezclas asfálticas en caliente”. Series manual N° 22, Instituto del Asfalto, Estados Unidos, 275 paginas, año 1982.
- Glynn Holleran y Jeffrey Reed. “Modificación de la química del asfalto como un método de mejoramiento del desempeño del Slurry Surfacing”, Valley Slurry Seal Co.
- “Guía de especificaciones para asfalto modificado con polímeros”, Comité unido AASHTO-AGB-ARTBA, Estados Unidos, 38 paginas, año 1992.
- “Guía de especificaciones para asfalto modificado con polímeros”, Comité unido AASHTO-AGB-ARTBA, Estados Unidos, 38 paginas, año 1992.
- “Principios de construcción de mezclas asfálticas en caliente”, Series manual N° 22. Instituto del Asfalto, Estados Unidos, 275 paginas, año 1982.
- Spring Meeting. “Química de la interacción del asfalto-agregado”, Estados Unidos, año 2002.
- Gustavo Rivera. “Emulsiones asfálticas”, Representaciones y servicios de ingeniería, México, 3ª edición, 422 paginas, año 1987.
- Samuel Labi, Goerey Lamptey and Sien-Hwee Kong. “Effectiveness of Microsurfacing Treatments”. Journal of Transportation Engineering. May 2007
- Samuel Labi, Mohammad Issa Mahmodi and others. “Cost-Effectiveness of Microsurfacing and Thin HMA Overlays – A comparative Analysis”. TRB Annual meeting 2007.
- Glynn Holleran. “Framework for Treatment Selection”, ACS ASCE ISAP. Technical Director VSS Asphalt Technologies

# ***ANEXOS***

---

***Normas Técnicas y  
Estándares***



# Recommended Performance Guidelines For Micro-Surfacing A143 (Revised) May 2005



## NOTICE

It is not intended or recommended that these guidelines be used as verbatim specifications. They should be used as an outline, helping user agencies establish their particular project specifications. Users should understand that almost all areas vary as to the availability of materials. Efforts should be made to determine what materials are reasonably available, keeping in mind system compatibility and specific job requirements. Feel free to contact the ISSA for answers to any questions and also for a list of ISSA contractors and companies who could assist.

**International Slurry Surfacing Association**  
**#3 Church Circle, PMB 250**  
**Annapolis, MD 21401**  
**(410) 267-0023**  
[www.slurry.org](http://www.slurry.org)

© 2005 by International Slurry Surfacing Association  
No reproduction of any kind may be made without written permission of ISSA.



# RECOMMENDED PERFORMANCE GUIDELINES FOR MICRO-SURFACING

## 1. SCOPE

The intent of this guideline is to aid in the design, testing methods, quality control, measurement and payment procedures for the application of Micro-Surfacing.

## 2. DESCRIPTION

Micro-Surfacing is a mixture of polymer-modified asphalt emulsion, mineral aggregate, mineral filler, water, and other additives, properly proportioned, mixed and spread on a paved surface in accordance with a specification and as directed by the Buyers Authorized Representative (B.A.R.).

The mix should be capable of being spread in variable thick cross-sections (wedges, ruts, scratch courses and surfaces) which, after curing and initial traffic consolidation, resists compaction throughout the entire design tolerance range of bitumen content and variable thickness to be encountered. The end product should maintain a skid-resistant surface (high wet friction co-efficient) in variable thick sections throughout the service life of the Micro-Surfacing.

The mix is to be a quick-traffic system, meaning that it will be able to accept traffic after a short period of time. The amount of time will vary from job to job and must be evaluated on an individual job basis. Normally, these systems have been required to accept rolling traffic on a one-half (1/2) inch (12.7 mm) thick surface within one hour after placement in +75°F (24°C) temperature and 50 percent or less humidity.

## 3. APPLICABLE SPECIFICATIONS

### 3.1 GENERAL

There are agencies and testing methods listed in the appendix (see Appendix A) which form a part of this guideline.

It is normally not required to run all referenced tests on every project. Some of the tests are expensive and take a substantial amount of time to conduct. If the materials to be used on the project have a past record of good performance, the requirements for testing may be decreased. Local paving authorities are often familiar with the materials and should be able to furnish information which would minimize the amount of testing required.

## 4. MATERIALS

### 4.1 EMULSIFIED ASPHALT

#### 4.1.1 GENERAL

The emulsified asphalt shall be a quick-traffic, polymer-modified asphalt emulsion conforming to the requirements specified in AASHTO M208 or ASTM D2397 for CSS-1h. The cement mixing test shall be waived for this emulsion.

The polymer material shall be milled or blended into the asphalt or emulsifier solution prior to the emulsification process.

The minimum amount and type of polymer modifier shall be determined by the laboratory performing the mix design. The minimum amount required will be based on asphalt weight content and will be certified by the emulsion supplier. In general, a three percent (3%) polymer solids, based on asphalt weight, is considered minimum.

The five-day (5) settlement test may be waived, provided job stored emulsion is used within thirty-six (36) hours from the time of the shipment, or the stored material has had additional emulsion blended into it prior to use.

#### 4.1.2 QUALITY TESTS

When tested according to the following tests, the emulsion shall meet the requirements of AASHTO M208 or ASTM D2397 for CSS-1h, plus the following:

AASHTO TEST NO.	ASTM TEST NO.	QUALITY	SPECIFICATION
AASHTO T59	ASTM D244	Residue after Distillation	62% Minimum

The temperature for this test should be held below 280°F (138°C). Higher temperatures may cause the polymers to break down.

AASHTO TEST NO.	ASTM TEST NO.	TESTS ON RESIDUE	SPECIFICATION
AASHTO T53	ASTM D36	Softening Point	135°F (57°C) Minimum
AASHTO T49	ASTM 2397	Penetration at 77°F (25°C)	40 - 90*
	ASTM 2170	Kinematic Viscosity @ 275 °F (135°C)	650 cSt/sec. Minimum °F

\* Climate conditions should be considered when establishing this band.

Each load of emulsified asphalt shall be accompanied with a Certificate of Analysis/Compliance to assure that it is the same as that used in the mix design.

## 4.2 AGGREGATE

### 4.2.1 GENERAL

The mineral aggregate used shall be of the type and grade specified for the particular use of the Micro-Surfacing. The aggregate shall be a manufactured crushed stone such as granite, slag, limestone, chat, or other high-quality aggregate, or combination thereof. To assure the material is totally crushed, 100 percent of the parent aggregate will be larger than the largest stone in the gradation to be used.

### 4.2.2 QUALITY TESTS

When tested according to the following tests, the aggregate should meet these minimum requirements:

AASHTO TEST NO.	ASTM TEST NO.	QUALITY	SPECIFICATION
AASHTO T176	ASTM D2419	Sand Equivalent	65 Minimum
AASHTO T104	ASTM C88	Soundness	15% Maximum using $\text{Na}_2\text{SO}_4$ or 25% Maximum using $\text{MgSO}_4$
AASHTO T96	ASTM C131	Abrasion Resistance	30% Maximum

The abrasion test is to be run on the parent aggregate. The aggregate should meet state-approved polishing values. Proven performance may justify the use of aggregates that may not pass all of the above tests.

### 4.2.3 GRADING

When tested in accordance with AASHTO T27 (ASTM C136) and AASHTO T11 (ASTM C117), the target (mix design) aggregate gradation (including the mineral filler) shall be within one of the following bands (or one currently recognized by your local paving authority).

SIEVE SIZE	TYPE II PERCENT PASSING	TYPE III PERCENT PASSING	STOCKPILE TOLERANCE
3/8 (9.5 mm)	100	100	
# 4 (4.75 mm)	90 - 100	70 - 90	± 5%
# 8 (2.36 mm)	65 - 90	45 - 70	± 5%
# 16 (1.18 mm)	45 - 70	28 - 50	± 5%
# 30 (600 um)	30 - 50	19 - 34	± 5%
# 50 (330 um)	18 - 30	12 - 25	± 4%
#100 (150 um)	10 - 21	7 - 18	± 3%
#200 (75 um)	5 - 15	5 - 15	± 2%

The job mix (target) gradation shall be within the gradation band for the desired type. After the target gradation has been submitted (this should be the gradation that the mix design is based on), then the percent passing each sieve shall not vary by more than the stockpile tolerance shown in the above table for each individual sieve, and still remain within the gradation band. It is recommended that the percent passing shall not go from the high end to the low end of the range for any two consecutive screens.

The aggregate will be accepted at the job location stockpile or when loading into the support units for delivery to the lay-down machine. The stockpile shall be accepted based on five gradation tests according to AASHTO T2 (ASTM D75). If the average of the five tests are within the gradation tolerances, then the materials will be accepted. If the tests show the material to be out, the contractor will be given the choice to either remove the material or blend other aggregate with the stockpiled material to bring it into specification. Materials used in blending must meet the quality tests before blending and must be blended in a manner to produce a consistent gradation. If blending is used, it will require that a new mix design be performed.

Screening shall be required at the stockpile prior to delivery to the paving machine if there are any problems created by having oversize material in the mix.

#### **4.3 MINERAL FILLER**

Mineral filler, if required, shall be any recognized brand of non-air entrained Portland cement or hydrated lime that is free from lumps. It may be accepted upon visual inspection. The type and amount of mineral filler needed shall be determined by a laboratory mix design and will be considered as part of the aggregate gradation. An increase or decrease of less than one percent (1%) may be permitted when the Micro-Surfacing is being placed if it is found to be necessary for better consistency or set times.

#### **4.4 WATER**

The water shall be potable and free of harmful soluble salts or reactive chemicals and any other contaminants.

#### **4.5 ADDITIVES**

Additives may be added to the emulsion mix or any of the component materials to provide the control of the quick-traffic properties. They must be included as part of the mix design and be compatible with the other components of the mix.

### **5. LABORATORY EVALUATION**

#### **5.1 GENERAL**

Before the work commences, the contractor shall submit a signed mix design covering the specific materials to be used on the project. This design will be performed by a laboratory which has experience in designing Micro-Surfacing. After the mix design has been approved, no substitution will be permitted, unless approved by the B.A.R.

ISSA can provide a list of laboratories experienced in Micro-Surfacing design.

## 5.2 MIX DESIGN

The contractor shall submit to the B.A.R. for approval a complete mix design prepared and certified by a laboratory. Compatibility of the aggregate, polymer-modified emulsion, mineral filler, and other additives shall be verified by the mix design. The mix design shall be made with the same aggregate gradation that the contractor will provide on the project. Recommended tests and values are as follows:

ISSA TEST NO.	DESCRIPTION	SPECIFICATION
ISSA TB-139	<u>Wet Cohesion</u>	
	@ 30 Minutes Minimum (Set) @ 60 Minutes Minimum (Traffic)	12 kg-cm Minimum 20 kg-cm Minimum or Near Spin
ISSA TB109	<u>Excess Asphalt by LWT Sand Adhesion</u>	50 g/ft <sup>2</sup> Maximum (538 g/m <sup>2</sup> Maximum)
ISSA TB-114	<u>Wet Stripping</u>	Pass (90% Minimum)
ISSA TB-100	<u>Wet-Track Abrasion Loss</u>	
	One-hour Soak Six-day Soak	50 g/ft <sup>2</sup> (538 g/m <sup>2</sup> ) Maximum 75 g/ft <sup>2</sup> (807 g/m <sup>2</sup> ) Maximum

The Wet Track abrasion test is performed under laboratory conditions as a component of the mix design process. The purpose of this test is to determine the minimum asphalt content of a slurry system. The Wet Track Abrasion Test is not recommended as a field quality control or acceptance test. Some systems require longer times for the asphalt to adhere to the stone. In these systems, a modified Marshall Stability Test (ISSA TB-148) or Hveem Cohesimeter Test (ASTM D 1560) has been used to confirm asphalt content.

ISSA TEST NO.	DESCRIPTION	SPECIFICATION
ISSA TB-147	<u>Lateral Displacement</u>	5% Maximum
	Specific Gravity after 1,000 Cycles of 125 Pounds (56.71 kg)	2.10 Maximum
ISSA TB-144	<u>Classification Compatibility</u>	11 Grade Points Minimum (AAA, BAA)
ISSA TB-113	<u>Mix Time @ 77°F (25°C)</u>	Controllable to 120 Seconds Minimum

The mixing test is used to predict how long the material can be mixed in the machines before it begins to break. It is more for information to be used by the contractor than for quality of the end product.

The mixing test and set-time test should be checked at the highest temperatures expected during construction.

The mix design should report the quantitative effects of moisture content on the unit weight of the aggregate (bulking effect). The report must clearly show the proportions of aggregate, mineral filler (minimum and maximum), water (minimum and maximum), additive usage, and polymer-modified asphalt emulsion based on the dry weight of the aggregate.

All the component materials used in the mix design shall be representative of the materials proposed by the contractor to be used on the project.

The percentages of each individual material required shall be shown in the laboratory report. Adjustments may be required during construction, based on field conditions. The B.A.R. will give final approval for all such adjustments.

COMPONENT MATERIALS	LIMITS
Residual Asphalt	5.5 to 10.5% (5) by dry weight of aggregate
Mineral Filler	0.0 to 3% by dry weight of aggregate
Polymer-Based Modifier	Minimum of 3% solids based on bitumen weight content
Additives	As needed
Water	As required to produce proper mix consistency

### 5.3 RATE OF APPLICATION

The Micro-Surfacing mixture shall be of the proper consistency at all times, so as to provide the application rate required by the surface condition. The average single application rate, as measured by the B.A.R., shall be in accordance with the following table:

AGGREGATE TYPE	LOCATION	SUGGESTED APPLICATION RATE
Type II	Urban and Residential Streets Airport Runways	10 - 20 lb/yd <sup>2</sup> (5.4 - 10.8 kg/m <sup>2</sup> )
Type III	Primary and Interstate Routes  Wheel Ruts	15 - 30 lb/yd <sup>2</sup> (8.1 - 16.3 kg/m <sup>2</sup> )  As Required (See Appendix B)

Suggested application rates are based upon the weight of dry aggregate in the mixture. Application rates are affected by the unit weight of the aggregate.

Micro-Surfacing is often put down in two full-width passes in place of rut-filling when the rutting or deformation is not severe. When two passes are used, the first pass (scratch course) is made using a metal or stiff rubber strike-off and applying only what the surface demands for leveling. The second course is applied at 15 - 30 lb/yd<sup>2</sup> (8.1 - 16.3 kg/m<sup>2</sup>).

## 6. EQUIPMENT

### 6.1 GENERAL

All equipment, tools, and machines used in the performance of this work shall be maintained in satisfactory working condition at all times to ensure a high-quality product.

### 6.2 MIXING EQUIPMENT

The machine shall be specifically designed and manufactured to lay Micro-Surfacing. The material shall be mixed by an automatic-sequenced, self-propelled Micro-Surfacing mixing machine, which shall be a continuous-flow mixing unit able to accurately deliver and proportion the aggregate, emulsified asphalt, mineral filler, control setting additive, and water

to a revolving multi-blade, double-shafted mixer and to discharge the mixed product on a continuous-flow basis. The machine shall have sufficient storage capacity for aggregate, emulsified asphalt, mineral filler, control additive and water to maintain an adequate supply to the proportioning controls. On major highways, the machine may be required to be a self-loading machine capable of loading materials while continuing to lay microsurfacing, thereby minimizing construction joints. If used, the self-loading machine shall be equipped to allow the operator to have full control of the forward and reverse speeds during applications of the Micro-Surfacing material and be equipped with opposite-side driver stations to assist in alignment. The self-loading device, opposite-side driver stations, and forward and reverse speed controls shall be original equipment manufacturer design.

### **6.3 PROPORTIONING DEVICES**

Individual volume or weight controls for proportioning each material to be added to the mix (i.e. aggregate, mineral filler, emulsified asphalt, additive, and water) shall be provided and properly marked. These proportioning devices are used in material calibration and determining the material output at any time.

### **6.4 SPREADING EQUIPMENT**

The mixture shall be agitated and spread uniformly in the surfacing box by means of twin-shafted paddles or spiral augers fixed in the spreader box. A front seal shall be provided to insure no loss of the mixture at the road contact point. The rear seal shall act as a final strike-off and shall be adjustable. The spreader box and rear strike-off shall be so designed and operated that a uniform consistency is achieved to produce a free flow of material to the rear strike-off. The spreader box shall have suitable means provided to side shift the box to compensate for variations in the pavement geometry.

#### **6.4.1 SECONDARY STRIKE-OFF**

A secondary strike-off shall be provided to improve surface texture. The secondary strike-off shall have the same adjustments as the spreader box.

#### **6.4.2 RUT-FILLING BOX**

When required on the plans, before the final surface course is placed, preliminary micro-surfacing material may be required to fill ruts, utility cuts, depressions in the existing surface, etc. Ruts of one-half (1/2) inch (12.7 mm) or greater in depth shall be filled independently with a rut-filling spreader box, either five foot (5) (1.5 m) or six foot (6) (1.8 m) in width. For irregular or shallow rutting of less than one-half (1/2) inch (12.7 mm) in depth, a full-width scratch-coat pass may be used as directed by the B.A.R. Ruts that are in excess of one and one-half (1-1/2) inches (38.1 mm) in depth may require multiple placements with the rut-filling spreader box to restore the cross-section. All rut-filling level-up material should cure under traffic for at least a twenty-four (24) hour period before additional material is placed on top of the level up.

### **6.5 AUXILIARY EQUIPMENT**

Suitable surface preparation equipment, traffic control equipment, hand tools, and any other support and safety equipment shall be provided by the contractor as necessary to perform the work.

## **7. CALIBRATION**

Each mixing unit to be used in the performance of the work shall be calibrated in the presence of the B.A.R. prior to construction. Previous calibration documentation covering the exact materials to be used may be acceptable, provided that no more than 60 days have lapsed. The documentation shall include an individual calibration of each material at various settings, which can be related to the machine metering devices. No machine will be allowed to work on the project until the calibration has been completed and/or accepted.

## **8. WEATHER LIMITATIONS**

Micro-Surfacing shall not be applied if either the pavement or air temperature is below 50°F (10°C) and falling, but may be applied when both pavement and air temperatures are above 45°F (7°C) and rising. No Micro-Surfacing shall be applied when there is the possibility that the finished product will freeze within 24 hours. The mixture shall not be applied when weather conditions prolong opening to traffic beyond a reasonable time.

## **9. NOTIFICATION AND TRAFFIC CONTROL**

### **9.1 NOTIFICATION**

All homeowners and businesses affected by the construction shall be notified one day in advance of the surfacing. Suitable signs may be posted prior to the surfacing. Should work not occur on the specified day, a new notification will be distributed. The notification shall be in a form of a written posting, stating the time and date that the surfacing will take place.

### **9.2 TRAFFIC CONTROL**

All traffic control devices shall be in accordance with State and Federal requirements and, further, shall conform to the requirements of the Manual on Uniform Traffic Control Devices. Suitable methods shall be used by the contractor to protect the Micro-Surfacing from damage from all types of vehicular traffic. Opening to traffic does not constitute acceptance of the work. The B.A.R. shall be notified of the methods to be used.

## **10. SURFACE PREPARATION**

### **10.1 GENERAL**

Immediately prior to applying the Micro-Surfacing, the surface shall be cleared of all loose material, silt spots, vegetation, and other objectionable material. Any standard cleaning method will be acceptable. If water is used, cracks shall be allowed to dry thoroughly before applying Micro-Surfacing. Manholes, valve boxes, drop inlets and other service entrances shall be protected from the Micro-Surfacing by a suitable method. The B.A.R. shall approve the surface preparation prior to surfacing. No dry aggregate either spilled from the lay-down machine or existing on the road, will be permitted.

### **10.2 TACK COAT**

Normally, tack coat is not required unless the surface to be covered is extremely dry and raveled or is concrete or brick. If required, the tack coat should consist of one part emulsified asphalt/three parts water and should be applied with a standard distributor. The emulsified



asphalt should be SS or CSS grade. The distributor shall be capable of applying the dilution evenly at a rate of 0.05 to 0.10 gal/yd<sup>2</sup> (0.23 to 0.45 l/m<sup>2</sup>). The tack coat shall be allowed to cure sufficiently before the application of Micro-Surfacing. If a tack coat is to be required, it must be noted in the project plans.

### 10.3 CRACKS

It is advisable to pre-treat the cracks in the surface with an acceptable crack sealer prior to the application of the Micro-Surfacing.

## 11. APPLICATION

### 11.1 GENERAL

If required, it is recommended that a test strip be placed in conditions similar to those expected to be encountered during the project.

When required by local conditions, the surface shall be pre-wetted by fogging ahead of the spreader box. The rate of application of the fog spray shall be adjusted during the day to suit temperatures, surface texture, humidity, and dryness of the pavement.

The Micro-Surfacing shall be of the desired consistency upon leaving the mixer. A sufficient amount of material shall be carried in all parts of the spreader at all times so that a complete coverage is obtained. Overloading of the spreader shall be avoided. No lumping, balling, or unmixed aggregate shall be permitted.

No streaks, such as those caused by oversized aggregate, shall be left in the finished surface. If excess streaking develops, the job will be stopped until the contractor proves to the B.A.R. that the situation has been corrected. Excessive streaking is defined as more than four drag marks greater than one-half (1/2) inch wide (12.7 mm) and four inches (4) long (101 mm), or one inch (1) wide (25.4 mm) and three (3) inches long (76.2 mm), in any 29.9 yd<sup>2</sup> (25 m<sup>2</sup>) area. No transverse ripples or longitudinal streaks of one-fourth (1/4) inch in depth (6.4 mm) will be permitted, when measured by placing a ten (10) foot (3 m) straight edge over the surface.

### 11.2 JOINTS

No excess buildup, uncovered areas, or unsightly appearance shall be permitted on longitudinal or transverse joints. The contractor shall provide suitable-width spreading equipment to produce a minimum number of longitudinal joints throughout the project. When possible, longitudinal joints shall be placed on lane lines. Half passes and odd-width passes will be used only in minimum amounts. If half passes are used, they shall not be the last pass of any paved area. A maximum of three (3) inches (76.2 mm) shall be allowed for overlap of longitudinal lane line joints. Also, the joint shall have no more than a one-fourth (1/4) inch (6.4 mm) difference in elevation when measured by placing a ten (10) foot (3 m) straight edge over the joint and measuring the elevation drop-off.

### 11.3 MIX STABILITY

The Micro-Surfacing shall possess sufficient stability so that premature breaking of the material in the spreader box does not occur. The mixture shall be homogeneous during and following mixing and spreading. It shall be free of excess water or emulsion and free of segregation of the emulsion and aggregate fines from the coarser aggregate. Under no circumstances shall water be sprayed directly into the lay-down box while laying micro-surfacing material.

#### **11.4 HANDWORK**

Areas which cannot be reached with the mixing machine shall be surfaced using hand squeegees to provide complete and uniform coverage. If necessary, the area to be handworked shall be lightly dampened prior to mix placement. Care shall be exercised to leave no unsightly appearance from handwork. The same type of finish as applied by the spreader box shall be required.

#### **11.5 LINES**

Care shall be taken to ensure straight lines along curbs and shoulders. No runoff on these areas will be permitted. Lines at intersections will be kept straight to provide a good appearance. If necessary, a suitable material will be used to mask off the end of streets to provide straight lines. Edge lines shall not vary by more than  $\pm 2$  inches ( $\pm 50$  mm) horizontal variance in any 96 feet (30 m) of length.

#### **11.6 CLEAN-UP**

All areas, such as man-ways, gutters, and intersections, shall have the Micro-Surfacing mix removed as specified by the B.A.R. The contractor shall, on a daily basis, remove any debris associated with the performance of the work.

### **12. METHOD OF MEASUREMENT**

#### **12.1 AREA**

On smaller projects, the method of measurement and payment is usually based on the area covered, measured in square feet, square yards, or square meters.

#### **12.2 TON AND GALLON**

On larger projects of over 50,000 yd<sup>2</sup> (41,806 m<sup>2</sup>), measurement and payment are based on the ton of aggregate and the gallons (liters) of emulsified asphalt used.

The aggregate is measured by the actual weight delivered to the job lay-down site or is weighed on the job site with certified scales. Delivery tickets or printed weights shall be used for measurement. The emulsified asphalt used on the project will be measured by the certified tickets for each load delivered to the job site. Any emulsified asphalt not used or returned to the supplier shall be deducted from this quantity.

### **13. PAYMENT**

The Micro-Surfacing shall be paid for by the unit area or the weight of the aggregate and the weight or gallons (liters) of emulsified asphalt used on the work and accepted by the B.A.R. The price shall be full compensation for furnishing all preparation; mixing and applying these materials; and for all labor, equipment, tools, test designs, cleaning, and incidentals necessary to complete the job as specified herein.

## APPENDIX A

### AGENCIES AND TEST METHODS

#### AGENCIES

**AASHTO:** American Association of State Highway and Transportation Officials  
**ASTM** American Society for Testing and Materials  
**ISSA** International Slurry Surfacing Association

#### AGGREGATE AND MATERIAL FILLER

AASHTO TEST NO.	ASTM TEST NO.	TEST
AASHTO T2	ASTM D75	Sampling Mineral Aggregates
AASHTO T27	ASTM C136	Sieve Analysis of Aggregates
AASHTO T11	ASTM C117	Materials Finer than No. 200 in Mineral Aggregates
AASHTO 176	ASTM D2419	Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate
AASHTO T96	ASTM C131	Resistance to Abrasion of Small-Size Coarse Aggregate by Use of the Los Angeles Machine (This test should be performed on the parent rock that is used for crushing the finer gradation Micro-Surfacing material.)
AASHTO T104	ASTM C88	Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate

#### EMULSIFIED ASPHALT

AASHTO TEST NO.	ASTM TEST NO.	TEST
AASHTO T40	ASTM D140	Sampling Bituminous Materials
AASHTO T59	ASTM 244	Testing Emulsified Asphalt
AASHTO M280	ASTM D2397	Specifications for Cationic Emulsion

**RESIDUE FROM EMULSION**

AASHTO TEST NO.	ASTM TEST NO.	TEST
AASHTO T59	ASTM D244	Residue by Evaporation (This test method may have to be modified by using lower temperatures.)
AASHTO T53	ASTM D36	Softening Point by the Use of Ring and Ball
AASHTO T49	ASTM C2397	Penetration 3.5 oz (100 gm) at 5 Seconds 77°F (25°C)

**MIX DESIGN**

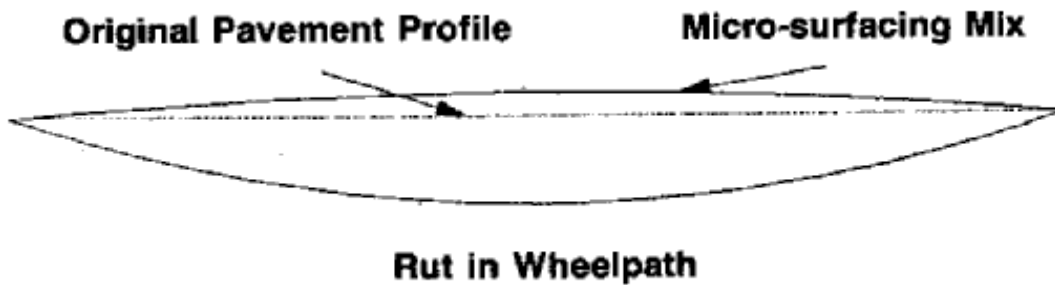
ASTM TEST NO.	ISSA TEST NO.	TEST
ASTM D6372-99a	-----	Standard Practice for Design, Testing and Construction of Micro-Surfacing
-----	ISSA TB 100	Test Method for Wet-Track Abrasion of Slurry Seals (This test is used to determine the minimum percent of asphalt in the mix.)
-----	ISSA TB 109	Excess Asphalt by LWT Sand Adhesion
-----	ISSA TB 113	Mix Time
-----	ISSA TB 114	Wet Stripping Test for Cured Slurry Seal Mixes
-----	ISSA TB 144	Classification Compatibility by Use of the Schulze-Breuer
-----	ISSA TB 148	Modification of Marshall Stability Test
ASTM D1560	-----	Hveem Cohesimeter

## APPENDIX B

### REPROFILING RUTTED WHEELPATHS WITH MICRO-SURFACING

**Rule of Thumb**

For every inch of micro-surfacing mix, add one-eighth (1/8) inch (3.2 mm) to one-fourth (1/4) inch (6.4 mm) as a crown to allow for compaction under traffic.



Rut Depth		Microsurfacing Quantity Needed	
0.5 - 0.75"	(12.7 - 19.1 mm)	20 – 30 lb/yd <sup>2</sup>	(10.8 - 16.3 kg/m <sup>2</sup> )
0.75 - 1.00"	(19.1 - 25.4 mm)	25 – 35 lb/yd <sup>2</sup>	(13.6 - 19.0 kg/m <sup>2</sup> )
1.00 - 1.25"	(25.4 - 31.75 mm)	28 – 38 lb/yd <sup>2</sup>	(15.2 - 20.6 kg/m <sup>2</sup> )
1.25 - 1.5"	(31.75 - 38.1 mm)	32 – 40 lb/yd <sup>2</sup>	(17.4 - 21.7 kg/m <sup>2</sup> )





**International Slurry Surfacing Association**  
**#3 Church Circle, PMB 250**  
**Annapolis, MD 21401**  
**(410) 267-0023**  
[www.slurry.org](http://www.slurry.org)

# **Tex-230-F, Laboratory Method of Mixing and Curing Polymer-Modified Slurry Seal (Microsurfacing) Mixtures**

**Contents:**

Section 1 — Overview.....2  
Section 2 — Apparatus.....3  
Section 3 — Materials .....4  
Section 4 — Procedure .....5  
Section 5 — Reporting .....6  
Section 6 — Calculations for Preparing Sample .....7  
Section 7 — Archived Versions .....9



## **Section 1**

### **Overview**

Effective Date: December 2004 (refer to 'Archived Versions' for earlier versions).

Use this test method to prepare microsurfacing mixtures in order to verify that the mixture design conforms to the applicable specifications.

#### **Units of Measurement**

The values given in parentheses (if provided) are not standard and may not be exact mathematical conversions. Use each system of units separately. Combining values from the two systems may result in nonconformance with the standard.

## **Section 2**

### **Apparatus**

Use the following apparatus:

- ◆ balance, readable to 0.1 g, and accurate to 0.5 g
- ◆ mechanical mixer, or other mixer fitted with a wire whip
- ◆ containers for batching aggregates
- ◆ miscellaneous mixing tools
- ◆ wax paper
- ◆ large capacity pans for curing mixtures
- ◆ mechanical sieve shaker
- ◆ forced draft oven capable of maintaining the temperatures specified in the test procedure
- ◆ mercury thermometer marked in 1°C (2°F) divisions or digital thermometer capable of measuring the temperatures specified in the test procedure
- ◆ standard U. S. sieves required in the applicable specification, meeting the requirements of "Tex-907-K, Verifying the Accuracy of Wire Cloth Sieves."

### **Section 3**

### **Materials**

Use the following materials:

- ◆ aggregates
- ◆ emulsified asphalt
- ◆ mineral fillers
- ◆ water
- ◆ additives.

## Section 4 Procedure

Follow these steps to properly mix, cure, and test microsurfacing (polymer-modified slurry seal) mixtures in the laboratory.

<b>Laboratory Method of Mixing, Curing, and Testing Microsurfacing Mixtures</b>	
<b>Step</b>	<b>Action</b>
1	Obtain a representative sample of processed aggregates according to "Tex-221-F, Sampling Aggregate for Bituminous Mixtures, Surface Treatments and Limestone Rock Asphalt."
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Dry the aggregate in an oven at a temperature between 38 and 150°C (100 and 302°F).</li> <li>◆ Cool aggregate to 25 ±3°C (77 ±5°F).</li> </ul>
3	Prepare diluted solution of liquid additive at 25 ±3°C (77 ±5°F). Substitute an appropriate amount for a portion of mix water. <i>NOTE:</i> Prepare a fresh solution each day it is used.
4	Weigh and mix the desired amounts of water and diluted liquid additive into a container and set aside.
5	Weigh into a mixing bowl approximately 5000 g of aggregate. Maintain all components at 25 ±3°C (77 ±5°F) during preparation of the mix.
6	Add the mineral fillers to the aggregate and mix dry at a slow speed.
7	Add the mixture of water and liquid additives and mix until the sample displays a homogeneous moisture content.
8	Form a crater in the aggregate mixture and add the required amount of the emulsified asphalt.
9	Mix thoroughly with a mechanical mixer. <i>NOTE:</i> Mix until the aggregate is completely coated. Exercise care to prevent loss of material during mixing and subsequent handling.
10	Line a large metal pan with a piece of waxed paper of adequate size to extend above the sides of the pan.
11	Pour the mixture into the pan and allow the material to flow out evenly across the base of the pan.
12	Smooth the mix into a uniform thickness of approximately 51 mm (2 in.), if necessary.
13	Complete mixing and pouring in less than 2 minutes. <i>NOTE:</i> The design mixture must maintain a free flowing consistency during the mixing and pouring process. If the mix exhibits a 'break' before completion of the pouring, discard and prepare a new mixture with a different concentration of liquid additive.
14	Immediately after placing the mixture in the pan, place the pan in an oven at 60 ±3°C (140 ±5°F).
15	Cure the mixture for 24 hr. or until constant weight is reached. <i>NOTE:</i> Constant weight is the weight at which the mixture shows less than 1 g loss in weight after successive weighing at 30-min. intervals of additional curing in the oven.
16	Remove the sample pan from the oven.
17	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Examine the surface of the mixture for excessively sticky appearance.</li> <li>◆ Use a white paper towel to gently blot the surface of the mixture. (Discard mixtures exhibiting excess asphalt on the surface and prepare a new mix design.)</li> </ul> <i>NOTE:</i> After curing, where the mixture does not appear excessively sticky, invert the sample pan on a clean, nonabsorptive surface, and remove the wax paper.

## **Section 5**

### **Reporting**

Report any observations regarding the consistency of the slurry or excessive asphalt on the surface of the cured specimen.

## Section 6

### Calculations for Preparing Sample

#### Example of Calculations

The following table shows an example of calculations required to determine batch weights of various slurry seal components. The following mixture proportions are identified from mixture design.

Calculations for Preparing Sample	
Aggregate	5000 g sample of dry aggregate
Residual Asphalt	7% by weight of dry aggregate.
Mineral Filler	0.8% portland cement by weight of dry aggregate.
Water	10% by weight of dry aggregates
Liquid Additive	1.2% by weight of asphalt emulsion
Polymer Modified Emulsion	65% residual asphalt.

Examples:

- ◆ Emulsion or residual asphalt content =  $(0.07 \times 5000)/0.65 = 538.5$  g
- ◆ Mineral Filler =  $0.008 \times 5000 = 40$  g
- ◆ Water =  $0.10 \times 5000 = 500$  g.

#### Liquid Additive

Supply liquid additive in diluted or concentrated form. When supplying concentrated additive, determine the required amount by multiplying the additive content by emulsion weight. For this example:

$$\text{Concentrated Additive Weight} = 0.012 \times 538.5 = 6.46 \text{ g}$$

When supplying concentrated additive, prepare and use a diluted solution.

Perform the following steps to determine the amount of diluted solution and water to add to the mixture:

- ◆ Determine the required amount of solution:

$$\text{Amount of solution} = \frac{(\text{required additive weight}) \times 100}{\text{solution concentration}}$$

- ◆ For this example, assuming a 4% solution was supplied:

$$\text{Amount of solution} = \frac{6.46 \text{ g} \times 100}{4} = 161.5 \text{ g}$$

- ◆ From the previous steps, 500 g was the required amount of water. However, the actual amount of water to add to the mix in addition to the diluted solution is  $500 - 161.5 = 338.5$  g water.

## **Section 7**

### **Archived Versions**

The following archived versions of "Tex-230-F, Laboratory Method of Mixing, Curing and Testing Micro Surfacing (Polymer-Modified Slurry Seal) Mixtures" are available:

- ◆ 230-0899 for the test procedure effective August 1999 through November 2004.



# **Tex-240-F, Determining Optimum Residual Asphalt Content (RAC) for Polymer-Modified Slurry Seal (Microsurfacing) Mixtures**

## **Contents:**

Section 1 — Overview.....	2
Section 2 — Part I, Mix Design Procedure .....	3
Section 3 — Reporting .....	5
Section 4 — Part II, Mixing Time Test .....	6
Section 5 — Part III, Water Content Selection Using Modified Cup Flow Test .....	8
Section 6 — Part IV, Wet Cohesion Test .....	10
Section 7 — Part V, Wet Track Abrasion Test (WTAT) .....	13
Section 8 — Archived Versions .....	17

## **Section 1**

### **Overview**

Effective Date: December 2004 (refer to 'Archived Versions' for earlier versions).

Use this test method to determine the optimum residual asphalt content (RAC) for microsurfacing systems. Conduct tests on the mixture of polymer modified asphalt cement, aggregate, mineral filler, water, and set retarding additive.

Part I outlines the mixture design procedure for microsurfacing mixtures.

Part II and Part III establish the minimum and optimum water content using the mixing test and the modified cone test.

Part IV establishes the cement content using the wet cohesion test.

Part V establishes the optimum RAC of cement using the wet track abrasion test (WTAT).

### **Units of Measurement**

The values given in parentheses (if provided) are not standard and may not be exact mathematical conversions. Use each system of units separately. Combining values from the two systems may result in nonconformance with the standard.

## Section 2

### Part I, Mix Design Procedure

Follow these steps to determine the proper proportion of approved aggregate, mineral filler, water, asphalt emulsion and additive to produce a mix that meets specification requirements.

<b>Determining Proportion of Materials</b>	
<b>Step</b>	<b>Action</b>
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Obtain a representative sample of aggregate, mineral filler, and emulsion.</li> <li>◆ The following quantities are required:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 45 kg (100 lb.) of aggregate</li> <li>• 1 L (1 qt.) of mineral filler</li> <li>• 5 L (2 gal.) of emulsion.</li> </ul> </li> </ul>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Oven-dry the aggregate to a constant weight in an oven at a temperature between 38 and 150°C (100 and 302°F).</li> <li>◆ Cool to 25 ±3°C (77 ±5°F).</li> </ul>
3	Determine: <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ the sieve analysis as outlined in "Tex-200-F, Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates," and</li> <li>◆ bulk or apparent specific gravity as outlined in "Tex-201-F, Bulk Specific Gravity and Water Absorption of Aggregate," and "Tex-202-F, Apparent Specific Gravity of Material Finer than No. 50 (300 µm) Sieve."</li> </ul>
4	Separate the aggregate using 9.5 mm (3/8 in.), 4.75 mm (No. 4) and 2.36 mm (No. 8) sieves. <i>NOTE: A large number of small aggregate samples are required to reduce segregation.</i>
5	Recombine the aggregate to obtain samples with the proper gradation.
6	Determine percent residual asphalt cement content of emulsion as outlined in AASHTO T 59.
7	Select 3 or 5 trial asphalt contents depending on experience and knowledge of materials used. <i>NOTE: The trial asphalt contents must be in 0.5% increments.</i>
8	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Perform 'Part II, Mixing Time Test' at each RAC with 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0% mineral filler to ensure there is adequate time to mix and apply the slurry.</li> <li>◆ Start with a creamy mixture and decrease the water content at 1% increments.</li> </ul> <i>NOTE: The minimum water content is the water content that has a 120 sec.-mixing time.</i>
9	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Select the optimum water content using 'Part III, Water Content Selection Using Modified Cup Flow Test.'</li> <li>◆ Perform this test at each RAC and with the following mineral filler contents: 0.5, 1.0, 1.5, and 2.0%.</li> </ul>
10	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Select optimum water content for each combination of RAC and mineral filler.</li> <li>◆ Select the optimum water content at 2% below the water content that gives equal to or greater than 5-mm (0.2-in.) separation of fluids and solids.</li> </ul> <i>NOTE: The optimum water contents selected in this step must be greater than the minimum water content from step 8. Stop testing and develop a new mixture if the optimum water content is less than the minimum water content.)</i>
11	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Perform 'Part IV, Wet Cohesion Test' for each RAC and the amount of water and additive selected in Steps 7-10 and the following mineral filler contents: 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0 and 2.5%.</li> <li>◆ For each RAC, select the lowest mineral filler content that provides the minimum torque of 12 kg-cm at 30 min. and 20 kg-cm at 60 min.</li> </ul>

<b>Determining Proportion of Materials</b>	
<b>Step</b>	<b>Action</b>
	◆ Perform all subsequent testing at the mineral filler contents selected in this step.
12	◆ Conduct 'Part V, Wet Track Abrasion Test (WTAT)' for each RAC with the appropriate water, mineral filler, and additive contents. ◆ Select the minimum acceptable RAC that passes the WTAT with an abrasion loss less than 75 g/ft <sup>2</sup> (806 g/m <sup>2</sup> ) for a 6-day soak.
13	Select the optimum RAC at 0.5% above the minimum RAC that passes the WTAT.

### **Section 3**

### **Reporting**

Report the optimum RAC, the corresponding emulsion content, the required minimum mineral filler content selected in Step 11 of 'Determining Proportion of Materials' for the optimum RAC, the minimum water content for the optimum RAC, the optimum water content for the optimum RAC, and the aggregate gradation. Report all content values in percent of weight of dry aggregate.

Provide the result of each test with the final mixture design results. This is the job-mix formula when approved.

## Section 4

### Part II, Mixing Time Test

Use this procedure to determine the minimum water content that gives 120-sec. mix time. The 120-sec. mix time ensures adequate time to mix and place the slurry.

#### Apparatus

Use the following apparatus:

- ◆ mixing container – a 500-mL (16-oz.) plastic drinking cup
- ◆ mixing blade – a 150-mm (6-in.) tongue depressor
- ◆ stop watch or timer
- ◆ balance, capable of weighing 600 ±0.1 g.

#### Preparing Sample

Follow these steps to prepare samples for mixing time test.

<b>Preparing Mixing Time Test Sample</b>	
<b>Step</b>	<b>Action</b>
1	Perform the test with all ingredients and room at 25 ±1.1°C (77 ±2°F).
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ When evaluating the mixing time in determining the optimum RAC, oven-dry the aggregate to a constant weight in an oven at a temperature between 38 and 150°C (100 and 302°F).</li> <li>◆ Cool to 25 ±3°C (77 ±5°F).</li> <li>◆ When verifying the mixing time for a mixture design or when evaluating the mixing time during production, air-dry the aggregate.</li> </ul>
3	Sieve the oven-dry aggregate using 9.5 mm (3/8 in.), 4.75 mm (No. 4) and 2.36 mm (No. 8) sieves.
4	Let the aggregate cool to the required testing temperature and recombine to obtain a 200 g aggregate sample.
5	Determine the weight of mineral filler, water, additives and emulsion as outlined in 'Calculations for Preparing Sample' of "Tex-230-F, Laboratory Method of Mixing and Curing Polymer-Modified Slurry Seal (Microsurfacing) Mixtures."
6	Place 200 g of aggregate into a 500-mL (16-oz.) plastic cup.
7	Add the appropriate amount of mineral filler and dry mix into the aggregate for 60 sec.
8	Weigh in the desired amount of water and any liquid additive and mix for 60 sec. or until the aggregate is uniformly wetted.
9	Add the required amount of emulsion.

## Procedure

Follow these steps to perform mixing time test.

<b>Mixing Time Test</b>	
<b>Step</b>	<b>Action</b>
1	<ul style="list-style-type: none"><li>◆ After adding the emulsion, start the timer and mix the slurry at 60-70 rpm.</li><li>◆ Continue mixing until the emulsion has broken. Color change is the primary indication that an emulsion has broken. It normally changes to a black or dark color.</li></ul>
2	Record the time in sec. when the emulsion breaks.

## Report

Report the time in sec. at which the emulsion breaks with the percent mineral filler, water, emulsion, and additive, if used.

## Section 5

### Part III, Water Content Selection Using Modified Cup Flow Test

Use this procedure to measure the water content where separation of fluids and solids occur on a 15° inclined plane. Select the optimum water content for the microsurfacing system at 2% below the water content where separation occurs at a point equal to or greater than 5 mm (0.2 in.).

#### Apparatus

Use the following apparatus:

- ◆ mixing container – a 500-mL (16-oz.) plastic drinking cup
- ◆ mixing blade – a 150-mm (6-in.) tongue depressor
- ◆ stop watch or timer
- ◆ balance, capable of weighing 600 ±0.1 g
- ◆ stainless steel or aluminum inclined plane. The inclined plane must be 300 mm wide × 600 mm long (12 × 24 in.) and at a 15° angle.

#### Preparing Sample

Follow these steps to prepare water content selection test samples using the modified cup flow.

<b>Preparing Cup Flow Test Sample</b>	
<b>Step</b>	<b>Action</b>
1	The 'Mixing Time Test' must be performed to determine the amount of additive required to obtain a mixing time equal to or greater than 120 sec. The 'Modified Cup Flow Test' must be performed at this amount of additive.
2	Perform the test with all ingredients and room at 25 ±1.1°C (77 ±2°F).
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Oven-dry the aggregate to a constant weight in an oven at a temperature between 38 and 150°C (100 and 302°F) when evaluating the water content for determining the optimum RAC.</li> <li>◆ Cool to 25 ±3°C (77 ±5°F).</li> <li>◆ Air-dry the aggregate when verifying the mixing time for a mixture design or when evaluating the mixing time during production.</li> </ul>
4	Sieve the oven-dry aggregate using 9.5 mm (3/8-in.), 4.75 mm (No. 4) and 2.36 mm (No. 8) sieves.
5	Let the aggregate cool to the required testing temperature and recombine to obtain a 200 g aggregate sample.
6	Weigh 200 g of aggregate into a 590-mL (20-oz.) plastic cup.
7	Determine the weight of mineral filler, water, additives and emulsion as outlined in 'Calculations for Preparing Sample' of "Tex-230-F, Laboratory Method of Mixing and Curing Polymer-Modified Slurry Seal (Microsurfacing) Mixtures."
8	Add the appropriate amount of mineral filler and dry mix into the aggregate for 60 sec.



<b>Preparing Cup Flow Test Sample</b>	
<b>Step</b>	<b>Action</b>
9	Weigh in the desired amount of water and any liquid additive and mix for 60 sec. or until the aggregate is uniformly wetted.
10	Add the required amount of emulsion.
11	Mix the emulsion for a minimum of 30 sec.

## Procedure

Follow these steps for water content selection using the modified cup flow test.

<b>Modified Cup Flow Test</b>	
<b>Step</b>	<b>Action</b>
1	Place the inclined plane on top of cup.
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Invert the cup and inclined plane.</li> <li>◆ Hold the cup to the inclined plane securely to prevent loss of fluids.</li> </ul>
3	Place the inclined plane on a level surface.
4	Tap lightly on the bottom of the cup 2 times.
5	Remove the cup vertically and start the timer.
6	After 120 sec. observe the slurry and record if separation of fluids and solids is equal to or greater than 5 mm (0.2 in.).

## Report

Report the water content that gives a separation of fluids and solids equal to or greater than 5 mm (0.2 in.). Also report the percentages of water, mineral filler, emulsion and additives used.

## Section 6

### Part IV, Wet Cohesion Test

Use this procedure, which is a modification of ASTM D 3910, to select the percent mineral filler for a given microsurfacing system.

#### Apparatus

Use the following apparatus:

- ◆ modified cohesion tester, similar to the ASTM D 3910, with the following modifications:
  - 28.5-mm (1-1/8-in.) double-rod air cylinder with 8 mm (5/16 in.) rods and 75-mm (3-in.) stroke
  - 6 × 28.5-mm (1/4 × 1-1/8-in.) 60 durometer neoprene rubber foot
  - air pressure regulator with a variable down stream bleed valve with exhaust port regulating valves
  - four-way directional control valve with exhaust port regulating valves
  - air pressure gauge with a 0 to 700-kPa (0 to 100-psi) pressure gauge
  - 700-kPa (100-psi) air supply
  - torque meter capable of measuring and marking at least 35 kg-cm torque.
- ◆ 100 × 100-mm (4 × 4-in.) square cut from 14-kg (30-lb.) saturated roofing felt to be used as sample mounting pads
- ◆ 10 × 60-mm (0.4 × 2.4-in.) diameter specimen molds
- ◆ 4.75 mm (No. 4) and 9.5 mm (3/8 in.) ASTM E 11 sieves
- ◆ plastic, 590 mL (20 oz.) cups for mixing
- ◆ steel spatula for mixing and for scraping off neoprene foot
- ◆ scale capable of weighing 600 ±0.1 g
- ◆ wash bottle with a very fine spout
- ◆ forced draft oven controlled at 60 ±3°C (140 ±5°F)
- ◆ for calibration:
  - 20-30 mesh standard ASTM C 190 Ottawa Sand
  - 220 grit silicon carbide 3M™ sand paper
  - 100 grit silicon carbide Carborundum brand sand paper
  - load cell to periodically check the cohesion meter pressure.

## Calibration

Follow these steps to calibrate the testing apparatus.

<b>Calibrating Testing Apparatus</b>	
Step	Action
1	Make a series of tests with 220 grit sand paper until a series of 10 tests read a constant average within a 0.3 kg-cm (0.66 lb.-in.) range.
2	After the rubber disc is 'polished' with the 220 grit sand paper to a constant reading and the 20-30 mesh Ottawa sand (ASTM C 190) contained in a 1-cm (0.4-in.) mold, test the 100 grit sand paper and record the calibration readings
3	Test the dry aggregate used for the test mix as in Step 2 and record on the cohesion graph.

## Preparing Sample

Follow these steps to prepare samples for the wet cohesion test.

<b>Preparing Sample for Wet Cohesion Test</b>	
Step	Action
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Oven-dry the aggregate to a constant weight in an oven at a temperature between 38 and 150°C (100 and 302°F) when evaluating the wet cohesion for determining the optimum RAC.</li> <li>◆ Cool to 25 ±3°C (77 ±5°F).</li> <li>◆ Air-dry the aggregate when verifying the wet cohesion for a mixture design or when evaluating the mixing time during production.</li> </ul>
2	Sieve the oven dry aggregate using 9.5 mm (3/8-in.), 4.75 mm (No. 4) and 2.36 mm (No. 8) sieves.
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Recombine the aggregate using the material passing the 4.75 (No. 4) sieve to obtain a 200-g aggregate sample.</li> <li>◆ Prepare 2 test specimens for each curing time.</li> </ul>
4	Weigh 200 g of aggregate into the plastic cup.
5	Determine the weight of mineral filler, water, additives and emulsion as outlined in 'Calculations for Preparing Sample' of "Tex-230-F, Laboratory Method of Mixing and Curing Polymer-Modified Slurry Seal (Microsurfacing) Mixtures."
6	Add the appropriate amount of mineral filler and dry mix into the aggregate for 60 sec.
7	Add the desired water and any liquid additive and mix for 60 sec. or until the aggregate is uniformly wet.
8	Add the required amount of emulsion and mix for 30 sec.
9	Center the 10 × 10 cm (4 × 4 in.) roofing felt disc.
10	Pour the slurry into one side of the mold.
11	Level off the sample with the spatula blade held perpendicular to the mold surface. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Level the sample in one pass using a 'sawing' motion to avoid segregation.</li> <li>• Complete this step within 45 sec. of the addition of the emulsion.</li> </ul>
12	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Remove the mold and allow the sample to cure at the required curing time.</li> <li>◆ Cure test specimen for 30 to 60 min. at room temperature 25°C (77°F).</li> </ul>

## Procedure

Follow these steps to perform the wet cohesion test.

Wet Cohesion Test	
Step	Action
1	Center the sample under the neoprene foot.
2	Set the air pressure at 200 kPa (29 psi).
3	Zero the torque wrench and place it on top of the cylinder rod.
4	Lower the foot against the sample at a rate of 8 to 10 cm/sec (3.2 to 4 in./sec.).
5	After 5 to 6 sec. of compaction, twist the torque wrench in a smooth, firm, horizontal motion through a 90 to 120° arc within 0.5 to 0.7 sec.
6	Take care to prevent pressing down on the rod when using the torque wrench.
7	Note the mode of rupture of the sample. <i>NOTE:</i> The modes of rupture are described under 'Report.'

## Report

Report an average torque reading for the samples cured for 30 min. and for the samples cured for 60 min.; include the 'mode of rupture.'

Report the mode of rupture as 'normal' when the specimen falls apart under torque.

Report the mode of rupture as 'solid spin' when the specimen does not fall apart under torque and the neoprene foot spins on the specimen without any visible damage to the specimen.

Report the mode of rupture as 'near spin' when the foot spins but leaves an indentation on the specimen.

## **Section 7**

### **Part V, Wet Track Abrasion Test (WTAT)**

Use this procedure, which is a modification of ASTM D 3910, to determine the minimum asphalt content for a given micro surfacing system.

#### **Apparatus**

Use the following apparatus:

- ◆ balance capable of weighing  $5000 \pm 0.1$  g
- ◆ planetary type mechanical mixer such as Hobart C-100, N-50, or A-120
- ◆ a 2.27-kg (5-lb.) abrasion head, a 300-mm (12-in.) diameter rust resistant flat bottom pan and quick clamp mounting plate
- ◆  $300 \times 300$ -mm ( $12 \times 12$ -in.) square cut from 14-kg (30-lb.) saturated roofing felt
- ◆ rust-resistant round bottom bowl for mixing slurry
- ◆ a raised lip sample mold of the following dimensions: a depth of 6.35 mm (1/4 in.) and a diameter of 279 mm (11 in.) for the C-100 and A-120 mixers and 254 mm (10 in.) for the N-50 mixer
- ◆ a strike-off wooden dowel rod that is 25-mm (1-in.) diameter by 400 mm (15.7 in.) long
- ◆ forced draft oven controlled at  $60 \pm 3^\circ\text{C}$  ( $140 \pm 5^\circ\text{F}$ )
- ◆ constant temperature water bath controlled at  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  ( $77 \pm 2^\circ\text{F}$ )
- ◆ a 127-mm (5-in.) length of reinforced rubber hose equivalent to Parker 290 Ozex General Purpose Hose with 19 mm (3/4 in.) inside diameter with 6.25-mm (1/4-in.) wall thickness
- ◆ a wooden block to support the mounting plate during testing.

## Preparing Sample

Follow these steps to prepare samples for WTAT.

<b>Preparing Sample for Wet Track Abrasion Test (WTAT)</b>	
<b>Step</b>	<b>Action</b>
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Oven-dry the aggregate to a constant weight in an oven at a temperature between 38 and 150°C (100 and 302°F) when evaluating the wet track abrasion for determining the optimum RAC.</li> <li>◆ Cool to 25 ±3°C (77 ±5°F).</li> <li>◆ Air-dry the aggregate when verifying the wet track abrasion for a mixture design or when evaluating the wet track abrasion during production.</li> </ul>
2	Sieve the dry aggregate using 9.5 mm (3/8 in.), 4.75 mm (No. 4), and 2.36 mm (No.8) sieves.
3	Use only the the material passing the 4.75 mm (No. 4) sieve, recombine the aggregate in proper proportions to maintain desired gradation and to obtain 800-g sample (700-g using the N-50 machine).
4	Weigh the 800 g of aggregate into the mixing bowl.
5	Determine the weight of mineral filler, water, additives and emulsion as outlined in 'Calculations for Preparing Sample' of "Tex-230-F, Laboratory Method of Mixing and Curing Polymer-Modified Slurry Seal (Microsurfacing) Mixtures."
6	Add the mineral filler and dry mix for 60 sec. or until uniformly distributed.
7	Add the desired water and any liquid additive and mix for 60 sec. or until the aggregate is uniformly wetted.
8	Add the required amount of emulsion and mix for 30 sec.
9	Center the mold on the 300 × 300-mm (12 × 12-in.) square disc roofing felt.
10	Immediately pour the slurry into one side of the mold.
11	Level off the sample with the wooden dowel rod held parallel to the mold surface. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Level the sample in one pass using a 'sawing' motion to avoid segregation.</li> <li>• Complete this step within 45 sec. of the addition of the emulsion.</li> </ul>
12	Remove the mold and place sample in the 60°C (140°F) oven and dry to constant weight (a minimum of 15 hr. drying time).

## Procedure

Follow these steps to perform the wet track abrasion test.

<b>Wet Track Abrasion Test (WTAT)</b>	
<b>Step</b>	<b>Action</b>
1	Remove the dried sample from the 60°C (140°F) oven and allow it to cool to room temperature.
2	Remove excessive felt by cutting around the sample, staying at least 10 mm (0.4 in.) away from the edge of the sample.
3	Weigh the sample and place in a 25°C (77°F) water bath filled with distilled water for 6 days.
4	Remove the sample and place in flat bottom pan.
5	Clamp sample to mounting plate using the quick connection clamp.
6	Cover the sample with 6 ±0.5mm (0.25 ±0.02 in.) of 25°C (77°F) distilled water.
7	Place fresh hose onto the abrasion head. An option is to use a hose section four times by rotating the hose 90° after each test to have a new

<b>Wet Track Abrasion Test (WTAT)</b>	
<b>Step</b>	<b>Action</b>
	section of hose in contact with the sample.
8	Lock the abrasion head on the shaft of the mixer.
9	Raise the mounting plate until the rubber hose is floating freely in contact with the sample surface.
10	Insert the wooden support block under the platform.
11	Switch the mixer on low speed for the time given in the 'Correction Factors to Correlate all Results to the C-100 Abrasion Loss' table for the machine being used.
12	Remove the sample and wash off loose debris with slow-running, room temperature water.
13	Place the washed sample in 60°C (140°F) oven and dry to constant weight.
14	Remove the dry sample and allow it to cool to room temperature.
15	Weigh dry sample and calculate loss.

Use following correction factors to correlate results.

<b>Correction Factors to Correlate All Results to the C-100 Abrasion Loss</b>				
<b>Model</b>	<b>Running Time</b>	<b>Conversion Constant - g/ft<sup>2</sup></b>	<b>Conversion Constant - g/m<sup>2</sup></b>	<b>C-100 Correction Factor</b>
C-100	5 min. ±2 sec.	3.06	32.9	1.00
A-120	6 min., 45 sec. ±2 sec.	2.78	29.9	1.17
N-50	5 min., 15 sec. ±2 sec.	3.48	37.5	0.78
Modified N-50	5 min., 15 sec. ±2 sec.	3.06	32.9	0.78

### Calculation

Calculate the loss of material abraded in g/ft<sup>2</sup> or g/m<sup>2</sup> (wear value):

$$\text{wear value} = (A - B) \cdot C \cdot D$$

Where:

- ◆ A = Initial dry specimen weight
- ◆ B = Abraded dry specimen weight
- ◆ C = Conversion constant from the 'Correction Factors to Correlate all Results to the C-100 Abrasion Loss' table
- ◆ D = C-100 correction factor from the 'Correction Factors to Correlate all Results to the C-100 Abrasion Loss' table.

## **Report**

Report the wear value in  $\text{g/ft}^2$  ( $\text{g/m}^2$ ), machine used, running time and soaking period.

EXAMPLE: The 6-day soak, wet track abrasion wear value is  $59.8 \text{ g/ft}^2$  ( $644 \text{ g/m}^2$ ), using a N-50 machine for 5 min. and 15 sec.



## **Section 8**

### **Archived Versions**

The following archived versions of "Tex-240-F, Determining Optimum Residual Asphalt Content (RAC) for Micro-surfacing Systems" are available:

- ◆ 240-0899 for the test procedure effective August 1999 through November 2004.

**DEPARTMENT OF TRANSPORTATION**  
**ENGINEERING SERVICE CENTER**  
**TRANSPORTATION LABORATORY**  
**5900 Folsom Blvd.**  
**Sacramento, California 95819-4612**



## METHOD OF TEST FOR CENTRIFUGE KEROSENE EQUIVALENT AND APPROXIMATE BITUMEN RATIO (ABR)

**CAUTION:** Prior to handling test materials, performing equipment setups, and/or conducting this method, testers are required to read **"SAFETY AND HEALTH"** in Section G of this method. It is the responsibility of whoever uses this method to consult and use departmental safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations before any testing is performed.

### A. SCOPE

This procedure is used to determine an approximate bitumen ratio for a bituminous mix. The centrifuge kerosene equivalent (CKE) is used to make this determination. The CKE furnishes an index, designated as the "K factor", that indicates the relative particle roughness and surface capacity based on porosity.

### B. APPARATUS

1. Centrifuge, power driven, capable of exerting an acceleration of 400 times gravity (400 G) on a 100 g sample.

The required angular velocity (rad/s) of the centrifuge head =  $1980 / \sqrt{r}$

Where:

$r$  = radius in mm to center of gravity of the sample

2. Centrifuge cups, 71.4 ± 0.8 mm high by 52.4 ± 0.5 mm in diameter (see Figure 6), complete a 0.8 mm thick with perforated brass plate, having a minimum of 100 holes, 1.6 ± 0.1 mm in diameter, per 645 mm<sup>2</sup>.
3. Balance, 500 g capacity, ± 0.1 g accuracy.
4. Metal funnels as shown in Figure 7.

5. Glass beakers (1500 mL).
6. Timer with sweep second hand.
7. 60 ± 3°C oven.
8. Hot plate or 110 ± 5°C oven.
9. Round tin pans, approximately 115 mm in diameter by 25 mm deep.

### C. MATERIALS

1. Kerosene
2. AW hydraulic oil No. 10
3. Filter paper, 55 mm dia. (VWR No. 413 or equivalent)

### D. NOMENCLATURE

1. "C" = Course aggregate: The portion of the sample that passes the 9.5-mm sieve and is retained on the 4.75-mm sieve.
2. "F" = Fine aggregate: The portion of the sample that passes the 4.75-mm sieve.
3. "K" factors = values determined as described below and identified as Kc, Kf and Km.

4. Kc is determined from the percent No. 10 oil retained, which represents the total effect of the coarser aggregate's absorptive properties and surface roughness.
5. Kf is determined from the following factors:
  - a. Percent of kerosene retained, which represents the total effect of the absorptive properties and surface roughness of the finer aggregate.
  - b. Computed surface area based on particle size and percent passing the 4.75-mm sieve.
6. Km represents the "mean" or composite value of K for a given combination of coarse and fine materials on which Kc and Kf have already been determined.
7. S.A. = Surface Area. The sum, in m<sup>2</sup>/kg obtained by adding the products of the percent passing each sieve and its corresponding factor, and dividing by 100.

Sieve	S.A. Factors
Pass Max, Size .....	0.4
Pass 4.75 mm .....	0.4
Pass 2.36 mm .....	0.8
Pass 1.18 mm .....	1.6
Pass 600 μm .....	2.9
Pass 300 μm .....	6.1
Pass 150 μm .....	12.3
Pass 75 μm .....	32.8

All surface area factors must be used in calculations; thus, if 100 % passes the 4.75-mm sieve, include in calculations 100 x 0.4 for passing maximum size, as well as 100 x 0.4 for passing 4.75-mm sieve.

#### E. PREPARATION OF SAMPLE

1. Determine the oven dry bulk Sp. Gr. of the coarse aggregate (retained on the 4.75 mm sieve) and the apparent Sp. Gr. of the fine aggregate (passing the 4.75 mm sieve) using California Tests 206 and 208, respectively.
2. Design an aggregate grading to meet the desired tolerances (refer to California Test 105).

3. Calculate the Av. Sp. Gr. for the aggregate blend based upon the design grading.

$$\text{Av. Sp. Gr.} = \frac{100}{\frac{A}{A_1} + \frac{B}{B_1}}$$

- A = % Coarse  
 A<sub>1</sub> = Sp. Gr. Coarse  
 B = % Fine  
 B<sub>1</sub> = Sp. Gr. Fine

4. Use the surface area factors designated in Section D of this procedure and calculate the surface area based upon the design grading.
5. Separate the aggregate into two size groups: "C" material (used for Kc determinations) passing the 9.5-mm and retained on the 4.75-mm sieve, and "F" material (for Kf determination) all passing the 4.75-mm sieve.

#### F. TEST PROCEDURES

1. Procedures for fine aggregate "F". (Prepare duplicate samples.)
  - a. Quarter or split out 105 ± 2 g, representative of the material passing the 4.75-mm sieve.
  - b. Place the fines on a hot plate or in a 110 ± 5°C oven and dry to constant mass.
  - c. Allow to cool.
  - d. Place the entire charge in a tared centrifuge cup fitted with a perforated metal disc underlying a filter paper. Bring the net mass to 100.0 g.
  - e. Place the centrifuge cup and sample in a pan containing sufficient kerosene (approximately 25 mm in depth) to saturate the sample. When the specimen is thoroughly saturated (by capillary action), place the cup with sample in the centrifuge. Test in duplicate to provide a counter mass.
  - f. Spin the samples for 2 min at an acceleration of 400 G.
  - g. Reweigh each cup with sample to the nearest 0.1 g and subtract the original mass. Record

- this difference as CKE (based on 100 g of dry aggregate). Average the results of the duplicate samples.
2. Procedure for coarse aggregate, "C". (Prepare duplicate samples.)
    - a. Quarter or split out  $105 \pm 2$  g, representative of the passing 9.5-mm and retained 4.75-mm sieve material.
    - b. Dry the sample on a hot plate or in a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  oven to a constant mass and allow to cool.
    - c. Weigh out 100.0 g and place in funnel (described under "Apparatus").
    - d. Completely immerse specimen in No. 10 hydraulic oil for  $5 \text{ min} \pm 5 \text{ s}$ .
    - e. Drain for  $2 \text{ min} \pm 5 \text{ s}$  at  $25 \pm 5^\circ\text{C}$  with the funnel axis vertical.
    - f. Place the funnel containing the sample in a  $60 \pm 3^\circ\text{C}$  oven for  $15 \text{ min} \pm 5 \text{ s}$  to allow for additional draining with the funnel axis vertical.
    - g. Pour the sample from the funnel into a tared pan, cool, and reweigh sample to the nearest 0.1 g. Subtract the original mass and record the difference as percent oil retained (based on 100 g of dry aggregate). Average the results of the duplicate samples.
  3. Determination of approximate bitumen ratio, ABR.
    - a. Use the chart shown in Figure 1 for determination of "Kf."
      - (1) If the specific gravity (as determined by CT 208) for "F" is greater than 2.70 or less than 2.60, make a correction for percent of kerosene retained using the following formula:  
  
 Percent of kerosene retained x (Sp. Gr. "F" / 2.65) = CKE corrected for Sp. Gr.
      - (2) Start in the lower left-hand corner of Figure 1 with the value for CKE corrected for specific gravity. Follow a straightedge horizontally to the right to the intersection with the calculated surface area and hold that point. Move vertically upward to the intersection with the percent passing the 4.75-mm sieve and hold that point. Then follow the straightedge horizontally to the right. The value obtained will be the surface constant for the passing 4.75 mm fraction "F", and is known as "Kf".
    - b. Use the chart shown in Figure 2 for the determination of "Kc".
      - (1) If the specific gravity (as determined by CT 206) for "C" is greater than 2.70 or less than 2.60, apply a correction to the oil retained using the formula at the top of the chart in Figure 2.
      - (2) Start at the bottom of the chart in Figure 2 with the corrected percent of oil retained. Follow a straightedge vertically to the intersection with the diagonal line and hold that point. Then follow the straightedge horizontally to the left. The value obtained will be the surface constant for the retained fraction "C", and is known as "Kc".
      - (3) Figure 2 is the only chart needed to complete the determination of the bitumen ratio for open graded mixes. Using the following formula:  
  

$$Kc \text{ } \blacksquare \text{ } 1.5 + 4.0 =$$
 Approximate Bitumen Ratio for open graded mixes  
  
 No correction need be applied for asphalt viscosity.
    - c. Use the chart shown in Figure 3 to combine Kf and Kc to determine "Km".
      - (1)  $Km = Kf + \text{"correction to Kf"}$   
  
 The "correction to Kf" value obtained from Figure 3 is positive if (Kc-Kf) is positive, and is negative if (Kc-Kf) is negative.

- (2) The determination of  $K_m$  is shown in the following example:

$K_c = 1.0$ ,  $K_f = 1.8$ ,  
S.A. =  $5.1 \text{ m}^2/\text{kg}$ ,  
passing  $4.75 \text{ mm} = 60 \%$ .

Using Figure 3, start in the lower left-hand corner with S.A. =  $5.1 \text{ m}^2/\text{kg}$ . Follow a straightedge horizontally to 40 % (percentage of coarse aggregate) and hold that point. Follow the straightedge vertically to the intersection with 0.8 (the difference between  $K_c$  and  $K_f$ ) and hold that point. Then follow the straightedge horizontally to the right to a "correction to  $K_f$ ". In this example, the correction is 0.2. Because  $K_c - K_f$  is negative, the correction is negative; therefore,  $K_m = 1.8 - 0.2 = 1.6$ . If  $K_c$  had been 1.8, and  $K_f$  1.0,  $K_c - K_f$  would have been positive (+ 0.8), and the correction (0.2) would have been positive. In this case,  $K_m$  would be  $1.0 + 0.2 = 1.2$ .

- d. Use Figure 4 to determine the approximate bitumen ratio, ABR. Start in upper left-hand corner with S.A., follow a straightedge horizontally to the right to the intersection with the average specific gravity and hold that point. Proceed vertically downward to the intersection with known  $K_m$  and hold that point. Then follow the straightedge horizontally to the right. The value obtained will be the bitumen ratio for liquid asphalts SC-250, MC-250, and RC-250. A correction must be made for heavier liquid or paving asphalts.
- e. Figure 5 is used for correcting the bitumen requirement for the above-mentioned heavier liquid or paving asphalts. By means of a straightedge, connect the point on scale "A" that represents the grade of bitumen to be used with the point on scale "B" representing the S.A. of the aggregate. Through the point of intersection on line "C" place a straightedge to connect with the previously determined bitumen ratio value on scale "D". The intersection of the straightedge with scale "E" then represents the bitumen ratio corrected for viscosity of bitumen.

## G. SAFETY AND HEALTH

Personnel should use heat resistant gloves when working with hot materials. Use proper lifting techniques when handling bags of aggregate. Reasonable care should be exercised to avoid being burned by hot asphalt, aggregate or equipment.

Prior to sampling, handling materials or testing, Caltrans personnel are required to read Part A (Section 5.0), Part B (Section 5.0, 6.0 and 10.0) and Part C (Section 1.0) of Caltrans' Laboratory Safety Manual and the Materials Safety Data Sheets (MSDS) for all materials used. Users of this method do so at their own risk.

## H. NOTES

When there is 20 % or less coarse material in a sample, the  $K_c$  is not used; therefore, the  $K_f$  and  $K_m$  are the same.

## I. REPORTING OF RESULTS

Report  $K_f$ ,  $K_c$  and the approximate bitumen ratio obtained in terms of percentage of dry mass of aggregate.

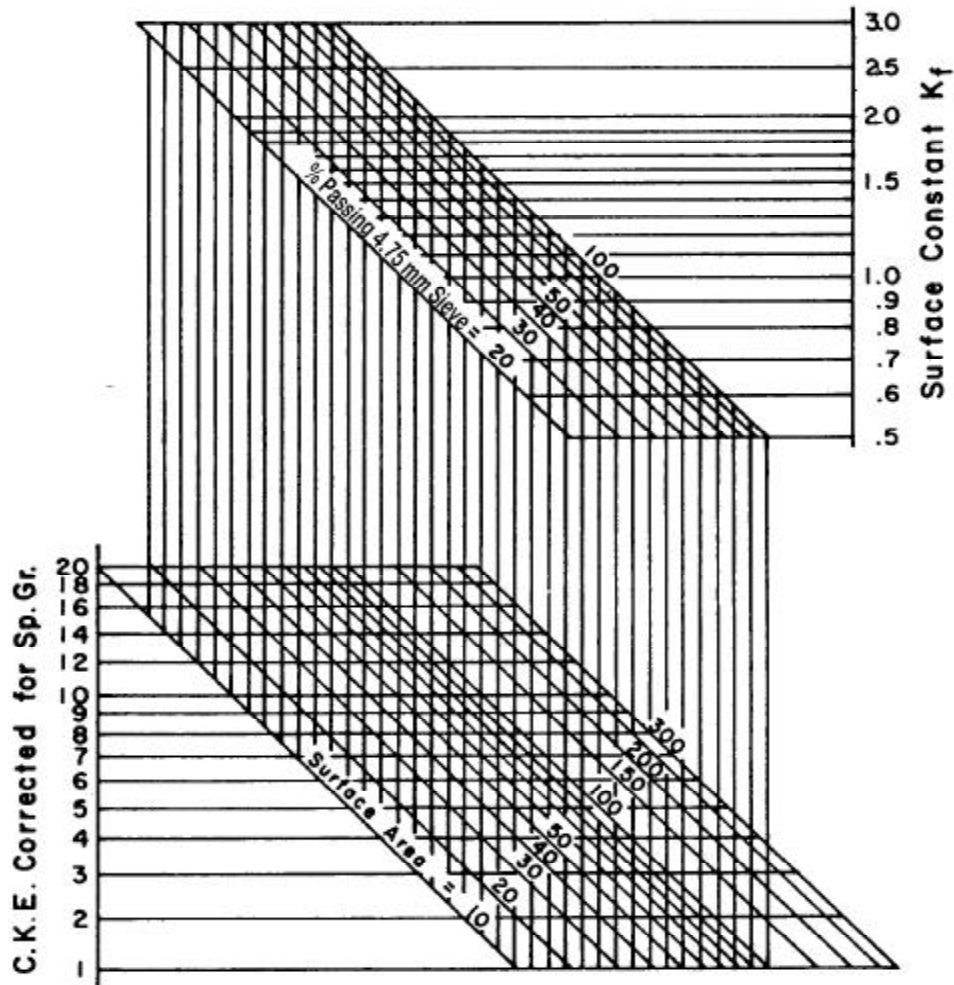
### References

California Tests 105, 206, and 208

### End of Text

(California Test 303 contains 12 Pages)

### CHART FOR DETERMINING $K_f$ FROM C.K.E.



$$\text{C.K.E. Corrected} = \text{C.K.E.} \times \frac{\text{Sp. Gr. fine}}{2.65}$$

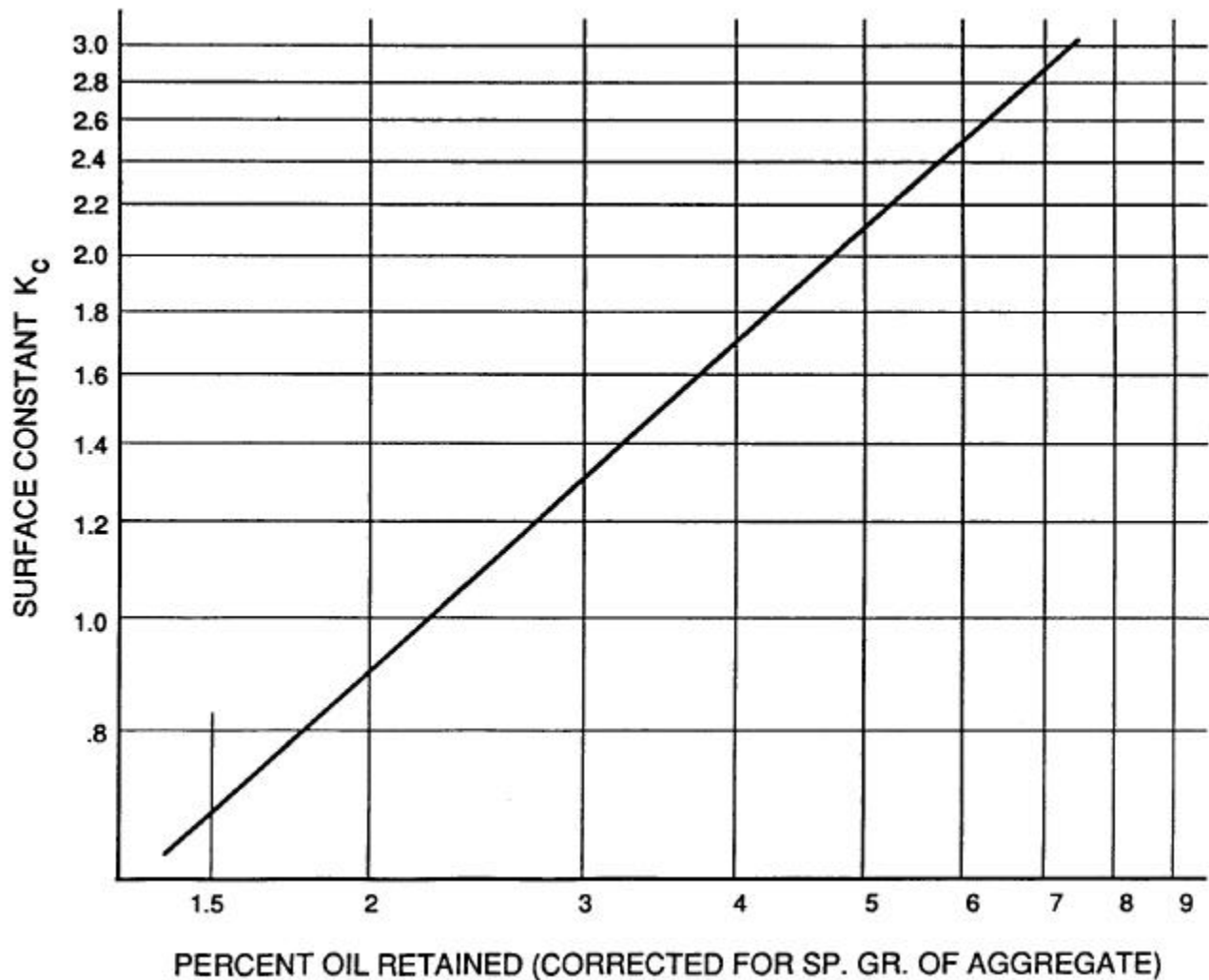
**NOTE:** Do not confuse this correction to C.K.E. with that used in Fig. 4

FIGURE 1

CHART FOR DETERMINING  $K_C$   
FROM  
COARSE AGGREGATE ABSORPTION

Material Used { Aggregate passing 9.5 mm, retained on 4.75 mm sieve  
                  { AW Hydraulic Oil No. 10

$$\% \text{ oil retained corrected} = \% \text{ oil retained} \times \frac{\text{Sp. Gr. of aggregate}}{2.65}$$



Percent Oil Retained (Corrected for Sp. Gr. of Aggregate)

FIGURE 2

### CHART FOR COMBINING $K_f$ AND $K_c$ TO DETERMINE $K_m$

If  $(K_c - K_f)$  is neg., corr. is neg.  
If  $(K_c - K_f)$  is pos., corr. is pos.  
 $K_m = K_f + \text{corr. to } K_f$

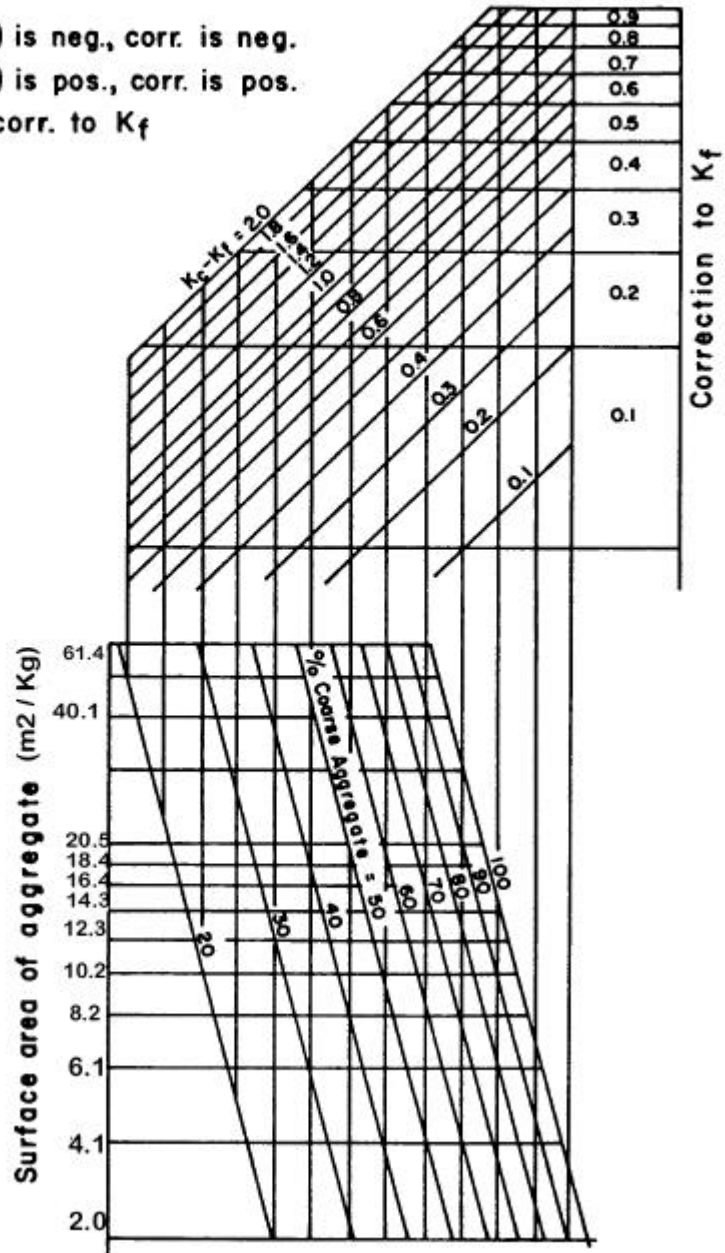


FIGURE 3



**CHART FOR COMPUTING APPROXIMATE BITUMEN RATIO (ABR)  
FOR DENSE GRADED BITUMINOUS MIXTURES**

**PROCEDURE**

Find surface area on scale A. Proceed horizontally to curve corresponding to Av. Sp. Gr. of aggregate, then down to Curve corresponding to Km then horizontally to scale B for Approximately Bitumen Ratio.

ABR = kg of oil per 100 kg of aggregate and applies directly to oil of SC-250, MC-250 and RC-250 grades. A correction must be made for heavier liquid or navinn asphalte Figure 5

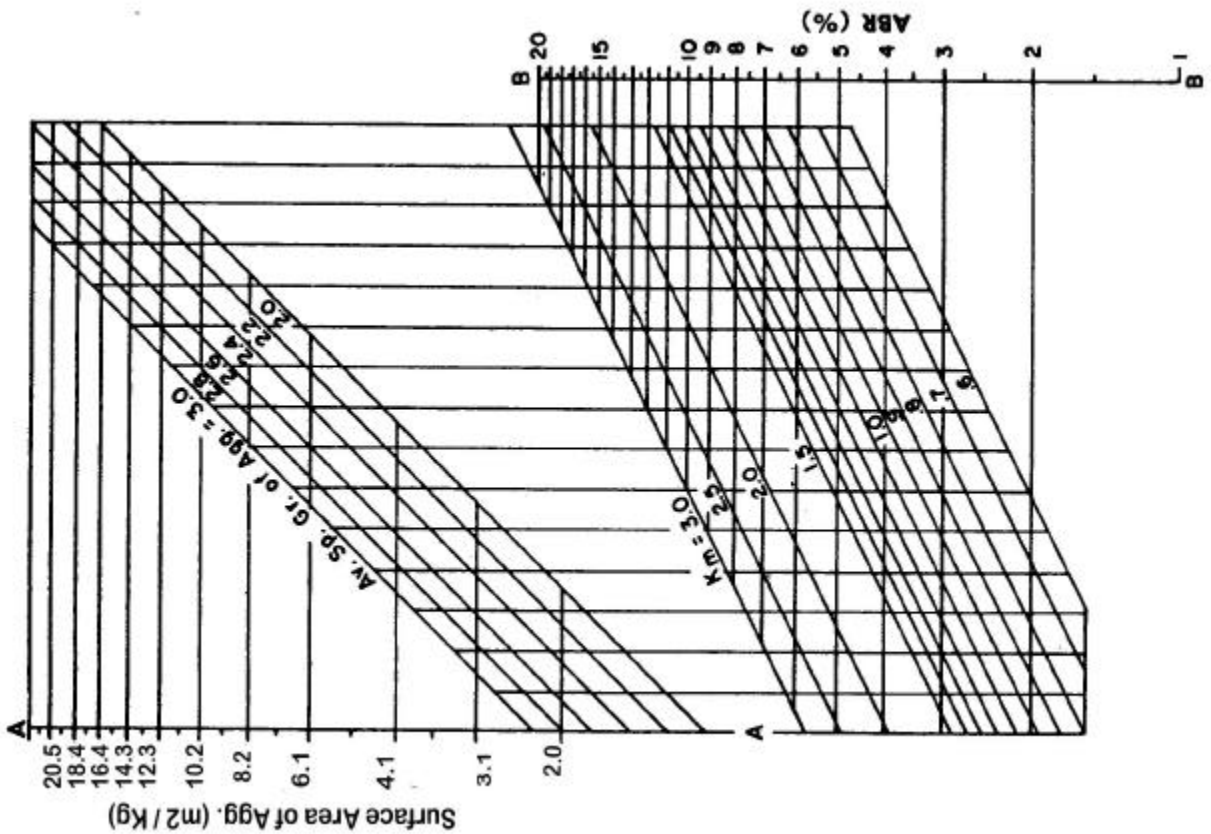


FIGURE 4

**CHART FOR CORRECTING ABR  
FOR GRADE OF ASPHALT**

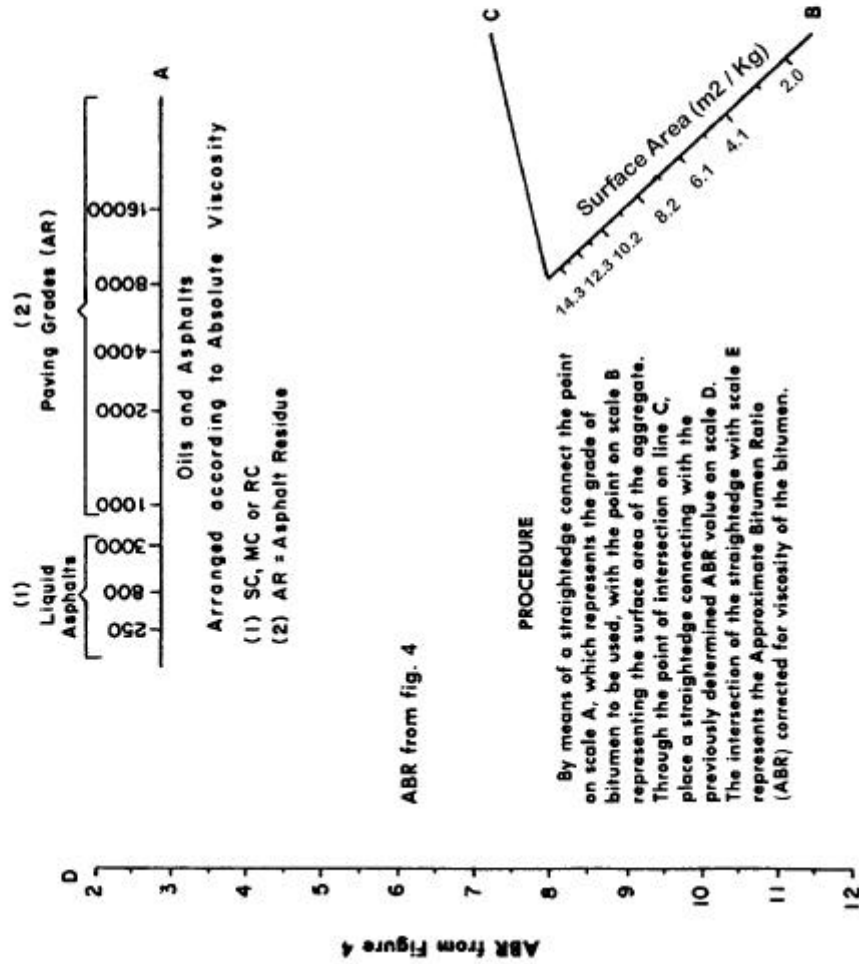


FIGURE 5

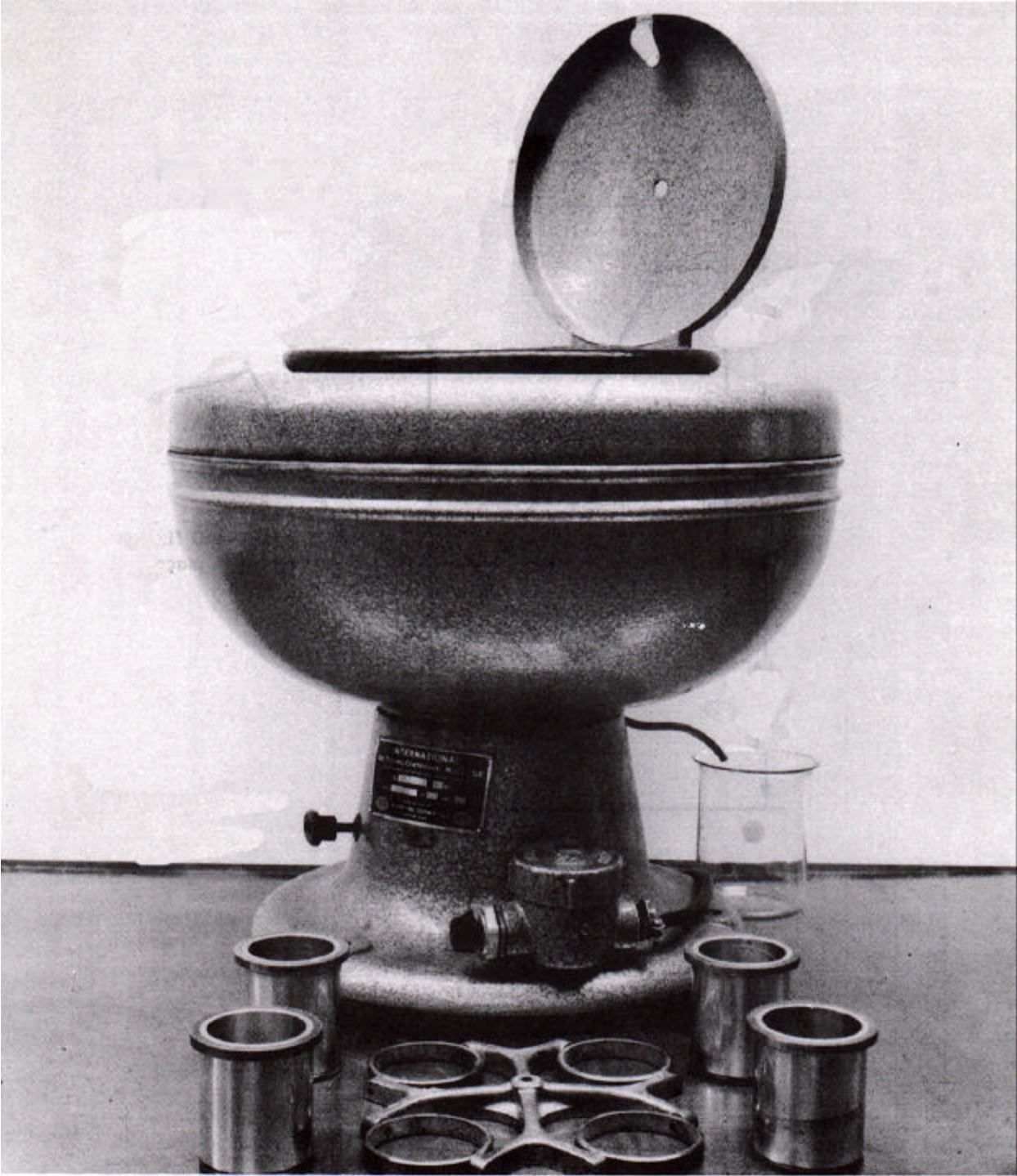


FIGURE 6

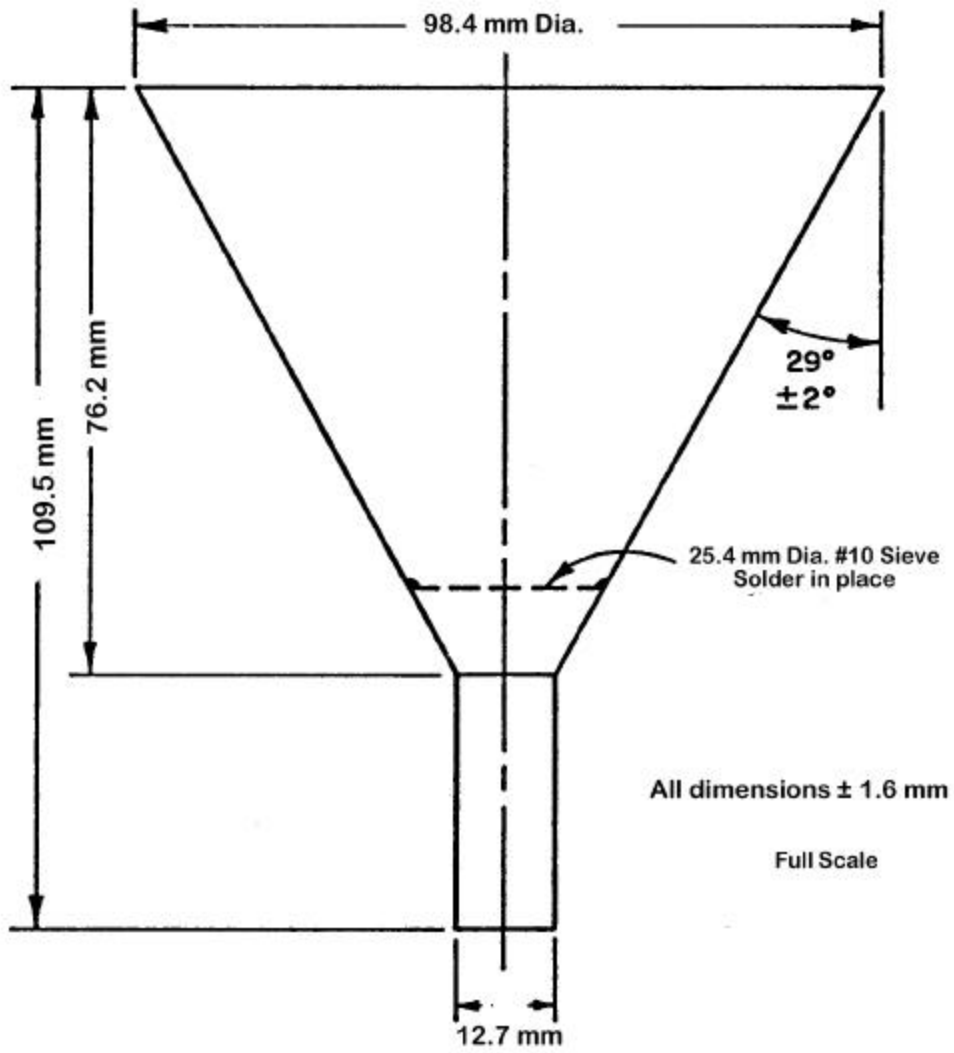


FIGURE 7



## Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation C 29/C 29M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

### 1. Scope

1.1 This test method covers the determination of bulk density (“unit weight”) of aggregate in a compacted or loose condition, and calculated voids between particles in fine, coarse, or mixed aggregates based on the same determination. This test method is applicable to aggregates not exceeding 5 in. [125 mm] in nominal maximum size.

NOTE 1—Unit weight is the traditional terminology used to describe the property determined by this test method, which is weight per unit volume (more correctly, mass per unit volume or density).

1.2 The values stated in either inch-pound units or SI units are to be regarded separately as standard, as appropriate for a specification with which this test method is used. An exception is with regard to sieve sizes and nominal size of aggregate, in which the SI values are the standard as stated in Specification E 11. Within the text, SI units are shown in brackets. The values stated in each system may not be exact equivalents; therefore each system must be used independently of the other, without combining values in any way.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards:

- C 125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates<sup>2</sup>
- C 127 Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate<sup>2</sup>
- C 128 Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate<sup>2</sup>
- C 138/C 138M Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete<sup>2</sup>
- C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.20 on Normal Weight Aggregates.

Current edition approved July 10, 1997. Published September 1997. Originally approved in 1920. Last previous edition approved in 1991 as C 29/C 29M – 91a.

<sup>2</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02.

for Test Methods for Construction Materials<sup>2</sup>  
C 702 Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size<sup>2</sup>

D 75 Practice for Sampling Aggregates<sup>3</sup>

D 123 Terminology Relating to Textiles<sup>4</sup>

E 11 Specification for Wire Cloth and Sieves for Testing Purposes<sup>5</sup>

2.2 *AASHTO Standard:*

T19/T19M Method of Test for Unit Weight and Voids in Aggregate<sup>6</sup>

### 3. Terminology

3.1 *Definitions*—Definitions are in accordance with Terminology C 125 unless otherwise indicated.

3.1.1 *bulk density, n—of aggregate*, the mass of a unit volume of bulk aggregate material, in which the volume includes the volume of the individual particles and the volume of the voids between the particles. Expressed in lb/ft<sup>3</sup> [kg/m<sup>3</sup>].

3.1.2 *unit weight, n—weight (mass) per unit volume*. (Deprecated term used—preferred term **bulk density**.)

3.1.2.1 *Discussion*—Weight is equal to the mass of the body multiplied by the acceleration due to gravity. Weight may be expressed in absolute units (newtons, poundals) or in gravitational units (kgf, lbf), for example: on the surface of the earth, a body with a mass of 1 kg has a weight of 1 kgf (approximately 9.81 N), or a body with a mass of 1 lb has a weight of 1 lbf (approximately 4.45 N or 32.2 poundals). Since weight is equal to mass times the acceleration due to gravity, the weight of a body will vary with the location where the weight is determined, while the mass of the body remains constant. On the surface of the earth, the force of gravity imparts to a body that is free to fall an acceleration of approximately 9.81 m/s<sup>2</sup> (32.2 ft/s<sup>2</sup>). **D 123.**

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

3.2.1 *voids, n—in unit volume of aggregate*, the space between particles in an aggregate mass not occupied by solid mineral matter.

<sup>3</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.03.

<sup>4</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 07.01.

<sup>5</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

<sup>6</sup> Available from American Association of State Highway and Transportation Officials, 444 N. Capitol St. NW, Suite 225, Washington, DC 20001.

3.2.1.1 *Discussion*—Voids within particles, either permeable or impermeable, are not included in voids as determined by this test method.

#### 4. Significance and Use

4.1 This test method is often used to determine bulk density values that are necessary for use for many methods of selecting proportions for concrete mixtures.

4.2 The bulk density also may be used for determining mass/volume relationships for conversions in purchase agreements. However, the relationship between degree of compaction of aggregates in a hauling unit or stockpile and that achieved in this test method is unknown. Further, aggregates in hauling units and stockpiles usually contain absorbed and surface moisture (the latter affecting bulking), while this test method determines the bulk density on a dry basis.

4.3 A procedure is included for computing the percentage of voids between the aggregate particles based on the bulk density determined by this test method.

#### 5. Apparatus

5.1 *Balance*—A balance or scale accurate within 0.1 % of the test load at any point within the range of use, graduated to at least 0.1 lb [0.05 kg]. The range of use shall be considered to extend from the mass of the measure empty to the mass of the measure plus its contents at 120 lb/ft<sup>3</sup> [1920 kg/m<sup>3</sup>].

5.2 *Tamping Rod*—A round, straight steel rod, 5/8 in. [16 mm] in diameter and approximately 24 in. [600 mm] in length, having the tamping end, or both ends, rounded to a hemispherical tip, the diameter of which is 5/8 in. (16 mm).

5.3 *Measure*—A cylindrical metal measure, preferably provided with handles. It shall be watertight, with the top and bottom true and even, and sufficiently rigid to retain its form under rough usage. The measure shall have a height approximately equal to the diameter, but in no case shall the height be less than 80 % nor more than 150 % of the diameter. The capacity of the measure shall conform to the limits in Table 1

**TABLE 1 Capacity of Measures**

Nominal Maximum Size of Aggregate		Capacity of Measure <sup>A</sup>	
in.	mm	ft <sup>3</sup>	L (m <sup>3</sup> )
1/2	12.5	1/40	2.8 (0.0028)
1	25.0	1/3	9.3 (0.0093)
1 1/2	37.5	1/2	14 (0.014)
3	75	1	28 (0.028)
4	100	2 1/2	70 (0.070)
5	125	3 1/2	100 (0.100)

<sup>A</sup> The indicated size of measure shall be used to test aggregates of a nominal maximum size equal to or smaller than that listed. The actual volume of the measure shall be at least 95 % of the nominal volume listed.

for the aggregate size to be tested. The thickness of metal in the measure shall be as described in Table 2. The top rim shall be smooth and plane within 0.01 in. [0.25 mm] and shall be parallel to the bottom within 0.5° (Note 2). The interior wall of the measure shall be a smooth and continuous surface.

NOTE 2—The top rim is satisfactorily plane if a 0.01-in. [0.25-mm] feeler gage cannot be inserted between the rim and a piece of 1/4-in. [6-mm] or thicker plate glass laid over the measure. The top and bottom

**TABLE 2 Requirements for Measures**

Capacity of Measure	Thickness of Metal, min		
	Bottom	Upper 1 1/2 in. or 38 mm of wall <sup>A</sup>	Remainder of wall
Less than 0.4 ft <sup>3</sup>	0.20 in.	0.10 in.	0.10 in.
0.4 ft <sup>3</sup> to 1.5 ft <sup>3</sup> , incl	0.20 in.	0.20 in.	0.12 in.
over 1.5 to 2.8 ft <sup>3</sup> , incl	0.40 in.	0.25 in.	0.15 in.
over 2.8 to 4.0 ft <sup>3</sup> , incl	0.50 in.	0.30 in.	0.20 in.
Less than 11 L	5.0 mm	2.5 mm	2.5 mm
11 to 42 L, incl	5.0 mm	5.0 mm	3.0 mm
over 42 to 80 L, incl	10.0 mm	6.4 mm	3.8 mm
over 80 to 133 L, incl	13.0 mm	7.6 mm	5.0 mm

<sup>A</sup> The added thickness in the upper portion of the wall may be obtained by placing a reinforcing band around the top of the measure.

are satisfactorily parallel if the slope between pieces of plate glass in contact with the top and bottom does not exceed 0.87 % in any direction.

5.3.1 If the measure is to also be used for testing for bulk density of freshly-mixed concrete according to Test Method C 138, the measure shall be made of steel or other suitable metal not readily subject to attack by cement paste. Reactive materials, such as aluminum alloys are permitted, where as a consequence of an initial reaction, a surface film is formed which protects the metal against further corrosion.

5.3.2 Measures larger than nominal 1 ft<sup>3</sup> (28 L) capacity shall be made of steel for rigidity, or the minimum thicknesses of metal listed in Table 2 shall be suitably increased.

5.4 *Shovel or Scoop*—A shovel or scoop of convenient size for filling the measure with aggregate.

5.5 *Calibration Equipment*—A piece of plate glass, preferably at least 1/4 in. [6 mm] thick and at least 1 in. [25 mm] larger than the diameter of the measure to be calibrated. A supply of water-pump or chassis grease that can be placed on the rim of the container to prevent leakage.

#### 6. Sampling

6.1 Obtain the sample in accordance with Practice D 75, and reduce to test sample size in accordance with Practice C 702.

#### 7. Test Sample

7.1 The size of the sample shall be approximately 125 to 200 % of the quantity required to fill the measure, and shall be handled in a manner to avoid segregation. Dry the aggregate sample to essentially constant mass, preferably in an oven at 230 ± 9°F [110 ± 5°C].

#### 8. Calibration of Measure

8.1 Fill the measure with water at room temperature and cover with a piece of plate glass in such a way as to eliminate bubbles and excess water.

8.2 Determine the mass of the water in the measure using the balance described in 5.1.

8.3 Measure the temperature of the water and determine its density from Table 3, interpolating if necessary.

8.4 Calculate the volume, *V*, of the measure by dividing the mass of the water required to fill the measure by its density. Alternatively, calculate the factor for the measure (1/*V*) by dividing the density of the water by the mass required to fill the measure.

**TABLE 3 Density of Water**

Temperature		lb/ft <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
°F	°C		
60	15.6	62.366	999.01
65	18.3	62.336	998.54
70	21.1	62.301	997.97
73.4	23.0	62.274	997.54
75	23.9	62.261	997.32
80	26.7	62.216	996.59
85	29.4	62.166	995.83

NOTE 3—For the calculation of bulk density, the volume of the measure in SI units should be expressed in cubic metres, or the factor as 1/m<sup>3</sup>. However, for convenience the size of the measure may be expressed in litres.

8.5 Measures shall be recalibrated at least once a year or whenever there is reason to question the accuracy of the calibration.

## 9. Selection of Procedure

9.1 The shoveling procedure for loose bulk density shall be used only when specifically stipulated. Otherwise, the compact bulk density shall be determined by the rodding procedure for aggregates having a nominal maximum size of 1½ in. [37.5 mm] or less, or by the jiggling procedure for aggregates having a nominal maximum size greater than 1½ in. [37.5 mm] and not exceeding 5 in. [125 mm].

## 10. Rodding Procedure

10.1 Fill the measure one-third full and level the surface with the fingers. Rod the layer of aggregate with 25 strokes of the tamping rod evenly distributed over the surface. Fill the measure two-thirds full and again level and rod as above. Finally, fill the measure to overflowing and rod again in the manner previously mentioned. Level the surface of the aggregate with the fingers or a straightedge in such a way that any slight projections of the larger pieces of the coarse aggregate approximately balance the larger voids in the surface below the top of the measure.

10.2 In rodding the first layer, do not allow the rod to strike the bottom of the measure forcibly. In rodding the second and third layers, use vigorous effort, but not more force than to cause the tamping rod to penetrate to the previous layer of aggregate.

NOTE 4—In rodding the larger sizes of coarse aggregate, it may not be possible to penetrate the layer being consolidated, especially with angular aggregates. The intent of the procedure will be accomplished if vigorous effort is used.

10.3 Determine the mass of the measure plus its contents, and the mass of the measure alone, and record the values to the nearest 0.1 lb [0.05 kg].

## 11. Jiggling Procedure

11.1 Fill the measure in three approximately equal layers as described in 10.1, compacting each layer by placing the measure on a firm base, such as a cement-concrete floor, raising the opposite sides alternately about 2 in. [50 mm], and allowing the measure to drop in such a manner as to hit with a sharp, slapping blow. The aggregate particles, by this procedure,

will arrange themselves in a densely compacted condition. Compact each layer by dropping the measure 50 times in the manner described, 25 times on each side. Level the surface of the aggregate with the fingers or a straightedge in such a way that any slight projections of the larger pieces of the coarse aggregate approximately balance the larger voids in the surface below the top of the measure.

11.2 Determine the mass of the measure plus its contents, and the mass of the measure alone, and record the values to the nearest 0.1 lb [0.05 kg].

## 12. Shoveling Procedure

12.1 Fill the measure to overflowing by means of a shovel or scoop, discharging the aggregate from a height not to exceed 2 in. [50 mm] above the top of the measure. Exercise care to prevent, so far as possible, segregation of the particle sizes of which the sample is composed. Level the surface of the aggregate with the fingers or a straightedge in such a way that any slight projections of the larger pieces of the coarse aggregate approximately balance the larger voids in the surface below the top of the measure.

12.2 Determine the mass of the measure plus its contents, and the mass of the measure alone, and record the values to the nearest 0.1 lb [0.05 kg].

## 13. Calculation

13.1 *Bulk Density*—Calculate the bulk density for the rodding, jiggling, or shoveling procedure as follows:

$$M = (G - T)/V \quad (1)$$

or

$$M = (G - T) \times F \quad (2)$$

where:

- $M$  = bulk density of the aggregate, lb/ft<sup>3</sup> [kg/m<sup>3</sup>],
- $G$  = mass of the aggregate plus the measure, lb [kg],
- $T$  = mass of the measure, lb [kg],
- $V$  = volume of the measure, ft<sup>3</sup> [m<sup>3</sup>], and
- $F$  = factor for measure, ft<sup>-3</sup> [m<sup>-3</sup>].

13.1.1 The bulk density determined by this test method is for aggregate in an oven-dry condition. If the bulk density in terms of saturated-surface-dry (SSD) condition is desired, use the exact procedure in this test method, and then calculate the SSD bulk density using the following formula:

$$M_{SSD} = M[1 + (A/100)] \quad (3)$$

where:

- $M_{SSD}$  = bulk density in SSD condition, lb/ft<sup>3</sup> [kg/m<sup>3</sup>], and
- $A$  = % absorption, determined in accordance with Test Method C 127 or Test Method C 128.

13.2 *Void Content*—Calculate the void content in the aggregate using the bulk density determined by either the rodding, jiggling, or shoveling procedure, as follows:

$$\% \text{ Voids} = 100[(S \times W) - M]/(S \times W) \quad (4)$$

where:

- $M$  = bulk density of the aggregate, lb/ft<sup>3</sup> [kg/m<sup>3</sup>],

- $S$  = bulk specific gravity (dry basis) as determined in accordance with Test Method C 127 or Test Method C 128, and
- $W$  = density of water, 62.3 lb/ft<sup>3</sup> [998 kg/m<sup>3</sup>].

#### 14. Report

14.1 Report the results for the bulk density to the nearest 1 lb/ft<sup>3</sup> [10 kg/m<sup>3</sup>] as follows:

- 14.1.1 Bulk density by rodding, or
- 14.1.2 Bulk density by jiggling, or
- 14.1.3 Loose bulk density.

14.2 Report the results for the void content to the nearest 1 % as follows:

- 14.2.1 Voids in aggregate compacted by rodding, %, or
- 14.2.2 Voids in aggregate compacted by jiggling, %, or
- 14.2.3 Voids in loose aggregate, %.

#### 15. Precision and Bias

15.1 The following estimates of precision for this test method are based on results from the AASHTO Materials Reference Laboratory (AMRL) Proficiency Sample Program, with testing conducted using this test method and AASHTO Method T 19/T 19M. There are no significant differences between the two test methods. The data are based on the analyses of more than 100 paired test results from 40 to 100 laboratories.

15.2 *Coarse Aggregate (bulk density):*

15.2.1 *Single-Operator Precision*—The single-operator standard deviation has been found to be 0.88 lb/ft<sup>3</sup> [14 kg/m<sup>3</sup>] (1s). Therefore, results of two properly conducted tests by the same operator on similar material should not differ by more than 2.5 lb/ft<sup>3</sup> [40 kg/m<sup>3</sup>] (d2s).

15.2.2 *Multilaboratory Precision*—The multilaboratory standard deviation has been found to be 1.87 lb/ft<sup>3</sup> [30 kg/m<sup>3</sup>] (1s). Therefore, results of two properly conducted tests from two different laboratories on similar material should not differ by more than 5.3 lb/ft<sup>3</sup> [85 kg/m<sup>3</sup>] (d2s).

15.2.3 These numbers represent, respectively, the (1s) and (d2s) limits as described in Practice C 670. The precision estimates were obtained from the analysis of AMRL proficiency sample data for bulk density by rodding of normal weight aggregates having a nominal maximum aggregate size of 1 in. [25.0 mm], and using a 1/2-ft<sup>3</sup> [14-L] measure.

15.3 *Fine Aggregate (bulk density):*

15.3.1 *Single-Operator Precision*—The single-operator standard deviation has been found to be 0.88 lb/ft<sup>3</sup> [14 kg/m<sup>3</sup>] (1s). Therefore, results of two properly conducted tests by the same operator on similar material should not differ by more than 2.5 lb/ft<sup>3</sup> [40 kg/m<sup>3</sup>] (d2s).

15.3.2 *Multilaboratory Precision*—The multilaboratory standard deviation has been found to be 2.76 lb/ft<sup>3</sup> [44 kg/m<sup>3</sup>] (1s). Therefore, results of two properly conducted tests from two different laboratories on similar material should not differ by more than 7.8 lb/ft<sup>3</sup> [125 kg/m<sup>3</sup>] (d2s).

15.3.3 These numbers represent, respectively, the (1s) and (d2s) limits as described in Practice C 670. The precision estimates were obtained from the analysis of AMRL proficiency sample data for loose bulk density from laboratories using a 1/10-ft<sup>3</sup> [2.8-L] measure.

15.4 No precision data on void content are available. However, as the void content in aggregate is calculated from bulk density and bulk specific gravity, the precision of the voids content reflects the precision of these measured parameters given in 15.2 and 15.3 of this test method and in Test Methods C 127 and C 128.

15.5 *Bias*—The procedure in this test method for measuring bulk density and void content has no bias because the values for bulk density and void content can be defined only in terms of a test method.

#### 16. Keywords

16.1 aggregates; bulk density; coarse aggregate; density; fine aggregate; unit weight; voids in aggregates

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).*





# Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation C 88; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

## 1. Scope

1.1 This test method covers the testing of aggregates to estimate their soundness when subjected to weathering action in concrete or other applications. This is accomplished by repeated immersion in saturated solutions of sodium or magnesium sulfate followed by oven drying to partially or completely dehydrate the salt precipitated in permeable pore spaces. The internal expansive force, derived from the rehydration of the salt upon re-immersion, simulates the expansion of water on freezing. This test method furnishes information helpful in judging the soundness of aggregates when adequate information is not available from service records of the material exposed to actual weathering conditions.

1.2 The values given in parentheses are provided for information purposes only.

1.3 *This standard does not purport to address the safety problems associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

## 2. Referenced Documents

### 2.1 ASTM Standards:

C 33 Specification for Concrete Aggregates<sup>2</sup>

C 136 Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates<sup>2</sup>

C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials<sup>2</sup>

C 702 Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size<sup>2</sup>

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C-9 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.20 on Normal Weight Aggregates.

Current edition approved March 10, 1999. Published June 1999. Originally published as C 88 – 31 T. Last previous edition C 88 – 99.

<sup>2</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02.

D 75 Practice for Sampling Aggregates<sup>3</sup>

D 3665 Practice for Random Sampling of Construction Materials<sup>3</sup>

E 11 Specification for Wire Cloth Sieves for Testing Purposes<sup>4</sup>

E 100 Specification for ASTM Hydrometers<sup>5</sup>

E 323 Specification for Perforated-Plate Sieves for Testing Purposes<sup>4</sup>

## 3. Significance and Use

3.1 This test method provides a procedure for making a preliminary estimate of the soundness of aggregates for use in concrete and other purposes. The values obtained may be compared with specifications, for example Specification C 33, that are designed to indicate the suitability of aggregate proposed for use. Since the precision of this test method is poor (Section 12), it may not be suitable for outright rejection of aggregates without confirmation from other tests more closely related to the specific service intended.

3.2 Values for the permitted-loss percentage by this test method are usually different for fine and coarse aggregates, and attention is called to the fact that test results by use of the two salts differ considerably and care must be exercised in fixing proper limits in any specifications that include requirements for these tests. The test is usually more severe when magnesium sulfate is used; accordingly, limits for percent loss allowed when magnesium sulfate is used are normally higher than limits when sodium sulfate is used.

NOTE 1—Refer to the appropriate sections in Specification C 33 establishing conditions for acceptance of coarse and fine aggregates which fail to meet requirements based on this test.

## 4. Apparatus

4.1 *Sieves*—With square openings of the following sizes

<sup>3</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.03.

<sup>4</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

<sup>5</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.03.

conforming to Specifications E 11 or E 323, for sieving the samples in accordance with Sections 6, 7, and 9:

150 $\mu\text{m}$ (No. 100)	8.0 mm ( $\frac{5}{16}$ in.) 9.5 mm ( $\frac{3}{8}$ in.)
300 $\mu\text{m}$ (No. 50)	12.5 mm ( $\frac{1}{2}$ in.) 16.0 mm ( $\frac{5}{8}$ in.)
600 $\mu\text{m}$ (No. 30)	19.0 mm ( $\frac{3}{4}$ in.) 25.0 mm (1 in.)
1.18 mm (No. 16)	31.5 mm ( $1\frac{1}{4}$ in.)
2.36 mm (No. 8)	37.5 mm ( $1\frac{1}{2}$ in.) 50 mm (2 in.)
4.00 mm (No. 5)	63 mm ( $2\frac{1}{2}$ in.)
4.75 mm (No. 4)	larger sizes by 12.5-mm ( $\frac{1}{2}$ -in.) spread

4.2 *Containers*—Containers for immersing the samples of aggregate in the solution, in accordance with the procedure described in this test method, shall be perforated in such a manner as to permit free access of the solution to the sample and drainage of the solution from the sample without loss of aggregate.

NOTE 2—Baskets made of suitable wire mesh or sieves with suitable openings are satisfactory containers for the samples.

4.3 *Temperature Regulation*—Suitable means for regulating the temperature of the samples during immersion in the sodium sulfate or magnesium sulfate solution shall be provided.

4.4 *Balances*—For fine aggregate, a balance or scale accurate within 0.1 g over the range required for this test; for coarse aggregate, a balance or scale accurate within 0.1 % or 1 g, whichever is greater, over the range required for this test.

4.5 *Drying Oven*—The oven shall be capable of being heated continuously at  $230 \pm 9^\circ\text{F}$  ( $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ) and the rate of evaporation, at this range of temperature, shall be at least 25 g/h for 4 h, during which period the doors of the oven shall be kept closed. This rate shall be determined by the loss of water from 1-L Griffin low-form beakers, each initially containing 500 g of water at a temperature of  $70 \pm 3^\circ\text{F}$  ( $21 \pm 2^\circ\text{C}$ ), placed at each corner and the center of each shelf of the oven. The evaporation requirement is to apply to all test locations when the oven is empty except for the beakers of water.

4.6 *Specific Gravity Measurement*—Hydrometers conforming to the requirements of Specification E 100, or a suitable combination of graduated glassware and balance, capable of measuring the solution specific gravity within  $\pm 0.001$ .

## 5. Special Solutions Required

5.1 Prepare the solution for immersion of test samples from either sodium or magnesium sulfate in accordance with 5.1.1 or 5.1.2 (Note 3). The volume of the solution shall be at least five times the solid volume of all samples immersed at any one time.

NOTE 3—Some aggregates containing carbonates of calcium or magnesium are attacked chemically by fresh sulfate solution, resulting in erroneously high measured losses. If this condition is encountered or is suspected, repeat the test using a filtered solution that has been used previously to test the same type of carbonate rock, provided that the solution meets the requirements of 5.1.1 and 5.1.2 for specific gravity.

5.1.1 *Sodium Sulfate Solution*—Prepare a saturated solution of sodium sulfate by dissolving a USP or equal grade of the salt in water at a temperature of 77 to  $86^\circ\text{F}$  (25 to  $30^\circ\text{C}$ ). Add sufficient salt (Note 4), of either the anhydrous ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) or the

crystalline ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) form,<sup>6</sup> to ensure not only saturation but also the presence of excess crystals when the solution is ready for use in the tests. Thoroughly stir the mixture during the addition of the salt and stir the solution at frequent intervals until used. To reduce evaporation and prevent contamination, keep the solution covered at all times when access is not needed. Allow the solution to cool to  $70 \pm 2^\circ\text{F}$  ( $21 \pm 1^\circ\text{C}$ ). Again stir, and allow the solution to remain at the designated temperature for at least 48 h before use. Prior to each use, break up the salt cake, if any, in the container, stir the solution thoroughly, and determine the specific gravity of the solution. When used, the solution shall have a specific gravity not less than 1.151 nor more than 1.174. Discard a discolored solution, or filter it and check for specific gravity.

NOTE 4—For the solution, 215 g of anhydrous salt or 700 g of the decahydrate per litre of water are sufficient for saturation at  $71.6^\circ\text{F}$  ( $22^\circ\text{C}$ ). However, since these salts are not completely stable and since it is desirable that an excess of crystals be present, the use of not less than 350 g of the anhydrous salt or 750 g of the decahydrate salt per litre of water is recommended.

5.1.2 *Magnesium Sulfate Solution*—Prepare a saturated solution of magnesium sulfate by dissolving a USP or equal grade of the salt in water at a temperature of 77 to  $86^\circ\text{F}$  (25 to  $30^\circ\text{C}$ ). Add sufficient salt (Note 5), of either the anhydrous ( $\text{MgSO}_4$ ) or the crystalline ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) (Epsom salt) form, to ensure saturation and the presence of excess crystals when the solution is ready for use in the tests. Thoroughly stir the mixture during the addition of the salt and stir the solution at frequent intervals until used. To reduce evaporation and prevent contamination, keep the solution covered at all times when access is not needed. Allow the solution to cool to  $70 \pm 2^\circ\text{F}$  ( $21 \pm 1^\circ\text{C}$ ). Again stir, and allow the solution to remain at the designated temperature for at least 48 h before use. Prior to each use, break up the salt cake, if any, in the container, stir the solution thoroughly, and determine the specific gravity of the solution. When used, the solution shall have a specific gravity not less than 1.295 nor more than 1.308. Discard a discolored solution, or filter it and check for specific gravity.

NOTE 5—For the solution, 350 g of anhydrous salt or 1230 g of the heptahydrate per litre of water are sufficient for saturation at  $73.4^\circ\text{F}$  ( $23^\circ\text{C}$ ). However, since these salts are not completely stable, with the hydrous salt being the more stable of the two, and since it is desirable that an excess of crystals be present, it is recommended that the heptahydrate salt be used and in an amount of not less than 1400 g/litre of water.

5.1.3 *Barium Chloride Solution*—Prepare 100 mL of 5 % barium chloride solution by dissolving 5 g of  $\text{BaCl}_2$  in 100 mL of distilled water.

## 6. Samples

6.1 The sample shall be obtained in general accordance with Practice D 75 and reduced to test portion size in accordance with Practice C 702.

6.2 *Fine Aggregate*—Fine aggregate for the test shall be

<sup>6</sup> Experience with the test method indicates that a grade of sodium sulfate designated by the trade as dried powder, which may be considered as approximately anhydrous, is the most practical for use. That grade is more economically available than the anhydrous form. The decahydrate sodium sulfate presents difficulties in compounding the required solution on account of its cooling effect on the solution.

passed through a 9.5-mm ( $\frac{3}{8}$ -in.) sieve. The sample shall be of such size that it will yield not less than 100 g of each of the following sizes, which shall be available in amounts of 5 % or more, expressed in terms of the following sieves:

Passing Sieve	Retained on Sieve
600 $\mu\text{m}$ (No. 30)	300 $\mu\text{m}$ (No. 50)
1.18 mm (No. 16)	600 $\mu\text{m}$ (No. 30)
2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)
4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)
9.5 mm ( $\frac{3}{8}$ in.)	4.75 mm (No. 4)

**6.3 Coarse Aggregate**—Coarse aggregate for the test shall consist of material from which the sizes finer than the No. 4 sieve have been removed. The sample shall be of such a size that it will yield the following amounts of the indicated sizes that are available in amounts of 5 % or more:

Size (Square-Opening Sieves)	Mass, g
9.5 mm ( $\frac{3}{8}$ in.) to 4.75 mm (No. 4)	300 $\pm$ 5
19.0 mm ( $\frac{3}{4}$ in.) to 9.5 mm ( $\frac{3}{8}$ in.)	1000 $\pm$ 10
Consisting of:	
12.5-mm ( $\frac{1}{2}$ -in.) to 9.5-mm ( $\frac{3}{8}$ -in.) material	330 $\pm$ 5
19.0-mm ( $\frac{3}{4}$ -in.) to 12.5-mm ( $\frac{1}{2}$ -in.) material	670 $\pm$ 10
37.5-mm ( $1\frac{1}{2}$ -in.) to 19.0-mm ( $\frac{3}{4}$ in.)	1500 $\pm$ 50
Consisting of:	
25.0-mm (1-in.) to 19.0-mm ( $\frac{3}{4}$ -in.) material	500 $\pm$ 30
37.5-mm ( $1\frac{1}{2}$ -in.) to 25.0-mm (1-in.) material	1000 $\pm$ 50
63-mm ( $2\frac{1}{2}$ in.) to 37.5-mm ( $1\frac{1}{2}$ in.)	5000 $\pm$ 300
Consisting of:	
50-mm (2 in.) to 37.5-mm ( $1\frac{1}{2}$ -in.) material	2000 $\pm$ 200
63-mm ( $2\frac{1}{2}$ -in.) to 50-mm (2-in.) material	3000 $\pm$ 300
Larger sizes by 25-mm (1-in.) spread in sieve size, each fraction	7000 $\pm$ 1000

**6.4** When an aggregate to be tested contains appreciable amounts of both fine and coarse material, having a grading with more than 10 weight % coarser than the 9.5-mm ( $\frac{3}{8}$ -in.) sieve and, also, more than 10 weight % finer than the 4.75-mm (No. 4) sieve, test separate samples of the minus No. 4 fraction and the plus No. 4 fraction in accordance with the procedures for fine aggregate and coarse aggregate, respectively. Report the results separately for the fine-aggregate fraction and the coarse-aggregate fraction, giving the percentages of the coarse- and fine-size fractions in the initial grading.

## 7. Preparation of Test Sample

**7.1 Fine Aggregate**—Thoroughly wash the sample of fine aggregate on a 300- $\mu\text{m}$  (No. 50) sieve, dry to constant weight at 230  $\pm$  9°F (110  $\pm$  5°C), and separate into the different sizes by sieving, as follows: Make a rough separation of the graded sample by means of a nest of the standard sieves specified in 6.2. From the fractions obtained in this manner, select samples of sufficient size to yield 100 g after sieving to refusal. (In general, a 110-g sample will be sufficient.) Do not use fine aggregate sticking in the meshes of the sieves in preparing the samples. Weigh samples consisting of 100  $\pm$  0.1 g out of each of the separated fractions after final sieving and place in separate containers for the test.

**7.2 Coarse Aggregate**—Thoroughly wash and dry the sample of coarse aggregate to constant weight at 230  $\pm$  9°F (110  $\pm$  5°C) and separate it into the different sizes shown in 6.3 by sieving to refusal. Weigh out quantities of the different sizes within the tolerances of 6.3 and, where the test portion consists of two sizes, combine them to the designated total weight.

Record the weights of the test samples and their fractional components. In the case of sizes larger than 19.0 mm ( $\frac{3}{4}$  in.), record the number of particles in the test samples.

## 8. Procedure

**8.1 Storage of Samples in Solution**—Immerse the samples in the prepared solution of sodium sulfate or magnesium sulfate for not less than 16 h nor more than 18 h in such a manner that the solution covers them to a depth of at least  $\frac{1}{2}$  in. (Note 6). Cover the containers to reduce evaporation and prevent the accidental addition of extraneous substances. Maintain the samples immersed in the solution at a temperature of 70  $\pm$  2°F (21  $\pm$  1°C) for the immersion period.

NOTE 6—Suitably weighted wire grids placed over the sample in the containers will permit this coverage to be achieved with very lightweight aggregates.

**8.2 Drying Samples After Immersion**—After the immersion period, remove the aggregate sample from the solution, permit it to drain for 15  $\pm$  5 min, and place in the drying oven. The temperature of the oven shall have been brought previously to 230  $\pm$  9°F (110  $\pm$  5°C). Dry the samples at the specified temperature until constant weight has been achieved. Establish the time required to attain constant weight as follows: with the oven containing the maximum sample load expected, check the weight losses of test samples by removing and weighing them, without cooling, at intervals of 2 to 4 h; make enough checks to establish required drying time for the least favorable oven location (see 4.5) and sample condition (Note 7). Constant weight will be considered to have been achieved when weight loss is less than 0.1 % of sample weight in 4 h of drying. After constant weight has been achieved, allow the samples to cool to room temperature, when they shall again be immersed in the prepared solution as described in 8.1.

NOTE 7—Drying time required to reach constant weight may vary considerably for several reasons. Efficiency of drying will be reduced as cycles accumulate because of salt adhering to particles and, in some cases, because of increase in surface area due to breakdown. The different size fractions of aggregate will have differing drying rates. The smaller sizes will tend to dry more slowly because of their larger surface area and restricted interparticle voids, but this tendency may be altered by the effects of container size and shape.

**8.3 Number of Cycles**—Repeat the process of alternate immersion and drying until the required number of cycles is obtained.

**8.4** After the completion of the final cycle and after the sample has cooled, wash the sample free from the sodium sulfate or magnesium sulfate as determined by the reaction of the wash water with barium chloride ( $\text{BaCl}_2$ ). Wash by circulating water at 110  $\pm$  10°F (43  $\pm$  6°C) through the samples in their containers. This may be done by placing them in a tank into which the hot water can be introduced near the bottom and allowed to overflow. In the washing operation, the samples shall not be subjected to impact or abrasion that may tend to break up particles.

NOTE 8—Tap water containing sulfates when used for the wash water will cloud when tested with the barium chloride solution. The cloudiness of a solution of tap water and the barium chloride solution should be judged so that tested wash water with the same degree of cloudiness can be assumed to be free of sulfates from the test.

## 9. Quantitative Examination

9.1 Make the quantitative examination as follows:

9.1.1 After the sodium sulfate or magnesium sulfate has been removed, dry each fraction of the sample to constant weight at  $230 \pm 9^\circ\text{F}$  ( $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ). Sieve the fine aggregate over the same sieve on which it was retained before the test, and sieve the coarse aggregate over the sieve shown below for the appropriate size of particle. For fine aggregate, the method and duration of sieving shall be the same as were used in preparing the test samples. For coarse aggregate, sieving shall be by hand, with agitation sufficient only to assure that all undersize material passes the designated sieve. No extra manipulation shall be employed to break up particles or cause them to pass the sieves. Weigh the material retained on each sieve and record each amount. The difference between each of these amounts and the initial weight of the fraction of the sample tested is the loss in the test and is to be expressed as a percentage of the initial weight for use in Table 1.

Size of Aggregate	Sieve Used to Determine Loss
63 mm (2½ in.) to 37.5 mm (1½ in.)	31.5 mm (1¼ in.)
37.5 mm (1½ in.) to 19.0 mm (¾ in.)	16.0 mm (⅝ in.)
19 mm (¾ in.) to 9.5 mm (⅜ in.)	8.0 mm (⅝ in.)
9.5 mm (⅜ in.) to 4.75 mm (No. 4)	4.0 mm (No. 5)

## 10. Qualitative Examination

10.1 Make a qualitative examination of test samples coarser than 19.0 mm (¾ in.) as follows (Note 9):

10.1.1 Separate the particles of each test sample into groups according to the action produced by the test (Note 9).

10.1.2 Record the number of particles showing each type of distress.

NOTE 9—Many types of action may be expected. In general, they may be classified as disintegration, splitting, crumbling, cracking, flaking, etc. While only particles larger than ¾ in. in size are required to be examined qualitatively, it is recommended that examination of the smaller sizes be

made in order to determine whether there is any evidence of excessive splitting.

## 11. Report

11.1 Report the following data (Note 10):

11.1.1 Weight of each fraction of each sample before test,

11.1.2 Material from each fraction of the sample finer than the sieve designated in 9.1.1 for sieving after test, expressed as a percentage of the original weight of the fraction,

11.1.3 Weighted average calculated in accordance with Test Method C 136 from the percentage of loss for each fraction, based on the grading of the sample as received for examination or, preferably, on the average grading of the material from that portion of the supply of which the sample is representative except that:

11.1.3.1 For fine aggregates (with less than 10 % coarser than the 9.5-mm (⅜-in.) sieve), assume sizes finer than the 300-µm (No. 50) sieve to have 0 % loss and sizes coarser than the 9.5-mm (⅜-in.) sieve to have the same loss as the next smaller size for which test data are available.

11.1.3.2 For coarse aggregate (with less than 10 % finer than the 4.75-mm (No. 4) sieve), assume sizes finer than the 4.75-mm (No. 4) sieve to have the same loss as the next larger size for which test data are available.

11.1.3.3 For an aggregate containing appreciable amounts of both fine and coarse material tested as two separate samples as required in 6.4, compute the weighted average losses separately for the minus No. 4 and plus No. 4 fractions based on recomputed gradings considering the fine fraction as 100 % and the coarse fraction as 100 %. Report the results separately giving the percentage of the minus No. 4 and plus No. 4 material in the initial grading.

11.1.3.4 For the purpose of calculating the weighted average, consider any sizes in 6.2 or 6.3 that contain less than 5 % of the sample to have the same loss as the average of the next smaller and the next larger size, or if one of these sizes is

TABLE 1 Suggested Form for Recording Test Data (with Illustrative Test Values)

Sieve Size	Grading of Original Sample, %	Weight of Test Fractions Before Test, g	Percentage Passing Designated Sieve After Test	Weighted Percentage Loss
Soundness Test of Fine Aggregate				
Minus 150 µm (No. 100)	6	...	...	...
300 µm (No. 50) to No. 100	11	...	...	...
600 µm (No. 30) to No. 50	26	100	4.2	1.1
1.18 mm (No. 16) to No. 30	25	100	4.8	1.2
2.36 mm (No. 8) to No. 16	17	100	8.0	1.4
4.75 mm (No. 4) to No. 8	11	100	11.2	1.2
9.5 mm (⅜ in.) to No. 4	4	...	11.2 <sup>A</sup>	0.4
Totals	100.0	...	...	5
Soundness Test of Coarse Aggregate				
63 mm (2½ in.) to 50 mm (2 in.)	2½ to 1½ in.	2825 g	4.8	1.0
50 mm (2 in.) to 37.5 mm (1½ in.)		1958 g		
37.5 mm (1½ in.) to 25.0 mm (1 in.)	1½ to ¾ in.	1012 g	8.0	3.6
25 mm (1 in.) to 19.0 mm (¾ in.)		513 g		
19.0 mm (¾ in.) to 12.5 mm (½ in.)	¾ to ⅜ in.	675 g	9.6	2.2
12.5 mm (in.) to 9.5 mm (in.)		333 g		
9.5 mm (⅜ in.) to 4.75 mm (No. 4)		298 g	11.2	1.3
Totals	100	...	...	8

<sup>A</sup> The percentage loss (11.2 %) of the next smaller size is used as the percentage loss for this size, since this size contains less than 5 % of the original sample as received. See 11.1.3.4.

**TABLE 2 Suggested Form for Qualitative Examination (with Illustrative Test Values)**

Sieve Size	Qualitative Examination of Coarse Sizes								Total No. of Particles Before Test
	Particles Exhibiting Distress								
	Splitting		Crumbling		Cracking		Flaking		
No.	%	No.	%	No.	%	No.	%		
63 mm (2½ in.) to 37.5 mm (1½ in.)	2	7	...	...	2	7	...	...	29
37.5 mm (1½ in.) to 19.0 mm (¾ in.)	5	10	1	2	4	8	...	...	50

absent, to have the same loss as the next larger or next smaller size, whichever is present.

11.1.4 Report the weighted percentage loss to the nearest whole number,

11.1.5 In the case of particles coarser than 19.0 mm (¾ in.) before test: (1) The number of particles in each fraction before test, and (2) the number of particles affected, classified as to number disintegrating, splitting, crumbling, cracking, flaking, etc., as shown in Table 2, and

11.1.6 Kind of solution (sodium or magnesium sulfate) and whether the solution was freshly prepared or previously used.

NOTE 10—Table 1, shown with test values inserted for purpose of illustration, is a suggested form for recording test data. The test values shown might be appropriate for either salt, depending on the quality of the aggregate.

## 12. Precision

12.1 *Precision*—For coarse aggregate with weighted average sulfate soundness losses in the ranges of 6 to 16 % for sodium and 9 to 20 % for magnesium, the precision indexes are as follows:

Coefficient of Variation (1S %), % <sup>A</sup>	Difference Between Two Tests (D2S %), % of Average <sup>A</sup>
-------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------

*Multilaboratory:*

Sodium sulfate	41	116
Magnesium sulfate	25	71

*Single-Operator:*

Sodium sulfate	24	68
Magnesium sulfate	11	31

<sup>A</sup> These numbers represent, respectively, the (1S %) and (D2S %) limits as described in Practice C 670.

12.2 *Bias*—Since there is no accepted reference material suitable for determining the bias for this procedure, no statement on bias is being made.

## 13. Keywords

13.1 aggregates; magnesium sulfate; sodium sulfate; soundness; weathering

*The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).*



# Standard Test Method for Materials Finer than 75- $\mu\text{m}$ (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation C 117; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

## 1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the amount of material finer than a 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) sieve in aggregate by washing. Clay particles and other aggregate particles that are dispersed by the wash water, as well as water-soluble materials, will be removed from the aggregate during the test.

1.2 Two procedures are included, one using only water for the washing operation, and the other including a wetting agent to assist the loosening of the material finer than the 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) sieve from the coarser material. Unless otherwise specified, Procedure A (water only) shall be used.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

## 2. Referenced Documents

### 2.1 ASTM Standards:

C 136 Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates<sup>2</sup>

C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials<sup>2</sup>

C 702 Practice for Reducing Field Samples of Aggregate to Testing Size<sup>2</sup>

D 75 Practice for Sampling Aggregates<sup>3</sup>

E 11 Specification for Wire Cloth and Sieves for Testing Purposes<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Available from American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 444 N. Capitol St., NW, Suite 249, Washington, DC 20001.

This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.20 on Normal Weight Aggregates.

Current edition approved July 10, 2003. Published October 2003. Originally approved in 1935. Last previous edition approved in 1995 as C 117 – 95.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.03.

<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

### 2.2 AASHTO Standard:

T11 Method of Test for Amount of Material Finer than 0.075-mm Sieve in Aggregate<sup>5</sup>

## 3. Summary of Test Method

3.1 A sample of the aggregate is washed in a prescribed manner, using either plain water or water containing a wetting agent, as specified. The decanted wash water, containing suspended and dissolved material, is passed through a 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) sieve. The loss in mass resulting from the wash treatment is calculated as mass percent of the original sample and is reported as the percentage of material finer than a 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) sieve by washing.

## 4. Significance and Use

4.1 Material finer than the 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) sieve can be separated from larger particles much more efficiently and completely by wet sieving than through the use of dry sieving. Therefore, when accurate determinations of material finer than 75  $\mu\text{m}$  in fine or coarse aggregate are desired, this test method is used on the sample prior to dry sieving in accordance with Test Method C 136. The results of this test method are included in the calculation in Test Method C 136, and the total amount of material finer than 75  $\mu\text{m}$  by washing, plus that obtained by dry sieving the same sample, is reported with the results of Test Method C 136. Usually, the additional amount of material finer than 75  $\mu\text{m}$  obtained in the dry sieving process is a small amount. If it is large, the efficiency of the washing operation should be checked. It could also be an indication of degradation of the aggregate.

4.2 Plain water is adequate to separate the material finer than 75  $\mu\text{m}$  from the coarser material with most aggregates. In some cases, the finer material is adhering to the larger particles, such as some clay coatings and coatings on aggregates that have been extracted from bituminous mixtures. In these cases, the fine material will be separated more readily with a wetting agent in the water.

<sup>5</sup> Available from American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 444 N. Capitol St., NW, Suite 249, Washington, DC 20001.

## 5. Apparatus and Materials

5.1 *Balance*—A balance or scale readable and accurate to 0.1 g or 0.1 % of the test load, whichever is greater, at any point within the range of use.

5.2 *Sieves*—A nest of two sieves, the lower being a 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) sieve and the upper a 1.18-mm (No. 16) sieve, both conforming to the requirements of Specification E 11.

5.3 *Container*—A pan or vessel of a size sufficient to contain the sample covered with water and to permit vigorous agitation without loss of any part of the sample or water.

5.4 *Oven*—An oven of sufficient size, capable of maintaining a uniform temperature of  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ).

5.5 *Wetting Agent*—Any dispersing agent, such as liquid dishwashing detergents, that will promote separation of the fine materials.

NOTE 1—The use of a mechanical apparatus to perform the washing operation is not precluded, provided the results are consistent with those obtained using manual operations. The use of some mechanical washing equipment with some samples may cause degradation of the sample.

## 6. Sampling

6.1 Sample the aggregate in accordance with Practice D 75. If the same test sample is to be tested for sieve analysis according to Test Method C 136, comply with the applicable requirements of that test method.

6.2 Thoroughly mix the sample of aggregate to be tested and reduce the quantity to an amount suitable for testing using the applicable methods described in Practice C 702. If the same test sample is to be tested according to Test Method C 136, the minimum mass shall be as described in the applicable sections of that method. Otherwise, the mass of the test sample, after drying, shall conform with the following:

Nominal Maximum Size	Minimum Mass, g
4.75 mm (No. 4) or smaller	300
9.5 mm (3/8 in.)	1000
19.0 mm (3/4 in.)	2500
37.5 mm (1 1/2 in.) or larger	5000

If the nominal maximum size of the aggregate to be tested is not listed above, the next larger size listed shall be used to determine sample size.

## 7. Selection of Procedure

7.1 Procedure A shall be used, unless otherwise specified by the Specification with which the test results are to be compared, or when directed by the agency for which the work is performed.

## 8. Procedure A—Washing with Plain Water

8.1 Dry the test sample to constant mass at a temperature of  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ). Determine the mass to the nearest 0.1 % of the mass of the test sample.

8.2 If the applicable specification requires that the amount passing the 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) sieve shall be determined on a portion of the sample passing a sieve smaller than the nominal maximum size of the aggregate, separate the sample on the designated sieve and determine the mass of the material passing the designated sieve to 0.1 % of the mass of this portion of the test sample. Use this mass as the original dry mass of the test sample in 10.1.

NOTE 2—Some specifications for aggregates with a nominal maximum size of 50 mm or greater, for example, provide a limit for material passing the 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) sieve determined on that portion of the sample passing the 25.0-mm sieve. Such procedures are necessary since it is impractical to wash samples of the size required when the same test sample is to be used for sieve analysis by Test Method C 136.

8.3 After drying and determining the mass, place the test sample in the container and add sufficient water to cover it. No detergent, dispersing agent, or other substance shall be added to the water. Agitate the sample with sufficient vigor to result in complete separation of all particles finer than the 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) sieve from the coarser particles, and to bring the fine material into suspension. Immediately pour the wash water containing the suspended and dissolved solids over the nested sieves, arranged with the coarser sieve on top. Take care to avoid, as much as feasible, the decantation of coarser particles of the sample.

8.4 Add a second charge of water to the sample in the container, agitate, and decant as before. Repeat this operation until the wash water is clear.

NOTE 3—If mechanical washing equipment is used, the charging of water, agitating, and decanting may be a continuous operation.

8.5 Return all material retained on the nested sieves by flushing to the washed sample. Dry the washed aggregate to constant mass at a temperature of  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ) and determine the mass to the nearest 0.1 % of the original mass of the sample.

NOTE 4—Following the washing of the sample and flushing any material retained on the 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) sieve back into the container, no water should be decanted from the container except through the 75- $\mu\text{m}$  sieve, to avoid loss of material. Excess water from flushing should be evaporated from the sample in the drying process.

## 9. Procedure B—Washing Using a Wetting Agent

9.1 Prepare the sample in the same manner as for Procedure A.

9.2 After drying and determining the mass, place the test sample in the container. Add sufficient water to cover the sample, and add wetting agent to the water (Note 5). Agitate the sample with sufficient vigor to result in complete separation of all particles finer than the 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) sieve from the coarser particles, and to bring the fine material into suspension. Immediately pour the wash water containing the suspended and dissolved solids over the nested sieves, arranged with the coarser sieve on top. Take care to avoid, as much as feasible, the decantation of coarser particles of the sample.

NOTE 5—There should be enough wetting agent to produce a small amount of suds when the sample is agitated. The quantity will depend on the hardness of the water and the quality of the detergent. Excessive suds may overflow the sieves and carry some material with them.

9.3 Add a second charge of water (without wetting agent) to the sample in the container, agitate, and decant as before. Repeat this operation until the wash water is clear.

9.4 Complete the test as for Procedure A.

## 10. Calculation

10.1 Calculate the amount of material passing a 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) sieve by washing as follows:

$$A = [(B - C)/B] \times 100 \quad (1)$$

where:

A = percentage of material finer than a 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) sieve by washing,

B = original dry mass of sample, g, and

C = dry mass of sample after washing, g.

## 11. Report

11.1 Report the following information:

11.1.1 Report the percentage of material finer than the 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) sieve by washing to the nearest 0.1 %, except if the result is 10 % or more, report the percentage to the nearest whole number.

11.1.2 Include a statement as to which procedure was used.

## 12. Precision and Bias

12.1 *Precision*—The estimates of precision of this test method listed in Table 1 are based on results from the AASHTO Materials Reference Laboratory Proficiency Sample Program, with testing conducted by this test method and AASHTO Method T 11. The significant differences between the methods at the time the data were acquired is that Method T 11 required, while Test Method C 117 prohibited, the use of a wetting agent. The data are based on the analyses of more than 100 paired test results from 40 to 100 laboratories.

12.1.1 The precision values for fine aggregate in Table 1 are based on nominal 500-g test samples. Revision of this test method in 1994 permits the fine aggregate test sample size to be 300 g minimum. Analysis of results of testing of 300-g and 500-g test samples from Aggregate Proficiency Test Samples 99 and 100 (Samples 99 and 100 were essentially identical) produced the precision values in Table 2, which indicates only minor differences due to test sample size.

NOTE 6—The values for fine aggregate in Table 1 will be revised to reflect the 300-g test sample size when a sufficient number of Aggregate Proficiency Tests have been conducted using that sample size to provide reliable data.

12.2 *Bias*—Since there is no accepted reference material suitable for determining the bias for the procedure in this test method, no statement on bias is made.

## 13. Keywords

13.1 aggregate; coarse aggregate; fine aggregate; grading; loss by washing; 75  $\mu\text{m}$  (No. 200) sieve; size analysis

**TABLE 1 Precision**

	Standard Deviation (1s) <sup>A</sup> , %	Acceptable Range of two Results (d2s) <sup>A</sup> , %
<i>Coarse Aggregate<sup>B</sup></i>		
Single-Operator Precision	0.10	0.28
Multilaboratory Precision	0.22	0.62
<i>Fine Aggregate<sup>C</sup></i>		
Single-Operator Precision	0.15	0.43
Multilaboratory Precision	0.29	0.82

<sup>A</sup> These numbers represent the (1s) and (d2s) limits as described in Practice C 670.

<sup>B</sup> Precision estimates are based on aggregates having a nominal maximum size of 19.0 mm (¾ in.) with less than 1.5% finer than the 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) sieve.

<sup>C</sup> Precision estimates are based on fine aggregates having 1.0 to 3.0% finer than the 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) sieve.



**TABLE 2 Precision Data for 300-g and 500-g Test Samples**

Test Result	Fine Aggregate Proficiency Sample			Within Laboratory		Between Laboratory	
	Sample Size	No. of Labs	Average	1s	d2s	1s	d2s
AASHTO T11/ASTM C117	500 g	270	1.23	0.08	0.24	0.23	0.66
Total material passing the No. 200 sieve by washing (%)	300 g	264	1.20	0.10	0.29	0.24	0.68

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website ([www.astm.org](http://www.astm.org)).*



# Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation C 128; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

---

<sup>ε1</sup> NOTE—Table 1 was revised editorially in August 2003 to correct a typographical error in a value.

---

## 1. Scope\*

1.1 This test method covers the determination of the average density of a quantity of fine aggregate particles (not including the volume of voids between the particles), the relative density (specific gravity), and the absorption of the fine aggregate. Depending on the procedure used, the density, in  $\text{kg/m}^3$  ( $\text{lb/ft}^3$ ) is expressed as oven-dry (OD), saturated-surface-dry (SSD), or as apparent density. Likewise, relative density (specific gravity), a dimensionless quality, is expressed as OD, SSD, or as apparent relative density (apparent specific gravity). The OD density and OD relative density are determined after drying the aggregate. The SSD density, SSD relative density, and absorption are determined after soaking the aggregate in water for a prescribed duration.

1.2 This test method is used to determine the density of the essentially solid portion of a large number of aggregate particles and provides an average value representing the sample. Distinction is made between the density of aggregate particles as determined by this test method, and the bulk density of aggregates as determined by Test Method C 29/ C 29M, which includes the volume of voids between the particles of aggregates.

1.3 This test method is not intended to be used for light-weight aggregates.

1.4 The values stated in SI units are to be regarded as the standard for conducting the tests. The test results for density shall be reported in either SI units or inch-pound units, as appropriate for the use to be made of the results.

1.5 The text of this test method references notes and footnotes which provide explanatory material. These notes and footnotes (excluding those in tables and figures) shall not be considered as requirements of this test method.

1.6 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

## 2. Referenced Documents

### 2.1 ASTM Standards:

C 29/C 29M Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate<sup>2</sup>

C 70 Test Method for Surface Moisture in Fine Aggregate<sup>2</sup>

C 125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates<sup>2</sup>

C 127 Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate<sup>2</sup>

C 188 Test Method for Density of Hydraulic Cement<sup>3</sup>

C 566 Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying<sup>2</sup>

C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials<sup>2</sup>

C 702 Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size<sup>2</sup>

D 75 Practice for Sampling Aggregates<sup>4</sup>

### 2.2 AASHTO Standard:

AASHTO No. T 84 Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregates<sup>5</sup>

## 3. Terminology

### 3.1 Definitions:

---

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.20 on Normal Weight Aggregates.

Current edition approved Aug. 10, 2001. Published October 2001. Originally published as C 128–36. Last previous edition C 128–97.

---

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.01.

<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.03.

<sup>5</sup> Available from American Association of State Highway and Transportation Officials, 444 North Capitol St. N.W., Suite 225, Washington, DC 20001.

\*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

3.1.1 *absorption, n*—the increase in mass of aggregate due to water penetrating into the pores of the particles, during a prescribed period of time but not including water adhering to the outside surface of the particles, expressed as percentage of the dry mass.

3.1.2 *oven-dry (OD), adj—related to aggregate particles*, the condition in which the aggregates have been dried by heating in an oven at  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  for sufficient time to reach a constant mass.

3.1.3 *saturated-surface-dry (SSD), adj—related to aggregate particles*, the condition in which the permeable pores of aggregate particles are filled with water to the extent achieved by submerging in water for the prescribed period of time, but without free water on the surface of the particles.

3.1.4 *density, n*—the mass per unit volume of a material, expressed as kilograms per cubic metre (pounds per cubic foot).

3.1.4.1 *density (OD), n*—the mass of oven-dry aggregate particles per unit volume of aggregate particles, including the volume of permeable and impermeable pores within particles, but not including the voids between the particles.

3.1.4.2 *density (SSD), n*—the mass of saturated-surface-dry aggregate per unit volume of the aggregate particles, including the volume of impermeable voids and water-filled pores within the particles, but not including the pores between the particles.

3.1.4.3 *apparent density, n*—the mass per unit volume of the impermeable portion of the aggregate particles.

3.1.5 *relative density (specific gravity), n*—the ratio of the density of a material to the density of water at a stated temperature; the values are dimensionless.

3.1.5.1 *relative density (specific gravity), (OD), n*—the ratio of the density (OD) of the aggregate to the density of water at a stated temperature.

3.1.5.2 *relative density (specific gravity), (SSD), n*—The ratio of the density (SSD) of the aggregate to the density of water at a stated temperature.

3.1.5.3 *apparent relative density (apparent specific gravity), n*—the ratio of the apparent density of aggregate to the density of water at a stated temperature.

3.1.6 For definitions of other terms related to aggregates see Terminology C 125.

## 4. Summary of Test Method

4.1 A sample of aggregate is immersed in water for  $24 \pm 4$  h to essentially fill the pores. It is then removed from the water, the water is dried from the surface of the particles, and the mass determined. Subsequently, the sample (or a portion of it) is placed in a graduated container and the volume of the sample is determined by the gravimetric or volumetric method. Finally, the sample is oven-dried and the mass determined again. Using the mass values thus obtained and formulas in this test method, it is possible to calculate density, relative density (specific gravity), and absorption.

## 5. Significance and Use

5.1 Relative density (specific gravity) is the characteristic generally used for calculation of the volume occupied by the aggregate in various mixtures containing aggregate including portland cement concrete, bituminous concrete, and other

mixtures that are proportioned or analyzed on an absolute volume basis. Relative density (specific gravity) is also used in the computation of voids in aggregate in Test Method C 29/ C 29M. Relative density (specific gravity) (SSD) is used in the determination of surface moisture on fine aggregate by displacement of water in Test Method C 70. Relative density (specific gravity) (SSD) is used if the aggregate is wet, that is, if its absorption has been satisfied. Conversely, the density or relative density (specific gravity) (OD) is used for computations when the aggregate is dry or assumed to be dry.

5.2 Apparent density and apparent relative density (apparent specific gravity) pertain to the solid material making up the constituent particles not including the pore space within the particles that is accessible to water. This value is not widely used in construction aggregate technology.

5.3 Absorption values are used to calculate the change in the mass of an aggregate material due to water absorbed in the pore spaces within the constituent particles, compared to the dry condition, when it is deemed that the aggregate has been in contact with water long enough to satisfy most of the absorption potential. The laboratory standard for absorption is that obtained after submerging dry aggregate for a prescribed period of time. Aggregates mined from below the water table commonly have a moisture content greater than the absorption determined by this test method, if used without opportunity to dry prior to use. Conversely, some aggregates which have not been continuously maintained in a moist condition until used are likely to contain an amount of absorbed moisture less than the 24-h soaked condition. For an aggregate that has been in contact with water and that has free moisture on the particle surfaces, the percentage of free moisture is determined by deducting the absorption from the total moisture content determined by Test Method C 566 by drying.

5.4 The general procedures described in this test method are suitable for determining the absorption of aggregates that have had conditioning other than the 24-h soak, such as boiling water or vacuum saturation. The values obtained for absorption by other test methods will be different than the values obtained by the prescribed 24-h soak, as will the density (SSD) or relative density (specific gravity) (SSD).

5.5 The pores in lightweight aggregates are not necessarily filled with water after immersion for 24 h. In fact, the absorption potential for many such aggregates is not satisfied after several days immersion in water. Therefore, this test method is not intended for use with lightweight aggregate.

## 6. Apparatus

6.1 *Balance*—A balance or scale having a capacity of 1 kg or more, sensitive to 0.1 g or less, and accurate within 0.1 % of the test load at any point within the range of use for this test method. Within any 100-g range of test load, a difference between readings shall be accurate within 0.1 g.

6.2 *Pycnometer (for Use with Gravimetric Procedure)*—A flask or other suitable container into which the fine aggregate test sample can be readily introduced and in which the volume content can be reproduced within  $\pm 0.1 \text{ cm}^3$ . The volume of the container filled to mark shall be at least 50 % greater than

the space required to accommodate the test sample. A volumetric flask of 500-cm<sup>3</sup> capacity or a fruit jar fitted with a pycnometer top is satisfactory for a 500-g test sample of most fine aggregates.

6.3 *Flask (for Use with Volumetric Procedure)*—A Le Chatelier flask as described in Test Method C 188 is satisfactory for an approximately 55-g test sample.

6.4 *Mold and Tamper for Surface Moisture Test*—The metal mold shall be in the form of a frustum of a cone with dimensions as follows: 40 ± 3-mm inside diameter at the top, 90 ± 3-mm inside diameter at the bottom, and 75 ± 3 mm in height, with the metal having a minimum thickness of 0.8 mm. The metal tamper shall have a mass of 340 ± 15 g and a flat circular tamping face 25 ± 3 mm in diameter.

## 7. Sampling

7.1 Sample the aggregate in accordance with Practice D 75. Thoroughly mix the sample and reduce it to obtain a test specimen of approximately 1 kg using the applicable procedures described in Practice C 702.

## 8. Preparation of Test Specimen

8.1 Dry the test specimen in a suitable pan or vessel to constant mass at a temperature of 110 ± 5°C. Allow it to cool to comfortable handling temperature, cover with water, either by immersion or by the addition of at least 6 % moisture to the fine aggregate, and permit to stand for 24 ± 4 h.

8.1.1 Where the absorption and relative density (specific gravity) values are to be used in proportioning concrete mixtures in which the aggregates will be in their naturally moist condition, the requirement in 8.1 for initial drying is optional, and, if the surfaces of the particles in the sample have been kept continuously wet until tested, the requirement in 8.1 for 24 ± 4 h soaking is also optional.

NOTE 1—Values for absorption and for relative density (specific gravity) (SSD) may be significantly higher for aggregate not oven dried before soaking than for the same aggregate treated in accordance with 8.1.

8.2 Decant excess water with care to avoid loss of fines, spread the sample on a flat nonabsorbent surface exposed to a gently moving current of warm air, and stir frequently to secure homogeneous drying. Employ mechanical aids such as tumbling or stirring to assist in achieving the saturated surface-dry condition, if desired. Continue this operation until the test specimen approaches a free-flowing condition. Follow the procedure in 8.3 to determine if surface moisture is still present on the constituent fine aggregate particles. Make the first trial for surface moisture when there is still some surface water in the test specimen. Continue drying with constant stirring and test at frequent intervals until the test indicates that the specimen has reached a surface-dry condition. If the first trial of the surface moisture test indicates that moisture is not present on the surface, it has been dried past the saturated surface-dry condition. In this case, thoroughly mix a few millilitres of water with the fine aggregate and permit the specimen to stand in a covered container for 30 min. Then resume the process of drying and testing at frequent intervals for the onset of the surface-dry condition.

8.3 *Test for Surface Moisture*—Hold the mold firmly on a smooth nonabsorbent surface with the large diameter down. Place a portion of the partially dried fine aggregate loosely in the mold by filling it to overflowing and heaping additional material above the top of the mold by holding it with the cupped fingers of the hand holding the mold. Lightly tamp the fine aggregate into the mold with 25 light drops of the tamper. Start each drop approximately 5 mm above the top surface of the fine aggregate. Permit the tamper to fall freely under gravitational attraction on each drop. Adjust the starting height to the new surface elevation after each drop and distribute the drops over the surface. Remove loose sand from the base and lift the mold vertically. If surface moisture is still present, the fine aggregate will retain the molded shape. Slight slumping of the molded fine aggregate indicates that it has reached a surface-dry condition.

8.3.1 Some fine aggregate with predominately angular-shaped particles or with a high proportion of fines does not slump in the cone test upon reaching the surface-dry condition. Test by dropping a handful of the fine aggregate from the cone test onto a surface from a height of 100 to 150 mm, and observe for fines becoming airborne; presence of airborne fines indicates this problem. For these materials, consider the saturated surface-dry condition as the point that one side of the fine aggregate slumps slightly upon removing the mold.

NOTE 2—The following criteria have also been used on materials that do not readily slump:

(1) *Provisional Cone Test*—Fill the cone mold as described in 8.3 except only use 10 drops of the tamper. Add more fine aggregate and use 10 drops of the tamper again. Then add material two more times using 3 and 2 drops of the tamper, respectively. Level off the material even with the top of the mold, remove loose material from the base; and lift the mold vertically.

(2) *Provisional Surface Test*—If airborne fines are noted when the fine aggregate is such that it will not slump when it is at a moisture condition, add more moisture to the sand, and at the onset of the surface-dry condition, with the hand lightly pat approximately 100 g of the material on a flat, dry, clean, dark or dull nonabsorbent surface such as a sheet of rubber, a worn oxidized, galvanized, or steel surface, or a black-painted metal surface. After 1 to 3 s, remove the fine aggregate. If noticeable moisture shows on the test surface for more than 1 to 2 s then surface moisture is considered to be present on the fine aggregate.

(3) Colorimetric procedures described by Kandhal and Lee, Highway Research Record No. 307, p. 44.

(4) For reaching the saturated surface-dry condition on a single size material that slumps when wet, hard-finish paper towels can be used to surface dry the material until the point is just reached where the paper towel does not appear to be picking up moisture from the surfaces of the fine aggregate particles.

## 9. Procedure

9.1 Test by either the gravimetric procedure in 9.2 or the volumetric procedure in 9.3. Make all determinations of mass to 0.1 g.

## 9.2 Gravimetric (Pycnometer) Procedure:

9.2.1 Partially fill the pycnometer with water. Introduce into the pycnometer  $500 \pm 10$  g of saturated surface-dry fine aggregate prepared as described in Section 8, and fill with additional water to approximately 90 % of capacity. Agitate the pycnometer as described in 9.2.1.1 (manually) or 9.2.1.2 (mechanically).

9.2.1.1 Manually roll, invert, and agitate the pycnometer to eliminate all air bubbles.

NOTE 3—About 15 to 20 min are normally required to eliminate the air bubbles by manual methods. Dipping the tip of a paper towel into the pycnometer has been found to be useful in dispersing the foam that sometimes builds up when eliminating the air bubbles. Optionally, a small amount of isopropyl alcohol may be used to disperse the foam.

9.2.1.2 Mechanically agitate the pycnometer by external vibration in a manner that will not degrade the sample. A level of agitation adjusted to just set individual particles in motion is sufficient to promote de-airing without degradation. A mechanical agitator shall be considered acceptable for use if comparison tests for each six-month period of use show variations less than the acceptable range of two results (d2s) indicated in Table 1 from the results of manual agitation on the same material.

9.2.2 After eliminating all air bubbles, adjust the temperature of the pycnometer and its contents to  $23.0 \pm 2.0^\circ\text{C}$  if necessary by partial immersion in circulating water, and bring the water level in the pycnometer to its calibrated capacity. Determine the total mass of the pycnometer, specimen, and water.

9.2.3 Remove the fine aggregate from the pycnometer, dry to constant mass at a temperature of  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ , cool in air at room temperature for  $1 \pm \frac{1}{2}$  h, and determine the mass.

9.2.4 Determine the mass of the pycnometer filled to its calibrated capacity with water at  $23.0 \pm 2.0^\circ\text{C}$ .

## 9.3 Volumetric (Le Chatelier Flask) Procedure:

9.3.1 Fill the flask initially with water to a point on the stem between the 0 and the 1-mL mark. Record this initial reading with flask and contents within the temperature range of  $23.0 \pm 2.0^\circ\text{C}$ . Add  $55 \pm 5$  g of fine aggregate in the saturated surface-dry condition (or other measured quantity as necessary). After all fine aggregate has been introduced, place the stopper in the flask and roll the flask in an inclined position, or gently whirl it in a horizontal circle so as to dislodge all entrapped air, continuing until no further bubbles rise to the surface (Note 4). Take a final reading with the flask and contents within  $1^\circ\text{C}$  of the original temperature.

NOTE 4—A small measured amount (not to exceed 1 mL) of isopropyl alcohol may be used to eliminate foam appearing on the water surface. The volume of alcohol used must be subtracted from the final reading ( $R_2$ ).

9.3.2 For determination of the absorption, use a separate  $500 \pm 10$ -g portion of the saturated surface-dry fine aggregate, dry to constant mass, and determine the dry mass.

## 10. Calculations

### 10.1 Symbols:

$A$  = mass of oven dry specimen, g

$B$  = mass of pycnometer filled with water, to calibration mark, g

$C$  = mass of pycnometer filled with specimen and water to calibration mark, g

$R_1$  = initial reading of water level in Le Chatelier flask, mL

$R_2$  = final reading of water in Le Chatelier flask, mL

$S$  = mass of saturated surface-dry specimen (used in the gravimetric procedure for density and relative density (specific gravity), or for absorption with both procedures), g

$S_1$  = mass of saturated surface-dry specimen (used in the volumetric procedure for density and relative density (specific gravity)), g

### 10.2 Relative Density (Specific Gravity):

10.2.1 *Relative Density (Specific Gravity) (Oven dry)*—Calculate the relative density (specific gravity) on the basis of oven-dry aggregate as follows:

#### 10.2.1.1 Gravimetric Procedure:

$$\text{Relative density (specific gravity) (OD)} = A/(B + S - C) \quad (1)$$

#### 10.2.1.2 Volumetric Procedure:

$$\text{Relative density (specific gravity) (OD)} = [S_1 (A/S)]/[0.9975 (R_2 - R_1)] \quad (2)$$

10.2.2 *Relative Density (Specific Gravity) Saturated Surface-dry*—Calculate the relative density (specific gravity) on the basis of saturated surface-dry aggregate as follows:

#### 10.2.2.1 Gravimetric Procedure:

$$\text{Relative density (specific gravity) (SSD)} = S/(B + S - C) \quad (3)$$

#### 10.2.2.2 Volumetric Procedure:

$$\text{Relative density (specific gravity) (SSD)} = S_1/[0.9975 (R_2 - R_1)] \quad (4)$$

**TABLE 1 Precision**

	Standard Deviation (1s) <sup>A</sup>	Acceptable Range of Two Results (d2s) <sup>A</sup>
<i>Single-Operator Precision:</i>		
Density (OD), kg/m <sup>3</sup>	11	13
Density (SSD), kg/m <sup>3</sup> <sup>B†</sup>	9.5	27
Apparent density, kg/m <sup>3</sup>	9.5	27
Relative density (specific gravity) (OD)	0.011	0.032
Relative density (specific gravity) (SSD)	0.0095	0.027
Apparent relative density (apparent specific gravity)	0.0095	0.027
Absorption <sup>C</sup> , %	0.11	0.31
<i>Multilaboratory Precision:</i>		
Density (OD), kg/m <sup>3</sup>	23	64
Density (SSD), kg/m <sup>3</sup>	20	56
Apparent density, kg/m <sup>3</sup>	20	56
Relative density (specific gravity) (OD)	0.023	0.066
Relative density (specific gravity) (SSD)	0.020	0.056
Apparent relative density (apparent specific gravity)	0.020	0.056
Absorption <sup>C</sup> , %	0.23	0.66

<sup>A</sup> These numbers represent, respectively, the (1s) and (d2s) limits as described in Practice C 670. The precision estimates were obtained from the analysis of combined AASHTO Materials Reference Laboratory proficiency sample data from laboratories using 15 to 19-h saturation times and other laboratories using  $24 \pm 4$ -h saturation time. Testing was performed on normal weight aggregates, and started with aggregates in the oven-dry condition.

<sup>B†</sup> Revised editorially to correct a typographical error in August 2003.

<sup>C</sup> Precision estimates are based on aggregates with absorptions of less than 1 % and may differ for manufactured fine aggregates and the aggregates having absorption values greater than 1 %.

10.2.3 *Apparent Relative Density (Apparent Specific Gravity)*—Calculate the apparent relative density (apparent specific gravity) as follows:

10.2.3.1 *Gravimetric Procedure:*

$$\text{Apparent relative density (apparent specific gravity)} = A/(B + A - C) \quad (5)$$

10.2.3.2 *Volumetric Procedure:*

$$\begin{aligned} \text{Apparent relative density (apparent specific gravity)} \\ = \frac{S_1 (A/S)}{0.9975 (R_2 - R_1) - [(S_1/S)(S - A)]} \end{aligned} \quad (6)$$

10.3 *Density:*

10.3.1 *Density (Oven-dry)*—Calculate the density on the basis of oven-dry aggregates as follows:

10.3.1.1 *Gravimetric Procedure:*

$$\text{Density (OD), kg/m}^3 = 997.5 A/(B + S - C) \quad (7)$$

$$\text{Density (OD), lb/ft}^3 = 62.27 A/(B + S - C) \quad (8)$$

10.3.1.2 *Volumetric Procedure:*

$$\text{Density (OD), kg/m}^3 = 997.5 S_1 (A/S)/[0.9975 (R_2 - R_1)] \quad (9)$$

$$\text{Density (OD), lb/ft}^3 = 62.27 S_1 (A/S)/[0.9975 (R_2 - R_1)] \quad (10)$$

NOTE 5—The constant values used in the calculations in 10.3.1-10.3.3 (997.5 kg/m<sup>3</sup> and 62.27 lb/ft<sup>3</sup>) are the density of water at 23°C. Some authorities recommend using the density of water at 4°C (1000 kg/m<sup>3</sup> or 1000 Mg/m<sup>3</sup> or 62.43 lb/ft<sup>3</sup>) as being sufficiently accurate.

10.3.2 *Density (Saturated surface-dry)*—Calculate the density on the basis of saturated surface-dry aggregate as follows:

10.3.2.1 *Gravimetric Procedure:*

$$\text{Density (SSD), kg/m}^3 = 997.5 S/(B + S - C) \quad (11)$$

$$\text{Density (SSD), lb/ft}^3 = 62.27 S/(B + S - C) \quad (12)$$

10.3.2.2 *Volumetric Procedure:*

$$\text{Density (SSD), kg/m}^3 = 997.5 S_1/[0.9975 (R_2 - R_1)] \quad (13)$$

$$\text{Density (SSD), lb/ft}^3 = 62.27 S_1/[0.9975 (R_2 - R_1)] \quad (14)$$

10.3.3 *Apparent Density*—Calculate the apparent density as follows:

10.3.3.1 *Gravimetric Procedure:*

$$\text{Apparent density (SSD), kg/m}^3 = 997.5 A/(B + A - C) \quad (15)$$

$$\text{Apparent density (SSD), lb/ft}^3 = 62.27 A/(B + A - C) \quad (16)$$

10.3.3.2 *Volumetric Procedure:*

$$\begin{aligned} \text{Apparent density (SSD), kg/m}^3, \\ = \frac{997.5 S_1 (A/S)}{0.9975 (R_2 - R_1) - [(S_1/S)(S - A)]} \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \text{Apparent density (SSD), lb/ft}^3, \\ = \frac{62.27 S_1 (A/S)}{0.9975 (R_2 - R_1) - [(S_1/S)(S - A)]} \end{aligned} \quad (18)$$

10.4 *Absorption*—Calculate the percentage of absorption as follows:

$$\text{Absorption, \%} = 100 [(S - A)/A] \quad (19)$$

## 11. Report

11.1 Report density results to the nearest 10 kg/m<sup>3</sup>, or 0.5 lb/ft<sup>3</sup>, relative density (specific gravity) results to the nearest 0.01, and indicate the basis for density or relative density (specific gravity), as either oven-dry (OD), saturated-surface-dry (SSD), or apparent.

11.2 Report the absorption result to the nearest 0.1 %.

11.3 If the density and relative density (specific gravity) values were determined without first drying the aggregate, as permitted in 8.2, note that fact in the report.

## 12. Precision and Bias

12.1 *Precision*—The estimates of precision of this test method (listed in Table 1) are based on results from the AASHTO Materials Reference Laboratory Proficiency Sample Program, with testing conducted by this test method and AASHTO Method T 84. The significant difference between the methods is that Test Method C 128 requires a saturation period of 24 ± 4 h, and AASHTO Test Method T 84 requires a saturation period of 15 to 19 h. This difference has been found to have an insignificant effect on the precision indices. The data are based on the analyses of more than 100 paired test results from 40 to 100 laboratories. The precision estimates for density were calculated from values determined for relative density (specific gravity), using the density of water at 23°C for the conversion.

12.2 *Bias*—Since there is no accepted reference material suitable for determining the bias for this test method, no statement on bias is being made.

## 13. Keywords

13.1 absorption; aggregate; apparent density; apparent relative density; density; fine aggregate; relative density; specific gravity

**APPENDIX**
**(Nonmandatory Information)**
**X1. INTERRELATIONSHIPS BETWEEN RELATIVE DENSITIES (SPECIFIC GRAVITIES) AND ABSORPTION AS DEFINED IN TEST METHODS C 127 AND C 128**

X1.1 This appendix gives mathematical interrelationships among the three types of relative densities (specific gravities) and absorption. These may be useful in checking the consistency of reported data or calculating a value that was not reported by using other reported data.

$$S_s = \frac{1}{\frac{1}{S_d} - \frac{A}{100}} = \frac{S_d}{1 - \frac{AS_d}{100}} \quad (X1.2)$$

$$\text{or } S_a = \frac{1}{\frac{1 + A/100}{S_s} - \frac{A}{100}} \quad (X1.3)$$

$$= \frac{S_s}{1 - \frac{A}{100}(S_s - 1)}$$

$$A = \left( \frac{S_s}{S_d} - 1 \right) 100 \quad (X1.4)$$

$$A = \left( \frac{S_a - S_s}{S_a(S_s - 1)} \right) 100 \quad (X1.5)$$

X1.2 Where:

- $S_d$  = relative density (specific gravity) (OD),
- $S_s$  = relative density (specific gravity) (SSD),
- $S_a$  = apparent relative density (apparent specific gravity),
- and
- $A$  = absorption, in %.

Calculate the values of each as follows:

$$S_s = (1 + A/100)S_d \quad (X1.1)$$

**SUMMARY OF CHANGES**

This section identifies the location of changes to this test method that have been incorporated since the last issue.

- (1) Entire standard was rewritten.

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).*



# Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation C 131; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

## 1. Scope \*

1.1 This test method covers a procedure for testing sizes of coarse aggregate smaller than 37.5 mm (1½ in.) for resistance to degradation using the Los Angeles testing machine (Note 1).

NOTE 1—A procedure for testing coarse aggregate larger than 19.0 mm (¾ in.) is covered in Test Method C 535.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The inch-pound values given in parentheses are for information only.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

## 2. Referenced Documents

### 2.1 ASTM Standards:

A 6/A 6M Specification for General Requirements for Rolled Structural Steel Bars, Plates, Shapes, and Sheet Piling<sup>2</sup>

C 125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates<sup>3</sup>

C 136 Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates<sup>3</sup>

C 535 Test Method for Resistance to Degradation of Large-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine<sup>3</sup>

C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials<sup>3</sup>

C 702 Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size<sup>3</sup>

D 75 Practice for Sampling Aggregates<sup>4</sup>

E 11 Specification for Wire Cloth and Sieves for Testing Purposes<sup>5</sup>

## 3. Terminology

3.1 *Definitions*—For definitions of terms used in this test method, refer to Terminology C 125.

## 4. Summary of Test Method

4.1 This test is a measure of degradation of mineral aggregates of standard gradings resulting from a combination of actions including abrasion or attrition, impact, and grinding in a rotating steel drum containing a specified number of steel spheres, the number depending upon the grading of the test sample. As the drum rotates, a shelf plate picks up the sample and the steel spheres, carrying them around until they are dropped to the opposite side of the drum, creating an impact-crushing effect. The contents then roll within the drum with an abrading and grinding action until the shelf plate picks up the sample and the steel spheres, and the cycle is repeated. After the prescribed number of revolutions, the contents are removed from the drum and the aggregate portion is sieved to measure the degradation as percent loss.

## 5. Significance and Use

5.1 This test has been widely used as an indicator of the relative quality or competence of various sources of aggregate having similar mineral compositions. The results do not automatically permit valid comparisons to be made between sources distinctly different in origin, composition, or structure. Assign specification limits with extreme care in consideration of available aggregate types and their performance history in specific end uses.

## 6. Apparatus

6.1 *Los Angeles Machine*—A Los Angeles machine, conforming in all essential characteristics to the design shown in Fig. 1, shall be used. The machine shall consist of a hollow steel cylinder, with a wall thickness of not less than 12.4 mm

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.20 on Normal Weight Aggregates.

Current edition approved March 10, 2003. Published April 2003. Originally approved in 1937. Last previous edition approved in 2001 as C 131-01.

<sup>2</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.04.

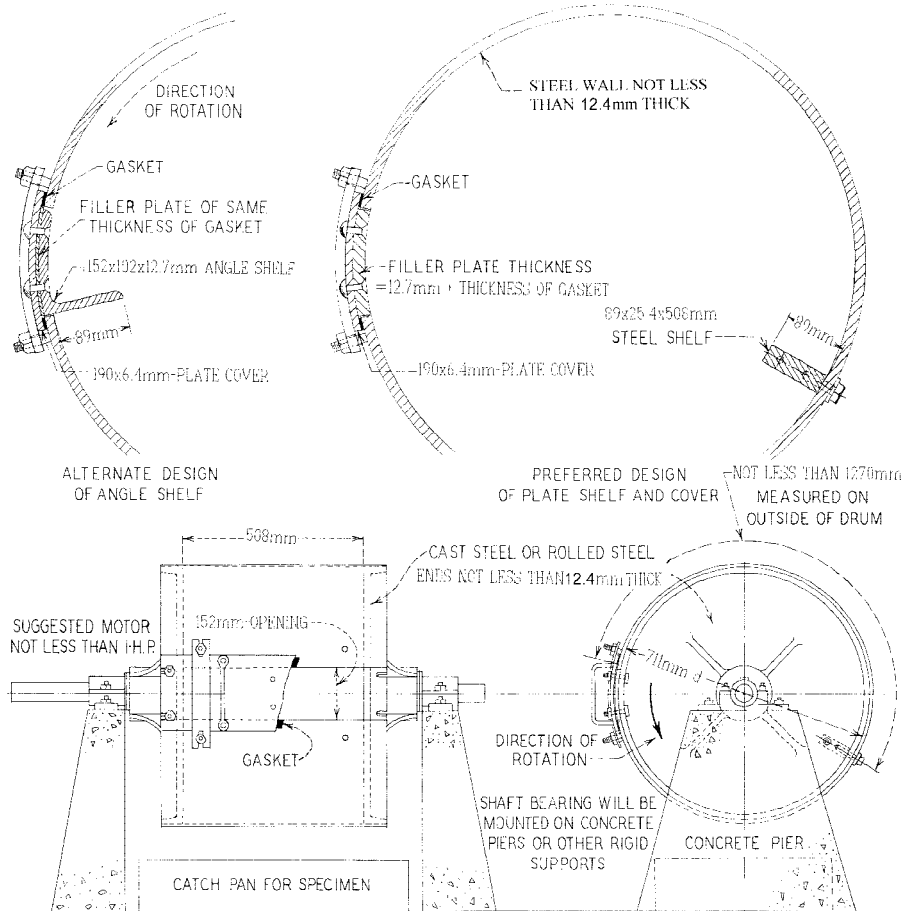
<sup>3</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02.

<sup>4</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.03.

<sup>5</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

\*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.





Inch Equivalents

mm	6.4	12.7	25.4	89	102	152	190	508	711	1270
in.	1/4	1/2	1	3 1/2	4	6	7 1/2	20	28	50

FIG. 1 Los Angeles Testing Machine

(Note 2) closed at both ends, conforming to the dimensions shown in Fig. 1, having an inside diameter of  $711 \pm 5$  mm ( $28 \pm 0.2$  in.), and an inside length of  $508 \pm 5$  mm ( $20 \pm 0.2$  in.). The cylinder shall be mounted on stub shafts attached to the ends of the cylinder but not entering it, and shall be mounted in such a manner that it rotates with the axis in a horizontal position within a tolerance in slope of 1 in 100. An opening in the cylinder shall be provided for the introduction of the test sample. A suitable, dust-tight cover shall be provided for the opening with means for bolting the cover in place. The cover shall be so designed as to maintain the cylindrical contour of the interior surface unless the shelf is so located that the charge will not fall on the cover, or come in contact with it during the test. A removable steel shelf extending the full length of the cylinder and projecting inward  $89 \pm 2$  mm ( $3.5 \pm 0.1$  in.) shall be mounted on the interior cylindrical surface of the cylinder, in such a way that a plane centered between the large faces coincides with an axial plane. The shelf shall be of such thickness and so mounted, by bolts or other suitable means, as to be firm and rigid. The position of the shelf (Note 3) shall be such that the sample and the steel spheres shall not impact on or near the opening and its cover, and that the distance from the

shelf to the opening, measured along the outside circumference of the cylinder in the direction of rotation, shall be not less than 1270 mm (50 in.). Inspect the shelf periodically to determine that it is not bent either lengthwise or from its normal radial position with respect to the cylinder. If either condition is found, repair or replace the shelf before further tests are conducted.

NOTE 2—This is the minimum tolerance permitted on 12.7 mm (1/2 in.) rolled steel plate as described in Specification A 6/A 6M.

NOTE 3—The use of a shelf of wear-resistant steel, rectangular in cross section and mounted independently of the cover, is preferred. However, a shelf consisting of a section of rolled angle, properly mounted on the inside of the cover plate, may be used provided the direction of rotation is such that the charge will be caught on the outside face of the angle.

6.1.1 The machine shall be so driven and so counterbalanced as to maintain a substantially uniform peripheral speed (Note 4). If an angle is used as the shelf, the direction of rotation shall be such that the charge is caught on the outside surface of the angle.

NOTE 4—Back-lash or slip in the driving mechanism is very likely to furnish test results which are not duplicated by other Los Angeles machines producing constant peripheral speed.

6.2 Sieves, conforming to Specification E 11.

6.3 Balance—A balance or scale accurate within 0.1 % of test load over the range required for this test.

6.4 Charge—The charge shall consist of steel spheres averaging approximately 46.8 mm (1<sup>27</sup>/<sub>32</sub> in.) in diameter and each having a mass of between 390 and 445 g.

6.4.1 The charge, (Note 5) depending upon the grading of the test sample as described in Section 8, shall be as follows:

Grading	Number of Spheres	Mass of Charge, g
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

NOTE 5—Steel ball bearings 46.0 mm (1<sup>13</sup>/<sub>16</sub> in.) and 47.6 mm (1<sup>7</sup>/<sub>16</sub> in.) in diameter, having a mass of approximately 400 and 440 g each, respectively, are readily available. Steel spheres 46.8 mm (1<sup>27</sup>/<sub>32</sub> in.) in diameter having a mass of approximately 420 g may also be obtainable. The charge may consist of a mixture of these sizes conforming to the mass tolerances of 6.4 and 6.4.1.

## 7. Sampling

7.1 Obtain the field sample in accordance with Practice D 75, and reduce the field sample to adequate sample size in accordance with Practice C 702.

## 8. Test Sample Preparation

8.1 Wash the reduced sample and oven dry at 110 ± 5°C (230 ± 9°F) to substantially constant mass (see 9.1.1), separate into individual size fractions, and recombine to the grading of Table 1 most nearly corresponding to the range of sizes in the aggregate as furnished for the work. Record the mass of the sample prior to test to the nearest 1 g.

## 9. Procedure

9.1 Place the test sample and the charge in the Los Angeles testing machine and rotate the machine at a speed of 30 to 33 r/min for 500 revolutions (Note 6). After the prescribed number of revolutions, discharge the material from the machine and make a preliminary separation of the sample on a sieve coarser than the 1.70-mm (No. 12) sieve. Sieve the finer portion on a 1.70-mm sieve in a manner conforming to Test Method C 136. Wash the material coarser than the 1.70-mm (No. 12) sieve and oven-dry at 110 ± 5°C (230 ± 9°F) to substantially constant mass (see 9.1.1), and determine the mass to the nearest 1 g (Note 7).

9.1.1 If the aggregate is essentially free of adherent coatings and dust, the requirement for washing after the test is optional. However, in the case of referee testing, the washing procedure shall be performed.

NOTE 6—Valuable information concerning the uniformity of the sample under test may be obtained by determining the loss after 100 revolutions. The loss should be determined by dry sieving the material on the 1.70-mm sieve without washing. The ratio of the loss after 100 revolutions to the loss after 500 revolutions should not greatly exceed 0.20 for material of uniform hardness. When this determination is made, take care to avoid losing any part of the sample; return the entire sample, including the dust of fracture, to the testing machine for the final 400 revolutions required to complete the test.

NOTE 7—Elimination of washing after test will seldom reduce the measured loss by more than about 0.2 % of the original sample mass.

## 10. Calculation

10.1 Calculate the loss (difference between the original mass and the final mass of the test sample) as a percentage of the original mass of the test sample. Report this value as the percent loss (Note 8).

NOTE 8—The percent loss determined by this test method has no known consistent relationship to the percent loss for the same material when tested by Test Method C 535.

## 11. Report

11.1 Report the following information:

11.1.1 Identification of the aggregate as to source, type, and nominal maximum size;

11.1.2 Grading designation from Table 1 used for the test; and

11.1.3 Loss by abrasion and impact of the sample expressed to the nearest 1 % by mass.

## 12. Precision and Bias

12.1 For nominal 19.0-mm (¾-in.) maximum size coarse aggregate with percent losses in the range of 10 to 45 %, the multilaboratory coefficient of variation has been found to be 4.5 %.<sup>6</sup> Therefore, results of two properly conducted tests from two different laboratories on samples of the same coarse aggregates are not expected to differ from each other by more

<sup>6</sup> These numbers represent, respectively, the (1s%) and (d2s%) limits as described in Practice C 670.

**TABLE 1 Gradings of Test Samples**

Sieve Size (Square Openings)		Mass of Indicated Sizes, g			
Passing	Retained on	Grading			
		A	B	C	D
37.5 mm (1½ in.)	25.0 mm (1 in.)	1 250 ± 25	...	...	...
25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (¾ in.)	1 250 ± 25	...	...	...
19.0 mm (¾ in.)	12.5 mm (½ in.)	1 250 ± 10	2 500 ± 10	...	...
12.5 mm (½ in.)	9.5 mm (⅜ in.)	1 250 ± 10	2 500 ± 10	...	...
9.5 mm (⅜ in.)	6.3 mm (¼ in.)	...	...	2 500 ± 10	...
6.3 mm (¼ in.)	4.75-mm (No. 4)	...	...	2 500 ± 10	...
4.75-mm (No. 4)	2.36-mm (No. 8)	...	...	...	5 000 ± 10
Total		5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10

than 12.7 %<sup>6</sup> (95 % probability) of their average. The single-operator coefficient of variation has been found to be 2.0 %.<sup>6</sup> Therefore, results of two properly conducted tests by the same operator on the same coarse aggregate are not expected to differ from each other by more than 5.7 % (95 % probability) of their average.<sup>6</sup>

12.2 *Bias*—Since there is no accepted reference material suitable for determining the bias for this procedure, no statement on bias is being made.

### 13. Keywords

13.1 abrasion; aggregate (coarse; small size); degradation; impact; Los Angeles machine

## APPENDIX

### (Nonmandatory Information)

#### X1. MAINTENANCE OF SHELF

X1.1 The shelf of the Los Angeles machine is subject to severe surface wear and impact. With use, the working surface of the shelf is peened by the balls and tends to develop a ridge of metal parallel to and about 32 mm (1¼ in.) from the junction of the shelf and the inner surface of the cylinder. If the shelf is made from a section of rolled angle, not only may this ridge develop but the shelf itself may be bent longitudinally or transversely from its proper position.

X1.2 The shelf should be inspected periodically to deter-

mine that it is not bent either lengthwise or from its normal radial position with respect to the cylinder. If either condition is found, the shelf should be repaired or replaced before further tests are made. The influence on the test result of the ridge developed by peening of the working face of the shelf is not known. However, for uniform test conditions, it is recommended that the ridge be ground off if its height exceeds 2 mm (0.1 in.).

## SUMMARY OF CHANGES

This section identifies the location of changes to this test method that have been incorporated since the last issue (C 131-01).

- |                                                    |                          |
|----------------------------------------------------|--------------------------|
| (1) 1.2 was revised.                               | (6) 9.1 was revised.     |
| (2) Specification A 6/A 6M was added to Section 2. | (7) 9.1.1 was revised.   |
| (3) 6.1 was revised, and Note 2 was added.         | (8) 12.1 was revised.    |
| (4) Remaining notes were renumbered.               | (9) Note 6 was revised.  |
| (5) 8.1 was revised.                               | (10) Fig. 1 was revised. |

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).*



Designation: C 136 – 96a01

## Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation C 136; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

### 1. Scope\*

1.1 This test method covers the determination of the particle size distribution of fine and coarse aggregates by sieving.

1.2 Some specifications for aggregates which reference this method contain grading requirements including both coarse and fine fractions. Instructions are included for sieve analysis of such aggregates.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values in parentheses are provided for information purposes only. Specification E 11 designates the size of sieve frames with inch units as standard, but in this test method the frame size is designated in SI units exactly equivalent to the inch units.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

### 2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*

---

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C-9 C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.20 on Normal Weight Aggregates.

Current edition approved Nov. 10, 1996; 2001. Published January 1997; August 2001. Originally published as C 136 – 38 T. Last previous edition C 136 – 96a.

**\*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.**

- C 117 Test Method for Materials Finer Than 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing<sup>2</sup>  
C 125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates<sup>2</sup>  
C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials<sup>2</sup>  
C 702 Practice for Reducing Field Samples of Aggregate to Testing Size<sup>2</sup>  
D 75 Practice for Sampling Aggregates<sup>3</sup>  
E 11 Specification for Wire-Cloth and Sieves for Testing Purposes<sup>4</sup>  
2.2 AASHTO Standard:  
AASHTO No. T 27 Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates<sup>5</sup>

### 3. Terminology

3.1 *Definitions*—For definitions of terms used in this standard, refer to Terminology C 125.

### 4. Summary of Test Method

4.1 A sample of dry aggregate of known mass is separated through a series of sieves of progressively smaller openings for determination of particle size distribution.

### 5. Significance and Use

5.1 This test method is used primarily to determine the grading of materials proposed for use as aggregates or being used as aggregates. The results are used to determine compliance of the particle size distribution with applicable specification requirements and to provide necessary data for control of the production of various aggregate products and mixtures containing aggregates. The data may also be useful in developing relationships concerning porosity and packing.

5.2 Accurate determination of material finer than the 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) sieve cannot be achieved by use of this method alone. Test Method C 117 for material finer than 75- $\mu\text{m}$  sieve by washing should be employed.

### 6. Apparatus

6.1 *Balances*—Balances or scales used in testing fine and coarse aggregate shall have readability and accuracy as follows:

6.1.1 For fine aggregate, readable to 0.1 g and accurate to 0.1 g or 0.1 % of the test load, whichever is greater, at any point within the range of use.

6.1.2 For coarse aggregate, or mixtures of fine and coarse aggregate, readable and accurate to 0.5 g or 0.1 % of the test load, whichever is greater, at any point within the range of use.

6.2 *Sieves*—The sieve cloth shall be mounted on substantial frames constructed in a manner that will prevent loss of material during sieving. The sieve cloth and standard sieve frames shall conform to the requirements of Specification E 11. Nonstandard sieve frames shall conform to the requirements of Specification E 11 as applicable.

NOTE 1—It is recommended that sieves mounted in frames larger than standard 203.2-mm (8 in.) diameter be used for testing coarse aggregate to reduce the possibility of overloading the sieves. See 8.3.

6.3 *Mechanical Sieve Shaker*—A mechanical sieving device, if used, shall create motion of the sieves to cause the particles to bounce, tumble, or otherwise turn so as to present different orientations to the sieving surface. The sieving action shall be such that the criterion for adequacy of sieving described in 8.4 is met in a reasonable time period.

NOTE 2—Use of a mechanical sieve shaker is recommended when the size of the sample is 20 kg or greater, and may be used for smaller samples, including fine aggregate. Excessive time (more than approximately 10 min) to achieve adequate sieving may result in degradation of the sample. The same mechanical sieve shaker may not be practical for all sizes of samples, since the large sieving area needed for practical sieving of a large nominal size coarse aggregate very likely could result in loss of a portion of the sample if used for a small sample of coarse aggregate or fine aggregate.

6.4 *Oven*—An oven of appropriate size capable of maintaining a uniform temperature of  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ).

### 7. Sampling

7.1 Sample the aggregate in accordance with Practice D 75. The size of the field sample shall be the quantity shown in Practice D 75 or four times the quantity required in 7.4 and 7.5 (except as modified in 7.6), whichever is greater.

7.2 Thoroughly mix the sample and reduce it to an amount suitable for testing using the applicable procedures described in Practice C 702. The sample for test shall be approximately the quantity desired when dry and shall be the end result of the reduction. Reduction to an exact predetermined quantity shall not be permitted.

NOTE 3—Where sieve analysis, including determination of material finer than the 75- $\mu\text{m}$  sieve, is the only testing proposed, the size of the sample may be reduced in the field to avoid shipping excessive quantities of extra material to the laboratory.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.03.

<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

<sup>5</sup> Available from American Association of State Highway and Transportation Officials, 444 North Capitol St. N.W., Suite 225, Washington, DC 20001.

7.3 *Fine Aggregate*—The size of the test sample, after drying, shall be 300 g minimum.

7.4 *Coarse Aggregate*—The size of the test sample of coarse aggregate shall conform with the following:

Nominal Maximum Size, Square Openings, mm (in.)	Test Sample Size, min, kg (lb)
9.5 (3/8)	1 (2)
12.5 (1/2)	2 (4)
19.0 (3/4)	5 (11)
25.0 (1)	10 (22)
37.5 (1 1/2)	15 (33)
50 (2)	20 (44)
63 (2 1/2)	35 (77)
75 (3)	60 (130)
90 (3 1/2)	100 (220)
100 (4)	150 (330)
125 (5)	300 (660)

7.5 *Coarse and Fine Aggregate Mixtures*— The size of the test sample of coarse and fine aggregate mixtures shall be the same as for coarse aggregate in 7.4.

7.6 *Samples of Large Size Coarse Aggregate*—The size of sample required for aggregate with 50-mm nominal maximum size or larger is such as to preclude convenient sample reduction and testing as a unit except with large mechanical splitters and sieve shakers. As an option when such equipment is not available, instead of combining and mixing sample increments and then reducing the field sample to testing size, conduct the sieve analysis on a number of approximately equal sample increments such that the total mass tested conforms to the requirement of 7.4.

7.7 In the event that the amount of material finer than the 75- $\mu$ m (No. 200) sieve is to be determined by Test Method C 117, proceed as follows:

7.7.1 For aggregates with a nominal maximum size of 12.5 mm (1/2 in.) or less, use the same test sample for testing by Test Method C 117 and this method. First test the sample in accordance with Test Method C 117 through the final drying operation, then dry sieve the sample as stipulated in 8.2-8.7 of this method.

7.7.2 For aggregates with a nominal maximum size greater than 12.5 mm (1/2 in.), a single test sample may be used as described in 7.7.1, or separate test samples may be used for Test Method C 117 and this method.

7.7.3 Where the specifications require determination of the total amount of material finer than the 75- $\mu$ m sieve by washing and dry sieving, use the procedure described in 7.7.1.

## 8. Procedure

8.1 Dry the sample to constant mass at a temperature of  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ).

NOTE 4—For control purposes, particularly where rapid results are desired, it is generally not necessary to dry coarse aggregate for the sieve analysis test. The results are little affected by the moisture content unless: (1) the nominal maximum size is smaller than about 12.5 mm (1/2 in.); (2) the coarse aggregate contains appreciable material finer than 4.75 mm (No. 4); or (3) the coarse aggregate is highly absorptive (a lightweight aggregate, for example). Also, samples may be dried at the higher temperatures associated with the use of hot plates without affecting results, provided steam escapes without generating pressures sufficient to fracture the particles, and temperatures are not so great as to cause chemical breakdown of the aggregate.

8.2 Select sieves with suitable openings to furnish the information required by the specifications covering the material to be tested. Use additional sieves as desired or necessary to provide other information, such as fineness modulus, or to regulate the amount of material on a sieve. Nest the sieves in order of decreasing size of opening from top to bottom and place the sample on the top sieve. Agitate the sieves by hand or by mechanical apparatus for a sufficient period, established by trial or checked by measurement on the actual test sample, to meet the criterion for adequacy or sieving described in 8.4.

8.3 Limit the quantity of material on a given sieve so that all particles have opportunity to reach sieve openings a number of times during the sieving operation. For sieves with openings smaller than 4.75-mm (No. 4), the quantity retained on any sieve at the completion of the sieving operation shall not exceed 7 kg/m<sup>2</sup> of sieving surface area (Note 5). For sieves with openings 4.75 mm (No. 4) and larger, the quantity retained in kg shall not exceed the product of  $2.5 \times$  (sieve opening, mm  $\times$  (effective sieving area, m<sup>2</sup>)). This quantity is shown in Table 1 for five sieve-frame dimensions in common use. In no case shall the quantity retained be so great as to cause permanent deformation of the sieve cloth.

8.3.1 Prevent an overload of material on an individual sieve by one of the following methods:

8.3.1.1 Insert an additional sieve with opening size intermediate between the sieve that may be overloaded and the sieve immediately above that sieve in the original set of sieves.

8.3.1.2 Split the sample into two or more portions, sieving each portion individually. Combine the masses of the several portions retained on a specific sieve before calculating the percentage of the sample on the sieve.

8.3.1.3 Use sieves having a larger frame size and providing greater sieving area.

NOTE 5—The 7 kg/m<sup>2</sup> amounts to 200 g for the usual 203.2-mm (8-in.) diameter sieve (with effective sieving surface diameter of 190.5 mm (7.5 in.)).

8.4 Continue sieving for a sufficient period and in such manner that, after completion, not more than ~~1 mass-%~~ 1 % by mass of the ~~residue~~ material retained on any individual sieve will pass that sieve during 1 min of continuous hand sieving performed as follows: Hold the individual sieve, provided with a snug-fitting pan and cover, in a slightly inclined position in one hand. Strike the side of the sieve sharply and with an upward motion against the heel of the other hand at the rate of about 150 times per minute,

**TABLE 1 Maximum Allowable Quantity of Material Retained on a Sieve, kg**

Sieve Opening Size, mm	Nominal Dimensions of Sieve <sup>A</sup>				
	203.2-mm dia <sup>B</sup>	254-mm dia <sup>B</sup>	304.8-mm dia <sup>B</sup>	350 by 350 mm	372 by 580 mm
	Sieving Area, m <sup>2</sup>				
	0.0285	0.0457	0.0670	0.1225	0.2158
125	<i>c</i>	<i>c</i>	<i>c</i>	<i>c</i>	67.4
100	<i>c</i>	<i>c</i>	<i>c</i>	30.6	53.9
90	<i>c</i>	<i>c</i>	15.1	27.6	48.5
75	<i>c</i>	8.6	12.6	23.0	40.5
63	<i>c</i>	7.2	10.6	19.3	34.0
50	3.6	5.7	8.4	15.3	27.0
37.5	2.7	4.3	6.3	11.5	20.2
25.0	1.8	2.9	4.2	7.7	13.5
19.0	1.4	2.2	3.2	5.8	10.2
12.5	0.89	1.4	2.1	3.8	6.7
9.5	0.67	1.1	1.6	2.9	5.1
4.75	0.33	0.54	0.80	1.5	2.6

<sup>A</sup> Sieve frame dimensions in inch units: 8.0-in. diameter; 10.0-in. diameter, 12.0-in. diameter; 13.8 by 13.8 in. (14 by 14 in. nominal); 14.6 by 22.8 in. (16 by 24 in. nominal).

<sup>B</sup> The sieve area for round sieve frames is based on an effective diameter 12.7 mm (½ in.) less than the nominal frame diameter, because Specification E 11 permits the sealer between the sieve cloth and the frame to extend 6.35 mm (¼ in.) over the sieve cloth. Thus the effective sieving diameter for a 203.2-mm (8.0-in.) diameter sieve frame is 190.5 mm (7.5 in.). Some manufacturers of sieves may not infringe on the sieve cloth by the full 6.35 mm (¼ in.).

<sup>C</sup> Sieves indicated have less than five full openings and should not be used for sieve testing except as provided in 8.6.

turn the sieve about one sixth of a revolution at intervals of about 25 strokes. In determining sufficiency of sieving for sizes larger than the 4.75-mm (No. 4) sieve, limit the material on the sieve to a single layer of particles. If the size of the mounted testing sieves makes the described sieving motion impractical, use 203-mm (8 in.) diameter sieves to verify the sufficiency of sieving.

8.5 In the case of coarse and fine aggregate mixtures, the portion of the sample finer than the 4.75-mm (No. 4) sieve may be distributed among two or more sets of sieves to prevent overloading of individual sieves.

8.5.1 Alternatively, the portion finer than the 4.75-mm (No. 4) sieve may be reduced in size using a mechanical splitter according to Practice C 702. If this procedure is followed, compute the mass of each size increment of the original sample as follows:

$$A = \frac{W_1}{W_2} \times B \quad (1)$$

where:

*A* = mass of size increment on total sample basis,

*W*<sub>1</sub> = mass of fraction finer than 4.75-mm (No. 4) sieve in total sample,

*W*<sub>2</sub> = mass of reduced portion of material finer than 4.75-mm (No. 4) sieve actually sieved, and

*B* = mass of size increment in reduced portion sieved.

8.6 Unless a mechanical sieve shaker is used, hand sieve particles larger than 75 mm (3 in.) by determining the smallest sieve opening through which each particle will pass. Start the test on the smallest sieve to be used. Rotate the particles, if necessary, in order to determine whether they will pass through a particular opening; however, do not force particles to pass through an opening.

8.7 Determine the mass of each size increment on a scale or balance conforming to the requirements specified in 5.1 to the nearest 0.1 % of the total original dry sample mass. The total mass of the material after sieving should check closely with original mass of sample placed on the sieves. If the amounts differ by more than 0.3 %, based on the original dry sample mass, the results should not be used for acceptance purposes.

8.8 If the sample has previously been tested by Test Method C 117, add the mass finer than the 75-µm (No. 200) sieve determined by that method to the mass passing the 75-µm (No. 200) sieve by dry sieving of the same sample in this method.

## 9. Calculation

9.1 Calculate percentages passing, total percentages retained, or percentages in various size fractions to the nearest 0.1 % on the basis of the total mass of the initial dry sample. If the same test sample was first tested by Test Method C 117, include the mass of material finer than the 75-µm (No. 200) size by washing in the sieve analysis calculation; and use the total dry sample mass prior to washing in Test Method C 117 as the basis for calculating all the percentages.

9.1.1 When sample increments are tested as provided in 7.6, total the masses of the portion of the increments retained on each sieve, and use these masses to calculate the percentages as in 9.1.

9.2 Calculate the fineness modulus, when required, by adding the total percentages of material in the sample that is coarser than each of the following sieves (cumulative percentages retained), and dividing the sum by 100: 150- $\mu\text{m}$  (No. 100), 300- $\mu\text{m}$  (No. 50), 600- $\mu\text{m}$  (No. 30), 1.18-mm (No. 16), 2.36-mm (No. 8), 4.75-mm (No. 4), 9.5-mm ( $\frac{3}{8}$ -in.), 19.0-mm ( $\frac{3}{4}$ -in.), 37.5-mm ( $1\frac{1}{2}$ -in.), and larger, increasing in the ratio of 2 to 1.

## 10. Report

10.1 Depending upon the form of the specifications for use of the material under test, the report shall include the following:

- 10.1.1 Total percentage of material passing each sieve, or
- 10.1.2 Total percentage of material retained on each sieve, or
- 10.1.3 Percentage of material retained between consecutive sieves.

10.2 Report percentages to the nearest whole number, except if the percentage passing the 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) sieve is less than 10 %, it shall be reported to the nearest 0.1 %.

10.3 Report the fineness modulus, when required, to the nearest 0.01.

## 11. Precision and Bias

11.1 *Precision*—The estimates of precision for this test method are listed in Table 2. The estimates are based on the results from the AASHTO Materials Reference Laboratory Proficiency Sample Program, with testing conducted by Test Method C 136 and AASHTO Test Method T 27. The data are based on the analyses of the test results from 65 to 233 laboratories that tested 18 pairs of coarse aggregate proficiency test samples and test results from 74 to 222 laboratories that tested 17 pairs of fine aggregate proficiency test samples (Samples No. 21 through 90). The values in the table are given for different ranges of total percentage of aggregate passing a sieve.

11.1.1 The precision values for fine aggregate in Table 2 are based on nominal 500-g test samples. Revision of this test method in 1994 permits the fine aggregate test sample size to be 300 g minimum. Analysis of results of testing of 300-g and 500-g test

**TABLE 2 Precision**

	Total Percentage of Material Passing	Standard Deviation (1s), % <sup>A</sup>	Acceptable Range of Two Results (d2s), % <sup>A</sup>
<i>Coarse Aggregate:<sup>B</sup></i>			
Single-operator precision	<100	$\geq 95$	0.32
	<95	$\geq 85$	0.81
	<85	$\geq 80$	1.34
	<80	$\geq 60$	2.25
	<60	$\geq 20$	1.32
	<20	$\geq 15$	0.96
	<15	$\geq 10$	1.00
	<10	$\geq 5$	0.75
	<5	$\geq 2$	0.53
	<2	>0	0.27
Multilaboratory precision	<100	$\geq 95$	0.35
	<95	$\geq 85$	1.37
	<85	$\geq 80$	1.92
	<80	$\geq 60$	2.82
	<60	$\geq 20$	1.97
	<20	$\geq 15$	1.60
	<15	$\geq 10$	1.48
	<10	$\geq 5$	1.22
	<5	$\geq 2$	1.04
	<2	>0	0.45
<i>Fine Aggregate:</i>			
Single-operator precision	<100	$\geq 95$	0.26
	<95	$\geq 60$	0.55
	<60	$\geq 20$	0.83
	<20	$\geq 15$	0.54
	<15	$\geq 10$	0.36
	<10	$\geq 2$	0.37
	<2	>0	0.14
Multilaboratory precision	<100	$\geq 95$	0.23
	<95	$\geq 60$	0.77
	<60	$\geq 20$	1.41
	<20	$\geq 15$	1.10
	<15	$\geq 10$	0.73
	<10	$\geq 2$	0.65
	<2	>0	0.31

<sup>A</sup> These numbers represent, respectively, the (1s) and (d2s) limits described in Practice C 670.

<sup>B</sup> The precision estimates are based on aggregates with nominal maximum size of 19.0 mm ( $\frac{3}{4}$  in.).



samples from Aggregate Proficiency Test Samples 99 and 100 (Samples 99 and 100 were essentially identical) produced the precision values in Table 3, which indicate only minor differences due to test sample size.

NOTE 6—The values for fine aggregate in Table 2 will be revised to reflect the 300-g test sample size when a sufficient number of Aggregate Proficiency Tests have been conducted using that sample size to provide reliable data.

11.2 *Bias*—Since there is no accepted reference material suitable for determining the bias in this test method, no statement on bias is made.

## 12. Keywords

12.1 aggregate; coarse aggregate; fine aggregate; gradation; grading; sieve analysis; size analysis

### SUMMARY OF CHANGES

This section identifies the location of changes to this test method that have been incorporated since the last issue.

(1) Paragraph 8.4 was revised.

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).*

**TABLE 3 Precision Data for 300-g and 500-g Test Samples**

Test Result	Fine Aggregate Proficiency Sample			Within Laboratory		Between Laboratory	
	Sample Size	Number Labs	Average	1s	d2s	1s	d2s
ASTM C136/AASHTO T27							
Total material passing the No. 4 sieve (%)	500 g	285	99.992	0.027	0.066	0.037	0.104
	300 g	276	99.990	0.021	0.060	0.042	0.117
Total material passing the No. 8 sieve (%)	500 g	281	84.10	0.43	1.21	0.63	1.76
	300 g	274	84.32	0.39	1.09	0.69	1.92
Total material passing the No. 16 sieve (%)	500 g	286	70.11	0.53	1.49	0.75	2.10
	300 g	272	70.00	0.62	1.74	0.76	2.12
Total material passing the No. 30 sieve (%)	500 g	287	48.54	0.75	2.10	1.33	3.73
	300 g	276	48.44	0.87	2.44	1.36	3.79
Total material passing the No. 50 sieve (%)	500 g	286	13.52	0.42	1.17	0.98	2.73
	300 g	275	13.51	0.45	1.25	0.99	2.76
Total material passing the No. 100 sieve (%)	500 g	287	2.55	0.15	0.42	0.37	1.03
	300 g	270	2.52	0.18	0.52	0.32	0.89
Total Material passing the No. 200 sieve (%)	500 g	278	1.32	0.11	0.32	0.31	0.85
	300 g	266	1.30	0.14	0.39	0.31	0.85



## Standard Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation C 702; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

### 1. Scope

1.1 This practice covers three methods for the reduction of large samples of aggregate to the appropriate size for testing employing techniques that are intended to minimize variations in measured characteristics between the test samples so selected and the large sample.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards:

C 125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates<sup>2</sup>

C 128 Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate<sup>2</sup>

D 75 Practice for Sampling Aggregates<sup>3</sup>

### 3. Terminology

3.1 *Definitions*—The terms used in this practice are defined in Terminology C 125.

### 4. Significance and Use

4.1 Specifications for aggregates require sampling portions of the material for testing. Other factors being equal, larger samples will tend to be more representative of the total supply. This practice provides procedures for reducing the large sample obtained in the field or produced in the laboratory to a convenient size for conducting a number of tests to describe the material and measure its quality in a manner that the smaller test sample portion is most likely to be a representation of the larger sample, and thus of the total supply. Failure to carefully

follow the procedures in this practice could result in providing a nonrepresentative sample to be used in subsequent testing. The individual test methods provide for minimum amount of material to be tested.

4.2 Under certain circumstances, reduction in size of the large sample prior to testing is not recommended. Substantial differences between the selected test samples sometimes cannot be avoided, as for example, in the case of an aggregate having relatively few large size particles in the sample. The laws of chance dictate that these few particles may be unequally distributed among the reduced size test samples. Similarly, if the test sample is being examined for certain contaminants occurring as a few discrete fragments in only small percentages, caution should be used in interpreting results from the reduced size test sample. Chance inclusion or exclusion of only one or two particles in the selected test sample may importantly influence interpretation of the characteristics of the original sample. In these cases, the entire original sample should be tested.

### 5. Selection of Method

5.1 *Fine Aggregate*—Reduce the size of samples of fine aggregate that are drier than the saturated-surface-dry condition (Note 1) using a mechanical splitter according to Method A. Reduce the size of samples having free moisture on the particle surfaces by quartering according to Method B, or by treating as a miniature stockpile as described in Method C.

5.1.1 If the use of Method B or Method C is desired, and the sample does not have free moisture on the particle surfaces, moisten the sample to obtain free moisture on the particle surfaces, mix thoroughly, and then reduce the sample size.

5.1.2 If use of Method A is desired and the sample has free moisture on the particle surfaces, dry the entire sample to at least the saturated-surface-dry condition, using temperatures that do not exceed those specified for any of the tests contemplated, and then reduce the sample size. Alternatively, if the moist sample is very large, make a preliminary split using a mechanical splitter having chute openings of 38 mm (1½ in.) or more in width to reduce the sample to not less than 5000 g. Dry the portion so obtained, and reduce it to test sample size using Method A.

NOTE 1—The method of determining the saturated-surface-dry condition is described in Test Method C 128. As a quick approximation, if the

<sup>1</sup> This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.20 on Normal Weight Aggregates.

Current edition approved May 10, 1998. Published December 1998. Originally approved in 1971. Last previous edition approved in 1993 as C 702 – 93.

<sup>2</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02.

<sup>3</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.03.

fine aggregate will retain its shape when molded in the hand, it may be considered to be wetter than saturated-surface-dry.

5.2 *Coarse Aggregates and Mixtures of Coarse and Fine Aggregates*—Reduce the sample using a mechanical splitter in accordance with Method A (preferred method) or by quartering in accordance with Method B. The miniature stockpile Method C is not permitted for coarse aggregates or mixtures of coarse and fine aggregates.

**6. Sampling**

6.1 Obtain samples of aggregate in the field in accordance with Practice D 75, or as required by individual test methods. When tests for sieve analysis only are contemplated, the size of the field sample listed in Practice D 75 is usually adequate. When additional tests are to be conducted, the user shall be satisfied that the initial size of the field sample is adequate to accomplish all intended tests. Use similar procedures for aggregate produced in the laboratory.

**METHOD A—MECHANICAL SPLITTER**

**7. Apparatus**

7.1 *Sample Splitter*—Sample splitters shall have an even number of equal width chutes, but not less than a total of eight for coarse aggregate, or twelve for fine aggregate, which discharge alternately to each side of the splitter. For coarse aggregate and mixed aggregate, the minimum width of the individual chutes shall be approximately 50 % larger than the largest particles in the sample to be split (Note 2). For dry fine aggregate in which the entire sample will pass the 9.5-mm (3/8-in.) sieve, a splitter having chutes 12.5 to 20 mm (1/2 to 3/4 in.) wide shall be used. The splitter shall be equipped with two receptacles to hold the two halves of the sample following splitting. It shall also be equipped with a hopper or straight-edged pan which has a width equal to or slightly less than the over-all width of the assembly of chutes, by which the sample may be fed at a controlled rate to the chutes. The splitter and

accessory equipment shall be so designed that the sample will flow smoothly without restriction or loss of material (see Fig. 1 and Fig. 2).

NOTE 2—Mechanical splitters are commonly available in sizes adequate for coarse aggregate having the largest particle not over 37.5 mm (1 1/2 in.).

**8. Procedure**

8.1 Place the original sample in the hopper or pan and uniformly distribute it from edge to edge, so that when it is introduced into the chutes, approximately equal amounts will flow through each chute. Introduce the sample at a rate so as to allow it to flow freely through the chutes and into the receptacles below. Reintroduce the portion of the sample in one of the receptacles into the splitter as many times as necessary to reduce the sample to the size specified for the intended test. Reserve the portion of material collected in the other receptacle for reduction in size for other tests, when required.

**METHOD B—QUARTERING**

**9. Apparatus**

9.1 Apparatus shall consist of a straight-edged scoop, shovel, or trowel; a broom or brush; and a canvas blanket approximately 2 by 2.5 m (6 by 8 ft).

**10. Procedure**

10.1 Use either the procedure described in 10.1.1 or 10.1.2 or a combination of both.

10.1.1 Place the original sample on a hard, clean, level surface where there will be neither loss of material nor the accidental addition of foreign material. Mix the material thoroughly by turning the entire sample over three times. With the last turning, shovel the entire sample into a conical pile by depositing each shovelful on top of the preceding one. Carefully flatten the conical pile to a uniform thickness and diameter by pressing down the apex with a shovel so that each

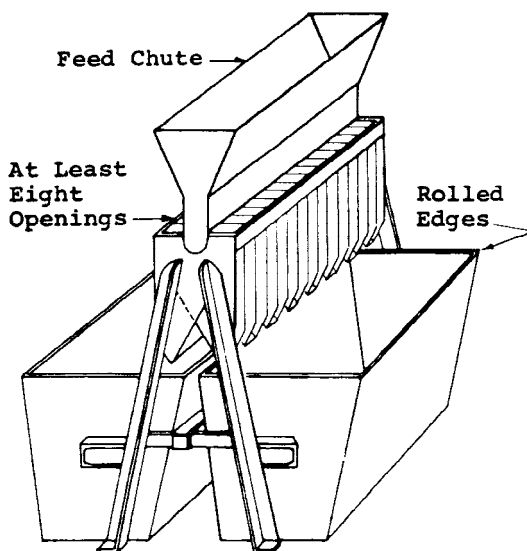
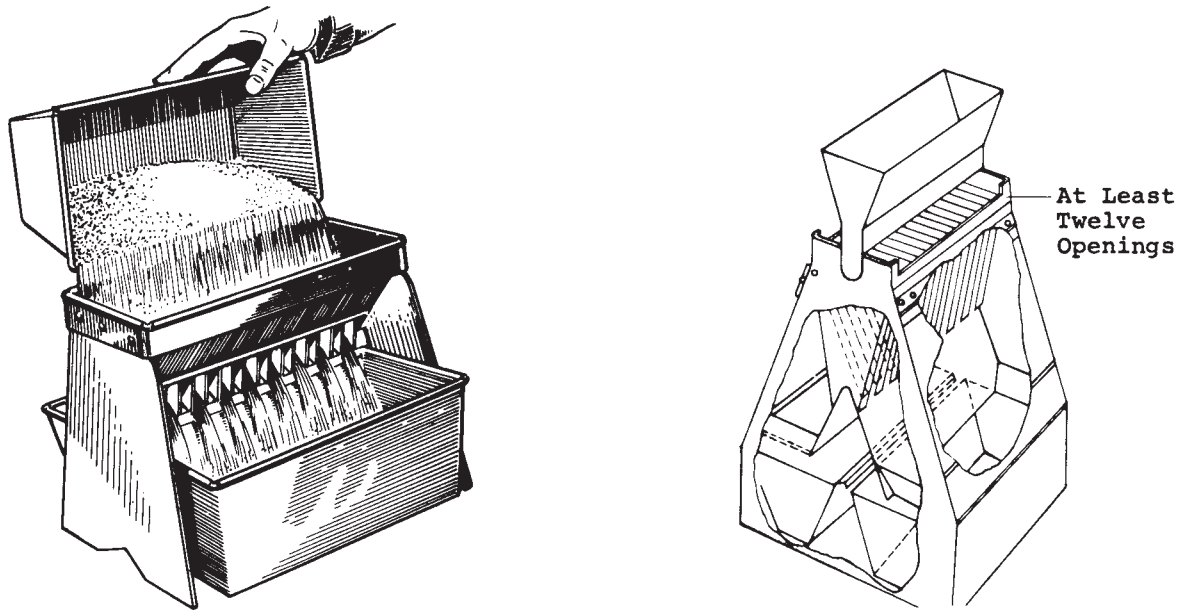


FIG. 1 Large Sample Splitter for Coarse Aggregate



NOTE— Small Sample Splitters for Fine Aggregate. May be constructed as either closed or open type. Closed type is preferred.

FIG. 2 Sample Splitters (Riffles)

quarter sector of the resulting pile will contain the material originally in it. The diameter should be approximately four to eight times the thickness. Divide the flattened mass into four equal quarters with a shovel or trowel and remove two diagonally opposite quarters, including all fine material, and brush the cleared spaces clean. Successively mix and quarter the remaining material until the sample is reduced to the desired size (Fig. 3).

10.1.2 As an alternative to the procedure described in 10.1.1, when the floor surface is uneven, place the field sample on a canvas blanket and mix with a shovel as described in 10.1.1, or by alternately lifting each corner of the canvas and pulling it over the sample toward the diagonally opposite

corner causing the material to be rolled. Flatten the pile as described in 10.1.1. Divide the sample as described in 10.1.1, or if the surface beneath the blanket is uneven, insert a stick or pipe beneath the blanket and under the center of the pile, then lift both ends of the stick, dividing the sample into two equal parts. Remove the stick leaving a fold of the blanket between the divided portions. Insert the stick under the center of the pile at right angles to the first division and again lift both ends of the stick, dividing the sample into four equal parts. Remove two diagonally opposite quarters, being careful to clean the fines from the blanket. Successively mix and quarter the remaining material until the sample is reduced to the desired size (Fig. 4).

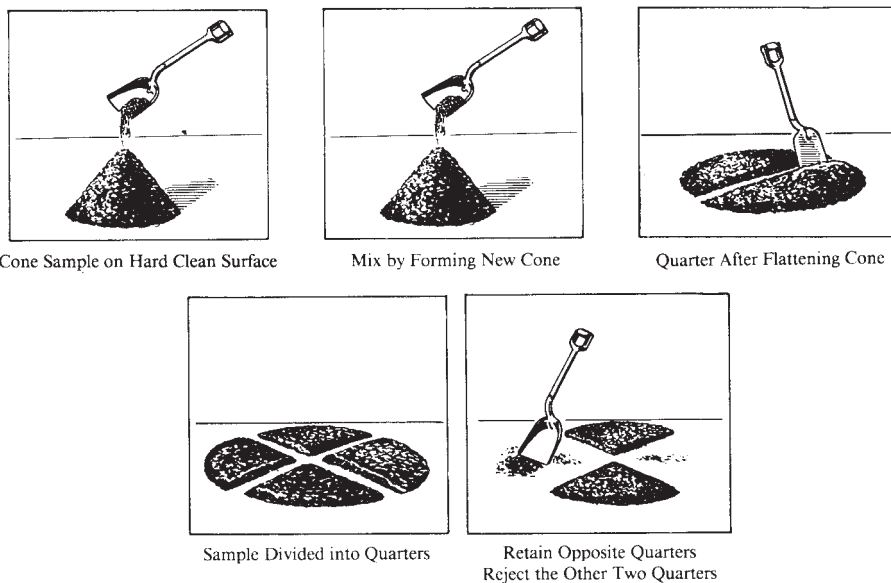


FIG. 3 Quartering on a Hard, Clean Level Surface

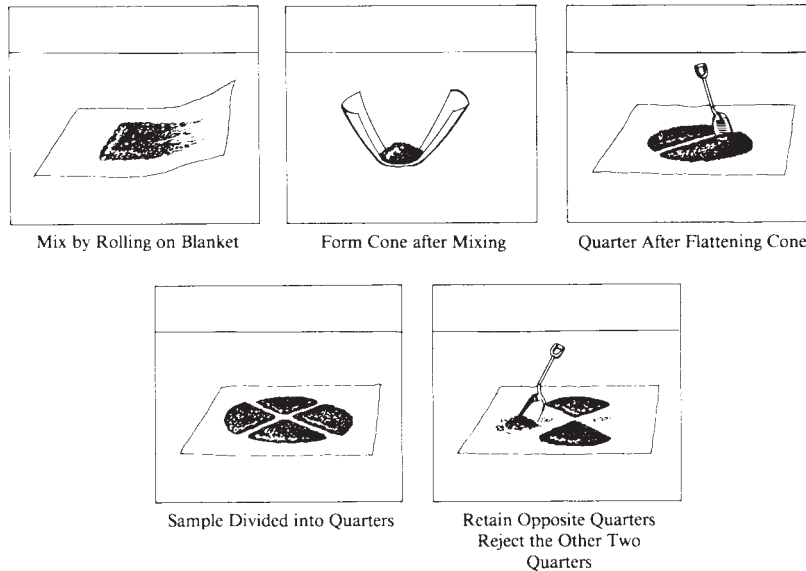


FIG. 4 Quarters on a Canvas Blanket

**METHOD C—MINIATURE STOCKPILE SAMPLING  
(DAMP FINE AGGREGATE ONLY)**

**11. Apparatus**

11.1 Apparatus shall consist of a straight-edged scoop, shovel, or trowel for mixing the aggregate, and either a small sampling thief, small scoop, or spoon for sampling.

**12. Procedure**

12.1 Place the original sample of damp fine aggregate on a hard clean, level surface where there will be neither loss of material nor the accidental addition of foreign material. Mix the material thoroughly by turning the entire sample over three times. With the last turning, shovel the entire sample into a

conical pile by depositing each shovelful on top of the preceding one. If desired, flatten the conical pile to a uniform thickness and diameter by pressing down the apex with a shovel so that each quarter sector of the resulting pile will contain the material originally in it. Obtain a sample for each test by selecting at least five increments of material at random locations from the miniature stockpile, using any of the sampling devices described in 11.1.

**13. Keywords**

13.1 aggregate; aggregate—coarse; aggregate—fine; field testing—aggregate; sampling—aggregates; sample reduction; specimen preparation

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).*



# Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 5; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

## 1. Scope

1.1 This test method covers determination of the penetration of semi-solid and solid bituminous materials.

1.2 The needles, containers and other conditions described in this test method provide for the determinations of penetrations up to 500.

1.3 The values stated in SI units are to be considered standard.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

## 2. Referenced Documents

### 2.1 ASTM Standards:

C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials<sup>2</sup>

D 36 Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring-and-Ball Apparatus)<sup>3</sup>

E 1 Specification for ASTM Thermometers<sup>4</sup>

E 77 Test Method for Inspection and Verification of Liquid-in-Glass Thermometers<sup>4</sup>

### 2.2 ANSI Standard:

B46.1 Surface Texture<sup>5</sup>

### 2.3 ISO Standard:

ISO Standard 468 Surface Roughness—Parameters, Their Values and General Rules for Specifying Requirements<sup>5</sup>

## 3. Terminology

### 3.1 Definitions:

3.1.1 *penetration, n*—consistency of a bituminous material expressed as the distance in tenths of a millimeter that a standard needle vertically penetrates a sample of the material under known conditions of loading, time, and temperature.

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-4 on Road and Paving Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D04.44 on Rheological Tests.

Current edition approved Nov. 10, 1997. Published February 1998. Originally published as D 5 – 59 T. Last previous edition D 5 – 95.

<sup>2</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02.

<sup>3</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.04.

<sup>4</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.03.

<sup>5</sup> Available from American National Standards Institute, 11 W. 42nd St., 13th Floor, New York, NY 10036.

TABLE 1 Precision Criteria

Material	Standard Deviation or Coefficient of Variation (Is) or (Is %)	Acceptable Range of Two Test Results (d2s) or (d2s %)
Single-operator precision:		
Asphalts at 77°F (25°C) below 50 penetration, units	0.35	1
Asphalts at 77°F (25°C) 60 penetration and above, percent of their mean	1.4	4
Tar pitches at 77°F (25°C) <sup>A</sup> percent of their mean	5.2	15
Multilaboratory precision:		
Asphalts at 77°F (25°C) below 50 penetration, units	1.4	4
Asphalts at 77°F (25°C) 60 penetration and above, percent of their mean	3.8	11
Tar pitches at 77°F (25°C) <sup>A</sup> units	1.4	4

<sup>A</sup>Estimates of precision for tar pitches are based on results from 2 pitches with penetration of 7 and 24. Estimates may not be applicable to appreciably harder or softer materials.

## 4. Summary of Test Method

4.1 The sample is melted and cooled under controlled conditions. The penetration is measured with a penetrometer by means of which a standard needle is applied to the sample under specific conditions.

## 5. Significance and Use

5.1 The penetration test is used as a measure of consistency. Higher values of penetration indicate softer consistency.

## 6. Apparatus

6.1 *Penetration Apparatus*—Any apparatus that permits the needle holder (spindle) to move vertically without measurable friction and is capable of indicating the depth of penetration to the nearest 0.1 mm, will be acceptable. The weight of the spindle shall be  $47.5 \pm 0.05$  g. The total weight of the needle and spindle assembly shall be  $50.0 \pm 0.05$  g. Weights of  $50 \pm 0.05$  g and  $100 \pm 0.05$  g shall also be provided for total loads of 100 g and 200 g, as required for some conditions of the test. The surface on which the sample container rests shall be flat and the axis of the plunger shall be at approximately 90° to this surface. The spindle shall be easily detached for checking its weight.

### 6.2 Penetration Needle:

6.2.1 The needle (see Fig. 1) shall be made from fully hardened and tempered stainless steel, Grade 440-C or equal,

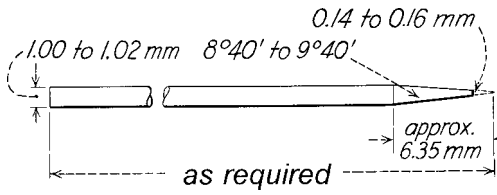


FIG. 1 Needle for Penetration Test

HRC 54 to 60. The standard needle shall be approximately 50 mm (2 in.) in length, the long needle approximately 60 mm (2.4 in.).<sup>6</sup> The diameter of all needles shall be 1.00 to 1.02 mm (0.0394 to 0.0402 in.). It shall be symmetrically tapered at one end by grinding to a cone having an angle between 8.7 and 9.7° over the entire cone length. The cone should be coaxial with the straight body of the needle. The total axial variation of the intersection between the conical and straight surfaces shall not be in excess of 0.2 mm (0.008 in.). The truncated tip of the cone shall be within the diameter limits of 0.14 and 0.16 mm (0.0055 and 0.0063 in.) and square to the needle axis within 2°. The entire edge of the truncated surface at the tip shall be sharp and free of burrs. When the surface texture is measured in accordance with American National Standard B 46.1 or ISO 468 the surface roughness height, Ra, of the tapered cone shall be 0.2 to 0.3 μm (8 to 12 μin.) arithmetic average. The surface roughness height, Ra, of the needle shank shall be 0.025 to 0.125 μm (1 to 5 μin.). The needle shall be mounted in a non-corroding metal ferrule. The ferrule shall be 3.2 ± 0.05 mm (0.126 ± 0.002 in.) in diameter and 38 ± 1 mm (1.50 ± 0.04 in.) in length. The exposed length of the standard needle shall be within the limits of 40 to 45 mm (1.57 to 1.77 in.), and the exposed length of the long needle shall be 50 to 55 mm (1.97 to 2.19 in.). The needle shall be rigidly mounted in the ferrule. The run-out (total-indicator reading) of the needle tip and any portion of the needle relative to the ferrule axis shall not exceed 1 mm (0.04 in.). The weight of the ferrule needle assembly shall be 2.50 ± 0.05 g. (A drill hole at the end of the ferrule or a flat on the side is permissible to control the weight.) Individual identification markings shall be placed on the ferrule of each needle; the same markings shall not be repeated by a manufacturer within a 3-year period.

6.2.2 Needles used in testing materials for conformance to specifications shall be shown to have met the requirements of 6.2.1 when tested by a qualified agency.

6.3 *Sample Container*<sup>7</sup>—A metal or glass cylindrical, flat-bottom container of essentially the following dimensions shall be used:

For penetrations below 200:	
Diameter, mm	55
Internal depth, mm	35
For penetrations between 200 and 350:	
Diameter, mm	55
Internal depth, mm	70

6.4 *Water Bath*—A bath having a capacity of at least 10 L and capable of maintaining a temperature of 25 ± 0.1°C or any

other temperature of test within 0.1°C. The bath shall have a perforated shelf supported in a position not less than 50 mm from the bottom and not less than 100 mm below the liquid level in the bath. If penetration tests are to be made in the bath itself, an additional shelf strong enough to support the penetrometer shall be provided. Brine may be used in the bath for determinations at low temperatures.

NOTE 1—The use of distilled water is recommended for the bath. Take care to avoid contamination of the bath water by surface active agents, release agents, or other chemicals; as their presence may affect the penetration values obtained.

6.5 *Transfer Dish*—When used, the transfer dish shall have a capacity of at least 350 mL and of sufficient depth of water to cover the large sample container. It shall be provided with some means for obtaining a firm bearing and preventing rocking of the container. A three-legged stand with three-point contact for the sample container is a convenient way of ensuring this.

6.6 *Timing Device*—For hand-operated-penetrometers any convenient timing device such as an electric timer, a stop watch, or other spring activated device may be used provided it is graduated in 0.1 s or less and is accurate to within ±0.1 s for a 60-s interval. An audible seconds counter adjusted to provide 1 beat each 0.5 s may also be used. The time for a 11-count interval must be 5 ± 0.1 s. Any automatic timing device attached to a penetrometer must be accurately calibrated to provide the desired test interval within ±0.1 s.

6.7 *Thermometers*—Calibrated liquid-in-glass thermometers of suitable range with subdivisions and maximum scale error of 0.1°C (0.2°F) or any other thermometric device of equal accuracy, precision and sensitivity shall be used. Thermometers shall conform to the requirements of Specification E 1.

6.7.1 Suitable thermometers commonly used are:

ASTM Number	Range
17C or 17F	19 to 27°C (66 to 80°F)
63C or 63F	-8 to +32°C (18 to 89°F)
64C or 64F	25 to 55°C (77 to 131°F)

6.7.2 The thermometer used for the water bath shall periodically be calibrated in accordance with Test Method E 77.

## 7. Preparation of Test Specimen

7.1 Heat the sample with care, stirring when possible to prevent local overheating, until it has become sufficiently fluid to pour. In no case should the temperature be raised to more than 60°C above the expected softening point for tar pitch in accordance with Test Method D 36, or to more than 90°C above it for petroleum asphalt (bitumen). Do not heat samples for more than 30 min. Avoid incorporating bubbles into the sample.

7.2 Pour the sample into the sample container to a depth such that, when cooled to the temperature of test, the depth of the sample is at least 10 mm greater than the depth to which the needle is expected to penetrate. Pour two separate portions for each variation in test conditions.

7.3 Loosely cover each container as a protection against dust (a convenient way of doing this is by covering with a lipped beaker) and allow to cool in air at a temperature between 15 and 30°C for 1 to 1.5 h for the small container and 1.5 to 2

<sup>6</sup> Long needles are available from Stanhope-Seta, Park Close, Englefield Green, Egham, Surrey, U.K. TW20 OXD.

<sup>7</sup> Sample Containers are available from Ellisco Inc., 6301 Eastern Ave., Baltimore MD, 21224 and Freund Can Co., 155 West 84th St., Chicago IL, 60620-1298.

h for the taller. Then place the two samples together with the transfer dish, if used, in the water bath maintained at the prescribed temperature of test. Allow the smaller container to remain for 1 to 1.5 h and the taller (6 oz) container to remain for 1.5 to 2 h.

## 8. Test Conditions

8.1 Where the conditions of test are not specifically mentioned, the temperature, load, and time are understood to be 25°C (77°F), 100 g, and 5 s, respectively. Other conditions may be used for special testing, such as the following:

Temperature, °C (°F)	Load, g	Time, s
0 (32)	200	60
4 (39.2)	200	60
45 (113)	50	5
46.1 (115)	50	5

In such cases the specific conditions of test shall be reported.

## 9. Procedure

9.1 Examine the needle holder and guide to establish the absence of water and other extraneous materials. If the penetration is expected to exceed 350 use a long needle, otherwise use a short needle. Clean a penetration needle with toluene or other suitable solvent, dry with a clean cloth, and insert the needle into the penetrometer. Unless otherwise specified place the 50-g weight above the needle, making the total weight 100 ± 0.1 g.

9.2 If tests are to be made with the penetrometer in the bath, place the sample container directly on the submerged stand of the penetrometer (Note 2). Keep the sample container completely covered with water in the bath. If the tests are to be made with the penetrometer outside the bath, place the sample container in the transfer dish, cover the container completely with water from the constant temperature bath and place the transfer dish on the stand of the penetrometer.

NOTE 2—For referee tests, penetrations at temperatures other than 25°C (77°F) should be made without removing the sample from the bath.

9.3 Position the needle by slowly lowering it until its tip just makes contact with the surface of the sample. This is accomplished by bringing the actual needle tip into contact with its image reflected on the surface of the sample from a properly placed source of light (Note 3). Either note the reading of the penetrometer dial or bring the pointer to zero. Quickly release the needle holder for the specified period of time and adjust the instrument to measure the distance penetrated in tenths of a millimetre. If the container moves, ignore the result.

NOTE 3—The positioning of the needle can be materially aided by using an illuminated poly-methyl methacrylate tube.

9.4 Make at least three determinations at points on the surface of the sample not less than 10 mm from the side of the container and not less than 10 mm apart. If the transfer dish is used, return the sample and transfer dish to the constant temperature bath between determinations. Use a clean needle for each determination. If the penetration is greater than 200, use at least three needles leaving them in the sample until the three determinations have been completed.

## 10. Report

10.1 Report to nearest whole unit the average of three penetrations whose values do not differ by more than the following:

	0 to	50 to	150 to	250 to
Penetration	49	149	249	500
Maximum difference between highest and lowest penetration	2	4	12	20

## 11. Precision and Bias

11.1 Use the following criteria for judging the acceptability of penetration results for asphalt at 25°C. The precision at other temperatures is being determined.

11.1.1 *Single Operator Precision*—The single operator coefficient of variation has been found to be 1.4 % for penetrations above 60, and the single operator standard deviation has been found to be 0.35 % for penetrations below 50. Therefore, the results of two properly conducted tests by the same operator on the same material of any penetration, using the same equipment, should not differ from each other by more than 4 % of their mean, or 1 unit, whichever is larger.

11.1.2 *Multilaboratory Precision*—The multilaboratory coefficient of variation has been found to be 3.8 % for penetrations above 60, and the multilaboratory standard deviation has been found to be 1.4 for penetrations below 50. Therefore, the results of two properly conducted tests on the same material of any penetration, in two different laboratories, should not differ from each other by more than 11 % of their mean, or 4 units, whichever is larger.

NOTE 4—These values represent, respectively, the d1s (or d1s %) and d2s (or d2s %) limits as described in Practice C 670.

11.1.3 *Bias*—This test method has no bias because the values determined are defined only in terms of the test method.

## 12. Keywords

12.1 asphalt; bitumen; penetration

*The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.*

*This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (<http://www.astm.org>).*





# Standard Practice for Sampling Aggregates<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 75; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

## 1. Scope

1.1 This practice covers sampling of coarse and fine aggregates for the following purposes:

- 1.1.1 Preliminary investigation of the potential source of supply,
- 1.1.2 Control of the product at the source of supply,
- 1.1.3 Control of the operations at the site of use, and
- 1.1.4 Acceptance or rejection of the materials.

NOTE 1—Sampling plans and acceptance and control tests vary with the type of construction in which the material is used. Attention is directed to Practices E 105 and D 3665.

1.2 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

## 2. Referenced Documents

### 2.1 ASTM Standards:

- C 125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates<sup>2</sup>
- C 702 Practice for Reducing Field Samples of Aggregate to Testing Size<sup>2</sup>
- D 8 Terminology Relating to Materials for Roads and Pavements<sup>3</sup>
- D 2234/D 2234M Test Method for Collection of a Gross Sample of Coal<sup>4</sup>
- D 3665 Practice for Random Sampling of Construction Materials<sup>3</sup>
- E 105 Practice for Probability Sampling of Materials<sup>5</sup>
- E 122 Practice for Calculating Sample Size to Estimate, With a Specified Tolerable Error, the Average Quality of a Lot or Process<sup>5</sup>

<sup>1</sup> This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee D04 on Road and Paving Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D04.30 on Methods of Sampling.

Current edition approved July 10, 2003. Published September 2003. Originally approved in 1920. Last previous edition approved in 1997 as D 75 – 97.

<sup>2</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02.

<sup>3</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.03.

<sup>4</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 05.05.

<sup>5</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

E 141 Practice for Acceptance of Evidence Based on the Results of Probability Sampling<sup>5</sup>

## 3. Terminology

### 3.1 Definitions:

3.1.1 *maximum size of aggregate,  $n$ —in specifications for, or descriptions of aggregate*—the smallest sieve opening through which the entire amount of aggregate is required to pass. **C 125, D 8**

3.1.2 *maximum aggregate size, (Superpave)  $n$ —in specifications for, or descriptions of aggregate*—one size larger than the nominal maximum aggregate size.

3.1.3 *nominal maximum aggregate size (of aggregate),  $n$ —in specifications for, or descriptions of aggregate*—the smallest sieve opening through which the entire amount of the aggregate is permitted to pass. **C 125, D 8**

3.1.4 *nominal maximum aggregate size (Superpave),  $n$ —in specifications for, or descriptions of aggregate*—one size larger than the first sieve that retains more than 10 % aggregate.

3.1.4.1 *Discussion*—These definitions in 3.1.2 and 3.1.4 apply to hot mix asphalt (HMA) mixtures designed using the Superpave system only, and differ from the definitions published in D 8

3.1.4.2 *Discussion*—Specifications on aggregates usually stipulate a sieve opening through which all of the aggregate may, but not need to, pass so that a slated maximum portion of the aggregate may be retained on that sieve. A sieve opening so designed is the *nominal maximum size*.

## 4. Significance and Use

4.1 Sampling is equally as important as the testing, and the sampler shall use every precaution to obtain samples that will show the nature and condition of the materials which they represent.

4.2 Samples for preliminary investigation tests are obtained by the party responsible for development of the potential source (Note 2). Samples of materials for control of the production at the source or control of the work at the site of use are obtained by the manufacturer, contractor, or other parties responsible for accomplishing the work. Samples for tests to be used in acceptance or rejection decisions by the purchaser are obtained by the purchaser or his authorized representative.

NOTE 2—The preliminary investigation and sampling of potential aggregate sources and types occupies a very important place in determining the availability and suitability of the largest single constituent entering into the construction. It influences the type of construction from the standpoint of economics and governs the necessary material control to ensure durability of the resulting structure, from the aggregate standpoint. This investigation should be done only by a responsible trained and experienced person. For more comprehensive guidance, see the Appendix.

## 5. Securing Samples

5.1 *General*—Where practicable, samples to be tested for quality shall be obtained from the finished product. Samples from the finished product to be tested for abrasion loss shall not be subject to further crushing or manual reduction in particle size in preparation for the abrasion test unless the size of the finished product is such that it requires further reduction for testing purposes.

5.2 *Inspection*—The material shall be inspected to determine discernible variations. The seller shall provide suitable equipment needed for proper inspection and sampling.

### 5.3 Procedure:

5.3.1 *Sampling from a Flowing Aggregate Stream (Bins or Belt Discharge)*—Select units to be sampled by a random method, such as Practice D 3665, from the production. Obtain at least three approximately equal increments, selected at random from the unit being sampled, and combine to form a field sample whose mass equals or exceeds the minimum recommended in 5.4.2. Take each increment from the entire cross section of the material as it is being discharged. It is usually necessary to have a special device constructed for use at each particular plant. This device consists of a pan of sufficient size to intercept the entire cross section of the discharge stream and hold the required quantity of material without overflowing. A set of rails may be necessary to support the pan as it is passed under the discharge stream. Insofar as is possible, keep bins continuously full or nearly full to reduce segregation.

NOTE 3—Sampling the initial discharge or the final few tons from a bin or conveyor belt increases the chances of obtaining segregated material and should be avoided.

5.3.2 *Sampling from the Conveyor Belt*—Select units to be sampled by a random method, such as Practice D 3665, from the production. Obtain at least three approximately equal increments, selected at random, from the unit being sampled and combine to form a field sample whose mass equals or exceeds the minimum recommended in 5.4.2. Stop the conveyor belt while the sample increments are being obtained. Insert two templates, the shape of which conforms to the shape of the belt in the aggregate stream on the belt, and space them such that the material contained between them will yield an increment of the required weight. Carefully scoop all material between the templates into a suitable container and collect the fines on the belt with a brush and dust pan and add to the container.

5.3.3 *Sampling from Stockpiles or Transportation Units*—Avoid sampling coarse aggregate or mixed coarse and fine aggregate from stockpiles or transportation units whenever possible, particularly when the sampling is done for the purpose of determining aggregate properties that may be

dependent upon the grading of the sample. If circumstances make it necessary to obtain samples from a stockpile of coarse aggregate or a stockpile of combined coarse and fine aggregate, design a sampling plan for the specific case under consideration. This approach will allow the sampling agency to use a sampling plan that will give a confidence in results obtained therefrom that is agreed upon by all parties concerned to be acceptable for the particular situation. The sampling plan shall define the number of samples necessary to represent lots and sublots of specific sizes. General principles for sampling from stockpiles are applicable to sampling from trucks, rail cars, barges, or other transportation units. For general guidance in sampling from stockpiles, see the Appendix.

5.3.4 *Sampling from Roadway (Bases and Subbases)*—Sample units selected by a random method, such as Practice D 3665, from the construction. Obtain at least three approximately equal increments, selected at random from the unit being sampled, and combine to form a field sample whose mass equals or exceeds the minimum recommended in 5.4.2. Take all increments from the roadway for the full depth of the material, taking care to exclude any underlying material. Clearly mark the specific areas from which each increment is to be removed; a metal template placed over the area is a definite aid in securing approximately equal increment weights.

### 5.4 Number and Masses of Field Samples:

5.4.1 The number of field samples (obtained by one of the methods described in 5.3) required depends on the criticality of, and variation in, the properties to be measured. Designate each unit from which a field sample is to be obtained prior to sampling. The number of field samples from the production should be sufficient to give the desired confidence in test results.

NOTE 4—Guidance for determining the number of samples required to obtain the desired level of confidence in test results may be found in Test Method D 2234/D 2234M, Practice E 105, Practice E 122, and Practice E 141.

5.4.2 The field sample masses cited are tentative. The masses must be predicated on the type and number of tests to which the material is to be subjected and sufficient material obtained to provide for the proper execution of these tests. Standard acceptance and control tests are covered by ASTM standards and specify the portion of the field sample required for each specific test. Generally speaking, the amounts specified in Table 1 will provide adequate material for routine grading and quality analysis. Extract test portions from the field sample according to Practice C 702 or as required by other applicable test methods.

## 6. Shipping Samples

6.1 Transport aggregates in bags or other containers so constructed as to preclude loss or contamination of any part of the sample, or damage to the contents from mishandling during shipment.

6.2 Shipping containers for aggregate samples shall have suitable individual identification attached and enclosed so that field reporting, laboratory logging, and test reporting may be facilitated.

**TABLE 1 Size of Samples**

Aggregate Size <sup>A</sup>	Field Sample Mass, min, kg <sup>B</sup>
Fine Aggregate	
2.36 mm	10
4.75 mm	10
Coarse Aggregate	
9.5 mm	10
12.5 mm	15
19.0 mm	25
25.0 mm	50
37.5 mm	75
50 mm	100
63 mm	125
75 mm	150
90 mm	175

<sup>A</sup> For processed aggregates, use the nominal maximum size as indicated by the appropriate specification or description. If the specification or description does not indicate a nominal maximum size (for example, a sieve size indicating 90-100% passing), use the maximum size (that sieve indicating 100% passing).

<sup>B</sup> For combined coarse and fine aggregates (for example, base or subbase aggregate), the minimum weight shall be coarse aggregate minimum mass plus 10 kg.

## 7. Keywords

7.1 aggregates; exploration of potential sources; aggregates; number and sizes needed to estimate character; aggregates; sampling

## APPENDIXES

### (Nonmandatory Information)

#### X1. SAMPLING AGGREGATE FROM STOCKPILES OR TRANSPORTATION UNITS

##### X1.1 Scope

X1.1.1 In some situations it is mandatory to sample aggregates that have been stored in stockpiles or loaded into rail cars, barges, or trucks. In such cases the procedure should ensure that segregation does not introduce a serious bias in the results.

##### X1.2 Sampling from Stockpiles

X1.2.1 In sampling material from stockpiles it is very difficult to ensure unbiased samples, due to the segregation which often occurs when material is stockpiled, with coarser particles rolling to the outside base of the pile. For coarse or mixed coarse and fine aggregate, every effort should be made to enlist the services of power equipment to develop a separate, small sampling pile composed of materials drawn from various levels and locations in the main pile after which several increments may be combined to compose the field sample. If necessary to indicate the degree of variability existing within the main pile, separate samples should be drawn from separate areas of the pile.

X1.2.2 Where power equipment is not available, samples from stockpiles should be made up of at least three increments taken from the top third, at the mid-point, and at the bottom third of the volume of the pile. A board shoved vertically into the pile just above the sampling point aids in preventing further segregation. In sampling stockpiles of fine aggregate the outer

layer, which may have become segregated, should be removed and the sample taken from the material beneath. Sampling tubes approximately 30-mm min by 2-m min in length may be inserted into the pile at random locations to extract a minimum of five increments of material to form the sample.

##### X1.3 Sampling from Transportation Units

X1.3.1 In sampling coarse aggregates from railroad cars or barges, effort should be made to enlist the services of power equipment capable of exposing the material at various levels and random locations. Where power equipment is not available, a common procedure requires excavation of three or more trenches across the unit at points that will, from visual appearance, give a reasonable estimate of the characteristics of the load. The trench bottom should be approximately level, at least 0.3 m in width and in depth below the surface. A minimum of three increments from approximately equally spaced points along each trench should be taken by pushing a shovel downward into the material. Coarse aggregate in trucks should be sampled in essentially the same manner as for rail cars or barges, except for adjusting the number of increments according to the size of the truck. For fine aggregate in transportation units, sampling tubes as described in X1.2 may be used to extract an appropriate number of increments to form the sample.

## X2. EXPLORATION OF POTENTIAL AGGREGATE SOURCES

### X2.1 Scope

X2.1.1 Sampling for evaluation of potential aggregate sources should be performed by a responsible trained and experienced person. Because of the wide variety of conditions under which sampling may have to be done it is not possible to describe detailed procedures applicable to all circumstances. This appendix is intended to provide general guidance and list more comprehensive references.

### X2.2 Sampling Stone from Quarries or Ledges

X2.2.1 *Inspection*—The ledge or quarry face should be inspected to determine discernible variations or strata. Differences in color and structure should be recorded.

X2.2.2 *Sampling and Size of Sample*—Separate samples having a mass of at least 25 kg should be obtained from each discernible stratum. The sample should not include material weathered to such an extent that it is no longer suitable for the purpose intended. One or more pieces in each sample should be at least 150 by 150 by 100 mm in size with the bedding plane plainly marked, and this piece should be free of seams or fractures.

X2.2.3 *Record*—In addition to the general information accompanying all samples the following information should accompany samples taken from ledges or quarry faces:

X2.2.3.1 Approximate quantity available. (If quantity is very large this may be recorded as practically unlimited.)

X2.2.3.2 Quantity and character of overburden.

X2.2.3.3 A detailed record showing boundaries and location of material represented by each sample.

NOTE X2.1—A sketch, plan, and elevation, showing the thickness and location of the different layers is recommended for this purpose.

### X2.3 Sampling Roadside or Bank Run Sand and Gravel Deposits

X2.3.1 *Inspection*—Potential sources of bank run sand and gravel may include previously worked pits from which there is an exposed face or potential deposits discovered through

air-photo interpretation, geophysical exploration, or other types of terrain investigation.

X2.3.2 *Sampling*—Samples should be so chosen from each different stratum in the deposit discernible to the sampler. An estimate of the quantity of the different materials should be made. If the deposit is worked as an open-face bank or pit, samples should be taken by channeling the face vertically, bottom to top, so as to represent the materials proposed for use. Overburdened or disturbed material should not be included in the sample. Test holes should be excavated or drilled at numerous locations in the deposit to determine the quality of the material and the extent of the deposit beyond the exposed face, if any. The number and depth of test holes will depend upon the quantity of the material needed, topography of the area, nature of the deposit, character of the material, and potential value of the material in the deposit. If visual inspection indicates that there is considerable variation in the material, individual samples should be selected from the material in each well defined stratum. Each sample should be thoroughly mixed and quartered if necessary so that the field sample thus obtained will be at least 12 kg for sand and 35 kg if the deposit contains an appreciable amount of coarse aggregate.

X2.3.3 *Record*—In addition to the general information accompanying all samples the following information should accompany samples of bank run sand and gravel:

X2.3.3.1 Location of supply.

X2.3.3.2 Estimate of approximate quantity available.

X2.3.3.3 Quantity and character of overburden.

X2.3.3.4 Length of haul to proposed site of work.

X2.3.3.5 Character of haul (kind of road, maximum grades, and so forth)

X2.3.3.6 Details as to extent and location of material represented by each sample.

NOTE X2.2—A sketch of plans and elevations, showing the thickness and location of different layers, is recommended for this purpose.

## X3. NUMBER AND SIZE OF INCREMENTS NEEDED TO ESTIMATE CHARACTER OF UNIT SAMPLED

### X3.1 Scope

X3.1.1 This appendix presents the rationale used by the responsible committee in the development of this practice.

### X3.2 Descriptions of Terms Specific to This Standard

X3.2.1 *field sample*—a quantity of the material to be tested of sufficient size to provide an acceptable estimate of the average quality of a unit.

X3.2.2 *lot*—a sizable isolated quantity of bulk material from a single source, assumed to have been produced by the same process (for example, a day's production or a specific mass or volume).

X3.2.3 *test portion*—a quantity of the material of sufficient size extracted from the larger field sample by a procedure

designed to ensure accurate representation of the field sample, and thus of the unit sampled.

X3.2.4 *unit*—a batch or finite subdivision of a lot of bulk material (for example, a truck load or a specific area covered).

### X3.3 Test Unit, Size, and Variability

X3.3.1 The unit to be represented by a single field sample should neither be so large as to mask the effects of significant variability within the unit nor be so small as to be affected by the inherent variability between small portions of any bulk material.

X3.3.2 A unit of bulk material composed of graded aggregate or aggregate mixtures might consist of a full truckload. If it were possible, the entire load might be tested; as a practical

matter, a field sample is composed of three or more increments chosen at random from the material as it is loaded or unloaded from the truck. Research has shown that such a procedure permits an acceptable estimate to be made of the average gradation that might be measured from 15 or 20 increments from the truck.

X3.3.3 Significant variability with a lot of material, where it might exist, should be indicated by statistical measures, such as the standard deviation between units selected at random from within the lot.

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or [service@astm.org](mailto:service@astm.org) (e-mail); or through the ASTM website ([www.astm.org](http://www.astm.org)).*



# Standard Test Method for Ductility of Bituminous Materials<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 113; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

## 1. Scope

1.1 The ductility of a bituminous material is measured by the distance to which it will elongate before breaking when two ends of a briquet specimen of the material, of the form described in Section 4, are pulled apart at a specified speed and at a specified temperature. Unless otherwise specified, the test shall be made at a temperature of  $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$  and with a speed of  $5 \text{ cm/min} \pm 5.0\%$ . At other temperatures the speed should be specified.

1.2 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

## 2. Referenced Documents

### 2.1 ASTM Standards:

C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials<sup>2</sup>

D 5 Test Method for Penetration of Bituminous Materials<sup>3</sup>

D 1754 Test Method for Effects of Heat and Air on Asphaltic Materials (Thin-Film Oven Test)<sup>3</sup>

D 2872 Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test)<sup>3</sup>

E 1 Specification for ASTM Thermometers<sup>4</sup>

E 11 Specification for Wire-Cloth Sieves for Testing Purposes<sup>5</sup>

## 3. Significance and Use

3.1 This test method provides one measure of tensile properties of bituminous materials and may be used to measure ductility for specification requirements.

## 4. Apparatus

4.1 *Mold*—The mold shall be similar in design to that shown in Fig. 1. The mold shall be made of brass, the ends  $b$  and  $b'$  being known as clips, and the parts  $a$  and  $a'$  as sides of the mold. The dimensions of the assembled mold shall be as shown in Fig. 1 with the permissible variations indicated.

4.2 *Water Bath*—The water bath shall be maintained at the specified test temperature, varying not more than  $0.18^\circ\text{F}$  ( $0.1^\circ\text{C}$ ) from this temperature. The volume of water shall be not less than 10 L, and the specimen shall be immersed to a depth of not less than 10 cm and shall be supported on a perforated shelf not less than 5 cm from the bottom of the bath.

4.3 *Testing Machine*—For pulling the briquet of bituminous material apart, any apparatus may be used which is so constructed that the specimen will be continuously immersed in water as specified in 5.3, while the two clips are pulled apart at a uniform speed, as specified, without undue vibration.

4.4 *Thermometer*—A thermometer having a range as shown below and conforming to the requirements prescribed in Specification E 1 (Note 1).

Temperature Range	ASTM Thermometer No.
–8 to $32^\circ\text{C}$	63C

NOTE 1—In those cases where the ductility specimens are aged in the standard penetration bath at  $25^\circ\text{C}$ , the thermometer as prescribed for Test Method D 5 may be substituted in place of the above.

## 5. Procedure

5.1 Assemble the mold on a brass plate. Thoroughly coat the surface of the plate and interior surfaces of the sides  $a$  and  $a'$ , Fig. 1, of the mold with a thin layer of a mixture of glycerin and dextrin, talc, or kaolin (china clay) to prevent the material under test from sticking. The plate upon which the mold is placed shall be perfectly flat and level so that the bottom surface of the mold will be in contact throughout. Carefully heat the sample to prevent local overheating until it has become sufficiently fluid to pour. Strain the melted sample through a  $300\text{-}\mu\text{m}$  sieve conforming to Specification E 11. After a thorough stirring, pour it into the mold. In filling the mold, take care not to disarrange the parts and thus distort the briquet. In filling, pour the material in a thin stream back and forth from end to end of the mold until the mold is more than level full. Let the mold containing the material cool to room temperature

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-4 on Road and Paving Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D04.44 on Rheological Tests.

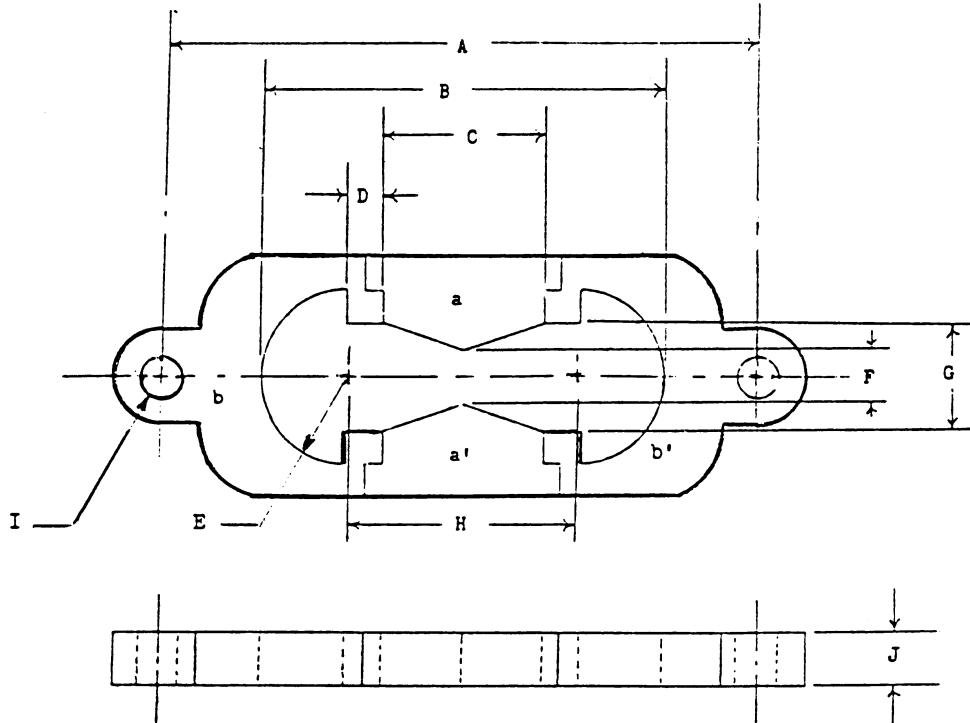
Current edition approved Jan. 10, 1999. Published May 1999. Originally published as D 113 – 21 T. Last previous edition D 113 – 86(1992).

<sup>2</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02.

<sup>3</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.03.

<sup>4</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.03.

<sup>5</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.



- A—Distance between centers, 111.5 to 113.5 mm.
- B—Total length of briquet, 74.5 to 75.5 mm.
- C—Distance between clips, 29.7 to 30.3 mm.
- D—Shoulder, 6.8 to 7.2 mm.
- E—Radius, 15.75 to 16.25 mm.
- F—Width at minimum cross section, 9.9 to 10.1 mm.
- G—Width at mouth of clip, 19.8 to 20.2 mm.
- H—Distance between centers of radii, 42.9 to 43.1 mm.
- I—Hole diameter, 6.5 to 6.7 mm.
- J—Thickness, 9.9 to 10.1 mm.

FIG. 1 Mold for Ductility Test Specimen

for a period of from 30 to 40 min and then place it in the water bath maintained at the specified temperature of test for 30 min; then cut off the excess bitumen with a hot straightedged putty knife or spatula to make the mold just level full.

5.2 *Keeping Specimen at Standard Temperature*—Place the brass plate and mold, with briquet specimen, in the water bath and keep at the specified temperature for a period of from 85 to 95 min. Then remove the briquet from the plate, detach the side pieces, and immediately test the briquet.

5.3 *Testing*—Attach the rings at each end of the clips to the pins or hooks in the testing machine and pull the two clips apart at a uniform speed as specified until the briquet ruptures. A variation of  $\pm 5\%$  from the speed specified will be permissible. Measure the distance in centimetres through which the clips have been pulled to produce rupture. While the test is being made, the water in the tank of the testing machine shall cover the specimen both above and below it by at least 2.5 cm and shall be kept continuously at the temperature specified within 0.5°C.

## 6. Report

6.1 A normal test is one in which the material between the two clips pulls out to a point or thread until rupture occurs at

the point where the thread has practically no cross-sectional area. Report the average of three normal tests as the ductility of the sample.

6.2 If the bituminous material comes in contact with the surface of the water or the bottom of the bath, the test shall not be considered normal. Adjust the specific gravity of the bath by the addition of either methyl alcohol or sodium chloride so that the bituminous material neither comes to the surface of the water, nor touches the bottom of the bath at any time during the test.

6.3 If a normal test is not obtainable on three tests, report the ductility as being unobtainable under the conditions of the test.

## 7. Precision

7.1 Criteria for judging the acceptability of ductility test results at 25°C obtained by this test method are shown in Fig. 2.

NOTE 2—The precision statement for ductility, as presented in Fig. 2, is based on tests performed on asphalt cements. The precision of tests on residues, such as those obtained by Test Methods D 1754 and D 2872, have not been established.

NOTE 3—The numbers plotted in Fig. 2 represent the (1S) and (D2S) limits for single operator precision and multilaboratory precision as

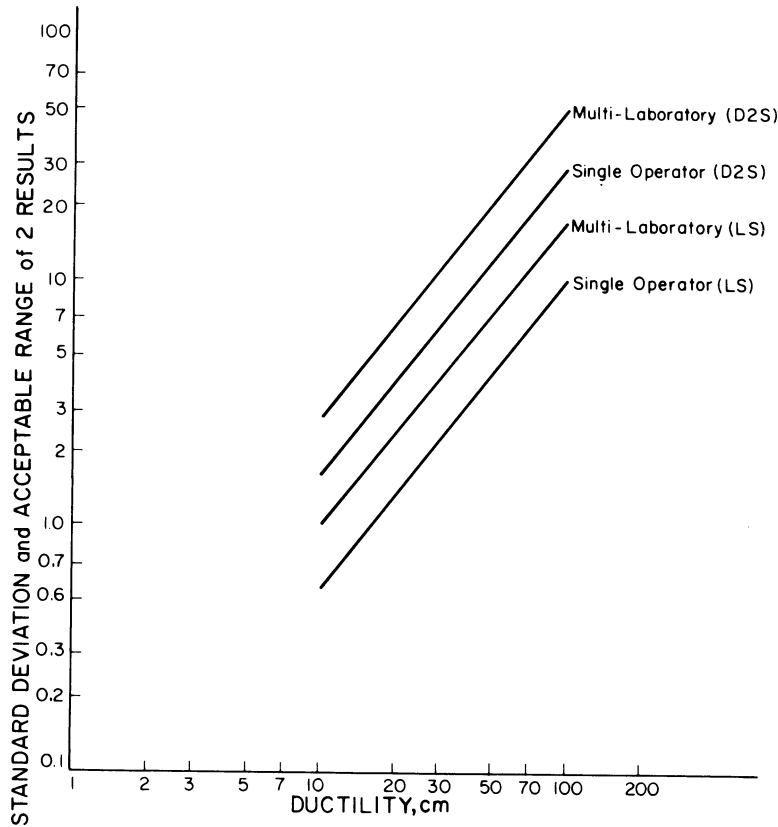


FIG. 2 Precision Data

described in Practice C 670.

NOTE 4—Insufficient data are available to properly define precision at 15.6°C. However, analysis of data resulting from tests by 13 laboratories on one asphalt for which the average ductility test result was 45 cm shows a multi-laboratory precision (D2S) of 23 cm.

## 8. Keywords

8.1 ductility; ductility mold; ductilometer

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).*





# Standard Practice for Sampling Bituminous Materials<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 140; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

## 1. Scope

1.1 This practice applies to the sampling of bituminous materials at points of manufacture, storage, or delivery.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

## 2. Referenced Documents

### 2.1 ASTM Standards:

D 346 Practice for Collection and Preparation of Coke Samples for Laboratory Analysis<sup>2</sup>

## 3. Significance and Use

3.1 Sampling is as important as testing, and precautions shall be taken to obtain samples to show the true nature and condition of the materials.

3.2 Samples are taken for either of the following two purposes:

3.2.1 To represent as nearly as possible an average of the bulk of the materials sampled, or

3.2.2 To ascertain the maximum variation in characteristics which the material possesses.

## 4. Precautions

4.1 Because of the numerous types and grades of bituminous materials that are alternately shipped and stored in the same or similar containers, the opportunity for contaminating these containers with residues, precipitates, or cleaning solvents is ever present. Numerous opportunities also exist for obtaining samples which are not strictly representative of the material or are contaminated after removal. Therefore it is incumbent upon the producer, transporter, user, and sampler to

exercise continuous precaution in the sampling and handling of these materials.

## 5. Selection of Samples

5.1 Whenever practicable, bituminous materials shall be sampled at the point of manufacture or storage, and at such time as to allow the tests controlling acceptance or rejection to be made in advance of shipment.

5.2 When the samples cannot be taken at the point of manufacture or storage, they shall be taken from the shipment immediately upon delivery.

## 6. Size of Samples

6.1 The sample size of liquid materials shall be as follows:

6.1.1 For routine laboratory examination, 1 L (1 qt) (emulsions 4 L (1 gal)),

6.1.2 From bulk storage, 4 L (1 gal), or

6.1.3 From barrels or drums, 1 L (1 qt).

6.2 The sample size of semisolid or solid materials shall be as follows:

6.2.1 From barrels, drums, or cakes, 1 to 2 kg (2 to 3 lb), or

6.2.2 From crushed or powdered material in bulk or bags, 1 to 2 kg (2 to 3 lb).

## 7. Containers

### 7.1 Type of Containers:

7.1.1 Containers for liquid bituminous materials, except emulsions, shall be wide-mouth cans with lined screw caps or triple-seal friction-top cans.

7.1.2 Containers for emulsified bituminous materials shall be wide-mouth jars or bottles made of plastic, or wide-mouth plastic-lined cans with lined screw caps, or plastic-lined triple-seal friction-top cans.

7.1.3 Containers for crushed or powdered bituminous materials shall be triple-seal friction-top cans or plastic sacks placed in other containers suitable for handling.

### 7.2 Size of Containers:

7.2.1 The size of the container shall correspond to the required amount of sample.

## 8. Protection and Preservation of Samples

8.1 Sample containers shall be new. They shall not be washed or rinsed, or wiped with an oily cloth. If they contain

<sup>1</sup> This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee D04 on Road and Paving Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D04.30 on Methods of Sampling.

Current edition approved June 10, 2001. Published August 2001. Originally published as D 140 – 22 T. Last previous edition D 140 – 00.

<sup>2</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 05.06.

evidence of solder flux, or if they are not clean and dry, they shall not be used. Top and container shall fit together tightly.

8.2 Care shall be taken to prevent the sample from becoming contaminated. Immediately after filling, the container shall be tightly and positively sealed.

8.3 The filled sample container shall not be submerged in solvent, nor shall it be wiped with a solvent saturated cloth. If cleaning is necessary use a clean dry cloth.

8.4 Samples of emulsions shall be protected from freezing by correct packaging.

NOTE 1—When sampling emulsions, care should be taken not to sample material under pressure as such resultant velocities tend to cause air entrapment which could result in erroneous test results. Any visual bubbling of the material is one indication air has been entrapped. In addition, the sampling container should be completely filled to minimize a skin formation at the air-emulsion interface.

8.5 Samples shall not be transferred from one container to another except where required by the sampling procedure.

8.6 Immediately after filling, sealing, and cleaning, the sampling containers shall be properly marked for identification with a suitable marking pencil on the container itself, not on the lid. Labels or tags also may be used for identification if they can be securely fastened to the container in such a manner as to ensure that they will not be lost in transit. Labels or tags shall not be attached to containers by using the lids to secure them. All identification materials shall maintain their integrity at temperatures up to 200°C.

### 9. Sampling at Place of Manufacture

9.1 *Vertical Tanks Not Capable of Being Agitated (Liquid Materials or Materials Made Liquid by Heating)* (800 m<sup>3</sup> (5000 bbl) or more capacity)—Three sampling methods are recommended (Note 2):

9.1.1 *Sampling-Valve Method*—Valves shall be located, with easy and safe access provided, on the side of the tank with the first in the top third of the tank, but no higher than 1 m (3 ft) from the top; the second in the middle third of the tank; and the third in the bottom third of the tank, but no lower than 1.1 m (3 ft) from the bottom. A recommended design of the sampling valve is shown in Fig. 1.

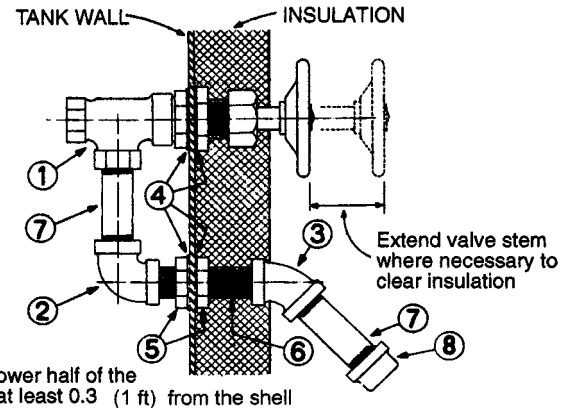
9.1.1.1 A minimum of 4 L (1 gal) of the product shall be drawn from each sample valve and discarded before taking the sample for test, and

9.1.1.2 One to 4 L (1 qt to 1 gal) shall be drawn from each sample valve for test.

9.1.2 *Thief Sampler Method* (not suitable for asphalt cements)—Samples shall be taken in the top, middle, and lower sections at levels indicated in 9.1.1, of the tank by lowering a thief sampler into the material. A satisfactory type with instructions for use is shown in Fig. 2.

NOTE 2—Most bituminous materials in the liquid state are of such viscous and adhesive character that, after normal emptying of a container by pouring, the container retains enough material to cause significant contamination of any second samples secured before the container was thoroughly cleaned. The aforementioned properties of bituminous materials also make container cleaning a difficult, tedious, and time-consuming task.

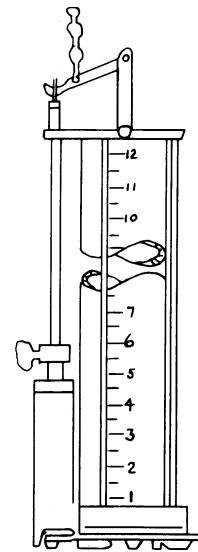
NOTE 3—The thief sampler described in Fig. 2 may be used for repetitive sampling because significant sample contamination by previous contents is avoided by the self-cleaning action provided by the passage of



Mount in lower half of the bulkhead at least 0.3 (1 ft) from the shell

REF. NO.	DESCRIPTION	NO. REQ.
1	20 MM (3/4 IN.) 'VOGT' P-9844 STEEL ANGLE VALVE OR SIMILAR, PANEL MOUNTED	1
2	20 MM (3/4 IN.) STEEL OR MALL. IRON 1.6 RAD ELBOW	1
3	20 MM (3/4 IN.) STEEL OR MALL. IRON 0.8 RAD ELBOW	1
4	ASBESTOS GASKETS SNUG ON THREAD OR WOUND WITH YARN	4
5	20 MM (3/4 IN.) 150# SCREWED M.I. LOCKNUT	2
6	20 X 90 MM (3/4 X 3 1/2 IN.) ± PARALLEL THREADED STEEL PIPE NIPPLE (CUT FROM 20 MM (3/4 IN.) STD. TANK NIPPLE IF OTHERWISE UNOBTAINABLE)	1
7	20 X 75 MM (3/4 X 3 IN.) THREADED STEEL PIPE NIPPLE	2
8	20 MM (3/4 IN.) MALL. IRON PIPE CAP	1

FIG. 1 Typical Submerged Sampling Device



NOTE 1—This type sampler is lowered into the tank with bottom valve open (there is no top closure). When the desired depth is reached, the lowering chain is given a snap tug which closes the bottom valve. The sampler is then withdrawn from the tank and the contents transferred to the sample container. This sampler may be used for repetitive sampling in the same tank.

FIG. 2 Thief Sampler

material through the tube-shaped thief sampler which is open at both ends. The practice of raising and lowering the sampler 3 or 4 times through a distance of a metre (several feet) at the sampling depth is recommended.

9.1.3 *Throw-Away Container Method*—Samples shall be

taken at top, middle, and lower levels by lowering into the material a container in a suitable weighted holding device. The essential feature of the method is to use a clean container to take the sample, pour this sample into another clean container, and throw away the container used to take the sample from the tank. A satisfactory type with instructions on how to use the device is shown in Fig. 3.

9.1.4 The three samples from bulk storage tanks may be tested separately for consistency to detect stratification. They may be combined, thoroughly mixed, and a 1 to 4-L (1-qt to 1-gal) sample may be taken for other tests that may be required for determining average characteristics of the material.

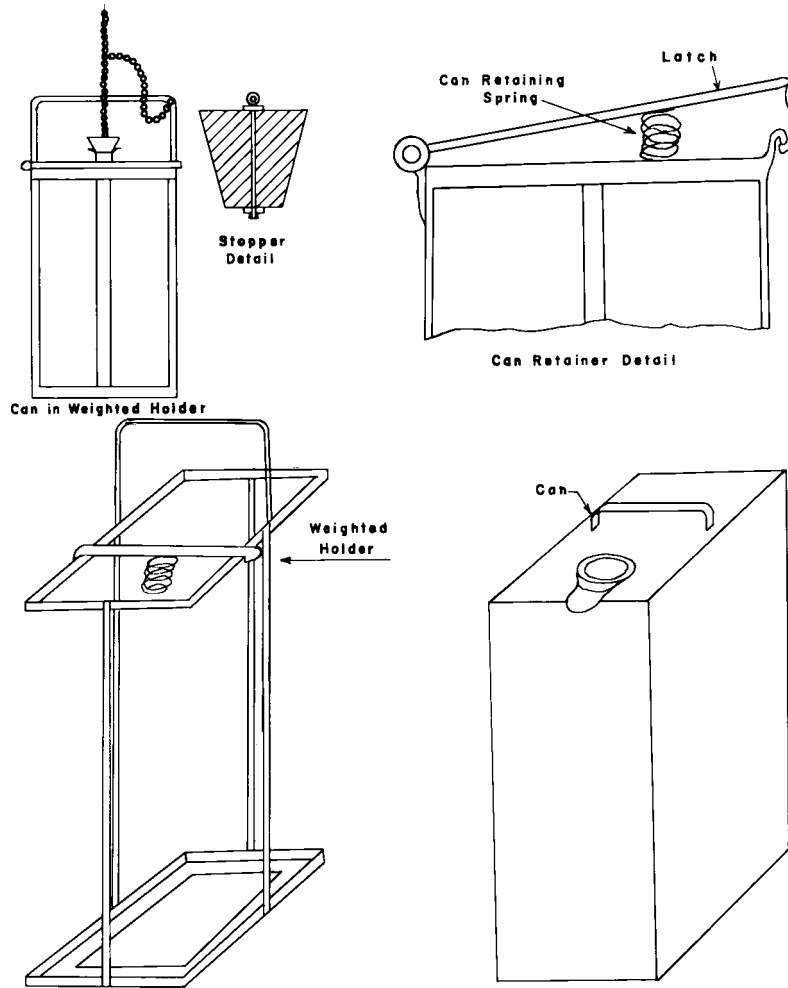
9.2 *Bulk Storage Tanks (Liquid Materials or Materials Made Liquid by Heating) Equipped with Mechanical Agitators*—When the tank is equipped with operating mechanical agitators which, by observation through the sampling or inspection hatch, are performing adequate mixing of the tank contents, a single sample taken by any of the methods described in 9.1.1, 9.1.2, or 9.1.3 will be satisfactory to use for test purposes.

**10. Sampling from Tank Cars, Vehicle Tanks, Distributor Trucks or Recirculating Storage Tanks**

10.1 The sample may be taken from the sample valve or tap if the tanks are provided with them. When such sampling devices are required, they are to be built into the tank itself. A sampling device of this type is shown in Fig. 1. Before the sample is taken, 4 L (1 gal) shall be drawn from the sample valve and discarded.

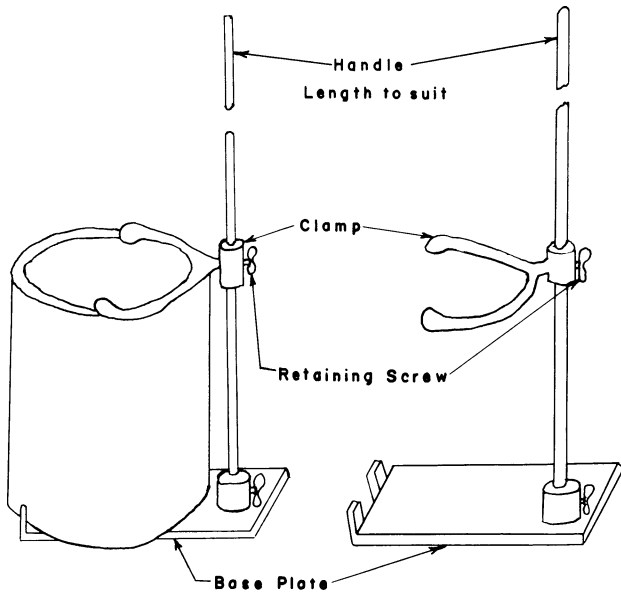
10.2 Samples of liquid materials and materials made liquid by heating may be taken by the dip method using a clean wide-mouth or friction-top can in a suitable holder as shown in Fig. 4. A clean container must be used to take each sample, and the material sampled shall then be transferred to another new and clean container for retention or testing sample.

10.3 A detachable fitting, similar in design to the one shown in Fig. 5 may be inserted in the discharge line. Before the sample is taken 4 L (1 gal) shall be drawn from this sampling valve and discarded.



NOTE 1—This type sampler is lowered into the tank with the stopper in place. When the desired depth is reached, the stopper is removed by means of the attached wire, cord, or chain and the container allowed to fill. Complete filling is indicated by the cessation of bubbles of air from the can at the surface of the liquid. The sampler is then withdrawn from the tank and the contents poured into the clean sampler container. A clean can (bottle) must be used for each sample taken.

**FIG. 3 Throw-Away Container Sampler**



NOTE 1—Sampler with can secured in place is rapidly lowered into tank to desired depth and allowed to fill with sample. The sampler is then withdrawn from the tank and the contents transferred to the sample container. A clean container *must* be used to take each sample.

FIG. 4 Dip Sampler

### 11. Sampling from Tankers and Barges

11.1 For liquid materials (including all cut-backs made liquid by heating) top, middle, and lower samples shall be taken using the methods as described in 9.1.2 and 9.1.3.

11.2 For all other materials made liquid by heating, a top sample only shall be taken by the dip, thief, or throw-away container method.

### 12. Sampling from Pipe Lines During Loading or Unloading

12.1 When tankers and barges are being loaded or unloaded samples may conveniently be taken from the pipe line through which the material is flowing by insertion of a sampling pipe into a rising section of the pipe line on the discharge side of the pump or in a completely filled line in which gravity creates the materials flow. A suitable in-line sampling pipe is shown in Fig. 5. The sampling pipe shall be not more than one eighth the diameter of the pipe line and its opening should be turned to face the flow of the liquid. This pipe shall be provided with a valve or plug cock and shall discharge into a sample receiver. At least three 4-L (1-gal) samples shall be taken at uniform intervals throughout the entire loading or unloading. At the completion of the loading or unloading, the individual 4-L samples shall be combined, thoroughly mixed without altering its characteristics, and a 4-L sample taken therefrom.

12.2 When sampling tankers and barges 4000 m<sup>3</sup> (25 000 bbl), or less, capacity, at least five 4-L (1-gal) samples shall be taken at uniform intervals throughout the entire loading or unloading (4000 m<sup>3</sup>), or larger, capacity requires at least ten 4-L samples). At completion of the loading or unloading the individual 4-L samples shall be combined, thoroughly mixed in a manner designed to not alter its characteristics, and a 4-L sample taken therefrom.

### 13. Sampling from Drums or Barrels

13.1 After thorough mixing, samples of liquid bituminous material from barrels or drums shall be secured by tube or thief sampling by taking 1 L (1 qt) of material from packages selected at random according to Section 14.

### 14. Sampling Semisolid or Uncrushed Solid Materials

14.1 *Drums, Barrels, Cartons, and Bags*—Where the lot of material to be sampled is obviously from a single run or batch of the producer, one package shall be selected at random and sampled as described below. Where the lot of material to be sampled is not obviously from a single run or batch of the producer, or where the single samples selected as described above fails on test to conform to the requirements of the specifications, a number of packages shall be selected at random equivalent to the cube root of the total number of packages in the lot. The following table is given, showing the number of samples to be selected for shipments of various sizes.

Packages in Shipment	Packages Selected
2 to 8	2
9 to 27	3
28 to 64	4
65 to 125	5
126 to 216	6
217 to 343	7
344 to 512	8
513 to 729	9
730 to 1000	10
1001 to 1331	11

Samples shall be taken from at least 75 mm (3 in.) below the surface and at least 75 mm from the side of the container. A clean hatchet may be used if the material is hard enough to shatter and a broad, stiff putty knife if the material is soft. When more than one package in a lot is sampled, each individual sample shall have a mass of not less than 0.1 kg (¼ lb) in weight. When the lot of material is obviously from a single run or batch of the producer, all samples from the lot shall be melted and thoroughly mixed, and an average 4-L (1-gal) sample taken from the combined material for examination. In case more than a single run or batch of the producer is present and the batches can be clearly differentiated, a composite 4-L sample shall be prepared for examination from each batch. Where it is not possible to differentiate between the various batches, each sample shall be examined separately.

### 15. Sampling Crushed or Powdered Materials

15.1 *Bulk Storage*—Solid bituminous materials in crushed fragments or powder shall be sampled in accordance with Practice D 346. The gross sample shall be not less than 25 kg (50 lb) from which shall be selected the 1 to 2-kg (2 to 3-lb) sample for test.

15.2 *Drums, Barrels, Bags and Cartons*—Where the crushed or powdered material is in barrels, drums, or bags, a number of packages shall be selected at random as described in Section 14. A sample at least 0.5 kg (1½ lb) in mass shall be selected from near the center of each container to yield a gross sample weighing not less than 25 kg (50 lb) from which the 1 to 2-kg (2 to 3-lb) sample for test shall be selected as prescribed in Practice D 346.



FIG. 5 In-Line Asphalt Sampling Device

## 16. Sampling at Point of Shipment Delivery

16.1 Sampling of bituminous materials shall be done as soon as practicable after the bituminous material has arrived at plant site, storage site, or job destination or at the time of unloading.

16.2 The required number of samples shall be taken from each delivery of bituminous material. In the case of small delivery units such as distributors, the samples shall be taken to represent a maximum of 40 m<sup>3</sup> (10 000 gal).

16.3 Sampling shall be done by one of the three following methods:

16.3.1 In accordance with Section 9.

16.3.2 By bleeding through a sample valve or tap in the

transfer line during the unloading of the approximate middle third of the load, or

16.3.3 By means of a sampling device inserted to a level of approximately the middle third of the load or tank.

16.4 Tests for material acceptability shall be made on one of the samples taken. The other samples are to be retained for confirmation in the event the first sample tested should fail to comply with requirements.

## 17. Keywords

17.1 bituminous materials; crushed materials; liquid asphalts; powdered materials; sampling; semisolid materials; uncrushed solid materials

*The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).*



# Standard Specification for Mineral Filler For Bituminous Paving Mixtures<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 242; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

<sup>ε1</sup> NOTE—Paragraph 1.3 was added editorially (BOCA caveat) February 2001.

## 1. Scope

1.1 This specification covers mineral filler added as a separate ingredient for use in bituminous paving mixtures.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. Inch-pound units, shown in parentheses, are for information only.

1.3 The text of this standard references notes and footnotes which provide explanatory material. These notes and footnotes (excluding those in tables and figures) shall not be considered as requirements of the standard.

## 2. Referenced Documents

### 2.1 ASTM Standards:

- C 50 Practice for Sampling, Inspection, Packing, and Marking of Lime and Limestone Products<sup>2</sup>
- C 183 Practice for Sampling and the Amount of Testing of Hydraulic Cement<sup>2</sup>
- C 311 Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete<sup>3</sup>
- D 546 Test Method for Sieve Analysis of Mineral Filler for Road and Paving Materials<sup>4</sup>
- D 4318 Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and

## Plasticity Index of Soils<sup>5</sup>

## 3. General Description

3.1 Mineral filler shall consist of finely divided mineral matter such as rock dust, slag dust, hydrated lime, hydraulic cement, fly ash, loess, or other suitable mineral matter. At the time of use, it shall be sufficiently dry to flow freely and essentially free from agglomerations.

## 4. Physical Requirements

4.1 Mineral filler shall be graded within the following limits:

Sieve	Percent Passing (by Mass)
600-µm (No. 30)	100
300-µm (No. 50)	95 to 100
75-µm (No. 200)	70 to 100

4.2 Mineral Filler prepared from rock dust, slag dust, loess, and similar materials shall be essentially free from organic impurities and have a plasticity index not greater than 4.

NOTE 1—Plasticity index limits are not appropriate for hydraulic lime and cement.

## 5. Methods of Sampling and Testing

5.1 Sample the mineral filler according to Practice C 50, C 183, or Test Methods C 311, whichever is most appropriate for the material being sampled, except as noted in 5.1.1.

5.1.1 Obtain samples at random intervals not to exceed each 300 tons of material as delivered.

5.2 The minimum size of field samples shall be 5.0 kg. Reduce the field sample to a minimum size of 2.5 kg for testing.

5.3 Determine the grading of the material by Test Method D 546.

5.4 Determine the plasticity index by Test Method D 4318.

<sup>1</sup> This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee D04 on Road and Paving Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D04.50 on Aggregate Specifications.

Current edition approved Sept. 10, 1995. Published November 1995. Originally published as D 242 – 26. Last previous edition D 242 – 85 (1990).

<sup>2</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.01.

<sup>3</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02.

<sup>4</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.03.

<sup>5</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.08.

 **D 242**

*The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or [service@astm.org](mailto:service@astm.org) (e-mail); or through the ASTM website ([www.astm.org](http://www.astm.org)).*



# Standard Test Methods and Practices for Emulsified Asphalts<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 244; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

## 1. Scope

1.1 These test methods and practices, given under the headings titled Composition, Consistency, Stability, and Examination of Residue, cover the examination of asphalt emulsions composed principally of a semisolid or liquid asphaltic base, water, and an emulsifying agent. The test methods cover the following tests:

Test	Sections
Composition:	
Water Content	4-10
Residue and Oil Distillate by Distillation	11-15
Residue by Evaporation	16-22
Particle Charge of Cationic Emulsified Asphalts	23-28
Consistency:	
Viscosity (Saybolt Furol)	29-33
Stability:	
Demulsibility	34-39
Settlement	40-45
Cement Mixing	46-52
Sieve Test	53-58
Coating	59-62
Miscibility with Water	63-65
Freezing	66-68
Coating Ability and Water Resistance	69-76
Storage Stability of Asphalt Emulsion	77-83
Examination of Residue	84-91
Identification Test for Rapid Setting Cationic Emulsified Asphalt	92-99
Identification of Cationic Slow Set Emulsions	100-105
Field Coating Test on Emulsified Asphalts	106-111
Emulsified Asphalt/Job Aggregate Coating Test	112-117
Weight per Gallon of Emulsified Asphalt	118-124
Residue by Low-Temperature Vacuum Distillation	126-131

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applica-*

*bility of regulatory limitations prior to use.*

## 2. Referenced Documents

### 2.1 ASTM Standards:

- C 150 Specification for Portland Cement<sup>2</sup>
- C 778 Specification for Standard Sand<sup>2</sup>
- D 5 Test Method for Penetration of Bituminous Materials<sup>3</sup>
- D 70 Test Method for Specific Gravity and Density of Semi-Solid Bituminous Materials<sup>3</sup>
- D 86 Test Method for Distillation of Petroleum Products<sup>4</sup>
- D 88 Test Method for Saybolt Viscosity<sup>5</sup>
- D 113 Test Method for Ductility of Bituminous Materials<sup>3</sup>
- D 128 Test Methods for Analysis of Lubricating Grease<sup>4</sup>
- D 139 Test Method for Float Test for Bituminous Materials<sup>3</sup>
- D 140 Practice for Sampling Bituminous Materials<sup>3</sup>
- D 977 Specification for Emulsified Asphalt<sup>3</sup>
- D 2042 Test Method for Solubility of Asphalt Materials in Trichloroethylene<sup>3</sup>
- D 2397 Specification for Cationic Emulsified Asphalt<sup>3</sup>
- D 3289 Test Method for Specific Gravity or Density of Semi-Solid and Solid Bituminous Materials by Nickel Crucible<sup>3</sup>
- E 1 Specification for ASTM Thermometers<sup>6</sup>
- E 11 Specification for Wire-Cloth Sieves for Testing Purposes<sup>7</sup>
- E 145 Specification for Gravity-Convection and Forced-Ventilation Ovens<sup>7</sup>

## 3. Sample Conditioning for Testing

3.1 All emulsions with viscosity requirements of 50°C should be heated to 50 ± 3°C in the original sample container in a 71°C water bath or oven. The container should be vented to relieve pressure. After the sample reaches 50 ± 3°C, stir the sample to achieve homogeneity.

<sup>1</sup> These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D04 on Road and Paving Materials and are the direct responsibility of Subcommittee D04.42 on Emulsified Asphalt Tests.

Current edition approved July 10, 2000. Published September 2000. Originally published as D 244 – 26 T. Last previous edition D 244 – 99.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.01.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.03.

<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.04.

<sup>5</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 05.01.

<sup>6</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.03.

<sup>7</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.



COMPOSITION

WATER CONTENT

4. Scope

4.1 This test method covers the procedure for determining the water content of an emulsified asphalt by reflux distillation using a water trap.

5. Significance and Use

5.1 This test method measures the amount of water present in the emulsified asphalt, as distinguished from either bitumen or petroleum solvent.

6. Apparatus and Materials

6.1 *Metal Still*—The metal still (Fig. 1(a)) shall be a vertical cylindrical vessel, preferably of copper, having a faced flange at the top to which the head is tightly attached by means of a clamp. The head shall be made of metal, preferably brass or copper, and shall be provided with a tubulation 25.4 mm (1 in.) in inside diameter.

6.2 *Glass Still*—The glass still (Fig. 1(b)) shall be a short-neck, round-bottom flask, made of well-annealed glass, and having an approximate capacity of 500 mL.

6.3 *Heat Source*—The heat source used with the metal still shall be a ring gas burner of 100-mm (4-in.) inside diameter or an electric mantle heater. The heat source for the glass still shall be either an ordinary gas burner or an electric heater.

6.4 *Condenser*—The condenser shall be a water-cooled reflux glass-tube type, having a jacket not less than 400 mm in length, with an inner tube 9.5 to 12.7 mm in outside diameter. The end of the condenser shall be ground to an angle of 30 ± 5° from the vertical axis of the condenser.

6.5 *Trap*—The trap shall be made of annealed glass constructed in accordance with Fig. 1(c) and shall be graduated in 0.10-mL divisions from 0 to 2 mL, and in 0.20-mL divisions from 2 to 25 mL.

6.6 *Solvent*—Xylol or other petroleum distillate conforming to the following distillation requirements: 98 % distills between 120 and 250°C. This distillation shall be conducted in accordance with Test Method D 86.

7. Sample

7.1 Obtain a representative sample of the material for test using standard procedures as specified in Practice D 140.

NOTE 1—The difficulties in obtaining representative samples for this determination are unusually great, so that the importance of sampling cannot be too strongly emphasized.

8. Procedure

8.1 When the material to be tested contains less than 25 % water, place 100 ± 0.1 g of sample in the still. When the material contains more than 25 % water, use a 50 ± 0.1-g sample. Thoroughly mix the sample to be tested with 200 mL of solvent by swirling, taking proper care to avoid any loss of material.

8.2 Connect the still, trap, and condenser by means of tight-fitting corks as shown in Fig. 1(a) or (b). Adjust the end of the condenser in the trap to a position which will allow the end to be submerged to a depth of not more than 1 mm below the surface of the liquid in the trap after distillation conditions have been established. When using the metal still, insert a heavy paper gasket, moistened with the solvent, between the lid and flange before attaching the clamp.

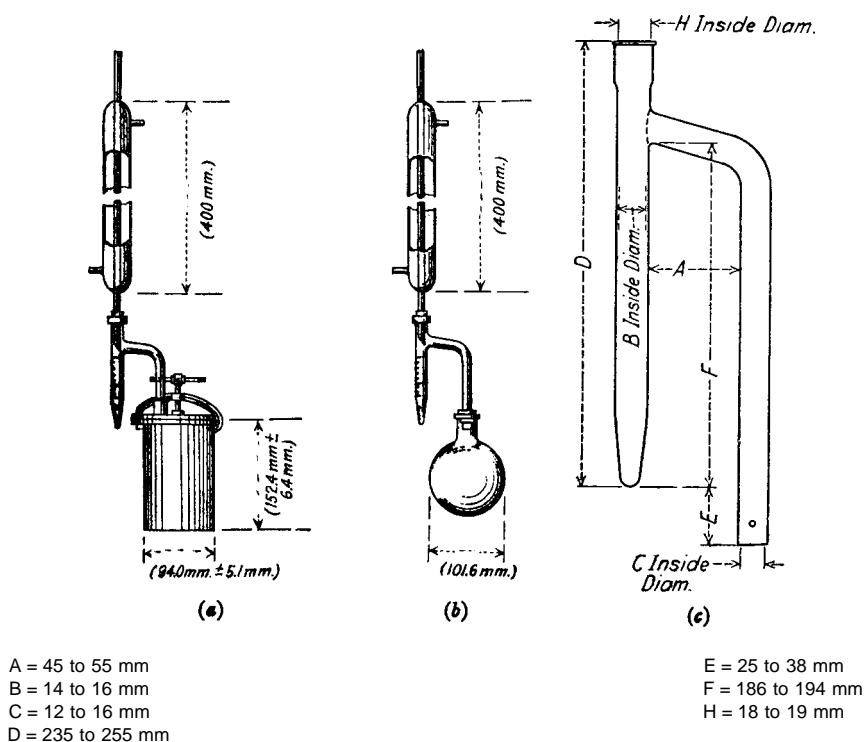


FIG. 1 Apparatus for Determining Water Content

8.3 When the ring burner is used with the metal still, place it about 76.2 mm above the bottom of the still at the beginning of the distillation, and gradually lower it as the distillation proceeds. Regulate the heat so that the condensate falls from the end of the condenser at a rate of from 2 to 5 drops per second. Continue the distillation at the specified rate until no water is visible on any part of the apparatus and a constant volume of water is obtained in the trap. Remove any persistent ring of condensed water in the condenser tube by increasing the rate of distillation for a few minutes.

**9. Calculation and Report**

9.1 Calculate the water content as follows:

$$\text{Water content, \%} = (A/B) \times 100 \tag{1}$$

where:

A = volume of water in trap, mL, and  
 B = original weight of sample, g.

9.2 Report the result as "... water weight percent, ASTM D 244."

**10. Precision and Bias**

10.1 The following criteria should be used for judging the acceptability of results (95 % probability):

10.1.1 Duplicate results by the same operator should not be considered suspect unless they differ by more than the following amount:

Water Content, weight %	Repeatability, weight %
30 to 50	0.8

10.1.2 The results submitted by each of two laboratories should not be considered suspect unless they differ by more than the following amount:

Water Content, weight %	Reproducibility, weight %
30 to 50	2.0

**RESIDUE AND OIL DISTILLATE BY DISTILLATION**

**11. Scope**

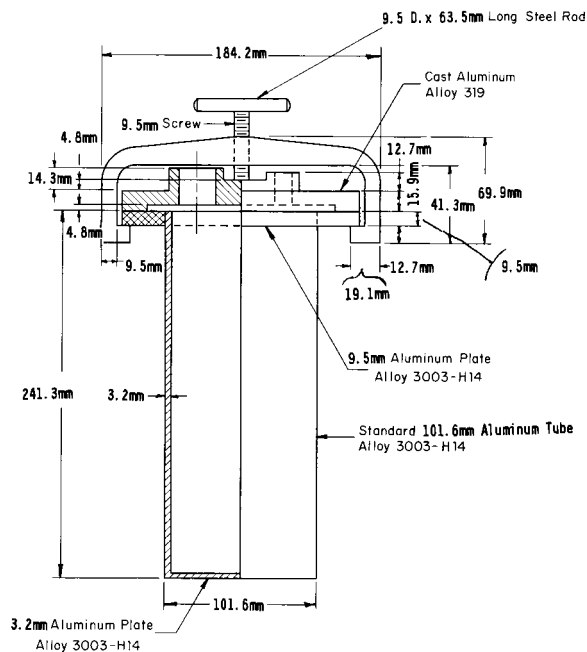
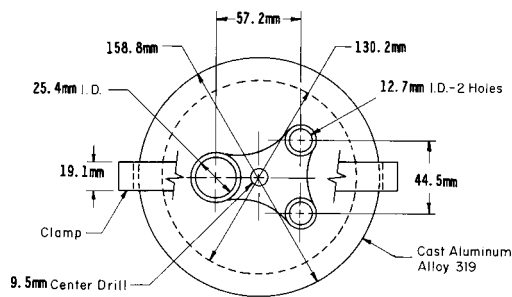
11.1 This test method covers the quantitative determination of residue and oil distillate in asphalt emulsions composed principally of a semisolid or liquid asphaltic base, water, and an emulsifying agent.

**12. Significance and Use**

12.1 This test method can be used for quantitative determination of residue and oil distillates in asphalt emulsions for specification acceptance, service evaluation, control, and research. This test method can also be used to obtain residue and oil distillate for further testing.

**13. Apparatus**

13.1 *Aluminum-Alloy Still*,<sup>8</sup> (see Fig. 2), approximately 241.3 mm (9½ in.) in height by 95.3 mm (3¾ in.) in inside diameter with one 121-mm (4¾-in.) inside diameter ring



**Metric Equivalents**

in.	mm
1/8	3.2
3/16	4.8
3/8	9.5
1/2	12.7
9/16	14.3
5/8	15.9
3/4	19.1
1	25.4
1 5/8	41.3
1 3/4	41.3
2 1/4	57.2
2 1/2	63.5
4	101.6
5 1/8	130.2
6 1/4	158.8
7 1/4	184.2
9 1/2	241.3

NOTE 1—The still cover may be machined from Rolled Aluminum Plate Alloy 3003-H14.

**FIG. 2 Aluminum-Alloy Still**

burner,<sup>9</sup> having holes on the inner periphery and having three spacers, to ensure centering of burner around the still (see Fig. 3).

<sup>8</sup> Available from P & H Electronics, 442 Columbia St., Lafayette, IN 47901, Koehler Instruments, Inc., 168-56 Douglas Ave., Jamaica, NY 11433, and Humboldt Mfg. Co., 7300 W. Agatite Ave., Chicago, IL 60656.

<sup>9</sup> Available from Humboldt Manufacturing Co., Catalog No. H-1876, 7302 W. Agatite Ave., Chicago, IL 60656.

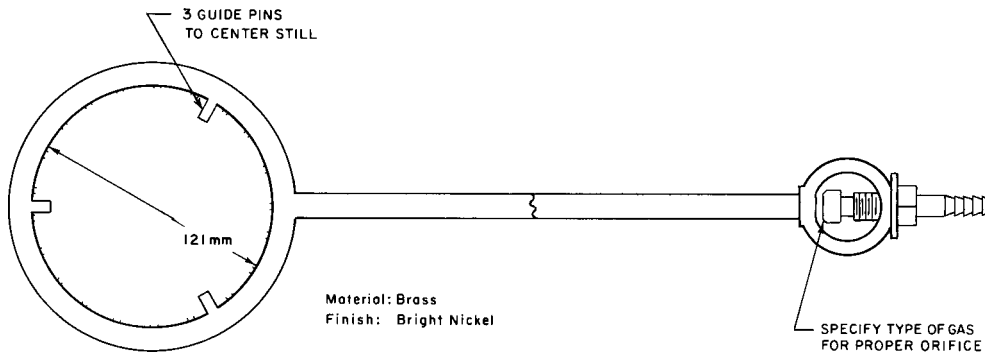


FIG. 3 Ring Burner with 3/4-in. (121-mm) Inside Diameter

NOTE 2—Residue by distillation results obtained with iron stills in accordance with Method D 244-66 are acceptable. Similarly results obtained with a 127-mm (5-in.) ring burner as in subsequent issues of Test Methods D 244 are acceptable.

13.2 *Connection Apparatus*, consisting of a  $12.5 \pm 0.5$  mm glass or metal connecting tube. The metal connecting tube may be secured to the lid by a threaded compressing fitting. Other condensers of  $12.5 \pm 0.5$  mm glass or metal tubing may be used providing that the wetted length is 400 to 550 mm (15.5 to 21').

13.3 *Graduated Cylinder*, 100-mL, with graduation intervals of 1.0 mL.

13.4 *Thermometer*—Two ASTM Low-Distillation Thermometers, graduated either in Fahrenheit or Celsius degrees as specified, having a range from  $-2$  to  $+300^\circ\text{C}$ , ( $30$  to  $580^\circ\text{F}$ ) respectively, and conforming to the requirements for Thermometer 7C or 7F as prescribed in Specification E 1, or any other thermometric device of equal accuracy or response.

NOTE 3—For details of the assembly of apparatus for the distillation test, see Fig. 4.

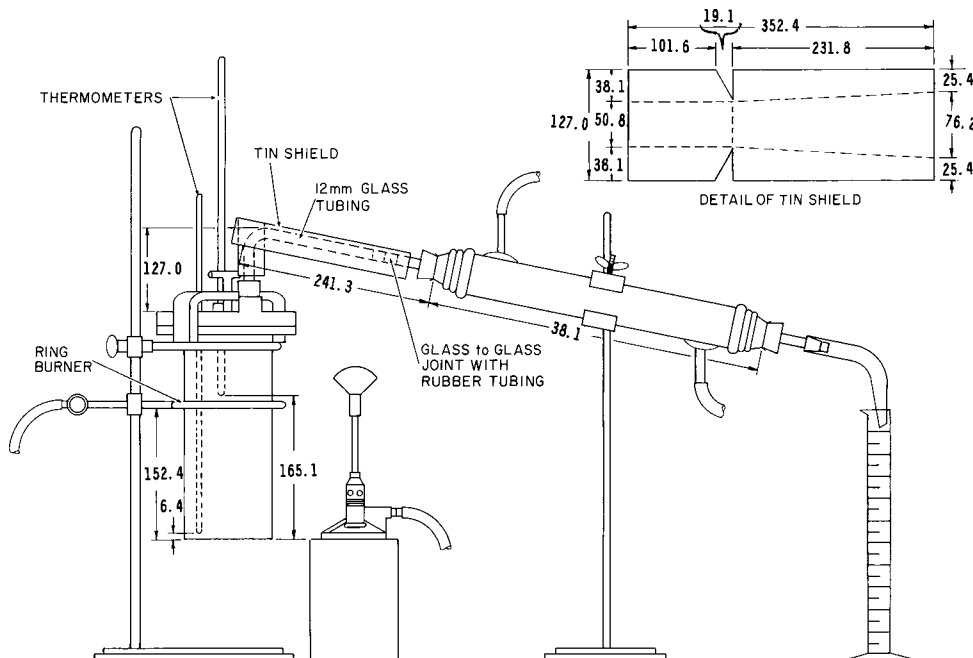
13.5 *Balance*, capable of weighing 3500 g to within  $\pm 0.1$  g.

14. Procedure

14.1 Weigh  $200 \pm 0.1$  g of a representative sample of the emulsion in the previously weighed aluminum-alloy still (including lid, clamp, thermometers and gasket, if gasket is used).

14.2 Use a gasket of oiled paper between the still and its cover, or grind the joint to a tight fit. Securely clamp the cover on the still. Other gasket materials may be used providing they withstand the maximum temperature reached during distillation.

14.3 Insert a thermometer, or other thermometric device, through a cork, in each of the small holes provided in the cover. Adjust these thermometers so that the end of the bulb of one is 6.4 mm from the bottom of the still and the bulb of the other is approximately 165.1 mm from the bottom of the still.



Metric Equivalents

in.	1/4	3/4	1	1 1/2	2	3	4	5	6	6 1/2	9 1/8	9 1/2	13 7/8	15
mm	6.4	19.1	25.4	38.1	50.8	76.2	101.6	127.0	152.4	165.1	231.8	241.3	352.4	381.0

FIG. 4 Apparatus Assembly for Distillation Test of Emulsified Asphalts

14.4 Place the ring burner around the still about 152.4 mm (6 in.) from the bottom of the still. Apply heat by lighting this burner and adjusting to low flame. Also apply just enough heat from a bunsen burner to the connecting tube to prevent condensation of water in this tube.

14.5 Move the ring burner approximately level with the bottom when the temperature can be read on the lower thermometer, approximately 215°C. Increase the temperature to 260 ± 5°C, maintaining it at this temperature for 15 min. Complete the total distillation in 60 ± 15 min from the first application of heat.

NOTE 4—The location of the burner at the start of the test is flexible. It may be raised to decrease chance of foam-over or lowered to middle of still for emulsion containing no solvent. A sudden change in temperature reading of upper thermometer indicates foam on bulb. Remove heat until foaming ceases.

14.6 Immediately at the expiration of the heating period, again weigh the still and accessories as described in 14.1. Calculate and report the percentage residue by distillation. Record the volume of oil distillate to the nearest ½mL. Calculate and report the oil distillate as a volume percentage on the total emulsion. Save this oil distillate if identification is desired.

NOTE 5—The aluminum-alloy still at room temperature (9.1) weighs 1.5 g more than at 260°C. Correct for this error by adding 1.5 g to gross weight obtained in 14.6 prior to calculating the percentage of residue by distillation.

14.7 Remove the cover from the still, stir, and immediately pour suitable portions of the residue into an 8-oz tin or suitable molds and containers for making the required tests. Handle or condition molds and containers for desired examination of the residue as described in Sections 86-91, and proceed as required by the appropriate ASTM test method from the points that follow the pouring stage. If there is foreign matter in the residue, the material shall be poured through a 300-µm sieve prior to pouring into the test molds and containers.

**15. Precision and Bias**

15.1 The following criteria should be used for judging the acceptability of results (95 % probability):

15.1.1 Duplicate results by the same operator should not be considered suspect unless they differ by more than the following amount:

Residue by Distillation, weight % 50 to 70	Repeatability, weight % 1.0
--------------------------------------------------	-----------------------------------

15.1.2 The results submitted by each of two laboratories should not be considered suspect unless they differ by more than the following amount:

Residue by Distillation, weight % 50 to 70	Reproducibility, weight % 2.0
--------------------------------------------------	-------------------------------------

15.2 The precision for penetration of residue from distillation by this method is the same as that shown in Section 79.

**RESIDUE BY EVAPORATION**

**16. Scope**

16.1 This test method covers procedures for a relatively

rapid determination of the percentage of emulsion residue.

**17. Significance and Use**

17.1 The test may be used to indicate compositional characteristics of emulsified asphalt. Evaporation residue may also be subjected to other characterization tests outlined under the examination of residue sections. However, properties of the residue from evaporation procedure may differ from those of the distillation residue (see Note 7).

**18. Apparatus**

18.1 *Beakers*, low form, 1000-mL capacity, made of borosilicate glass or aluminum.

18.2 *Glass Rods*, with flame-polished ends, 6.4 mm in diameter and 177.8 mm in length.

18.3 *Balance*, capable of weighing 500 g to within ±0.1 g.

18.4 *Oven*, conforming to Specification E 145, Type 1B.

18.5 *Sieve*—A 300-µm sieve conforming to Specification E 11.

**19. Procedure A**

19.1 Use procedure A when determination of the percentage of residue only is required.

19.2 Weigh 50 ± 0.1 g of thoroughly mixed, emulsified asphalt into each of three beakers, each beaker having previously been weighed with a glass rod. Place the beakers containing the rods and sample in the oven, the temperature of which has been adjusted to 163 ± 3.0°C, for 2 h. At the end of this period remove each beaker and stir the residue thoroughly. Replace in the oven for 1 h, then remove the beakers from the oven, allow to cool to room temperature, and weigh, with the rods.

NOTE 6—Care must be taken to prevent loss of asphalt from the beaker through foaming or spattering, or both. Also, the placing of beakers and emulsion samples in a cold or warm oven and bringing the oven and sample up to a temperature of 163°C together is permissible. If preferred, preliminary evaporation of water may be accomplished by careful heating on a hot plate, followed by oven treatment at 163°C for 1 h.

**20. Procedure B**

20.1 Use procedure B when tests on the residue from the emulsion are required.

20.2 Proceed in accordance with 22.2 using four 50 ± 0.1-g samples. After the calculation for percentage of residue, replace the beakers in the oven until the asphalt residue is sufficiently fluid to pass through a 300-µm sieve (usually requiring 15 to 30 min). Pour the residue through the 300-µm sieve into suitable containers and molds for making such tests as desired, as described in Sections 86-90.

NOTE 7—As the test method for residue by evaporation described in Sections 18-20 tends to give an asphaltic residue lower in penetration and ductility than the distillation test method described in Sections 13-15, material may be accepted but shall not be rejected as failing to meet specifications containing requirements for determination of residue by distillation, on data obtained by evaporation. If residue from evaporation fails to meet the requirements for properties specified for residue from distillation, tests shall be rerun using the distillation test method.

**21. Calculation and Report**

21.1 Calculate the percentage of residue on each beaker as follows:

$$\text{Residue, \%} = 2(A - B) \quad (2)$$

where:

A = weight of beaker, rod, and residue, g, and

B = tare weight of beaker and rod, g.

21.2 Report the percentage of residue by evaporation as the average of the three results.

## 22. Precision and Bias

22.1 The following criteria should be used for judging the acceptability of results (95 % probability):

22.1.1 Duplicate results by the same operator should not be considered suspect unless they differ by more than the following amount:

Residue by Evaporation, weight % 50 to 70	Repeatability, weight % 0.4
----------------------------------------------	--------------------------------

22.1.2 The results submitted by each of two laboratories should not be considered suspect unless they differ by more than the following amount:

Residue by Evaporation, weight % 50 to 70	Reproducibility, weight % 0.8
----------------------------------------------	----------------------------------

## PARTICLE CHARGE OF CATIONIC EMULSIFIED ASPHALTS

### 23. Scope

23.1 This test method is used to identify cationic emulsions. Positively charged particles are classified as cationic.

### 24. Significance and Use

24.1 Cationic emulsions are identified by the migration of the particles to a negatively charged electrode (cathode) by means of a direct current.

### 25. Apparatus

25.1 *Current Source*, of 12-V dc, a milliammeter, and a variable resistor (see Fig. 5 and Fig. 6).

25.2 *Electrodes*—Two stainless steel plates, 25.4 mm by 101.6 mm insulated from each other and rigidly held parallel 12.7 mm apart (see Fig. 7).



FIG. 5 Particle Charge Tester

25.3 *Insulator*—Polytetrafluoroethylene resin square rod, virgin electrical grade, 12.7 mm thick (see Fig. 7).

25.4 *Beaker*, 250 mL.

25.5 *Glass Rod*, 101.6 mm long and 6.35 mm thick or other suitable material or device that is capable of insulating and suspending the electrode assembly in emulsion.

25.6 *Water Bath*, capable of maintaining the required testing temperature within the limits specified in this test method.

25.7 *Thermometer*, ASTM No. 19C or 19F conforming to the requirements of Specification E 1.

## 26. Procedure

26.1 Heat the emulsion to be tested to  $50 \pm 3^\circ\text{C}$ , in a  $71 \pm 3^\circ\text{C}$  water bath. Stir the emulsion thoroughly to ensure uniformity of temperature.

26.2 Pour the emulsion to be tested into the 250-mL beaker to a height that will allow the electrodes to be suspended 25.4 mm in the emulsion. To facilitate suspension of the electrodes, insert the glass rod or equivalent between the two electrodes under the insulator. Place the ends of the glass rod or equivalent on the two opposite top edges of the beaker. An apparatus capable of manual height adjustment to insulate and suspend electrode assembly in emulsion may be used if desired.

26.3 Connect the electrodes, that have been properly cleaned (Note 8), to the dc source.

NOTE 8—New electrodes and electrodes to be re-used should be cleaned in the following sequence:

1. Wash with distilled water,
2. Wash with a suitable asphalt solvent,
3. Wash with isopropyl or ethyl alcohol, and
4. Wash with distilled water.

26.4 Adjust the current to at least 8 mA with the variable resistor and start timing with a suitable timing device. (The 8 mA is a minimum current value. Higher current levels may be specified. The current used shall be reported.)

26.5 When the current drops to 2 mA or at the end of 30 min, whichever occurs first, disconnect the current source and gently wash the electrodes with a smooth, thin stream of distilled water.

26.6 Observe the asphalt deposit on the electrodes. A cationic emulsion will deposit a discernible amount of asphalt on the cathode (negative electrode) while the anode (positive electrode) will be relatively clean. Any evidence of a deposit of asphalt on the cathode which is clearly discernible when compared to the anode is to be considered passing.

NOTE 9—If the emulsion does not produce conclusive results and it is a cationic slow-setting grade, then proceed to Section 100, "Identification of Cationic Slow-Set Emulsion."

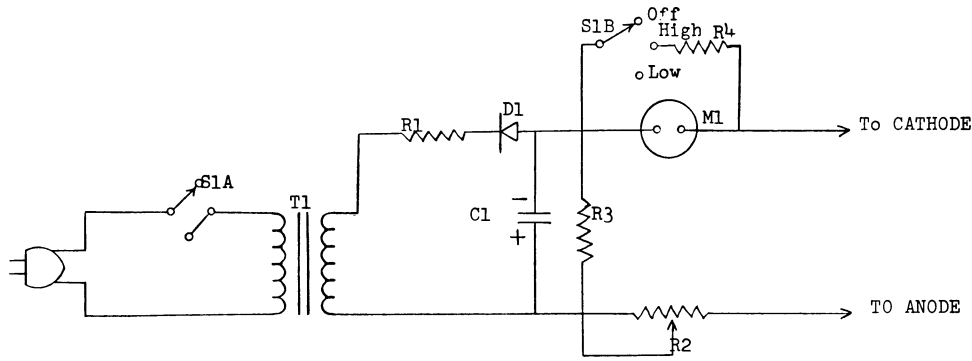
## 27. Report

27.1 Report the following information:

- 27.1.1 Level of current used, and
- 27.1.2 Whether the tested emulsion passes or fails as defined in 26.6.

## 28. Precision and Bias

28.1 This test method, which requires subjective evaluation of test results and reporting of only two possible conditions,



C1—500  $\mu$ F 25-V capacitor  
 D1—silicon diode  
 R1—47  $\Omega$ , 1-W resistor  
 R2—5000  $\Omega$  potentiometer  
 R3—6800  $\Omega$ , 1/4-W resistor

R4—meter shunt (determined by type of meter used)  
 S1—2-pole, 3-position rotary switch  
 T1—12.6-V filament transformer  
 M1—0 to 10-mA milliammeter

FIG. 6 Particle Charge Tester Circuit Diagram

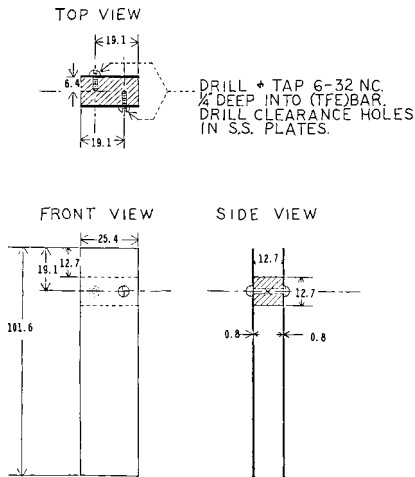


FIG. 7 Insulator

statement for this test method.

does not lend itself readily to a conventional statistical round-robin exercise. At present, there is no precision and bias

CONSISTENCY

VISCOSITY

29. Scope

29.1 This test method utilizes the Saybolt Furol viscometer to measure the consistency of an asphalt emulsion. It is applicable to all the emulsions specified in Specifications D 977 and D 2397.

30. Significance and Use

30.1 Viscosity has significance in the use of asphalt emulsions because it is a property which affects their utility. When used in application types of construction, the material must be thin enough to be uniformly applied through the spray bar of distributor, yet thick enough so that it will not flow from the crown or grade of the road. For mixing grade emulsions, the viscosity may affect mixability and resulting thickness of film

on the aggregate. The viscosity of many emulsions is affected by shear. Therefore, strict adherence to test procedure is necessary to achieve precision.

31. Apparatus

31.1 *Viscometer*—A Saybolt Furol viscometer conforming to the requirements specified in Test Method D 88.

31.2 *Sieve*—A 850- $\mu$ m sieve or a 20-mesh strainer of wire cloth, framed or unframed.

31.3 *Thermometers*—ASTM No. 17C or 17F for tests at 25°C and ASTM No. 19F or 19C for tests at 50°C, conforming to the requirements of Specification E 1.

31.4 *Water Bath*, capable of maintaining the required testing temperature within the limits specified in Table 2 of Test Method D 88.

### 32. Procedure

32.1 *Tests at 25°C*—Stir the sample thoroughly without incorporating bubbles and pour it into a 118-mL bottle. Place the bottle in the water bath at 25°C for 30 min and mix the sample in the bottle by inverting it several times slowly enough to prevent bubble formation. Pour the sample into the viscometer through the 850- $\mu$ m sieve or 20-mesh strainer, allowing a small portion to flow through the outlet tube to waste. Place the cork in position, fill the viscometer and, without again stirring the sample, determine the viscosity as prescribed in Test Method D 88.

32.2 *Tests at 50°C*—Clean and dry the viscometer and insert the cork. Heat the emulsion sample to  $122 \pm 5^\circ\text{F}$  ( $50 \pm 3^\circ\text{C}$ ) in a  $160 \pm 5^\circ\text{F}$  ( $71 \pm 3^\circ\text{C}$ ) water bath or oven. Stir the sample thoroughly without incorporating bubbles, and then pour approximately 100 mL into a 400-mL glass beaker. Immerse the bottom of the beaker containing the emulsion approximately 2 in. (50.8 mm) below the level of a  $160 \pm 5^\circ\text{F}$  ( $71 \pm 3^\circ\text{C}$ ) water bath. Hold the beaker upright and stir the emulsion with a wide circular motion at a rate of 60 revolutions per minute with the thermometer to obtain uniform temperature distribution. Avoid incorporation of bubbles. Heat the emulsion in the water bath to  $124.5 \pm 0.5^\circ\text{F}$  ( $51.4 \pm 0.3^\circ\text{C}$ ). Immediately pour the emulsion through the 850- $\mu$ m (No. 20) sieve or 20-mesh strainer into the viscometer until it is above the overflow rim. Stir the emulsion in the viscometer at 60 revolutions per minute with the thermometer until the test temperature is attained,

avoiding bubble formation. Adjust the bath temperature until the emulsion temperature remains constant for 1 min at  $50 \pm 0.05^\circ\text{C}$ . Withdraw the thermometer. Quickly remove the excess emulsion from the gallery with a suction pipet. Determine the viscosity as described in Test Method D 88. Report the results to the nearest full second.

NOTE 10—While the Saybolt Furol viscometer is not used for petroleum products and lubricants when the time of flow is less than 25 s, this instrument is satisfactory for testing emulsified asphalt when the time of flow is not less than 20 s.

### 33. Precision and Bias

33.1 The following criteria should be used for judging the acceptability of results (95 % probability):

33.1.1 Duplicate results by the same operator should not be considered suspect unless they differ by more than the following amount:

Test Temperature, °C	Viscosity, s	Repeatability, % of the mean
25	20 to 100	5
50	75 to 400	9.6

33.1.2 The results submitted by each of two laboratories should not be considered suspect unless they differ by more than the following amount:

Test Temperature, °C	Viscosity, s	Reproducibility, % of the mean
25	20 to 100	15
50	75 to 400	21

## STABILITY

### DEMULSIBILITY

#### 34. Scope

34.1 This test method, applicable to anionic and cationic emulsions of the RS and MS type, measures the chemical breaking of the emulsion.

#### 35. Significance and Use

35.1 This test method is used to identify or classify an emulsion as an RS or MS by measuring the amount of available asphalt that is broken from the emulsion by utilizing specified amounts and concentrations of calcium chloride solution for anionic emulsions and dioctyl sodium sulfosuccinate for cationic emulsions.

#### 36. Apparatus and Reagents

36.1 *Wire Cloth*—Three pieces of 1.40-mm wire cloth approximately 125 mm square, unframed, having wire diameters and openings that conform to Specification E 11.

36.2 *Beakers*—Three metal beakers of 600-mL capacity each.

36.3 *Rods*—Three metal rods with rounded ends, approximately (7.9 mm) in diameter.

36.4 *Buret*—A 50-mL glass buret graduated in 0.1-mL intervals.

36.5 *Calcium Chloride Solution* (1.11 g/L)—Dissolve 1.11 g of calcium chloride ( $\text{CaCl}_2$ ) in water and dilute to 1 L. The

1.11 g/L calcium chloride solution shall be standardized to be a  $0.02 \text{ N} \pm 0.001$  normal solution of calcium chloride in water.

36.6 *Calcium Chloride Solution* (5.55 g/L)—Dissolve 5.55 g of  $\text{CaCl}_2$  in water and dilute to 1 L. The 5.55 g/L calcium chloride solution shall be standardized to be a  $0.1 \text{ N} \pm 0.001$  normal solution of calcium chloride in water.

36.7 *Dioctyl Sodium Sulfosuccinate Solution* (0.8%)—Dissolve 8.00 g of dioctyl sodium sulfosuccinate in 992 g of water.

36.8 *Balance*, capable of weighing 500 g to within  $\pm 0.1$  g.

#### 37. Procedure

37.1 Determine the percentage of residue by distillation as described in Section 14.

37.2 Record the weight of each assembly of beaker, rod, and wire cloth.

37.3 Weigh  $100 \pm 0.1$  g of the emulsified asphalt into each of three 600-mL beakers in the weighed assemblies. Bring the weighed sample of emulsion and the proper reagent to a temperature of ( $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ ). Over a period of approximately 2 min, add to each beaker, from a buret, 35 mL of  $\text{CaCl}_2$  solution (1.11 g/L) (Note 10) for rapid setting emulsions, or 50 mL of  $\text{CaCl}_2$  solution (5.55 g/L) for mixing-type emulsions. While adding the  $\text{CaCl}_2$  solution, stir the contents of the beaker continuously and vigorously, kneading any lumps against the sides of the beaker to ensure thorough mixing of the reagent with the emulsion. Continue kneading any lumps for an

additional 2 min after the addition of the CaCl<sub>2</sub> solution.

NOTE 11—When testing cationic emulsions, use 35 mL of dioctyl sodium sulfosuccinate solution (0.8 %) instead of 35 mL of CaCl<sub>2</sub> solution (1.11 g/L).

37.4 Decant the mixture of any unbroken emulsion and reagent onto the wire cloth. Rinse the beaker containing the sample and metal rod with distilled water. Knead and break up all lumps, and continue washing the beaker, rod, and wire cloth until the wash water drains clear. Place the wire cloth enclosing the asphalt in the beaker with the metal rod. Place the assembly in a 163°C drying oven and dry to constant weight.

### 38. Calculation

38.1 Subtract the tare weight of the beaker, rod, and wire cloth from the weight of the dried assembly to obtain the demulsibility residue. Calculate the demulsibility as follows:

$$\text{Demulsibility, \%} = (A/B) \times 100 \quad (3)$$

where:

*A* = average weight of demulsibility residue from the three tests of each sample of emulsified asphalt, and

*B* = weight of residue by distillation in 100 g of the emulsified asphalt.

### 39. Precision and Bias

39.1 The following criteria should be used for judging the acceptability of results of tests on RS emulsions (95 % probability):

NOTE 12—Precision does not apply when using dioctyl sodium sulfosuccinate solution in the testing of cationic emulsions for demulsibility.

39.1.1 Duplicate results by the same operator should not be considered suspect unless they differ by more than the following amount:

Demulsibility, weight % 30 to 100	Repeatability, % of the mean 5
--------------------------------------	-----------------------------------

39.1.2 The results submitted by each of two laboratories should not be considered suspect unless they differ by more than the following amount:

Demulsibility, weight % 30 to 100	Reproducibility, % of the mean 30
--------------------------------------	--------------------------------------

## SETTLEMENT

### 40. Scope

40.1 This test method measures the settlement of an emulsified asphalt that occurs in a cylindrical container.

### 41. Significance and Use

41.1 This test method is a measure of the uniformity of an emulsified asphalt dispersion in storage over a period of time.

### 42. Apparatus

42.1 *Cylinders*—Two 500-mL glass cylinders, with pressed or molded glass bases and cork or glass stoppers, having an outside diameter of 50 ± 5 mm.

42.2 *Glass Pipet*—A 60-mL siphon glass-tube pipet of optional form.

42.3 *Balance*, capable of weighing 500 g to within ±0.1 g.

### 43. Procedure

43.1 Place a 500-mL representative sample in each of the two glass cylinders. Stopper the cylinders and allow them to stand undisturbed at laboratory air temperature for 5 days. After standing for this period, remove approximately the top 55 mL of emulsion by means of a pipet or siphon without disturbing the balance. Mix each portion thoroughly. Weigh 50 g of each sample into separate weighed 1000-mL low-form glass beakers, and determine the asphaltic residue by evaporation in accordance with Section 19.

43.2 After removal of the top sample, siphon off approximately the next 390 mL from each of the cylinders. Thoroughly mix the emulsion remaining in the cylinders and weigh 50 g into separate weighed 1000-mL low-form beakers. Determine the asphaltic residue of these samples in accordance with Section 19.

NOTE 13—If the emulsion contains appreciable amounts of oil distillate as determined by distillation (see 14.6), the settlement value may be calculated from the difference in the percentage of water content between the top and bottom samples as determined by the procedure described in Section 8.

### 44. Calculation and Report

44.1 Calculate the settlement for each cylinder as follows:

$$\text{Settlement, \% (5 days)} = B - A \quad (4)$$

where:

*A* = the percentage of residue from the top samples, and

*B* = the percentage of residue from the bottom samples.

NOTE 14—If the settlement values between the two cylinders differ by more than the stated repeatability, the result is considered suspect and the test shall be repeated. If for individual cylinders the percent residue of both the top and bottom samples is less than the percent residue of the emulsion, the result is considered suspect and the test shall be repeated. If for individual cylinders the percent residue of both the top and bottom samples is greater than the percent residue of the emulsion, the result is considered suspect and the test shall be repeated.

44.2 Report the settlement as the average of the two individual cylinder results.

### 45. Precision and Bias

45.1 The following criteria should be used for judging the acceptability of results (95 % probability):

45.1.1 Duplicate results by the same operator should not be considered suspect unless they differ by more than the following amount:

Settlement, weight % 0 to 1.0 above 1.0	Repeatability 0.4 weight % 5 % of the mean
-----------------------------------------------	--------------------------------------------------

45.1.2 The results submitted by each of two laboratories should not be considered suspect unless they differ by more than the following amount:

Settlement, weight % 0 to 1.0 above 1.0	Reproducibility 0.8 weight % 10 % of the mean
-----------------------------------------------	-----------------------------------------------------

## CEMENT MIXING

### 46. Scope

46.1 This test method is a mixing test used to identify or classify a slow setting, SS or CSS, type of emulsion.



#### 47. Significance and Use

47.1 The result of this test indicates the ability of a slow setting emulsified asphalt to mix with a finely divided, high surface area material (high early strength, Type III, portland cement) without breaking the emulsion.

#### 48. Apparatus

48.1 *Sieves*—A 180- $\mu\text{m}$  sieve and a 3-in. (76.2-mm) diameter 1.4-mm sieve, made of wire cloth conforming to Specification E 11.

48.2 *Dish*—A round-bottom iron dish or a kitchen saucepan of approximately 500-mL capacity.

48.3 *Stirring Rod*—A steel rod with rounded ends, approximately 13 mm in diameter.

48.4 *Graduate*—A 100-mL graduated cylinder.

48.5 *Balance*, capable of weighing 500 g to within  $\pm 0.1$  g.

#### 49. Cement

49.1 High-early-strength portland cement conforming to the requirements for Type III portland cement in Specification C 150 and having a minimum specific surface area of 1900  $\text{cm}^2/\text{g}$ , as measured by the Wagner Turbidimeter.

#### 50. Procedure

50.1 Dilute the emulsion with distilled water to a residue of 55 %, as determined by distillation or by evaporation for 3 h at 163°C.

50.2 Sieve a portion of the cement through the 180- $\mu\text{m}$  sieve. Weigh  $50 \pm 0.1$  g of the cement passing the No. 80 (180- $\mu\text{m}$ ) sieve into the iron dish or saucepan.

50.3 Bring the ingredients and apparatus to a temperature of approximately 25°C before mixing. Add 100 mL of the diluted emulsion to the cement and stir the mixture at once with the steel rod, using a circular motion at a rate of 60 revolutions per minute. At the end of the 1-min mixing period, add 150 mL of distilled water, and continue the stirring for 3 min.

50.4 Pour the mixture through a weighed 1.4-mm sieve. Use repeated washings to completely remove material from the mixing bowl. Pour these over the sieve, and rinse the sieve using distilled water held at a height of approximately 152 mm until the water is clear. Place the sieve in a weighed shallow pan, heat at 163°C in an oven, and weigh. Repeat the heating and weighing until successive weights differ by no more than 0.1 g.

#### 51. Report

51.1 Report the weight, in grams, of the material retained on the sieve and in the pan as the percentage of break in the cement mixing test.

#### 52. Precision and Bias

52.1 The following criteria should be used for judging the acceptability of results (95 % probability):

52.1.1 Duplicate results by the same operator should not be considered suspect unless they differ by more than the following amount:

Cement Mixing, weight %  
0 to 2

Repeatability, weight %  
0.2

52.1.2 The results submitted by each of two laboratories should not be considered suspect unless they differ by more than the following amount:

Cement Mixing, weight %  
0 to 2

Reproducibility, weight %  
0.4

### SIEVE TEST

#### 53. Scope

53.1 This test method measures the degree to which an emulsified asphalt may contain particles of asphalt or other discreet solids retained on a 850  $\mu\text{m}$  mesh sieve.

#### 54. Significance and Use

54.1 The retention of an excessive amount of particles on the sieve indicates that problems may occur in handling and application of the material. Particles of asphalt retained on the sieve often are caused by agglomeration of the dispersed phase. Storage, pumping, handling, and temperature can all contribute to the formation of particles. Contamination from the tank, transport, or hose are other factors affecting particle formation.

#### 55. Apparatus and Reagents

55.1 *Sieve*—A sieve having a 76.2-mm frame conforming to 76.2 mm of Specification E 11, and having a 850- $\mu\text{m}$  wire sieve cloth.

55.2 *Pan*—A tin box cover or shallow metal pan of appropriate size to fit over the bottom of the standard sieve.

55.3 *Sodium Oleate Solution (2 %)*—Dissolve 2 g of pure sodium oleate in distilled water and dilute to 100 mL.

NOTE 15—Replace sodium oleate solution with distilled water in testing cationic emulsions.

55.4 *Balances*, capable of weighing 2000 g to within  $\pm 1$  g, and 500 g to within  $\pm 0.1$  g.

#### 56. Procedure

56.1 The temperature at which the sieve test should be performed is related to the emulsion viscosity. For those materials whose viscosity is 100 s or less at 25°C, perform the test at room temperature. For those materials whose viscosity is more than 100 s at 25°C and those whose viscosity is specified at 50°C, use a test temperature of  $50 \pm 3^\circ\text{C}$ . If heating is necessary the emulsion, in a closed container, may be placed in an oven or water bath, followed by stirring to achieve homogeneity.

56.2 Record the weight of the sieve and pan and wet the wire cloth with the 2 % sodium oleate solution. Weigh 1000 g of the emulsified asphalt into a suitable container and pour it through the sieve. Wash the container and the residue on the sieve with the sodium oleate solution until the washings run clear. Place the pan under the sieve and heat for 2 h in a 105°C drying oven. Cool in a desiccator, and weigh the sieve, pan and residue.

#### 57. Calculation

57.1 Calculate the percentage of sample retained on the sieve as follows:

$$\text{Sample retained, \%} = (B - A)/10 \quad (5)$$

where:

*A* = weight of sieve and pan, g, and

*B* = weight of sieve, pan, and residue, g.

## 58. Precision and Bias

58.1 The following criteria should be used for judging the acceptability of results (95 % probability):

58.1.1 Duplicate results by the same operator should not be considered suspect unless they differ by more than the following amount:

Sieve Test, weight % 0 to 0.1	Repeatability, weight % 0.03
----------------------------------	---------------------------------

58.1.2 The results submitted by each of two laboratories should not be considered suspect unless they differ by more than the following amount:

Sieve Test, weight % 0 to 0.1	Reproducibility, weight % 0.08
----------------------------------	-----------------------------------

## COATING TEST

### 59. Scope

59.1 This practice is applicable to those emulsions intended for use by mixing with aggregate. It is not applicable to rapid-setting types or diluted materials used for tack coats, priming or mulch treatments.

### 60. Significance and Use

60.1 The intent of the coating test is to ensure that a given mixing grade emulsion is stable enough as an emulsion and otherwise possesses the ability to mix with a reference stone for the prescribed time and coat it uniformly and thoroughly.

### 61. Apparatus and Material

61.1 *Sieves*—Standard 19.0-mm and 6.3-mm sieves conforming to Specification E 11.

61.2 *Spatula*—A steel spatula or its equivalent, having a blade approximately 203.2 mm in length.

61.3 *Dish*—A round-bottom iron dish or a kitchen saucepan, of approximately 1-L capacity.

61.4 *Stone*—A supply of reference stone (hard limestone, trap rock, or other type) which has been washed with water and dried before using. All stone shall pass through the standard 19.0-mm screen and not more than 5 % shall pass through the 6.3-mm screen.

NOTE 16—Each laboratory shall select its own reference stone supply, the source of which is not apt to change; this is to obviate rapid changes in the character of reference stone used in any one laboratory.

61.5 *Balance*, capable of weighing 1000 g to within  $\pm 0.1$  g.

### 62. Procedure

62.1 Weigh  $465.0 \pm 0.1$  g of stone into the metal pan. Add  $35.0 \pm 0.1$  g of the emulsion to the stone in the pan, and mix vigorously with the spatula for 3 min.

62.2 Record whether or not there is appreciable separation of the asphaltic base from the water of the emulsion, and whether or not the stone is uniformly and thoroughly coated with the emulsion.

## MISCIBILITY WITH WATER

### 63. Scope

63.1 This practice may be applied to all medium and

slow-setting asphalt emulsions. It is not applicable to the rapid-setting types.

### 64. Significance and Use

64.1 It is sometimes desirable to dilute an emulsified asphalt in the field with water. This test is designed to ascertain if this may be done safely without breaking the emulsion.

### 65. Procedure

65.1 Gradually add 150 mL of distilled water, with constant stirring, to 50 mL of the emulsion in a 400-mL glass beaker. The temperature should be between 21 and 25°C. Allow the mixture to stand for 2 h; then examine it for any appreciable coagulation of the asphalt content of the emulsion.

## FREEZING TEST

### 66. Scope

66.1 Emulsified asphalt is normally damaged by freezing temperatures, but specially formulated materials are expected to pass this practice.

### 67. Significance and Use

67.1 Certain agencies, who desire to use, store or transport emulsified asphalt under less than ideal weather conditions, may require that the product remain homogeneous (unbroken) after being subjected to temperatures of  $-17.8^{\circ}\text{C}$ .

### 68. Procedure

68.1 Place approximately 400 g of the emulsion in a clean metal container, such as a 500-mL press-top can.

68.2 Expose the emulsion in the closed container to an air temperature of  $-17.8^{\circ}\text{C}$  for 12 (or more) consecutive hours.

68.3 At the expiration of the freezing period, permit the emulsion to thaw by exposure of the container to ambient temperature.

68.4 Repeat the freezing and thawing periods until the emulsion will have been subjected to three cycles of freezing and thawing.

68.5 After the third cycle, the emulsion may be homogeneous or may have separated into distinct layers which cannot be rendered homogeneous by stirring at laboratory temperature.

68.6 Report the result of this test as either “Homogeneous” or “Broken.”

## COATING ABILITY AND WATER RESISTANCE

### 69. Scope

69.1 This test method is intended to aid in the identification of asphalt emulsions suitable for mixing with coarse graded calcareous aggregates. It can be applied to other aggregates. (See Note 17).

### 70. Significance and Use

70.1 This test method covers the determination of the ability of an asphalt emulsion to (1) coat an aggregate thoroughly, (2) withstand a mixing action while remaining as a film on the aggregate, and (3) resist the washing action of water after completion of the mixing.

**71. Apparatus**

71.1 *Mixing Pan*—A white-enamelled kitchen saucepan with handle, of approximately 3-L capacity.

71.2 *Mixing Blade*—A putty knife with a 31.8 by 88.9-mm steel blade with rounded corners. A 254.0-mm kitchen mixing spoon may be used as an alternative.

71.3 *Sieves*—Standard 19.0-mm and 4.75-mm sieves conforming to Specification E 11.

71.4 *Constant-Head Water-Spraying Apparatus*—An apparatus for applying tap water in a spray under a constant head of 774.7 mm (Figs. 8 and 9). The water shall issue from the apparatus in a low-velocity spray.

71.5 *Thermometer*—An ASTM Low Softening Point Thermometer 15F (or 15C), having a range from -2 to 80°C and conforming to the requirements in Specification E 1.

71.6 *Balance*, capable of weighing 1000 g to within ±0.1 g.

71.7 *Pipet*, of 10-mL capacity.

**72. Materials**

72.1 *Aggregate*—Standard reference aggregate<sup>10</sup> shall be a laboratory-washed and air-dried limestone aggregate graded to pass the 19.0-mm sieve and be retained on the 4.75-mm sieve.

NOTE 17—Aggregates other than limestone may be used provided calcium carbonate is omitted throughout the test method. Laboratory washing and air-drying of such aggregates shall also be omitted.

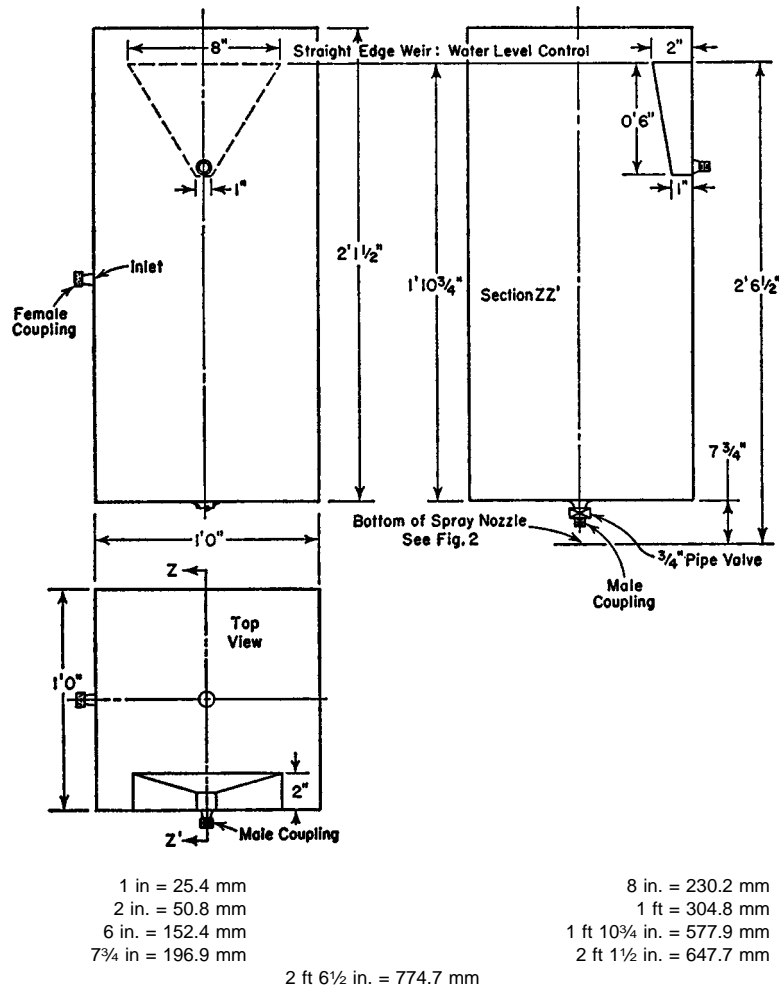
72.2 *Calcium Carbonate*—Chemically pure, precipitated calcium carbonate (CaCO<sub>3</sub>) shall be used as a dust to be mixed with the standard reference aggregate.

72.3 *Water*—Tap water of not over 250 ppm CaCO<sub>3</sub> hardness for spraying over the sample.

**73. Sample**

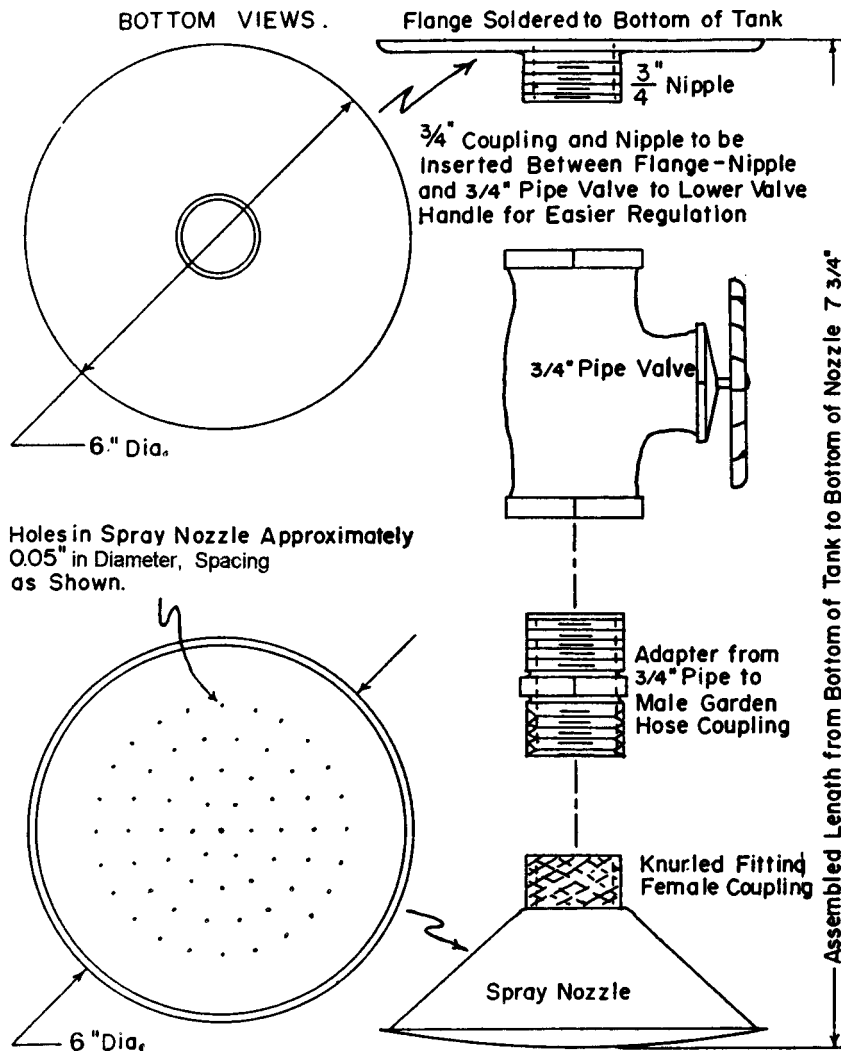
73.1 The sample shall be representative of the asphalt

<sup>10</sup> Limestone from the Monon Stone Co. of Monon, IN, has been found suitable as reference aggregate.



NOTE 1—Use galvanized steel sheeting for the tank. All joints and fitting attachments shall be soldered and shall be watertight. All couplings shall be standard brass garden hose fittings. The 19-mm pipe valve shall be placed as close as possible to the bottom of the tank, allowing space to shut off the valve. The tank shall be placed on a suitable stand, so that the distance from the bottom of the spray head to the top of the test sample is 0.914 m ± 25.4 mm.

**FIG. 8 Constant-Head Flow Tank**



NOTE 1—A Speakman, Model 235S, all brass, fixed shower head has been found acceptable.  
 NOTE 2—Existing 101.6-mm diameter shower heads may continue to be used.  
 NOTE 3—0.05 in. = 1.3 mm  
 6 in. = 152.4 mm  
 7 3/4 in. = 196.9 mm

FIG. 9 Valve and Nozzle Assembly for Constant-Head Flow Tank

emulsion to be tested.

**74. Procedure for Tests with Dry Aggregate**

- 74.1 Carry out the test at  $23.9 \pm 5.5^\circ\text{C}$ .
- 74.2 Weigh 461 g of the air-dried, graded reference aggregate in the mixing pan.
- 74.3 Weigh 4.0 g of  $\text{CaCO}_3$  dust in the mixing pan and mix with the 461 g of aggregate for approximately 1 min by means of a mixing blade to obtain a uniform film of dust on the aggregate particles.

NOTE 18—The total weight of aggregate and dust shall equal 465 g. If no calcium carbonate is included, the weight of aggregate alone shall be 465 g.

74.4 Weigh 35 g of the asphalt emulsion into the aggregate in the pan and mix vigorously with the mixing blade for 5 min using a tossing action created by a back-and-forth motion in an elliptical path of the mixing blade or spoon. At the end of the

mixing period, tilt the pan and permit any excess emulsion not on the aggregate to drain from the pan.

74.5 Remove approximately one half of the mixture from the pan and place it on absorbent paper and evaluate the coating.

74.6 Immediately spray the mixture remaining in the pan with tap water from the constant-head water spraying apparatus to cover the mixture. The distance from the sprayhead to the sample shall be  $305 \pm 75$  mm. Then carefully pour off the water. Continue spraying and pouring off the water until the overflow water runs clear. Carefully drain off the water in the pan. Scoop the mixture from the mixing pan on to absorbent paper for evaluation of coating retention in the washing test.

74.7 Evaluate the mixture immediately by visual estimation as to the total aggregate surface area that is coated with asphalt.

74.8 Repeat the evaluation by visual estimation of the coating of aggregate surface area by asphalt after the mixture

has been surface air-dried in the laboratory at room temperature. A fan may be used for drying if desired.

## 75. Procedure for Tests with Wet Aggregate

75.1 Proceed in accordance with 74.1-74.3.

75.2 Pipet 9.3 mL of water to the aggregate and CaCO<sub>3</sub> dust mixture into the mixing pan and mix thoroughly to obtain uniform wetting.

75.3 Continue in accordance with 74.4-74.8.

## 76. Interpretation of Results

76.1 Evaluate and report the following information for tests with both dry and wet aggregate:

76.1.1 At the end of the mixing period, record the coating of the total aggregate surface area by the asphalt emulsion as good, fair, or poor, where a rating of “good” means fully coated by the asphalt emulsion exclusive of pinholes and sharp edges of the aggregate, a rating of “fair” coating applies to the condition of an excess of coated area over uncoated area, and a rating of “poor” applies to the condition of an excess of uncoated area over coated area.

76.1.2 After spraying with water, record the coating of the total aggregate surface area by the asphalt as good, fair, or poor.

76.1.3 After air-drying in the laboratory, record the coating of the total aggregate surface area by the asphalt as good, fair, or poor.

76.1.4 Comments about the results of the test may be included in the evaluation.

## STORAGE STABILITY OF ASPHALT EMULSION

### 77. Scope

77.1 This test method relates to the ability of an asphalt emulsion to remain as a uniform dispersion during storage. It is applicable to asphalt emulsions composed principally of a semisolid or liquid asphaltic base, water, and an emulsifying agent.

### 78. Summary of Test Method

78.1 This test method determines the difference in percent residue of samples taken from the top and bottom of material placed in undisturbed simulated storage for 24 h. The result is expressed as the average of the two individual values obtained by determining the difference between the percent residue of the top and bottom samples for each storage cylinder.

### 79. Significance and Use

79.1 This test method is useful for determining in a comparatively short time the storage stability of an asphalt emulsion. It is a measure of the permanence of the dispersion as related to time, but it is not to be construed to have significance as a measure of other stability aspects involved in use.

### 80. Apparatus

80.1 *Cylinders*—Two 500-mL glass cylinders, with pressed or molded glass bases and cork or glass stoppers, having an outside diameter of  $50 \pm 5$  mm, and having 5-mL graduations.

80.2 *Glass Pipet*—A 60-mL siphon glass-tube pipet of optional form.

80.3 *Balance*, capable of weighing 500 g to within  $\pm 0.1$  g.

## 81. Procedure

81.1 Bring the asphalt emulsion to room temperature, 21 to 27°C. Place a 500-mL representative sample in each of the two glass cylinders. Stopper the cylinders and allow them to stand undisturbed, at laboratory air temperature 21 to 27°C, for 24 h. After standing for this period, remove approximately 55 mL from the top of the emulsion by means of the pipet or siphon without disturbing the balance. Thoroughly mix each portion.

81.2 Weigh  $50.0 \pm 0.1$  g of each sample into separately weighed 1000-mL glass or aluminum beakers, each beaker having previously been weighed with a 6-mm diameter by 178-mm glass rod. Adjust the temperature of the oven to  $163 \pm 2.8$ °C. Then place the beakers containing the rods and sample in the oven for 2 h. At the end of this period remove each beaker and thoroughly stir the residue. Replace in the oven for 1 h, then remove the beakers from the oven, allow to cool to room temperature, and weigh, with the rods (see Note 6).

81.3 After removal of the top sample, siphon off the next 390 mL (approximate) from each of the cylinders. Thoroughly mix the emulsion remaining in the cylinders and weigh 50 g into separate weighed 1000-mL glass or aluminum beakers. Determine the asphaltic residue of these samples in accordance with 81.2.

## 82. Calculation and Report

82.1 Calculate and report the storage stability in accordance with Section 44, and observe Note 14.

## 83. Precision and Bias

83.1 *Repeatability*—The repeatability standard deviation is 0.2 %. The average difference between two results, obtained by the same operator with the same equipment, but not concurrently, will be approximately 0.2 %. Two such values should be considered suspect (95 % confidence level) if they differ by more than 0.5 %.

83.2 *Reproducibility*—The reproducibility standard deviation is 0.2 %. The average difference between two results obtained by operators in different laboratories will be approximately 0.3 %. Two such values should be considered suspect (95 % confidence level) if they differ by more than 0.6 %.

NOTE 19—If this test method is performed using only one cylinder instead of two for each determination as specified in the test method, then the following precision criteria should be used:

Repeatability, %	
Standard deviation	0.2
Average difference	0.3
Suspect criterion	0.5
Reproducibility, %	
Standard deviation	0.2
Average difference	0.3
Suspect criterion	0.6

EXAMINATION OF RESIDUE

84. Scope

84.1 Tests for specific gravity, ash content, solubility in trichloroethylene, penetration, ductility and float test are suggested for examination of the emulsion residue obtained by distillation or evaporation (14.7 and 20.2)

85. Significance and Use

85.1 The suggested procedures are used to characterize and evaluate the properties of emulsion residues.

86. Specific Gravity

86.1 Determine the specific gravity on a representative portion of the residue in accordance with Test Method D 70 or Test Method D 3289.

87. Ash Content

87.1 Determine the ash on a representative portion of the residue in accordance with the rapid routine test method of ash determination, as described in Section 7 of Test Methods D 128.

88. Solubility in Trichloroethylene

88.1 Determine the solubility in trichloroethylene on a representative portion of the residue in accordance with Test Method D 2042.

89. Penetration

89.1 Determine the penetration on a representative portion

of the residue in accordance with Test Method D 5.

89.2 Precision—The following criteria should be used for judging the acceptability of results (95 % probability):

89.2.1 Duplicate results by the same operator should not be considered suspect unless they differ by more than the following amount:

Penetration of Residue, range 80 to 200	Repeatability, points 15
--------------------------------------------	-----------------------------

89.2.2 The results submitted by each of two laboratories should not be considered suspect unless they differ by more than the following amount:

Penetration of Residue, range 80 to 200	Reproducibility, points 30
--------------------------------------------	-------------------------------

90. Ductility

90.1 Determine the ductility on a representative portion of the residue in accordance with Test Method D 113.

91. Float Test

91.1 Determine the float test on a representative portion of the residue in accordance with Test Method D 139 except revise 6.2 of Test Method D 139 as follows: Pour the residue into the collar at or near 260°C preferably, directly from the still. If the residue has been allowed to cool below 260°C, reheat it to 260°C with stirring and pour into the collar.

PRACTICE FOR THE IDENTIFICATION TEST FOR RAPID-SETTING CATIONIC EMULSIFIED ASPHALT

92. Scope

92.1 This practice covers a procedure for identifying rapid-setting cationic emulsified asphalts. Their inability to coat a specific silica sand distinguishes them from medium and slow setting cationic grades.

93. Significance and Use

93.1 This practice is based upon the rapid asphalt deposition properties of rapid setting cationic emulsified asphalt as a function of sand surface area and surface charge. The test method differs from the usual coating test because the material passes the requirement when it fails to coat the specified silica sand.

93.2 Impurities in the silica sand often prevent the emulsion from passing the test. Washing the sand to remove impurities prior to test is required. Impurities affecting test results are normally due to the presence of iron (Fe<sup>+++</sup>) and organic dewatering agents that can alter sand surface charge.

94. Apparatus

94.1 *Mixing Container*—Glass beaker or stainless steel beaker or bowl, 1000 mL capacity.

94.2 *Washing Container*—Beaker made from borosilicate

glass, 1000 mL capacity.

94.3 *Stainless Steel Spatula or Glass Rod*.

94.4 *Oven*—Convection or forced-draft, capable of maintaining 120 to 150°C.

94.5 *Balance*—Capable of weighing 500 ± 0.1 g.

94.6 *Drying Pan*—Stainless steel or glass, 150-mm by 225-mm or larger.

94.7 *Graduated Cylinder*—Made from borosilicate glass, 500-mL capacity.

94.8 *Thermometer*—ASTM No. 67C or as specified in Table 1 of Specification E 1.

94.9 *Eye Protection*—Suitable safety glasses or other appropriate eye protection.

94.10 *Hand Protection*—Suitably acid and alcohol resistant.

95. Materials

95.1 *Silica Sand*, F-95, whole grain.<sup>11</sup>

95.2 *Hydrochloric Acid*, reagent, 36.5 % to 38.0 %.

95.3 *Isopropyl Alcohol*, reagent, 100 %.

<sup>11</sup> F-95 grade whole grain or equivalent is available from U.S. Silica Sand Co., Ottawa, IL.

#### 95.4 Distilled Water.

##### TYPICAL GRADATION

Millimetres	0.850	0.425	0.300	0.212	0.150	0.106	0.075	0.053
% Passing	100	99	97	89	56	17	2	T

#### 96. Emulsified Asphalt (Emulsion) Sample

96.1 Obtain a representative sample of the rapid-setting cationic emulsion for test.

#### 97. Sand Preparation

97.1 Prepare 400 mL of 5 % hydrochloric acid, by volume, in isopropyl alcohol by mixing 20 mL hydrochloric acid into a blend of 80 mL distilled water and 300 mL isopropyl alcohol in a 500 mL graduated cylinder.

97.2 Weigh 500 g of the F-95 silica sand into a 1000 mL beaker. Add 400 mL of the 5 % hydrochloric acid in isopropyl alcohol/water mixture into the beaker containing the silica sand and stir for 5 min with a stainless steel spatula or a glass rod.

97.3 Decant the acid/alcohol/water mixture carefully without loss of sand.

97.4 Wash sand with at least 400 mL of hot distilled water, 50° to 70°C stir for approximately 1 min. Decant water without loss of sand. Repeat water washing the sand two more times.

97.5 Scrape washed sand onto drying pan avoiding as much loss of sand as is possible and spread sand over the surface of the drying pan. Place pan with sand in an oven and dry the sand at a temperature of 120 to 150°C to constant mass.

97.6 Allow sand to cool and transfer dry sand to a suitable

container. Mix sand for approximately 30 s to obtain uniformity.

#### 98. Procedure

98.1 Test at  $25 \pm 5^\circ\text{C}$ .

98.2 Weigh 465 g of the washed silica sand blend into a 1000 mL beaker. Add 35 g of the emulsion to be tested and mix vigorously with a spatula for approximately 2 min using a combined stirring and kneading action. At the end of the mixing period, tilt the beaker and allow any excess emulsion, which is not on the sand, to drain from the beaker.

98.3 Place the completed mix on absorbent paper. Visually estimate the amount of uncoated and coated area in the mixture. See Note 20.

#### 99. Interpretation of Results

99.1 From the visual estimation of the amount of uncoated area and coated area in the mixture, record the coating of the total sand surface area by the asphalt emulsion. An excess of uncoated area over the coated area shall be considered as a passing rating for identification of rapid-setting cationic emulsified asphalt.

NOTE 20—Visual estimation is less accurate at moderate levels of coating than at the two extremes. If results are inconclusive, the washing and mixing procedure should be repeated.

### IDENTIFICATION OF CATIONIC SLOW-SET EMULSIONS

#### 100. Scope

100.1 This practice is intended to identify a cationic slow-setting grade of emulsified asphalts if the results of the particle charge test are inconclusive.

#### 101. Summary of Practice

101.1 A weighed amount of washed and dried silica sand is hand mixed with a weighed amount of emulsified asphalt. Mixing time should extend until aggregate is completely coated. The amount of CSS-grade emulsified asphalt in the mix should give a total mix asphalt content of about 5.0 %. The sample is spread out and allowed to air cure for 24 h. The retained coating, after boiling, is determined.

#### 102. Significance and Use

102.1 The conditions of the practice are designed to identify the adequacy of a slow-setting grade of emulsified asphalt (CSS-D 2397) to properly mix, coat, and adhere to a specified silica sand aggregate.

102.2 This practice is intended to confirm the adhesive properties that exist between a cationic emulsion and silica sand and the adequacy of the sample to remain coated after being submerged in boiling water.

#### 103. Apparatus and Material

103.1 *Heat Source*—Hot plate or Bunsen burner. The use of a Bunsen burner will necessitate the placement of an interfacial

material between the flame and beaker.

103.2 *Screen*—850  $\mu\text{m}$  mesh folded into a circular configuration with the edges folded downward, or cut a strip of 850  $\mu\text{m}$  mesh screen 25.4 mm by 355.6 mm in length and a circular screen of the circumference of 1000-mL beaker. Bend the strip into a circle and insert it in the bottom of the beaker. Place the circular screen on top of the strip.

103.3 *Beaker*, 1000-mL.

103.4 *Paper Napkin*.

103.5 *20–30 Standard Ottawa Silica Sand*, as described in Specification C 778 (silica sand should be washed to remove impurities prior to test).

103.6 *Spatula*—A steel spatula or its equivalent, having a blade of approximately 200 mm in length.

103.7 *Mixing Container*, 400-mL glass or stainless steel beaker or bowl.

103.8 *Beaker Tongs*.

103.9 *Eye Protection*—Suitable safety glasses with side shield or any other appropriate eye protection.

103.10 *Hand Protection*—Heat resistant gloves.

#### 104. Procedure

104.1 Weigh 150 g of dry silica sand into the mixing container.

104.2 Add 12 g of the emulsion and immediately begin to mix vigorously for 20 to 60 s or until silica sand is completely

coated. (Water may be added to facilitate mixing; 1.0 % is generally sufficient.)

104.3 The sample should be spread onto a paper napkin in such a manner as to facilitate curing. Allow to air cure for 24 h. (Remove sample from paper napkin and break into several pieces; observe whether sample is completely cured. If sample is not completely cured, allow additional curing time.)

104.4 Boil about 500 mL of distilled water in a 1000-mL beaker containing 850  $\mu$ m mesh screen shelf. Place the coated silica sand in the boiling water on top of the screen.

104.5 Boil for 10 min and then decant the water.

104.6 Spread the sample on a level surface and observe the coating of the mix.

### 105. Report

105.1 From the visual examination of the amount of coated and uncoated areas in the mixture, record the retained coating, after boiling, of the total sand surface area. If the coating is in excess of 50 %, the emulsion should be considered as having a passing rating for classification of slow-setting cationic emulsified asphalt.

## PRACTICE FOR DETERMINING FIELD COATING OF EMULSIFIED ASPHALTS

### 106. Scope

106.1 This is a quick field test method to ascertain the compatibility of an asphalt emulsion with the job aggregate.

### 107. Summary of Practice

107.1 A measured amount of the job aggregate is hand-mixed with a measured amount of the emulsion supplied to the job. The ability of the emulsion to remain as a coating during a 5-min mixing cycle is observed. The resistance offered by the coating to wash-off is determined by repeated filling with water and emptying a container of the coated aggregate.

### 108. Significance and Use

108.1 The practice is proposed for use at the project site to determine (1) the ability of an asphalt emulsion to coat the job aggregate, (2) the ability of the emulsion to withstand mixing, and (3) the water resistance of the emulsion coated aggregate.

### 109. Apparatus

109.1 *Metal Containers*, ½-L capacity (friction-top pint cans).

109.2 *Metal Porcelain Saucepan*, (2½ to 3-L), equipped with a handle.

109.3 *Dispensing Graduate*, 50-mL capacity, preferably plastic.

109.4 *Serving Spoon*, long-handled.

### 110. Procedure

110.1 Derim the ½-L can.

110.2 Fill the can level with the job aggregate, deleting any sizes above 19 mm.

110.3 Measure out 50 mL of emulsified asphalt.

110.4 Dump the aggregate (110.2) and the emulsion (110.3) into the porcelain saucepan.

110.5 Hand mix vigorously for 5 min with the long-handled spoon.

110.6 Observe (1) whether the stone is fully coated with the emulsion and rate the coating as good, fair or poor—a rating of good means fully coated by the asphalt emulsion exclusive of pinholes and sharp edges of the aggregate, a rating of fair applies to the condition of an excess of coated area over uncoated area, and a rating of poor applies to the condition of an excess of uncoated area over coated area; and (2) the presence, if any, of free water, which denotes breakdown of the emulsion.

110.7 Refill the ½-L can with the coated stone.

110.8 Set the can of coated stone upright in the porcelain saucepan.

110.9 Fill the can with water and pour off. Repeat this step five times.

110.10 Dump the contents of the can onto newspapers. Repeat the observations made in 110.6 and record.

### 111. Report

111.1 Report the observations made in 110.6 and 110.10 as the results from this practice.



## EMULSIFIED ASPHALT/JOB AGGREGATE COATING PRACTICE

### 112. Scope

112.1 This practice may be used to identify the adequacy of slow setting grade of emulsified asphalt to mix with and coat a dense and fine-graded job aggregate. It is a laboratory practice of screening emulsion candidates for mixing with and coating job aggregates and is not to be construed as a mix design test method.

### 113. Summary of Practice

113.1 A weighed amount of dry job aggregate is hand-mixed with a weighed amount of water for prewetting the aggregate. The wetted aggregate is then hand-mixed with a weighed amount of emulsified asphalt of known asphalt-cement content until maximum coating of the job aggregate is obtained. (Mix time is usually 15 to 120 s.) The adequacy of emulsified asphalt for mixing with job aggregate is determined by using various amounts of water and emulsified asphalt until a maximum coating of the job aggregate is obtained. This coating is rated as good, fair, or poor.

### 114. Significance and Use

114.1 The conditions of the practice are designed to identify the adequacy of emulsified asphalt, slow-setting grade (CSS-D 2397 and SS-D 977) for mixing with and coating dense-graded aggregate and fine-graded aggregate.

### 115. Apparatus

115.1 *Containers*—A 1000-mL glass beaker, a 1.0-L friction-top metal can, or 1000-mL stainless steel beaker or bowl.

115.2 *Mixing Tool*—A steel spatula or its equivalent, having a blade approximately 200 mm in length.

115.3 *Balance*, capable of weighing 1000 g to within  $\pm 0.1$  g.

### 116. Procedure

116.1 Weigh 300 g of dry job aggregate into the container

and add water basis dry weight of aggregate. Immediately begin to mix vigorously for 1 min or until all aggregate surfaces subjectively appear to be wetted (as a guide, 2 to 8 % water for dense-graded aggregate and 4 to 12 % water for fine-graded aggregate). The natural moisture in a job aggregate may be used in the test if predetermined. Additional water may then be added, if necessary, to obtain the desired level of water to be used for prewetting the aggregate.

116.2 Add the emulsion and immediately begin to mix vigorously, scraping sides and bottom of container, for 15 to 120 s or until maximum coating has been attained (as a guide, basis dry mass of aggregate, 3 to 7 % Asphalt Cement (A/C) residue for dense aggregate and 4 to 8 % A/C residue for fine aggregate). Example: 8 % emulsion at 60 % solids would be equivalent to 4.8 % asphalt cement residue in the mix.

116.3 If mix appears to be too dry and insufficiently coated repeat 116.1 and 116.2, using an increased amount of water or emulsified asphalt, or both. If mix appears to be too wet from excessive water or emulsified asphalt, or both, repeat 116.1 and 116.2, using less water or emulsified asphalt, or both.

116.4 For each job aggregate mix observe and record the amount of aggregate prewetting water and asphalt cement residue from the emulsified asphalt and note the one mix which provides the best aggregate coating.

116.5 Rate the best coating as good, fair, or poor using the ratings as defined in Section 76.

### 117. Report

117.1 Report the observations made in 116.2 and 116.3 relating to amount of aggregate prewetting water and residual asphalt needed for best obtainable aggregate coating.

117.2 Report the maximum coating achieved as good, fair, or poor in accordance with Section 76.

## DENSITY OF EMULSIFIED ASPHALT

### 118. Scope

118.1 This test method is used to determine the density of emulsified asphalt used in highway construction. This unit weight is computed by determining the mass of an asphalt emulsion contained in a standard measure of known volume.

### 119. Significance and Use

119.1 This test method provides a controlled laboratory test for the determination of quantitative volumes of emulsion asphalt for use in bills of lading, invoicing, and application rates.

### 120. Apparatus

120.1 *Density Cup*—Stainless steel measure of known standard volume (83.2 mL).

120.2 *Balance*, accurate to 0.01 g.

120.3 *Water Bath*, constant-temperature, maintained at 25°C.

### 121. Procedure

121.1 Stir the emulsion sample and place in a constant-temperature water bath maintained at  $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$  for approximately 1 h.

121.2 Place the measure and its cap on the balance, tare, and zero the balance.

121.3 Remove the emulsion sample from the bath and stir, using care to avoid trapping air in the sample. If necessary, strain through a 850- $\mu\text{m}$  sieve to remove any skin or film that might be present in the emulsion.

121.4 Bring the measure to approximately 25°C and pour

the emulsion into the measure, filling it completely.

121.5 Start placing the cap into the measure and remove, with a clean dry rag or paper, the excess emulsion oozing through the orifice in the cap.

121.6 When the cap is placed on tightly, clean the measure carefully, weigh on the tared balance to the nearest 0.01 g, and record.

**122. Calculation**

122.1 Calculate the density of the emulsion as follows:

$$W = (G)(11.98) \tag{6}$$

where:

W = unit density of the emulsion, as expressed in g/L, and  
 G = mass of emulsion in the measure, g.

NOTE 21—If the desired units are to be expressed in pounds per gallon at 25°C, then the calculation would be  $W = G/10$ . Pounds per gallon at 25°C may be translated to pounds per gallon at 15.6°C by using a multiplier of 1.00475. The calculation of Imperial gallon mass may be made by using the proper conversion factors.

**123. Report**

123.1 Report the unit density of the emulsion in g/L to the

nearest whole unit at 25°C.

**124. Precision and Bias**

124.1 The following criteria should be used for judging the acceptability of results (95 % probability):

124.1.1 Duplicate results by the same operator should not be considered suspect unless they differ by more than the following amount:

Unit Mass Grams per Liter 25°C	Repeatability 0.019
-----------------------------------	------------------------

124.1.2 The results submitted by each of two laboratories should not be considered suspect unless they differ by more than the following amount:

Unit Mass Grams per Liter 25°C	Reproducibility 0.034
-----------------------------------	--------------------------

**125. Keywords**

125.1 emulsified asphalt; asphalt emulsion; emulsion; cationic emulsion

**RESIDUE BY LOW-TEMPERATURE VACUUM DISTILLATION**

**126. Scope**

126.1 This test method covers the quantitative determination of residue in asphalt emulsions composed principally of a semisolid or liquid asphaltic base, water, and an emulsifying agent. The emulsion will generally contain polymeric materials. It is especially suitable for asphalt emulsion residue properties that may be altered at the high-temperature 260°C (500°F) distillation.

**127. Significance and Use**

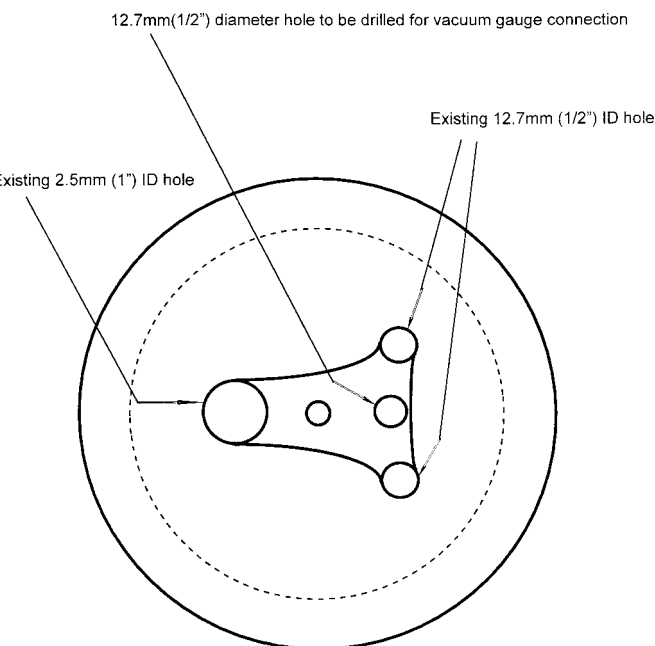
127.1 This test method can be used for the quantitative determination of residue in asphalt emulsions at a temperature of 135°C (275°F) with a 60 min distillation test using current distillation apparatus. This test method is suitable for obtaining residues for service evaluation, quality control, and research. This distillation test method is not intended to produce residues equivalent to the D 244 260°C (500°F) distillation procedure.

**128. Apparatus**

128.1 *Aluminum Alloy Still*, conforming to 13.1, except that a 13-mm (1/2-in.) diameter hole is drilled between the two existing 13-mm (1/2-in.) thermometer holes for the connection of a vacuum gage (see Fig. 10). The joint between the still and lid shall be airtight with the gasket in place. Other heating devices may be used, provided that they use the intended control of temperature during the distillation procedure.

128.2 *Connection Apparatus*, conforming to 13.2, with modifications as shown in Fig. 11. The connection tubing may be of suitable materials, provided that the intended vacuum,

temperature, and method is maintained. Other forms of condensers may be used, provided that they have an equivalent or greater interior surface area for the condensation of distillate.



**FIG. 10 Aluminum Alloy Still Lid Showing Location of the Hole for Vacuum Gage Connection**

NOTE 22—Silicone rubber stoppers are recommended.

128.3 *Thermometers*, one ASTM 7F and one thermocouple

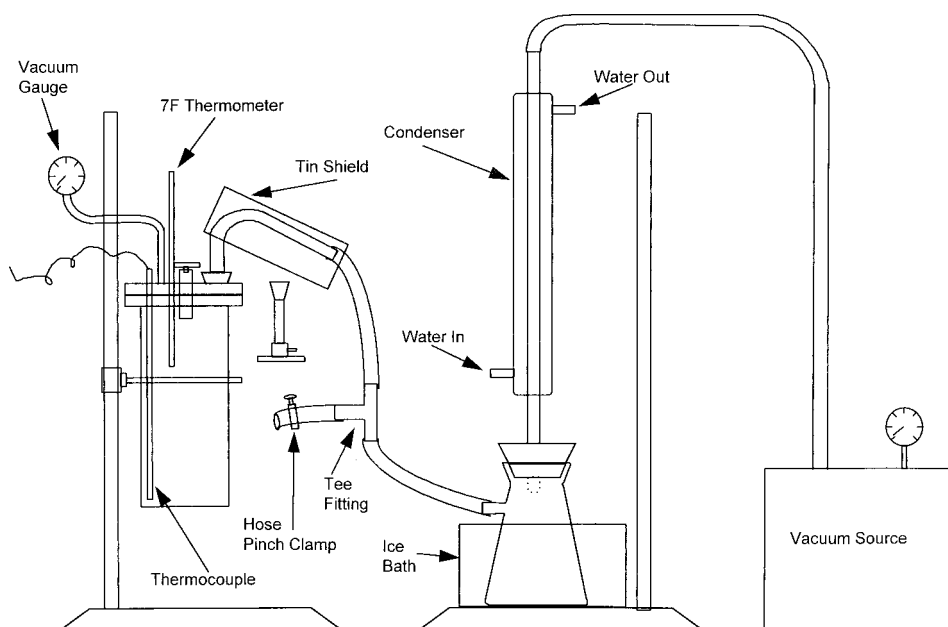


FIG. 11 Connection Apparatus Schematic

device<sup>12</sup> calibrated at 135°C (275°F). The thermocouple probe, Type T with exposed junction, should be of sufficient length (approximately 12 in. (305 mm)) to be positioned 6 mm (0.25 in.) off the bottom of the assembled still. The use of other thermometric measuring devices may be acceptable, provided that they have a similar accuracy and response and maintain the intended location in the distillation apparatus.

128.4 *Balance*, capable of weighing 3500 g to ±0.1 g.

128.5 *Vacuum Pump*, rotary vane type, capable of maintaining a vacuum of 88 kPa below gage pressure or greater.

NOTE 23—Eighty-eight kPa below gage pressure is equal to 26 in. Hg (660 mm) below atmospheric pressure.

128.6 *Gasket*, of silicone rubber, 3-mm (1/8-in.) thick, cut to fit the flanged opening on the still. Other gasket materials may be used, provided that they withstand the maximum temperature reached during distillation and are able to maintain the specified vacuum within the still.

128.7 *Vacuum Gages*, dial type or other suitable type, connected to vacuum tubing or fittings, or both, to allow attachment to both the vacuum pump and the still apparatus, and capable of reading a minimum vacuum of 88 kPa below gage pressure (660 mm or 26 in. Hg below atmospheric pressure).

128.8 *Freezer*, maintained at approximately -10°C.

128.9 *Plastic Drink Cups*, disposable, of convenient size and make to serve as a container during freezing of emulsion.

## 129. Procedure

129.1 Weigh 200 to 201 g of a representative sample of the emulsion into the disposable plastic drink cup. Place the cup and sample in the freezer until frozen thoroughly.

NOTE 24—Typically 0.5 g of frozen emulsion is lost in handling the frozen emulsion. If the desired amount of frozen emulsion to be tested is 200.0 g, weigh 200.5 g into the drink cup.

129.2 Prepare the still by inserting the thermometer and thermocouple probe through size No. 00 rubber stoppers, and then into the 13-mm (1/2-in.) holes provided for in the still cover. Adjust the thermocouple so the end is 6 mm (0.25 in.) from the bottom of the still. The bulb of the 7F thermometer should be adjusted to 165 mm (6.5 in.) from the bottom of the still.

129.3 Prepare the frozen emulsion sample by splitting the edge of the cup and partially peeling the sides away from the sample. Place the frozen sample in the previously weighed still apparatus (including the lid, clamp, thermometer, thermocouple probe, stoppers, and gasket), and weigh to 0.1 g.

129.4 Assemble the apparatus, and insert the vacuum gage with tubing and stopper attachment into the 13-mm (1/2-in.) hole located between the thermometer holes. Immediately apply a minimum vacuum of 88 kPa below gage (atmospheric) to the still and contents. Maintain this vacuum throughout the distillation. The elapsed time from removing the sample from the freezer to applying the vacuum should not exceed 2 min.

129.5 Apply heat from a ring burner or other suitable heating device after 10 min. The ring burner at the beginning of the heating period shall be positioned around the still approximately 200 mm (8 in.) from the bottom of the still. Also apply a small amount of heat to the connecting tube from a Bunsen burner or other suitable heating device. Other heating devices may require a different procedure to apply heat in the intended manner.

NOTE 25—The location of the ring burner or heating device at the start of the test is flexible.

129.6 As the temperature rises to approximately 149°C (300°F) on the upper thermometer, lower the burner gradually until the thermocouple reads 135 ± 5°C (275 ± 10°F). This

<sup>12</sup> Model 8528-10, with Type T probe Model No. G-08522-31, from Cole Parmer Instruments, Niles, IL, has been found suitable for this purpose.

should be accomplished in 45 min.

129.7 Maintain the temperature of the still contents at  $135 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $275 \pm 10^\circ\text{F}$ ) for 15 min.

NOTE 26—Cooling of the outside of the still may be done to prevent temperature overshoot. This can be performed by the application of water-soaked toweling applied momentarily to the base of the still with due precaution.

129.8 At the end of the heating period, reweigh the still apparatus and residue immediately. Record the results.

NOTE 27—The aluminum alloy still at room temperature weighs 0.8 g more than at  $135^\circ\text{C}$  ( $275^\circ\text{F}$ ). Correct for this error by adding 0.8 g to the gross weight obtained in 129.8 before calculating the percentage of residue by distillation.

129.9 Remove the lid from the still and stir if the residue is sufficiently fluid, and transfer suitable portions of the residue into molds or containers for further testing. If the residue is not sufficiently fluid for pouring without the incorporation of air, heat the sample quickly to the lowest temperature at which this can be achieved. Record the pouring temperature.

### 130. Calculation and Report

130.1 Calculate the residue content as follows:

$$\text{Emulsion residue, \%} = (A \div B) \times 100 \quad (7)$$

where:

$A$  = weight of residue, g, and

$B$  = weight of emulsion, g.

130.2 Report the following information:

130.2.1 Sample identification,

130.2.2 Date of test,

130.2.3 Pouring temperature,

130.2.4 Emulsion residue weight percent, and

130.2.5 Distillation test method.

### 131. Precision and Bias

131.1 *Precision*—The research necessary to report precision has not been conducted.

131.2 *Bias*—The research necessary to report bias has not been conducted.

### 132. Keywords

132.1 asphalt; asphalt emulsion; distillation; cationic emulsion; emulsified asphalt emulsion; emulsion; low-temperature; vacuum

*The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).*



# Standard Test Method for Sieve Analysis of Mineral Filler for Bituminous Paving Mixtures<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 546; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

<sup>ε1</sup> NOTE—A research report was added editorially in October 1999.

## 1. Scope \*

1.1 This test method covers the sieve analysis of mineral fillers used in bituminous paving mixtures.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

## 2. Referenced Documents

### 2.1 ASTM Standards:

C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials<sup>2</sup>

C 702 Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size<sup>2</sup>

D 242 Specification for Mineral Filler for Bituminous Paving Mixtures<sup>3</sup>

D 422 Test Method for Particle-Size Analysis of Soils<sup>3</sup>

E 11 Specification for Wire-Cloth and Sieves for Testing Purposes<sup>4</sup>

## 3. Significance and Use

3.1 The method is used to determine compliance of mineral fillers with the grading requirements of Specification D 242.

## 4. Apparatus

4.1 *Balance or Scale*, sensitive to 0.05 g and accurate to  $\pm 0.05$  g with a capacity of 200 g.

4.2 *Sieves*, conforming to Specification E 11 with nominal opening sizes of 75- $\mu\text{m}$  (No. 200), 300- $\mu\text{m}$  (No. 50), and 600- $\mu\text{m}$  (No. 30) sieves.

4.3 *Oven*—An oven of sufficient size, capable of maintaining a uniform temperature of  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ).

## 5. Test Sample

5.1 Obtain the sample for test in accordance with the requirements of Specification D 242 and reduce to testing size in accordance with Practice C 702. Use a minimum of 100 g of dry material for each sieve analysis.

## 6. Procedure

6.1 Dry the test sample to constant mass at a temperature of  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ) and determine the mass to the nearest 0.05 g.

6.2 After drying and determining the mass, place the test sample on the 600- $\mu\text{m}$  (No. 30) sieve, which shall be nested above the 300- $\mu\text{m}$  (No. 50) and 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) sieves. Wash the material by means of a stream of water from a faucet (Note 1). Continue the washing until the water coming through the sieve is clear (Note 2). Dry the residue from each sieve to constant mass at a temperature of  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ) (Note 3). Calculate the mass of material retained on each sieve as a percentage of the original sample.

NOTE 1—A spray nozzle or a piece of rubber tubing attached to a water faucet may be used for the washing. The velocity of the water, which may be increased by pinching the tubing, must be controlled to prevent loss of any of the sample by splashing over the sides of the sieves.

NOTE 2—Take care to avoid accumulation of water on the 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) sieve, because it may become clogged and the operation cannot be completed within a reasonable period.

NOTE 3—Some material passes the 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) sieve on dry sieving that did not pass during the washing operation. When desired, additional information may be obtained by dry sieving the portion of the sample retained on the 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) sieve, in accordance with Test Method D 422.

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-4 on Road and Paving Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D04.51 on Aggregate Tests.

Current edition approved Jun. 10, 1999. Published August 1999. Originally issued as D 546 – 39 T. Last previous edition D 546 – 94.

<sup>2</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02.

<sup>3</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.08.

<sup>4</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

\*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

**TABLE 1 Average Precision**

Precision	Test Result Value, % in Size Fraction <sup>A</sup>	Standard Deviation, (1s), % <sup>B</sup>	Acceptable Range of Test Results, (d2s), % <sup>B</sup>
Single Operator	Less than 2	0.14	0.5 <sup>C</sup>
	More than 2	0.7	2.0
Multilaboratory	Less than 2	0.17	0.5
	More than 2	1.0	2.8

<sup>A</sup> The percent between consecutive sieves, or percent retained on the largest sieve, 600- $\mu\text{m}$  (No. 30), or percent passing the smallest sieve, 75- $\mu\text{m}$  (No. 200).

<sup>B</sup> These numbers represent, respectively, the (1s) and (d2s) limits as described in Practice C 670.

<sup>C</sup> The minimum d2s is 0.5 % in this case since results of the test are expressed to the nearest 0.5 %.

## 7. Report

7.1 Report the results of the sieve analysis as the total percentage passing each sieve, expressed to the nearest 0.5 %.

## 8. Precision and Bias <sup>5</sup>

8.1 *Precision*—The estimates of precision for this test method are shown in Table 1. They are based on results of an interlaboratory testing program where replicable samples of four different mineral fillers were tested in 20 laboratories

using this test method. The materials tested ranged from a coarse mineral filler, that had about 93 % passing the 600- $\mu\text{m}$  (No. 30) sieve and 51 % passing the 75- $\mu\text{m}$  (No. 200), to finer mineral fillers that had about 99 % passing the 300- $\mu\text{m}$  (No. 50) sieve and 95 % passing the 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) sieve.

8.2 *Bias*—Research to determine the bias of this test method has not been conducted. Therefore, no statement on bias is made.

## 9. Keywords

9.1 bituminous paving mixtures; grading; mineral filler; sieve analysis

<sup>5</sup> A research report is available from ASTM Headquarters, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428. Request RR: D04-1017.

## SUMMARY OF CHANGES

This section identifies the location of changes to this Test Method that have been incorporated since the last issue. Committee D-4 has highlighted those changes that affect the technical interpretation or use of this Test Method.

(1) The use for the mineral filler was changed from “road and paving materials” in the title and scope.

(2) Minor rephrasing of the text was done in 4.2, 6.1, 6.2, 8.1, 8.2, 9.1, and Note 1, Note 2, and Note 3.

*The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.*

*This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (<http://www.astm.org>).*



## Standard Specification for Emulsified Asphalt<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 977; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

### 1. Scope

1.1 This specification covers thirteen grades of emulsified asphalt for use in pavement construction in the manner designated.

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards:

D 140 Practice for Sampling Bituminous Materials<sup>2</sup>

D 244 Test Methods for Emulsified Asphalts<sup>2</sup>

D 3910 Practices for Design, Testing, and Construction of Slurry Seal<sup>2</sup>

### 3. Requirements

3.1 The emulsified asphalt shall be tested within 14 days of delivery. The emulsified asphalt shall be homogeneous after

thorough mixing provided separation has not been caused by freezing. Emulsified asphalts separated by freezing shall not be tested.

3.2 Emulsified asphalt shall conform to the requirements prescribed in Table 1.

### 4. Sampling

4.1 Samples of emulsified asphalt shall be taken in accordance with Practice D 140.

4.2 Samples shall be stored in clean, airtight sealed containers as specified in Practice D 140 at a temperature of not less than 4°C (39.2°F) until tested.

### 5. Test Methods

5.1 The properties of the emulsified asphalts given in Table 1 shall be determined in accordance with Test Methods D 244.

### 6. Keywords

6.1 anionic; emulsion; emulsified asphalt; high float; medium setting; rapid setting; slow setting

<sup>1</sup> This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee D04 on Road and Paving Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D04.41 on Emulsified Asphalt Specifications.

Current edition approved Feb. 10, 2003. Published April 2003. Originally approved in 1948. Last previous edition approved in 1998 as D 977-98.

<sup>2</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.03.

**TABLE 1 Requirements for Emulsified Asphalt**

NOTE 1—QS-1H emulsions shall meet the requirements outlined in Practices D 3910 .

NOTE 2—QS-1h is used for Quick Set Slurry Seal systems.

Type	Rapid-Setting						Medium-Setting						
	RS-1		RS-2		HFRS-2		MS-1		MS-2		MS-2h		
Grade	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	
<i>Tests on emulsions:</i>													
Viscosity, Saybolt Furol at 25°C (77°F), SFS	20	100	...	...	...	...	20	100	100	...	100	...	
Viscosity, Saybolt Furol at 50°C (122°F), SFS	...	...	75	400	75	400	...	...	...	...	...	...	
Storage stability test, 24-h, % <sup>A</sup>	...	1	...	1	...	1	...	1	...	1	...	1	
Demulsibility, 35 ml, 0.02 N CaCl <sub>2</sub> , %	60	...	60	...	60	...	...	...	...	...	...	...	
Coating ability and water resistance:													
Coating, dry aggregate	...	...	...	...	...	...	good	good	good	good	good	good	
Coating, after spraying	...	...	...	...	...	...	fair	fair	fair	fair	fair	fair	
Coating, wet aggregate	...	...	...	...	...	...	fair	fair	fair	fair	fair	fair	
Coating, after spraying	...	...	...	...	...	...	fair	fair	fair	fair	fair	fair	
Cement mixing test, %	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
Sieve test, % <sup>A</sup>	...	0.10	...	0.10	...	0.10	...	0.10	...	0.10	...	0.10	
Residue by distillation, %	55	...	63	...	63	...	55	...	65	...	65	...	
Oil distillate by volume of emulsion, %	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
<i>Tests on residue from distillation test:</i>													
Penetration, 25°C (77°F), 100g, 5 s	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	40	90	
Ductility, 25°C (77°F) 5 cm/min, cm	40	...	40	...	40	...	40	...	40	...	40	...	
Solubility in trichloroethylene, %	97.5	...	97.5	...	97.5	...	97.5	...	97.5	...	97.5	...	
Float test, 60°C (140°F), s	...	...	...	...	1200	...	...	...	...	...	...	...	

Type	Medium-Setting						Slow-Setting						Quick Setting		
	HFMS-1		HFMS-2		HFMS-2h		HFMS-2s		SS-1		SS-1h		QS-1H		
Grade	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	
<i>Tests on emulsions:</i>															
Viscosity, Saybolt Furol at 25°C (77°F), SFS	20	100	100	...	100	...	50	...	20	100	20	100	20	100	
Viscosity, Saybolt Furol at 50°C (122°F), SFS	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
Storage stability test, 24-h, % <sup>A</sup>	...	1	...	1	...	1	...	1	...	1	...	1	...	...	
Demulsibility, 35 ml, 0.02 N CaCl <sub>2</sub> , %	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
Coating ability and water resistance:															
Coating, dry aggregate	good	...	good	...	good	...	good	...	...	...	...	...	...	...	
Coating, after spraying	fair	...	fair	...	fair	...	fair	...	...	...	...	...	...	...	
Coating, wet aggregate	fair	...	fair	...	fair	...	fair	...	...	...	...	...	...	...	
Coating, after spraying	fair	...	fair	...	fair	...	fair	...	...	...	...	...	...	...	
Cement mixing test, %	...	...	...	...	...	...	...	...	...	2.0	...	2.0	...	N/A	
Sieve test, % <sup>A</sup>	...	0.10	...	0.10	...	0.10	...	0.10	...	0.10	...	0.10	...	0.10	
Residue by distillation, %	55	...	65	...	65	...	65	...	57	...	57	...	57	...	
Oil distillate by volume of emulsion, %	...	...	...	...	...	...	1	7	...	...	...	...	...	...	
<i>Tests on residue from distillation test:</i>															
Penetration, 25°C (77°F), 100 g, 5 s	100	200	100	200	40	90	200	...	100	200	40	90	40	90	
Ductility, 25°C (77°F), 5 cm/min, cm	40	...	40	...	40	...	40	...	40	...	40	...	40	...	
Solubility in trichloroethylene, %	97.5	...	97.5	...	97.5	...	97.5	...	97.5	...	97.5	...	97.5	...	
Float test, 60°C (140°F), s	1200	...	1200	...	1200	...	1200	...	...	...	...	...	...	...	

<sup>A</sup> This test requirement on representative samples is waived if successful application of the material has been achieved in the field.



*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or [service@astm.org](mailto:service@astm.org) (e-mail); or through the ASTM website ([www.astm.org](http://www.astm.org)).*



# Standard Specification for Cationic Emulsified Asphalt<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 2397; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

## 1. Scope

1.1 This specification covers seven grades of cationic emulsified asphalt for use in pavement construction in the manner designated.

## 2. Referenced Documents

### 2.1 ASTM Standards:

- D 140 Practice for Sampling Bituminous Materials<sup>2</sup>
- D 244 Test Methods for Emulsified Asphalts<sup>2</sup>
- D 3910 Practices for Design, Testing, and Construction of Slurry Seal<sup>2</sup>

## 3. Requirements

3.1 The emulsified asphalt shall be tested within 14 days of delivery. The emulsified asphalt shall be homogeneous after

thorough mixing provided separation has not been caused by freezing. Emulsions separated by freezing shall not be tested.

3.2 Emulsified asphalt shall conform to the requirements prescribed in Table 1.

## 4. Sampling

4.1 Samples of emulsified asphalt shall be taken in accordance with Practice D 140.

4.2 Samples shall be stored in clean, airtight sealed containers at a temperature of not less than 4°C (39.2°F) until tested.

## 5. Test Methods

5.1 The properties of the emulsified asphalts given in Table 1 shall be determined in accordance with Test Methods D 244, with the following exception:

5.1.1 *Sieve Test*—Use distilled water in all wetting and washing operations in place of sodium oleate solution (2 %).

## 6. Keywords

6.1 cationic; emulsified asphalt; emulsion; medium setting; rapid setting; slow setting

<sup>1</sup> This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee D04 on Road and Paving Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D04.41 on Emulsified Asphalt Specifications.

Current edition approved Dec. 10, 2002. Published January 2003. Originally approved in 1965. Last previous edition approved in 1998 as D 2397-98.

<sup>2</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.03.

**TABLE 1 Requirements for Cationic Emulsified Asphalt**

NOTE 1—CQS-1H emulsions shall meet the requirements outlined in Practices D 3910.

NOTE 2—CQS-1h is used for Quick Set Slurry Seal systems.

Type	Rapid-Setting				Medium-Setting				Slow-Setting				Quick Setting	
	CRS-1		CRS-2		CMS-2		CMS-2h		CSS-1		CSS-1h		CQS-1H	
Grade	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Test on emulsions:														
Viscosity, Saybolt Furol at 25°C (77°F) SFS									20	100	20	100	20	100
Viscosity, Saybolt Furol at 50°C (122°F) SFS	20	100	100	400	50	450	50	450						
Storage stability test, 24-h, % <sup>A</sup>		1		1		1		1		1		1		
Demulsibility, 35 mL, 0.8 % dioctyl sodium sulfosuccinate, %	40	...	40	...										
Coating ability and water resistance:														
Coating, dry aggregate							good							
Coating, after spraying							fair							
Coating, wet aggregate							fair							
Coating, after spraying							fair							
Particle charge test	positive		positive				positive		positive		positive		positive	
Sieve test, % <sup>A</sup>		0.10		0.10		0.10		0.10		0.10		0.10		0.10
Cement mixing test, %										2.0		2.0		N/A
Distillation:														
Oil distillate, by volume of emulsion, %		3		3		12		12						
Residue, %	60		65		65		65		57		57		57	
Tests on residue from distillation test:														
Penetration, 25°C (77°F), 100 g, 5 s	100	250	100	250	100	250	40	90	100	250	40	90	40	90
Ductility, 25°C (77°F), 5 cm/min, cm	40		40		40		40		40		40		40	
Solubility in trichloroethylene, %	97.5		97.5		97.5		97.5		97.5		97.5		97.5	

<sup>A</sup>This test requirement on representative samples is waived if successful application of the material has been achieved in the field.

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or [service@astm.org](mailto:service@astm.org) (e-mail); or through the ASTM website ([www.astm.org](http://www.astm.org)).*



# Standard Test Method for Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 2419; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

## 1. Scope

1.1 This test method is intended to serve as a rapid field-correlation test. The purpose of this test method is to indicate, under standard conditions, the relative proportions of clay-like or plastic fines and dust in granular soils and fine aggregates that pass the 4.75-mm (No. 4) sieve. The term “sand equivalent” expresses the concept that most granular soils and fine aggregates are mixtures of desirable coarse particles, sand, and generally undesirable clay or plastic fines and dust.

NOTE 1—Some agencies perform the test on material with a top size smaller than the 4.75-mm (No. 4) sieve. This is done to avoid trapping the clay-like or plastic fines and dust below flaky shaped 4.75 to 2.36 mm (No. 4 to 8) sized particles. Testing smaller top sized material may lower the numerical results of the test.

### 1.2 Units of Measurement:

1.2.1 The values stated in SI units are to be regarded as the standard, with the exception of the dimensions of the special sand equivalent test apparatus described in Fig. 1, in which the the inch dimensions are standard. Values in parentheses are for information only.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

## 2. Referenced Documents

### 2.1 ASTM Standards:

- C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials<sup>2</sup>
- C 702 Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size<sup>2</sup>
- D 8 Terminology Relating to Materials for Roads and Pavements<sup>3</sup>
- D 75 Practice for Sampling Aggregates<sup>3</sup>

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D04 on Road and Paving Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D04.51 on Aggregate Tests.

Current edition approved July 10, 2002. Published September 2002. Originally published as D 2419 – 65 T. Last previous edition D 2419 – 96.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.03.

D 653 Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids<sup>4</sup>

E 11 Specification for Wire-Cloth and Sieves for Testing Purposes<sup>5</sup>

### 2.2 AASHTO Standard:

T 176 Standard Method of Test for Plastic Fines in Graded Aggregates and Soils by Use of Sand Equivalent Test<sup>6</sup>

## 3. Terminology

### 3.1 Definitions:

3.1.1 *fine aggregate*—aggregate passing the 9.5-mm ( $\frac{3}{8}$ -in.) sieve and almost entirely passing the 4.75-mm (No. 4) sieve and predominantly retained on the 75- $\mu$ m (No. 200) sieve (see Terminology D 8).

3.1.2 *sand equivalent*—a measure of the amount of silt or clay contamination in the fine aggregate (or soil) as determined by test (see Terminology D 653). (For further explanation, see Summary of Test Method and Significance and Use.)

3.1.3 *soil*—sediments or other unconsolidated accumulations of solid particles produced by the physical and chemical disintegration of rocks which may or may not contain organic matter (see Terminology D 653).

## 4. Summary of Test Method

4.1 A measured volume of soil or fine aggregate and a small quantity of flocculating solution are poured into a graduated plastic cylinder and are agitated to loosen the claylike coatings from the sand particles in the test specimen. The specimen is then “irrigated” using additional flocculating solution forcing the claylike material into suspension above the sand. After a prescribed sedimentation period, the height of flocculated clay is read and the height of sand in the cylinder is determined. The sand equivalent is the ratio of the height of sand to the height of clay times 100.

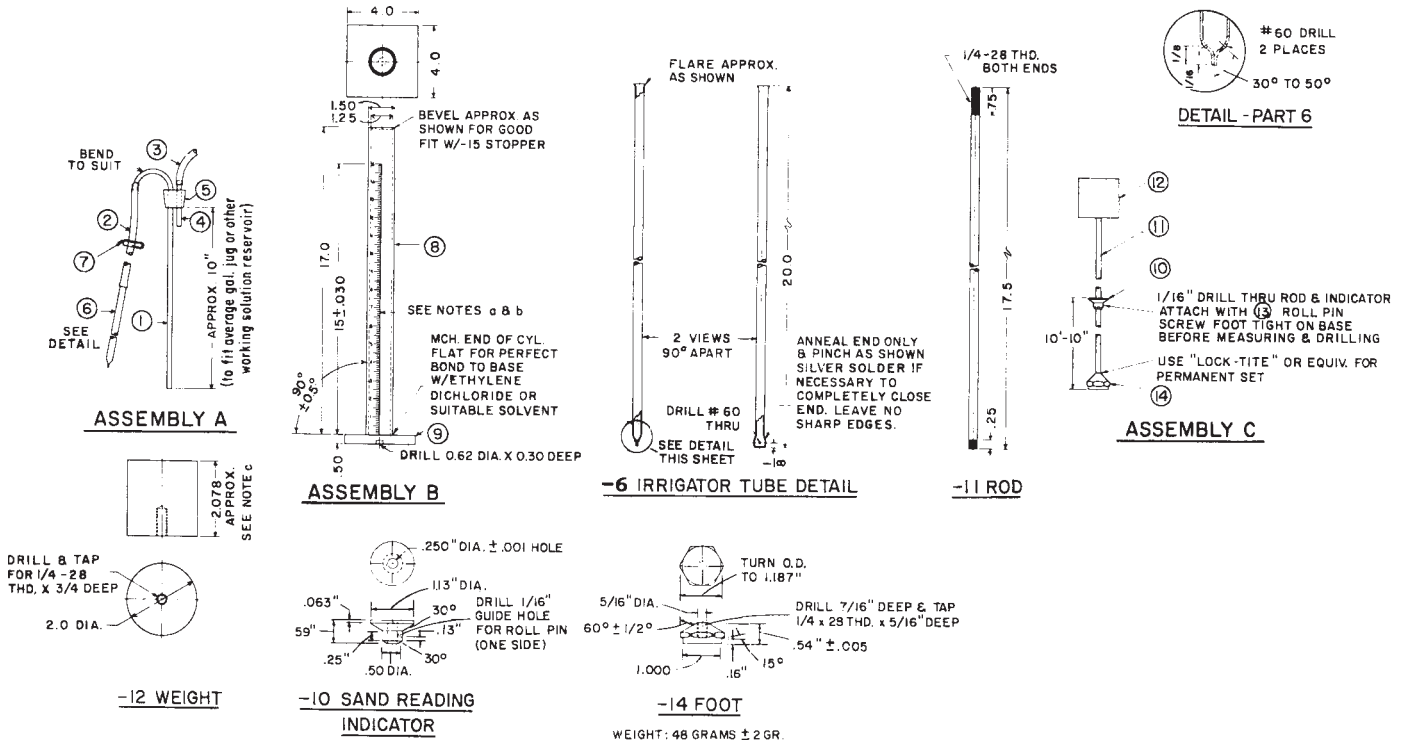
## 5. Significance and Use

5.1 This test method assigns an empirical value to the relative amount, fineness, and character of claylike material present in the test specimen.

<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.08.

<sup>5</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

<sup>6</sup> Available from American Association of State Highway and Transportation Officials, 444 N. Capitol St. NW, Suite 225, Washington, DC 20001.



List of Material				
Assembly	Part No.	Description	Stock Size, In.	Material
A	<i>Siphon Assembly:</i>			
	1	siphon tube	1/4 diameter by 16	copper tube (may be plated)
	2	siphon hose	3/16 ID by 48	rubber tube, pure gum or equivalent
	3	blow hose	3/16 ID by 2	rubber tube, pure gum or equivalent
	4	blow tube	1/4 diameter by 2	copper tube (may be plated)
	5	2-hole stopper	No. 6	rubber
	6	irrigator tube	1/4 OD 0.035 wall by 20 SS tube, Type 316	
B <sup>A,B</sup>	<i>Graduate Assembly:</i>			
	8	tube	1.50 OD by 17	transparent acrylic plastic
C <sup>C</sup>	9	base	1/4 by 4 by 4	transparent acrylic plastic
	<i>Weighted Foot Assembly:</i>			
	10	sand reading indicator	1 1/4 diameter by 0.59	nylon 101 type 66 annealed
	11	rod	1/4 diameter by 17 1/2	brass (may be plated)
	12	weight	2 diameter by 2.078	C. R. steel (may be plated)
	13	roll pin	1/16 diameter by 1/2	corrosion-resistant metal
	14	foot	1 1/16 hex by 0.54	brass (may be plated)
	15	solid stopper	No. 7	rubber

<sup>A</sup> Assembly B—Accuracy of scale should be ± 0.010 in. per tenth of an inch. Error at any point on scale should be ± 0.030 in. of true distance to zero.  
<sup>B</sup> Assembly B—Graduations on graduate should be in tenths of an inch. Inch marks should be numerically designated as shown. The inch and half-inch division lines should be approximately 1/4 in. long. All division lines should be 0.015 in. deep with width across top 0.030 in.  
<sup>C</sup> Assembly C—Weighted foot assembly should weigh 1000 ± 5 g.

Metric Equivalents							
in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm
0.001	0.025	0.13	3.30	0.62	15.75	2	50.80
0.005	0.127	3/16	4.76	0.63	16.00	2.078	52.78
0.010	0.254	0.25	6.35	0.75	19.05	4	101.60
0.015	0.381	1/4	6.35	3/4	19.05	10.10	256.54
0.020	0.508	0.30	7.62	1	25.4	15	381.00
0.030	0.762	5/16	7.94	1 1/16	26.99	16	406.40
0.035	0.889	3/8	9.51	1.24	31.50	17	431.80
1/16	1.59	0.50	12.70	1 1/4	31.75	17.5	444.50
0.100	2.54	0.54	13.72	1.50	38.10	20	508.00
1/8	3.17	0.59	14.99	1 1/2	38.10	48	1219.2

NOTE 1—The sand reading indicator and foot specified by ASTM Method D 2419 - 69, Fig. 1, may be used where this equipment is previously available.

FIG. 1 Sand Equivalent Test Apparatus

5.2 A minimum sand equivalent value may be specified to limit the permissible quantity of claylike fines in an aggregate.

5.3 This test method provides a rapid field method for determining changes in the quality of aggregates during production or placement.

## 6. Interferences

6.1 Maintain the temperature of the working solution at  $22 \pm 3^\circ\text{C}$  ( $72 \pm 5^\circ\text{F}$ ) during the performance of this test.

NOTE 2—If field conditions preclude the maintenance of the temperature range, frequent referee samples should be submitted to a laboratory where proper temperature control is possible. It is also possible to establish temperature correction curves for each material being tested where proper temperature control is not possible. However, no general correction should be utilized for several materials even within a narrow range of sand equivalent values. Samples that meet the minimum sand equivalent requirement at a working solution temperature below the recommended range need not be subject to referee testing.

6.2 Perform the test at a location free from vibration. Excessive vibration may cause the suspended material to settle at a greater rate than normal.

6.3 Do not expose the plastic cylinders to direct sunlight any more than is necessary.

6.4 Occasionally it may be necessary to remove a fungus growth from the working calcium chloride solution container and from the inside of the flexible tubing and irrigator tube. This fungus can easily be seen as a slimy substance in the solution, or as a mold growing on the inside of the container.

6.4.1 To remove this growth, prepare a cleaning solvent by diluting sodium hypochlorite solution (household chlorine bleach) with an equal quantity of water.

6.4.2 After discarding the contaminated solution, fill the solution container with the prepared cleaning solvent: allow about 1 L of the cleaning solvent to flow through the siphon assembly and irrigator tube, then place the pinch clamp on the end of the tubing to cut off the flow of solvent and to hold the solvent in the tube. Refill the container and allow to stand overnight.

6.4.3 After soaking, allow the cleaning solvent to flow out through the siphon assembly and irrigator tube.

6.4.4 Remove the siphon assembly from the solution container and rinse both with clear water. The irrigator tube and siphon assembly can be rinsed easily by attaching a hose between the tip of the irrigator tube and water faucet and backwashing fresh water through the tube.

6.5 Occasionally the holes in the tip of the irrigator tube may become clogged by a particle of sand. If the obstruction cannot be freed by any other method, use a pin or other sharp object to force it out using extreme care not to enlarge the size of the opening.

6.6 Working solution which is more than two weeks old shall be discarded.

6.7 Mixing and storage container(s) for solutions shall be thoroughly rinsed prior to mixing a fresh batch of solution.

6.8 Fresh solution shall not be added to old solution regardless of age.

## 7. Apparatus

7.1 A graduated transparent acrylic plastic cylinder, rubber stopper, irrigator tube, weighted foot assembly and siphon assembly all conforming to the respective specifications and dimensions shown in Fig. 1. See Annex A1 for alternative apparatus.

7.2 *Measuring Tin*—A cylindrical tin approximately 57 mm ( $2\frac{1}{4}$  in.) in diameter having a capacity of  $85 \pm 5$  mL.

7.3 *4.75-mm (No. 4) Sieve*, conforming to the requirements of Specification E 11.

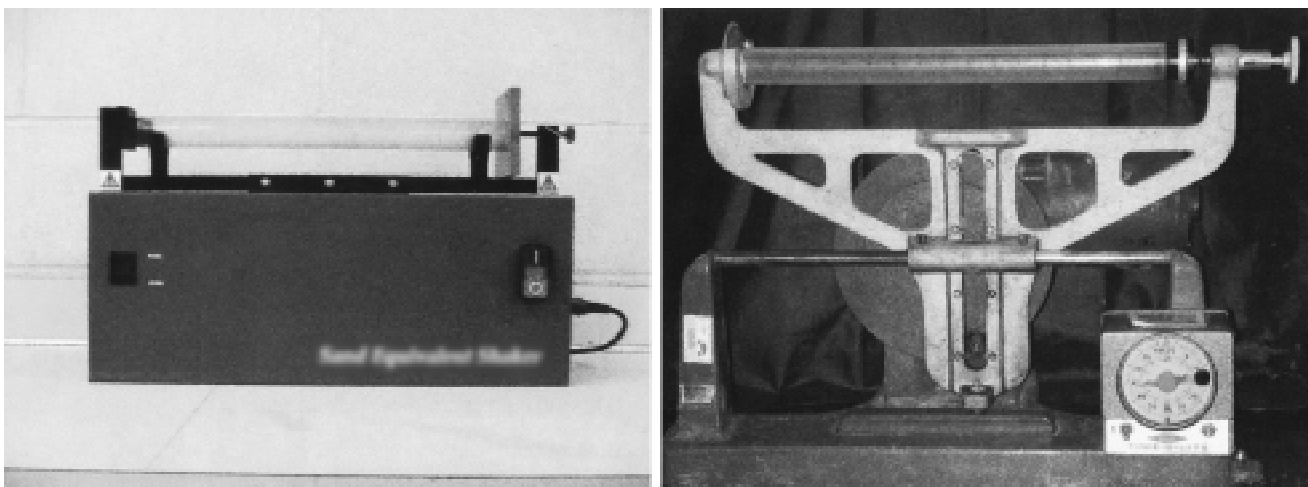
7.4 *Funnel*, wide-mouth, for transferring test specimens into the graduated cylinder.

7.5 *Bottles*, two 3.8-L (1.0-gal) to store stock solution and working solution.

7.6 *Flat Pan*, for mixing.

7.7 *Clock or Watch*, reading in minutes and seconds.

7.8 *Mechanical Sand Equivalent Shaker*, designed to hold the required graduated plastic cylinder in a horizontal position while subjecting it to a reciprocating motion parallel to its length and having a throw of  $203.2 \pm 1.0$  mm ( $8 \pm 0.04$  in.) and operating at  $175 \pm 2$  cpm. A typical apparatus is shown in Fig. 2. The shaker shall be securely fastened to a firm and level mount.



**FIG. 2 Mechanized Shakers**

NOTE 3—Moving parts of the mechanical shaker should be provided with a safety guard for protection of the operator.

7.9 *Manually Operated Sand Equivalent Shaker*—(optional), as shown in Fig. 3, or equivalent, capable of producing an oscillating motion at a rate of 100 complete cycles in  $45 \pm 5$  s, with a hand-assisted half stroke length of  $12.7 \pm 0.5$  cm ( $5 \pm 0.2$  in.). The device shall be designed to hold the required graduated cylinder in a horizontal position while subjecting it to a reciprocating motion parallel to its length. The shaker shall be fastened securely to a firm and level mount. If only a few tests are to be run the shaker may be held by hand on a firm level mount.

7.10 *Oven*, of sufficient size, and capable of maintaining a temperature of  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ).

7.11 *Filter Paper*, Watman No. 2V or equivalent.

## 8. Reagents and Materials

8.1 *Stock Solution*—The materials listed in 8.1.1, 8.1.2 or 8.1.3 may be used to prepare the stock solution. If the use of formaldehyde as the biocide is of concern, the materials in 8.1.2 or 8.1.3 should be used. A fourth alternative is not to use any biocide provided the time of storage of stock solution is not sufficient to promote the growth of fungi.

8.1.1 *Stock solution with formaldehyde.*

8.1.1.1 *Anhydrous Calcium Chloride*, 454 g (1.0 lb) of technical grade.

8.1.1.2 *USP Glycerin*, 2050 g (1640 mL).

8.1.1.3 *Formaldehyde*, (40 volume % solution) 47 g (45 mL).

8.1.1.4 Dissolve the 454 g (1.0 lb) of calcium chloride in 1.89 L ( $\frac{1}{2}$  gal) of distilled water. Cool and filter through ready pleated rapid filtering paper. Add the 2050 g of glycerin and the 47 g of formaldehyde to the filtered solution, mix well, and dilute to 3.78 L (1 gal).

8.1.2 *Stock solution with glutaraldehyde.*

8.1.2.1 *Calcium Chloride Dihydrate*, 577 g (1.27 lb) of A. C. S. grade.

NOTE 4—ACS grade calcium chloride dihydrate is specified for the stock solution prepared with glutaraldehyde because tests indicate that impurities in the technical grade anhydrous calcium chloride may react with the glutaraldehyde resulting in an unknown precipitate.

8.1.2.2 *USP Glycerin*, 2050 g (1640 mL).

8.1.2.3 *1,5-Pentanedial (Glutaraldehyde)*, 50 % solution in water 59 g (53 mL).

8.1.2.4 Dissolve the 577 g (1.27 lb) of calcium chloride dihydrate in 1.89 L ( $\frac{1}{2}$  gal) of distilled water. Cool and add the 2050 g of glycerin and the 59 g of glutaraldehyde to the solution, mix well, and dilute to 3.78 L (1 gal).

NOTE 5—1,5-pentanedial, also known as glutaraldehyde, glutaric dialdehyde, and trade name UCARCIDE 250, may be obtained as “Glutaraldehyde Solution 50 %.”<sup>7</sup>

8.1.3 *Stock solution with Kathon CG/ICP.*

8.1.3.1 *Calcium Chloride Dihydrate*, 577 g (1.27 lb) of A. C. S. grade.

8.1.3.2 *USP Glycerin*, 2050 g (1640 mL).

8.1.3.3 *Kathon CG/ICP*<sup>8</sup>, 63 g (53 mL).

8.1.3.4 Dissolve the 577 g (1.27 lb) of calcium chloride dihydrate in 1.89 L ( $\frac{1}{2}$  gal) of distilled water. Cool and add the 2050 g of glycerin and the 63 g of Kathon CG/ICP to the solution, mix well, and dilute to 3.78 L (1 gal).

8.2 *Working Calcium Chloride Solution*—Prepare the working calcium chloride solution by diluting one measuring tin ( $85 \pm 5$  mL) full of the stock calcium chloride solution to 3.8 L (1.0 gal) with water. Use distilled or demineralized water for the normal preparation of the working solution. However, if it is determined that the local tap water is of such purity that it does not affect the test results, it is permissible to use it instead of distilled or demineralized water except in the event of dispute.

<sup>7</sup> Available from Aldrich Chemical Company, P. O. Box 2060, Milwaukee, WI 53201 or Fisher Scientific, 711 Forbes Ave., Pittsburg, PA 15219.

<sup>8</sup> Kathon CG/ICP may be obtained from Rohm and Hass Chemical Company, Independence Mall West, Philadelphia, PA 19105.

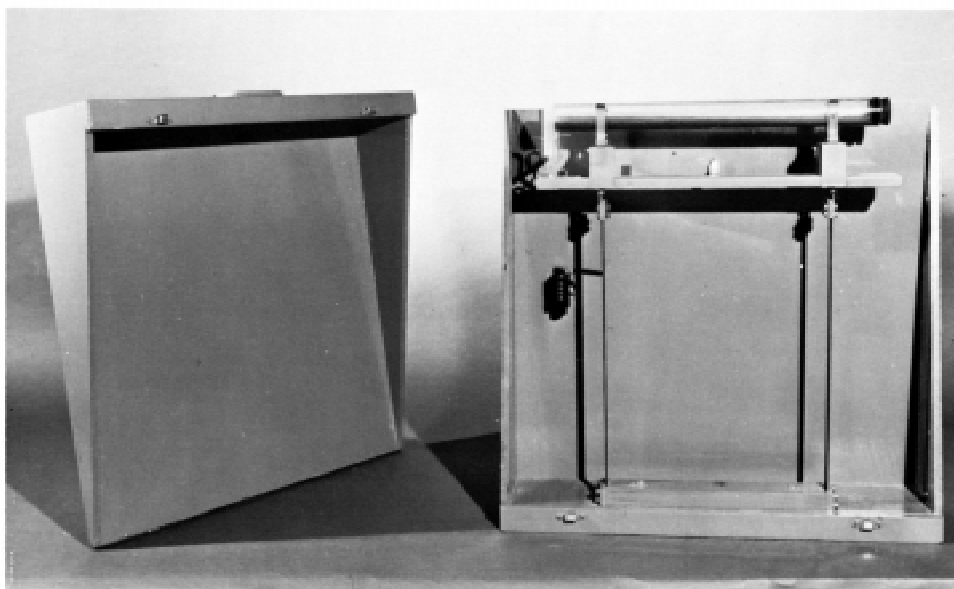


FIG. 3 Manually Operated Shaker



NOTE 6—The effect of local tap water on sand equivalent test results may be determined by comparing the results of three sand equivalent tests using distilled water with the results of three sand equivalent tests using the local tap water. The six test specimens required for this comparison shall be prepared from the sample of material and oven-dried as prescribed in this test method.

## 9. Sample Preparation

9.1 Sample the material to be tested in accordance with Practice D 75.

9.2 Thoroughly mix the sample and reduce it as necessary using the applicable procedures in Practice C 702.

9.3 Obtain at least 1500 g of material passing the 4.75-mm (No. 4) sieve in the following manner:

9.3.1 Separate the sample on the 4.75-mm (No. 4) sieve by means of a lateral and vertical motion of the sieve, accompanied by a jarring action so as to keep the sample moving continuously over the surface of the sieve. Continue the sieving until not more than 1 weight % of the residue passes the sieve during 1 min. Perform the sieving operation either by hand or by a mechanical apparatus. When thoroughness of mechanical sieving is being determined, test by the hand method described above using a single layer of material on the sieve.

9.3.2 Break down any lumps of material in the coarse fraction to pass the 4.75-mm (No. 4) sieve. Use a mortar and rubber-covered pestle or any other means that will not cause appreciable degradation of the aggregate.

9.3.3 Remove any coatings of fines adhering to the coarse aggregate. These fines may be removed by surface-drying the coarse aggregate, then rubbing between the hands over a flat pan.

9.3.4 Add the material passing the sieve obtained in 9.3.2 and 9.3.3 to the separated fine portion of the sample.

9.4 Prepare test specimens from the material passing the 4.75-mm (No. 4) sieve portion of the sample by either the procedure described in 9.4.1 or 9.4.2.

NOTE 7—Experiments show that as the amount of material being reduced by splitting or quartering is decreased, the accuracy of providing representative portions is decreased. For this reason, it is imperative that extreme care be exercised when preparing the test specimens.

### 9.4.1 Test Specimen Preparation, Procedure A:

9.4.1.1 If it appears necessary, dampen the material to avoid segregation or loss of fines during the splitting or quartering operations. Use care in adding moisture to the sample to retain a free-flowing condition of the material.

9.4.1.2 Using the measuring tin, dip out four of these measures from the sample. Each time a measure full of the material is dipped from the sample, tap the bottom edge of the measure on a work table or other hard surface at least four times and jog it slightly to produce a measure of consolidated material level-full or slightly rounded above the brim.

9.4.1.3 Determine and record the amount of material contained in these four measures either by weight or by volume in a dry plastic cylinder.

9.4.1.4 Return this material back to the sample and proceed to split or quarter the sample, using the applicable procedures in Practice C 702 and making the necessary adjustments to obtain the predetermined weight or volume. When this weight or volume is obtained, two successive splitting or quartering

operations without adjustment should provide the proper amount of material to fill the measure, and therefore provide one test specimen.

9.4.1.5 Dry the test specimen to constant weight at  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ) and cool to room temperature before testing.

NOTE 8—Sand equivalent results on test specimens that have not been dried will generally be lower than the results obtained on identical test specimens that have been dried. As a time-saving expedient, it is permissible to test most materials without drying when the sand equivalent value is used to determine compliance with a specification giving a minimum acceptable test value. If the resulting test value is lower than that specified, however, it will be necessary to rerun the test on a dried test specimen. If the sand equivalent determined from a test on one dried test specimen, is below the minimum specification limit, it will be necessary to perform two additional tests on dried test specimens from the same sample. The sand equivalent for a sample shall be determined in accordance with the calculation section.

### 9.4.2 Test Specimen Preparation, Procedure B:

9.4.2.1 Maintaining a free-flowing condition, dampen the material sufficiently to prevent segregation or loss of fines.

9.4.2.2 Split or quarter out 1000 to 1500 g of the material. Mix thoroughly with a hand trowel in a circular pan by scooping toward the middle of the pan while rotating it horizontally. Mixing or remixing should be continued for at least 1 min to achieve uniformity. Check the material for the necessary moisture condition by tightly squeezing a small portion of the thoroughly mixed sample in the palm of the hand. If a cast is formed that permits careful handling without breaking, the correct moisture range has been obtained. If the material is too dry, the cast will crumble and it will be necessary to add water and remix and retest until the material forms a cast. If the material shows any free water it is too wet to test and must be drained and air-dried, mixing it frequently to ensure uniformity. This overly wet material will form a good cast when checked initially, so the drying process should continue until a squeeze check on the drying material gives a cast which is more fragile and delicate to handle than the original. If the “as received” moisture content is within the limits described above, the sample may be run immediately. If the moisture content is altered to meet these limits, the sample should be put in the pan, covered with a lid or with a damp towel that does not touch the material, and allowed to stand for a minimum of 15 min.

9.4.2.3 After the minimum curing time, remix for 1 min without water. When thoroughly mixed, form the material into a cone with a trowel.

9.4.2.4 Take the tin measure in one hand and push it directly through the base of the pile while holding the free hand firmly against the pile opposite the measure.

9.4.2.5 As the can travels through the pile and emerges, hold enough hand pressure to cause the material to fill the can to overflowing. Press firmly with the palm of the hand, compacting the material until it consolidates in the can. The excess material should be struck off level with the top of the can, moving the edge of the trowel in a sawing motion across the brim.

9.4.2.6 To obtain additional test specimens, repeat the procedures in 9.4.2.3 through 9.4.2.5.

## 10. Preparation of Apparatus

10.1 Fit the siphon assembly to a 3.8-L (1.0-gal) bottle of working calcium chloride solution. Place the bottle on a shelf  $90 \pm 5$  cm ( $36 \pm 2$  in.) above the working surface, (see Fig. 4).

NOTE 9—Instead of the 3.8-L (1.0-gal) bottle, a glass or plastic vat having a larger capacity may be used provided the liquid level of the working solution is maintained between 90 and 120 cm (36 and 48 in.) above the work surface.

10.2 Start the siphon by blowing into the top of the solution bottle through a short piece of tubing while the pinch clamp is open.

## 11. Procedure

11.1 Siphon  $4 \pm 0.1$  in. ( $102 \pm 3$  mm) (indicated on the graduated cylinder) of working calcium chloride solution into the plastic cylinder.

11.2 Pour one of the test specimens into the plastic cylinder using the funnel to avoid spillage (see Fig. 5).

11.3 Tap the bottom of the cylinder sharply on the heel of the hand several times to release air bubbles and to promote thorough wetting of the specimen.

11.4 Allow the wetted specimen and cylinder to stand undisturbed for  $10 \pm 1$  min.

11.5 At the end of the 10-min soaking period, stopper the cylinder, then loosen the material from the bottom by partially inverting the cylinder and shaking it simultaneously.

11.6 After loosening the material from the bottom of the cylinder, shake the cylinder and contents by any of the following three methods:

11.6.1 *Mechanical Shaker Method*—Place the stoppered cylinder in the mechanical sand equivalent shaker, set the time, and allow the machine to shake the cylinder and the contents for  $45 \pm 1$  s.

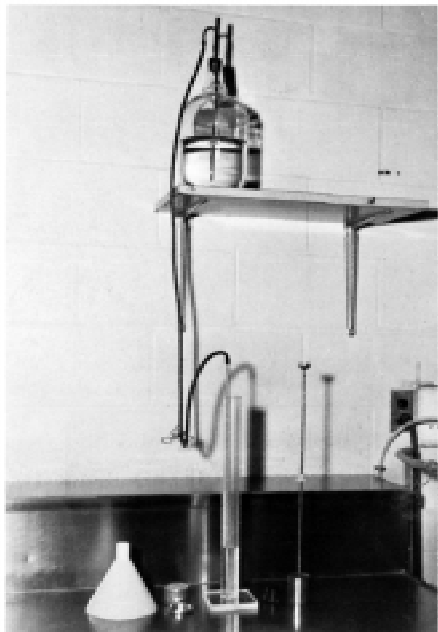


FIG. 4 Graduated Cylinder, Irrigator Tube, Weighted Foot Assembly, and Siphon



FIG. 5 Transfer of Samples from Measuring Tin to Cylinder

### 11.6.2 Manual Shaker Method:

11.6.2.1 Secure the stoppered cylinder in the three spring clamps of the carriage of the hand-operated sand equivalent shaker and reset the stroke counter to zero.

NOTE 10—To prevent spillage, be sure the stopper is firmly seated in the cylinder before placing in the manual shaker.

11.6.2.2 Stand directly in front of the shaker and force the pointer to the stroke limit marker painted on the backboard by applying an abrupt horizontal thrust to the upper portion of the right-hand spring steel strap. Then remove the hand from the strap and allow the spring action of the straps to move the carriage and cylinder in the opposite direction without assistance or hindrance.

11.6.2.3 Apply enough force to the right-hand spring steel strap during the thrust portion of each stroke to move the pointer to the stroke limit marker by pushing against the strap with the ends of the fingers to maintain a smooth oscillating motion (see Fig. 6). The center of the stroke limit marker is positioned to provide the proper stroke length and its width provides the maximum allowable limits of variation. The proper shaking action is accomplished only when the tip of the pointer reverses direction within the marker limits. Proper shaking action can best be maintained by using only the forearm and wrist action to propel the shaker.

11.6.2.4 Continue the shaking action for 100 strokes.

### 11.6.3 Hand Method:

11.6.3.1 Hold the cylinder in a horizontal position as illustrated in Fig. 7 and shake it vigorously in a horizontal linear motion from end to end.

11.6.3.2 Shake the cylinder 90 cycles in approximately 30 s using a throw of  $23 \pm 3$  cm ( $9 \pm 1$  in.). A cycle is defined as a complete back and forth motion. To shake the cylinder at this speed properly, it will be necessary for the operator to shake with the forearms only, relaxing the body and shoulders.

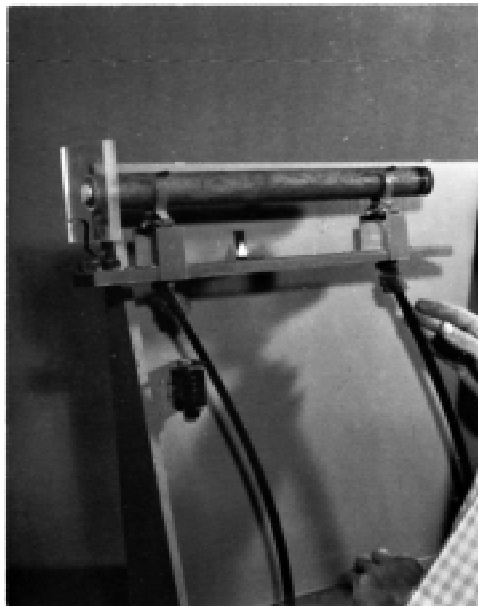


FIG. 6 Use of Manual Shaker

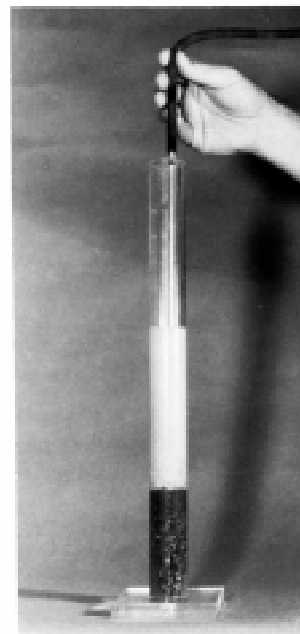


FIG. 8 Irrigation



FIG. 7 Using Hand Method of Shaking

11.7 Following the shaking operation, set the cylinder upright on the work table and remove the stopper.

11.8 *Irrigation Procedure:*

11.8.1 During the irrigation procedure, keep the cylinder vertical and the base in contact with the work surface. Insert the irrigator tube in the top of the cylinder, remove the spring clamp from the hose, and rinse the material from the cylinder walls as the irrigator is lowered. Force the irrigator through the material to the bottom of the cylinder by applying a gentle stabbing and twisting action while the working solution flows from the irrigator tip. This flushes the fine material into suspension above the coarser sand particles (see Fig. 8).

11.8.2 Continue to apply a stabbing and twisting action while flushing the fines upward until the cylinder is filled to the 15-in. (38.0 cm) graduation. Then raise the irrigator tube slowly without shutting off the flow so that the liquid level is maintained at about the 15-in. (38.0-cm) graduation while the irrigator tube is being withdrawn. Regulate the flow just before

the irrigator tube is entirely withdrawn and adjust the final level to the 15-in. (38.0-cm) graduation.

11.9 Allow the cylinder and contents to stand undisturbed for 20 min  $\pm$  15 s. Start the timing immediately after withdrawing the irrigator tube.

11.10 At the end of the 20-min sedimentation period, read and record the level of the top of the clay suspension as prescribed in 11.12. This is referred to as the “clay reading.” If no clear line of demarcation has formed at the end of the specified 20-min sedimentation period, allow the sample to stand undisturbed until a clay reading can be obtained; then immediately read and record the level of the top of the clay suspension and the total sedimentation time. If the total sedimentation time exceeds 30 min, rerun the test using three individual specimens of the same material. Record the clay column height for the sample requiring the shortest sedimentation period as the clay reading.

11.11 *Sand Reading Determination:*

11.11.1 After the clay reading has been taken, place the weighted foot assembly over the cylinder and gently lower the assembly until it comes to rest on the sand. Do not allow the indicator to hit the mouth of the cylinder as the assembly is being lowered.

11.11.2 As the weighted foot comes to rest on the sand, tip the assembly toward the graduations on the cylinder until the indicator touches the inside of the cylinder. Subtract 10-in. (25.4 cm) from the level indicated by the extreme top edge of the indicator and record this value as the “sand reading” (see Fig. 9).

NOTE 11—See Annex A1 for the use of alternative foot apparatus and measurement procedure.

11.11.3 When taking the sand reading, use care not to press down on the weighted foot assembly since this could give an erroneous reading.

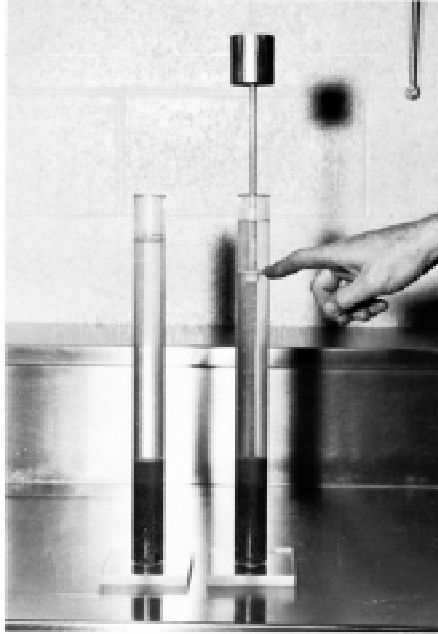


FIG. 9 Sand Reading

11.12 If clay or sand readings fall between 0.1-in. (2.5-mm) graduations, record the level of the higher graduation as the reading.

## 12. Calculation and Report

12.1 Calculate the sand equivalent to the nearest 0.1 % as follows:

$$SE = (\text{sand reading}/\text{clay reading}) \times 100 \quad (1)$$

where:

SE = sand equivalent.

12.2 If the calculated sand equivalent is not a whole number, report it as the next higher whole number. For example, if the clay level were 8.0 and the sand level were 3.3, the calculated sand equivalent would be:

$$(3.3/8.0) \times 100 = 41.2 \quad (2)$$

Since this calculated sand equivalent is not a whole number it would be reported as the next higher whole number which is 42.

12.3 If it is desired to average a series of sand equivalent values, average the whole number values determined as described in 12.2. If the average of these values is not a whole number, raise it to the next higher whole number as shown in the following example:

12.3.1 Calculate SE values: 41.2, 43.8, 40.9.

12.3.2 After raising each to the next higher whole number they become 42, 44, 41.

12.3.3 Determine the average of these values as follows:

$$(42 + 44 + 41)/3 = 42.3 \quad (3)$$

12.3.4 Since the average value is not a whole number, it is raised to the next higher whole number, and the sand equivalent value is reported as 43.

## 13. Precision and Bias

13.1 *Precision*—The following estimates of precision for this test method are based on results from the AASHTO Materials Reference Laboratory (AMRL) Reference Sample program, with testing conducted using this test method and AASHTO Method T 176. There are no significant differences between the two methods. The data are based on the analyses of eight paired test results from 50 to 80 laboratories, with the range of average sand equivalent values for the samples varying from approximately 60 to 90.

13.1.1 *Single Operator Precision*—The single operator standard deviation has been found to be 1.5 for sand equivalent values greater than 80 and 2.9 for values less than 80 (1s).<sup>9</sup> Therefore, results of two properly conducted tests by the same operator on similar material should not differ by more than 4.2 and 8.2, respectively (d2s).

13.1.2 *Multi-laboratory Precision*—The multi-laboratory standard deviation has been found to be 4.4 for sand equivalent values greater than 80 and 8.0 for values less than 80 (1s).<sup>9</sup> Therefore, results of two properly conducted tests from different laboratories on similar material should not differ by more than 12.5 and 22.6,<sup>9</sup> respectively (d2s).

13.1.3 Additional precision data is available from a study done by one state agency involving the circulation of pairs of samples to over 20 laboratories on three separate occasions. The range of average sand equivalent values for these samples varied from approximately 30 to 50; these were materials containing much more fines than the AMRL samples reported on in 13.1.1 and 13.1.2.

13.1.3.1 The Multi-laboratory standard deviation from these single agency tests was found to be 3.2 (1s). Therefore, within the laboratories of this agency, results of two properly conducted tests from different laboratories on similar material should not differ by more than 9.1 (d2s).

13.2 *Bias*—The procedure in this test method has no bias because the value of sand equivalent is defined only in terms of the test method.

<sup>9</sup> These numbers represent, respectively, the (1s) and (d2s) limits as described in Practice C 670.

(Mandatory Information)

**A1. READING PROCEDURE FOR THE SAND READING WHEN THE 1969 SAND READING INDICATOR AND FOOT CONFORMING TO FIG. OF ASTM D2419 – 69 IS BEING USED**

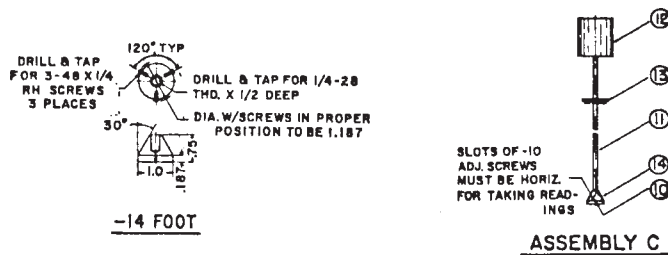
*A1.1 Differences in 1969 Equipment:*

A1.1.1 See Fig. A1.1 for the 1969 weighted foot (Assembly C) and the details of the 1969 Foot (Item 14).

A1.2 *Sand Reading Procedure* when 1969 foot assembly is used:

A1.2.1 After the clay reading has been taken, place the weighted foot assembly over the cylinder with the guide cap in

position on the mouth of the cylinder and gently lower the assembly until it comes to rest on the sand. While the weighted foot is being lowered, keep one of the adj. screws (see Item 10 on Fig. A1.1) in contact with the cylinder wall near the graduations so that it can be seen at all times. When the weighted foot has come to rest on the sand, read and record the level of the horizontal slot of the adj. screw as the “Sand Reading” value.



PART NO.	DESCRIPTION	STOCK SIZE	MATERIAL
14	Foot	1 dia by 3/4	Bronze
13	Guide	1.50 dia by 1/4	Brass
12	Weight	2 dia by 2.078	C.R.SH.
11	Rod	1/4 dia by 17 1/2	Brass
10	Adj. Screws	3-48 by 1/4 RH	Brass

FIG. A1.1 1969 Weighted Foot Assembly from Test Method D 2419 – 69

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or [service@astm.org](mailto:service@astm.org) (e-mail); or through the ASTM website ([www.astm.org](http://www.astm.org)).*



# Standard Practices for Design, Testing, and Construction of Slurry Seal<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 3910; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

## 1. Scope

1.1 These practices cover the design, testing, and construction of mixtures for surface treatment of pavements. It is written as a guide and should be used as such. End-use specifications should be adapted to conform to job and user requirements.

1.2 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

## 2. Referenced Documents

### 2.1 ASTM Standards:

C 128 Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate<sup>2</sup>

D 242 Specification for Mineral Filler for Bituminous Paving Mixtures<sup>3</sup>

D 977 Specification for Emulsified Asphalt<sup>3</sup>

D 1073 Specification for Fine Aggregate for Bituminous Paving Mixtures<sup>3</sup>

D 2397 Specification for Cationic Emulsified Asphalt<sup>3</sup>

D 2419 Test Method for Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate<sup>3</sup>

E 145 Specification for Gravity-Convection and Forced-Ventilation Ovens<sup>4</sup>

### 2.2 Other Documents:<sup>5</sup>

ISSA Technical Bulletin No. 139 Test Method to Classify Emulsified Asphalt/Aggregate Mixture Systems by Modified Cohesion Tester Measurement of Set and Cure Characteristics.

## 3. Terminology

### 3.1 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.1.1 *emulsified asphalt slurry seal mixtures*— as related to

these practices, mixtures of fine aggregate with or without mineral filler, with or without mixing water, uniformly mixed with emulsified asphalt.

## 4. Significance and Use

4.1 These slurry seal practices are written as a guide and should not be construed as specifications.

4.2 End-use specifications should be adopted to conform to job and user requirements.

## 5. Design

### 5.1 Aggregates:

5.1.1 The fine aggregate shall consist of natural or manufactured sand, slag, crushed fines or other mineral aggregate that conforms to the quality requirements of Specification D 1073.

5.1.2 Recommended grading requirements are shown in Table 1.

5.1.3 Smooth-textured sand of less than 1.25 % water absorption shall not exceed 50 % of the total combined aggregate. (For heavy duty surface requirements, use 100 % crushed material.)

5.1.4 When tested by Test Method D 2419, the combined aggregate prior to the addition of any chemically active mineral fillers shall have a sand equivalent of not less than 45.

### 5.2 Mineral Filler:

5.2.1 Mineral fillers are of two types, chemically active and chemically inactive. Both shall conform to Specification D 242.

5.2.2 Chemically active mineral fillers such as portland cement, hydrated lime, and ammonium sulfate are used to improve the workability, regulate the setting time and, in some cases, to alter the aggregate gradation.

5.2.3 Chemically inactive mineral fillers such as limestone dust, flyash, and rock dust are used mainly to alter aggregate gradation.

5.3 *Emulsified Asphalt*—The emulsified asphalt shall conform to Grade SS-1h of Specification D 977, for emulsified asphalt, or Grade CSS-1h of Specification D 2397, for cationic emulsified asphalt.

5.3.1 Quick-Set emulsified asphalts, QS-1h and CQS-1h may also be used. They conform to Specifications D 977 and D 2397 respectively, except that the test requirements for cement mixing and storage stability shall not apply. Refer to

<sup>1</sup> These practices are under the jurisdiction of ASTM Committee D-4 on Road and Paving Materials and are the direct responsibility of Subcommittee D04.24 on Bituminous Macadam and Surface Treatments.

Current edition approved June 10, 1998. Published March 1999. Originally published as D 3910 – 80. Last previous edition D 3910 – 96.

<sup>2</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02.

<sup>3</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.03.

<sup>4</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

<sup>5</sup> Available from the International Slurry Surfacing Association, 1200 19th St. NW, Suite 300, Washington, DC. 20036-2401.

**TABLE 1 Grading Requirements for Aggregate**

Sieve Size	Amount Passing Sieve, weight %		
	Type 1	Type 2	Type 3
3/8 in. (9.5 mm)	100	100	100
No. 4 (4.75 mm)	100	90 to 100	70 to 90
No. 8 (2.36 mm)	90 to 100	65 to 90	45 to 70
No. 16 (1.18 mm)	65 to 90	45 to 70	28 to 50
No. 30 (600 μm)	40 to 60	30 to 50	19 to 34
No. 50 (300 μm)	25 to 42	18 to 30	12 to 25
No. 100 (150 μm)	15 to 30	10 to 21	7 to 18
No. 200 (75 μm)	10 to 20	5 to 15	5 to 15

the International Slurry Surfacing Association (ISSA) Bulletin No. 139.

#### 5.4 Composition of Slurry Seal Mixtures:

5.4.1 A job mixture shall be selected that conforms to the specification limits, and that is suitable for the traffic, climatic conditions, curing conditions, and final use. All materials to be used shall be pretested for their suitability in the mixture as described in Section 6.

5.4.2 The mixture shall attain an initial set in not less than 15 min nor more than 12 h. The setting time may be regulated by the addition of mineral fillers or chemical agents.

5.4.3 The mixture shall be one of three types, whose combined aggregates conform to the gradation requirements of Table 1.

5.4.3.1 Type 1 is suitable to seal cracks, fill voids, and correct surface erosion conditions. The residual asphalt content shall be from 10 to 16 weight % of dry aggregate. It shall be applied at a rate of 3.3 to 5.4 kg/m<sup>2</sup> (6 to 10 lb/yd<sup>2</sup>). This type is used on airfields where surface sealing and skid resistance are the primary needs.

5.4.3.2 Type 2 is suitable to fill surface voids, correct severe surface erosion conditions, and provide a minimum wearing surface. The residual asphalt content shall be from 7.5 to 13.5 weight % of dry aggregate. It shall be applied at a rate of 5.4 to 8.2 kg/m<sup>2</sup> (10 to 15 lb/yd<sup>2</sup>). This type is used on airfields and pavements that are severely eroded, or have numerous cracks. It may also be used as wearing surface on bituminous base courses or soil-cement bases, or as a sealer on stabilized base courses.

5.4.3.3 Type 3 is suitable to provide a new wearing surface or build up a crown. The residual asphalt content shall be from 6.5 to 12 weight % of dry aggregate. It shall be applied at a rate of 8.2 or more kg/m<sup>2</sup> (15 or more lb/yd<sup>2</sup>).

5.4.4 *Consistency Test*—This test is used to determine optimum mix design for aggregate, filler, water, and emulsion. A flow of 2 to 3 cm (1 in.) is considered to be the consistency normally required for a workable field mix (see 6.1).

5.4.5 *Set Time*—This test determines the time required for slurry to reach initial set with paper blot method. A properly mix-designed slurry should be set at the end of 12 h. -h set time is considered acceptable for a quick setting slurry (see 6.2).

5.4.6 *Cure Time*—This test is used to determine initial cohesion of slurry mat and resistance to traffic. A properly designed slurry mix should be completely cured at the end of 24 h after placement (see 6.3).

5.4.7 *Wet Track Abrasion Test*—This test method covers measurement of the wearing qualities of slurry seal under wet abrasion conditions.

NOTE 1—As a guide, slurry shall not show a loss of more than 807.44 g/m<sup>2</sup> (75 g/ft<sup>2</sup>).

## 6. Test Methods for Emulsified Asphalt Slurry Seal

### 6.1 Consistency Test:

6.1.1 This test method is used to determine the proper consistency (mix design) for a slurry seal mixture.

6.1.2 The consistency test should be performed as a method of determining the optimum mix design (proper ratio of aggregate, filler, water, and emulsion) as related to proper consistency for pavement surface placement. Several mixes are made using dried aggregate and various ratios of portland cement, or hydrated lime and or chemical modifier, water and asphalt emulsion. Mix time shall be for no less than 1 min and not longer than 3 min when mixed at 25 ± 1°C (77 ± 3°F).

NOTE 2—Ideal relative humidity for this test is 50 ± 5 %. Results will vary at different relative humidity values.

6.1.3 Mold, metal or plastic, in the form of a frustum of a cone 38 mm (1½ in.) in diameter at the top, 89 mm (3½ in.) in diameter at the bottom and 76 mm (3 in.) in height (see Test Method C 128 and Fig. 1).

6.1.4 The center of a 228 by 228-mm (9 by 9-in.) piece of 3-mm (1/8-in.) thick metal plate is inscribed with a circle 89 mm (3½ in.) in diameter. Three to four additional circles, each 13 mm (½ in.) greater in diameter than the preceding circle, are inscribed on the metal plate around the center circle.

NOTE 3—Plastic plates are subject to eventual crazing and abrasion loss of the inscribed circles.

6.1.5 The mold as described in 6.1.3 is loosely filled with a test slurry mix and struck off. The mold and contents are then inverted in the center of the metal plate as described in 6.1.4 by placing the inscribed surface of the metal plate on the slurry-filled cone which, while holding cone and plate firmly together, is quickly inverted. The mold is removed and the contents allowed to flow over the inscribed circles until flow of the slurry stops. Project aggregate and emulsion grade are considered essential for proper relevancy of the method.

NOTE 4—Referenced ISSA Technical Bulletin No. 106 titled “Measurement of Slurry Seal Consistency.”<sup>5</sup>

### 6.2 Set Time:

6.2.1 This test method is used to determine the time required for the slurry mat to reach initial set (resistance to paper blot).

6.2.2 The slurry mix or mixtures that provide the desired consistency shall be repeated to determine their setting characteristics. A mix passing the consistency test is poured onto a 152 by 152-mm (6 by 6-in.) asphalt felt pad (13.6 kg (30 lb) roofing felt) and screeded to 6 mm (¼ in.) thickness using a 6-mm template. At the end of 15 min, at 25 ± 1°C (77 ± 3°F) and 50 ± 5 % relative humidity, a white paper towel or tissue is lightly pressed or blotted on the slurry surface. If no brown stain is transferred to the paper, the slurry is considered set. If a brown stain does appear, repeat the blot procedure at 15-min intervals. After 3 h of blotting, 30-min (or longer) blot intervals would be suitable. Record and report the time required to obtain a stain-free blot as the set time.

### 6.3 Cure Time:

6.3.1 Total cure of a slurry mat is obtained when complete cohesion between asphalt-coated aggregate particles occurs. A



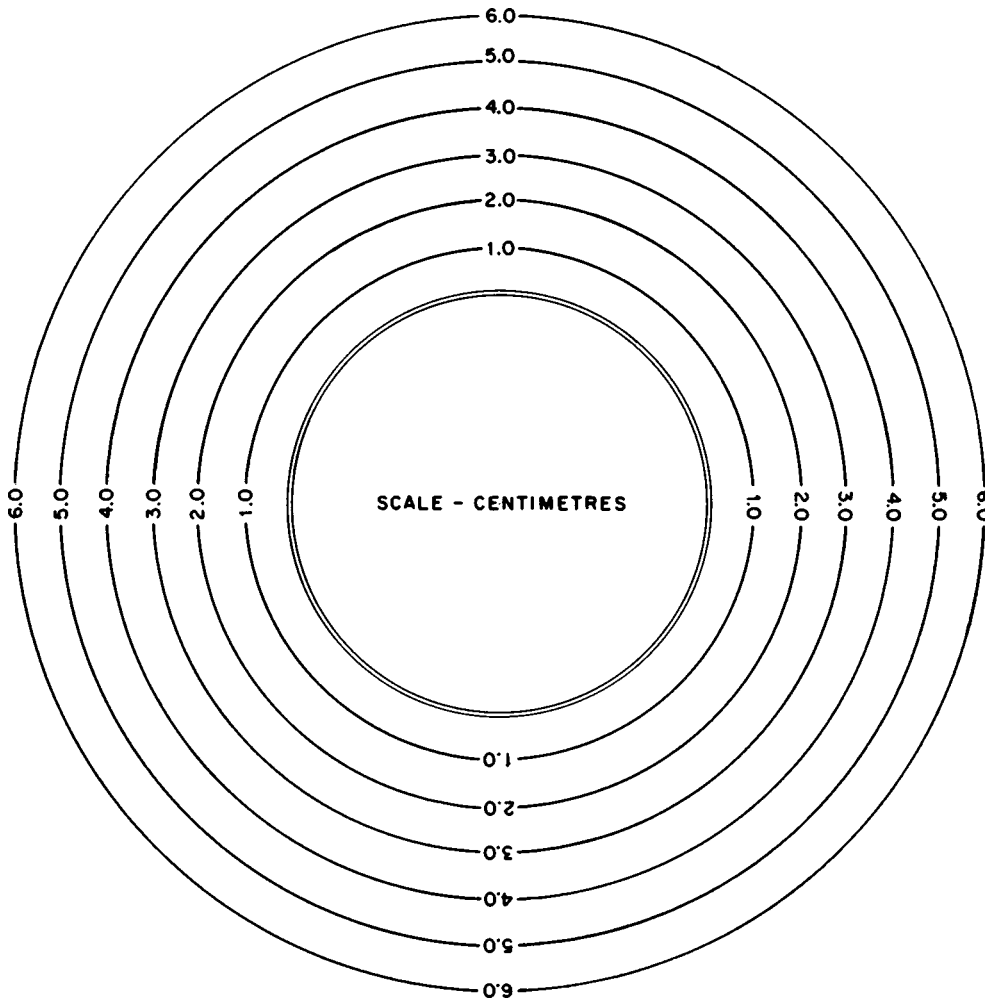


FIG. 1 Cone Consistency Test

cohesion testing device is used to measure cure time.

6.3.2 A slurry mix of optimum design obtained from use of the consistency test (see 5.4.4), is screeded onto a roofing felt pad to a thickness not exceeding the height of the largest aggregate fragment present in the mix. A template is recommended to obtain uniform thickness of the slurry mat.

6.3.3 After set of the slurry mat has occurred (5.4.5), the mat is placed beneath the pneumatically actuated rubber foot (25.4 mm (1 in.) in diameter) of the cohesion tester (see 6.3.4).<sup>6</sup> A pressure of 193 kPa (28<sup>5</sup> psi) is considered to be equivalent to that exerted by an average automobile. The rubber foot is twisted by means of a hand torque tester (see 6.3.4) which reads in inch pounds or inch ounces (see Table 2). The torque procedure is repeated at 15–30 min intervals until the highest torque reading obtainable remains constant. An undisturbed site on the slurry pad should be selected for each time-interval test. The time required to reach a constant maximum torque or until the rubber foot rides freely over slurry mat without any aggregate particles being dislodged, is recorded as the cure time.

TABLE 2 Pneumatic Cohesion Tester Chart

psi (on gage)	psi (on foot)	kPa (psi on foot) multiplied by 6.894
4.5	5	34.5
8.9	10	68.9
13.3	15	103.4
17.7	20	137.9
22.1	25	172.4
24.8	28	193.0
26.6	30	206.8
31.0	35	241.3
35.4	40	275.8
39.9	45	310.2
44.3	50	344.7

6.3.4 Cohesion tester<sup>7</sup> is a lightweight, portable device which can be adjusted to apply varying pressure to a slurry pad (see Figs. 2 and 3). Torque can be applied with a torqometer.<sup>8</sup> The cohesion tester can be used in the laboratory or field and can be pressured with in-house air, a portable compressor, or a simple bicycle tire pump.

<sup>7</sup> Available from Benedict Slurry Seal, Inc., 561 Cottingwood Ct., Dayton, OH 45429-3458.

<sup>8</sup> The Model TQX-2FU Torqometer, available from Snap-On Tools Corp., 2115 S. 162nd St., P.O. Box 46, New Berlin, WI 53151, or equivalent, has been found suitable.

<sup>6</sup> A suitable rubber foot, having a durometer hardness range of 50 to 70, can be cut from a used automobile tire.

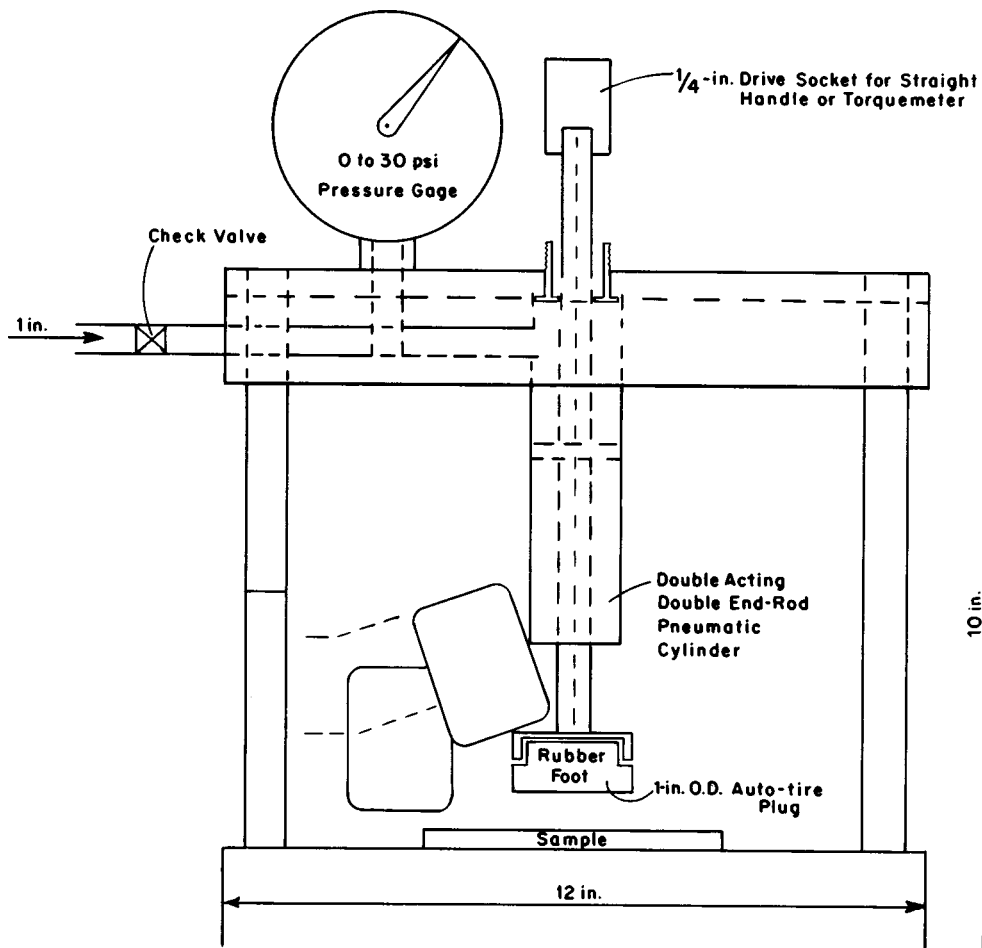


FIG. 2 Cohesion Tester (Front View)

6.4 Wet Track Abrasion Test:

6.4.1 Summary of Test Method:

6.4.1.1 A slurry mixture of fine graded aggregate, asphalt emulsion, and water is prepared to a homogeneous flowing consistency (see consistency test). The slurry is formed into a disk by pouring in the circular opening of a poly(methyl) methacrylate (PMMA) template resting on a larger circlet of 13.62-kg (30-lb) roofing felt.

6.4.1.2 After removal of the template, the disk-shaped specimen is dried to constant weight at 60°C (140°F). The cured slurry is placed in a water bath for 1 h, then mechanically abraded under water with a rubber hose for 5 min. The abraded specimen is washed free of debris, dried at 60°C (140°F) and weighed. The loss in weight expressed as grams per square metre (or square foot) is reported as the wear value (WTAT loss).

6.4.2 Apparatus:

6.4.2.1 *Balance*, capable of weighing 5 000 g to within ± 1.0 g.

6.4.2.2 *Planetary Type Mechanical Stirrer*,<sup>9</sup> (such as the Hobart Model N-50, Model C-100 or Model A-120 made by the Hobart Manufacturing Co., Troy, Ohio) equipped with a

(5-lb) weighted rubber hose holding device (abrasion head)<sup>10</sup> with about 12.7-mm (1/2-in.) free up-and-down movement in the shaft sleeve (Fig. 4).

6.4.2.3 *Heavy*—(1/8-in.) Flat-Bottom Metal Pan, approximately 330 mm (13 in.) in diameter with 51-mm (2-in.) vertical side walls (20 gage or heavier) having four equispaced screw clamps capable of securing 285 mm (11 1/4 in.) diameter specimen to bottom of pan (Fig. 5).

6.4.2.4 *Suitable Heavy Gage Round Bottom Bowl*, to contain the sample during mixing.

6.4.2.5 *Long-Handled Serving Spoon*, of sufficient length to project 101 mm (4 in.) or more out of the round bottom bowl during stirring.

6.4.2.6 *Disks*, supply of 286-mm (11 1/4-in.) diameter, cut from 13.62-kg (30-lb) roofing felt.

6.4.2.7 *Equipment*, used in specimen preparation such as a special circular poly(methyl) methacrylate (PMMA) template 6 mm (1/4 in.) thick with a 279-mm (11-in.) diameter circular opening (Fig. 6) and a 305 to 355-mm (12 to 14-in.) short handled window squeegee.

<sup>9</sup> Hobart mixers, Model N-50 and Model A-120, are available from the Hobart Manufacturing Co., Troy, OH 45374. Model C-100 has been discontinued.

<sup>10</sup> Abrasion Head and mixer assembly available from Scan Road Inc., P.O. Box 7677, 4914 Fort Avenue, Waco, TX 76714-7677, and Benedict Slurry Seal, Inc., 561 Cottingwood Ct., Dayton, OH 45429-3458.

ASPH D 3910

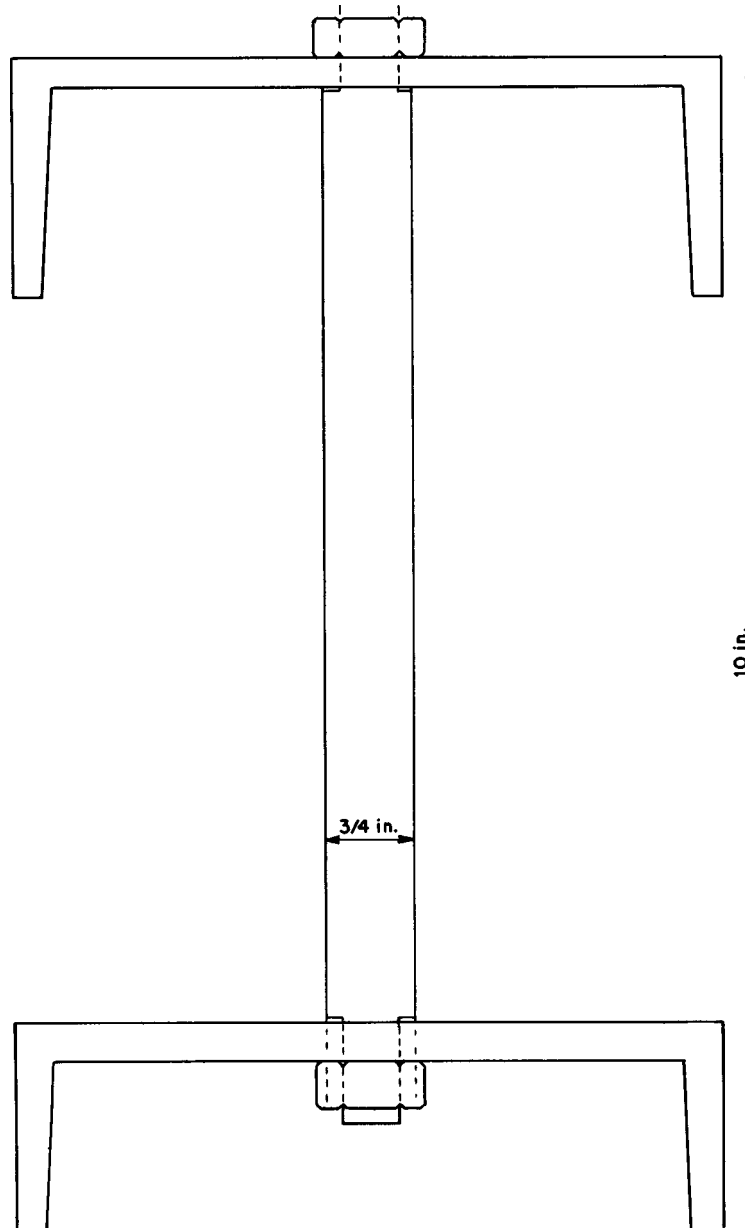


FIG. 3 Cohesion Tester (Side View)

6.4.2.8 *Oven*, forced-draft constant temperature thermostatically controlled at  $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$  ( $140 \pm 5^{\circ}\text{F}$ ) see Specification E 145 Type II B.

6.4.2.9 *Water Bath*, constant-temperature, controlled at  $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$  ( $77 \pm 2^{\circ}\text{F}$ ).

6.4.2.10 *Reinforced Rubber Hose*,<sup>11</sup> with a 19-mm ( $3/4$ -in.) inside diameter and 31-mm ( $1\frac{1}{32}$ -in.) outside diameter (two braid, 300 psi, green oil-resistant cover). The hose shall be cut into 127-mm (5-in.) lengths and drilled with two paired 9-mm ( $3/8$ -in.) holes aligned on 102-mm (4-in.) centers. Drill holes through convex and concave sides of hose.

6.4.2.11 *Wooden Prop Block* or equivalent for supporting platform assembly into position during testing (see Fig. 7 and Fig. 8).

<sup>11</sup> Hose can be obtained from Thaman Rubber Company, 6262 Wiene Road, Cincinnati, OH 45237. Telephone: (513) 631-4303. Refer to Parker #3292-12.

6.4.3 *Preparation of Test Specimen:*

6.4.3.1 The proper ratio of portland cement (or hydrated lime or other additives), water, and asphalt emulsion to the dry weight of the aggregate shall be predetermined in the laboratory or by a functional field mix design previously accepted by project engineer.

6.4.3.2 Quarter a sufficient amount of the air-dried aggregate passing No. 4 sieve to obtain at least 800 g in one quarter.

6.4.3.3 Weigh 800 g of aggregate into mixing bowl. Using the spoon, dry mix the mineral filler into the aggregate for 1 min or until uniformly distributed. Add the predetermined amount of water and mix again for 1 min or until all aggregate particles are uniformly wetted. Finally add the predetermined amount of emulsion and mix for a period of not less than 1 min and not more than 3 min.

6.4.3.4 Placing the opening in the template over the



FIG. 4 Specimen in Place Ready for Test (C-100 machine pictured)

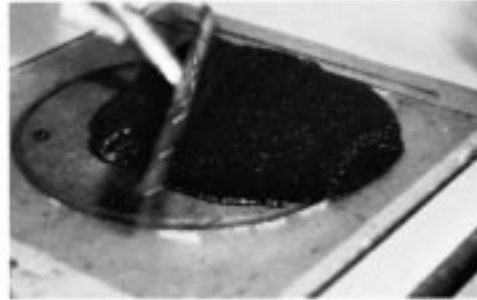


FIG. 6 Squeegee, Slurry into Mold

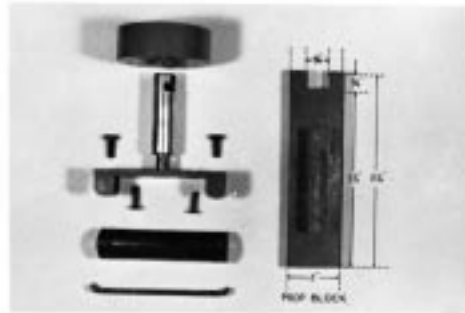


FIG. 7 Components of Abrasion Head (dimensions shown are for the C-100 machine)

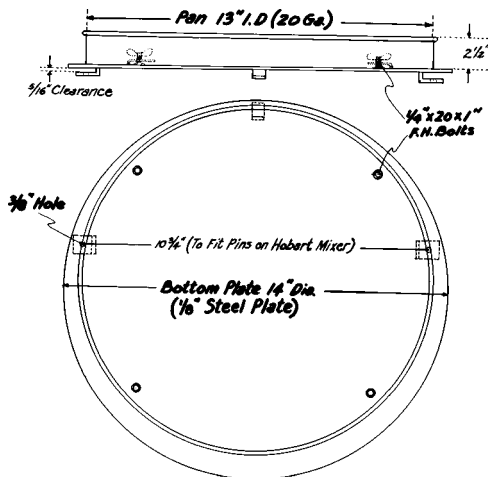


FIG. 5 Diagram of Pan (dimensions shown are for the C-100 machine)

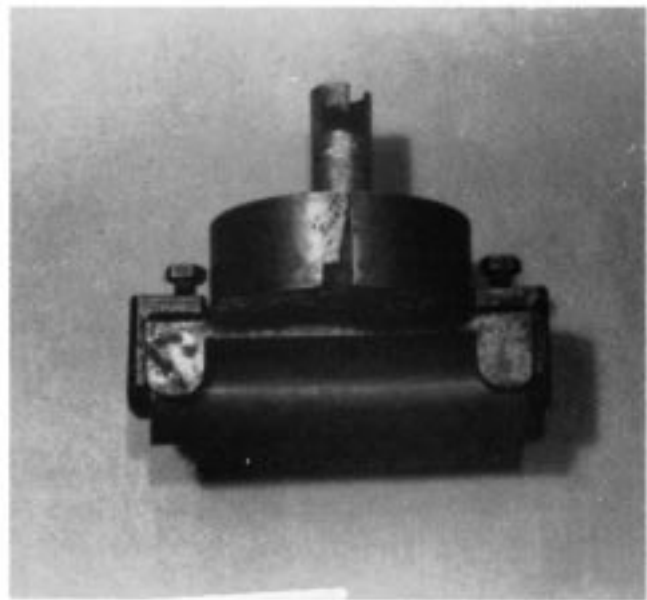


FIG. 8 Assembled Abrasion Head

286-mm (11¼-in.) diameter disk of smooth roll roofing. Immediately pour the slurry onto the smooth roll roofing disk.

6.4.3.5 Squeegee the slurry level with the top of the template with minimum of manipulation (excessive squeegeeing contributes to segregation). Scrape off excess material and discard.

6.4.3.6 Remove the template. Place the molded specimen in the 60°C (140°F) oven and dry to constant weight (minimum 15 h drying time).

NOTE 5—It should be noted that if the slurry mix is air-cured prior to oven-drying to a constant weight, the presence of portland cement in the mix could cause the physical properties of the mix to be affected by the relative humidity of the curing environment. A humid environment could increase the degree of hydration of the portland cement and change the physical properties of the mix. When practical, it is suggested that the slurry pad be allowed to cure at a minimum of 50 % relative humidity if optimum effect of the portland cement is desired.

6.4.4 Procedure:

6.4.4.1 Remove the dried specimen from the 60°C (140°F) oven. Allow to cool to room temperature and weigh.

6.4.4.2 After weighing, place the specimen in the 25°C (77°F) water bath for 60 to 75 min.

6.4.4.3 Remove the specimen from the water bath and place in the 330-mm (13-in.) diameter flat bottom pan. Secure the specimen to the pan bottom by tightening the four wing-nut washers.

6.4.4.4 Completely cover the specimen with at least 6-mm (¼-in.) depth of water (temperature 25°C (77°F)).

6.4.4.5 Secure the pan containing the specimen on the platform of the device (Fig. 4). Lock the rubber hose abrasion head on the shaft of the H machine. Elevate the platform until the rubber hose bears on the surface of the specimen. Use the prop block to support the platform assembly during testing.

6.4.4.6 Switch to the low speed of the mixer. Operate the mixer for 5 min ± 2 s for Hobart Model C-100; 6.7 min ± 2 s for Hobart Model A-120 and 5.15 min ± 2 s for Hobart N-50.

NOTE 6—Install a fresh section of hose after completion of each test. It is permissible to rotate the hose one half turn after each test run and obtain a fresh section for the next specimen.

6.4.4.7 Remove the specimen from the pan after the abrasion cycle and wash off debris. Place the washed test specimen in the 60°C (140°F) oven and dry to constant weight.

6.4.4.8 The dried specimen is removed from the 60°C (140°F) oven, allowed to reach room temperature and weighed. The difference between this weight and the weight obtained in 5.4.1 is multiplied by the appropriate factor shown in Note 7 to express the loss in grams per square foot or grams per square meter (wear value). The wear value is multiplied by the correction factor to obtain a C-100 wear value for comparison to the limit stated in 5.4.7.

NOTE 7—The factors used to convert the loss for the actual abraded area to a 1-m<sup>2</sup> or 1-ft<sup>2</sup> basis with each Hobart mixer is:

Model	Abraded Area	1-ft <sup>2</sup>	1-m <sup>2</sup>	C-100 Correction Factor
C-100	0.327 ft <sup>2</sup>	3.06	32.9	1.00
A-120	0.360 ft <sup>2</sup>	2.78	29.9	1.17
N-50	0.287 ft <sup>2</sup>	3.48	37.5	0.78

The C-100 correction factor converts A-120 or N-50 wear values to the C-100 wear value.

6.4.5 *Report*—Report the wear value (WTAT loss) in grams per square metre (or grams per square foot).

6.5 *Precision*—No precision statement of these practices have been obtained by statistically designed interlaboratory series of tests. However the question of precision is being considered for possibility of development.

## 7. Slurry Seal Construction

7.1 *Significance*—The work covered by this procedure consists of furnishing all labor, equipment, and materials and performing all operations necessary in connection with the proper application of an emulsified asphalt slurry seal upon the designated surface.

### 7.2 *Equipment*:

7.2.1 *General*—All equipment, tools and machines used in the performance of this work shall be maintained in satisfactory working order at all times.

#### 7.2.2 *Slurry Mixing Equipment*:

7.2.2.1 The slurry mixing machine shall be a continuous flow mixing unit and capable of delivering accurately a predetermined proportion of aggregate water and asphalt emulsion to the mixing chamber and to discharge the thoroughly mixed product on a continuous basis. The equipment shall be capable of prewetting the aggregate immediately prior to mixing with the emulsion. The mixing unit of the mixing

chamber shall be capable of thoroughly blending all of the ingredients together without violent mixing.

7.2.2.2 The mixing machine shall be equipped with an approved fines feeder that includes an accurate metering device or method to introduce a predetermined proportion of mineral filler into the mixer. The mineral filler shall be fed at the same time and location as the aggregate. The fines feeder shall be required whenever added mineral filler is a part of the aggregate blend.

7.2.2.3 The mixing machine shall be equipped with a water pressure system and fog-type spray bar, adequate for complete fogging of the surface receiving slurry treatment.

7.2.3 *Slurry Spreading Equipment*—Attached to the mixer machine shall be a mechanical type squeegee distributor, equipped with flexible material in contact with the surface of the pavement to prevent loss of slurry from the distributor. It shall be maintained so as to prevent loss of slurry on varying grades and crown by adjustments to insure uniform spread. There shall be a steering device and a flexible strike-off. The spreader box shall have an adjustable width. The box shall be kept clean and build up of asphalt and aggregate on the box or in the corners shall not be permitted. Use of burlap drags or other drags shall be approved by the engineer.

7.2.4 *Auxiliary Equipment*—Hand squeegees, shovels, and other equipment shall be provided if necessary to perform the work.

7.2.5 *Cleaning Equipment*—Power brooms, power blowers, air compressors, water flushing equipment, and hand brooms, suitable for cleaning the surface and cracks of the old surface.

### 7.3 *Preparation of Surface*:

7.3.1 Immediately prior to applying the slurry, clean the surface of all loose material, mud spots, vegetation, and other objectionable material. Any standard cleaning method used to clean pavements will be acceptable except water flushing will not be permitted in areas where cracks are present in the pavement surface.

7.3.2 If the slurry is being placed over a brick or concrete surface, high-absorbent asphalt surface, or over a surface where the aggregate has become exposed and is polished and slick, a one-part emulsion, three-part water tack coat of the same asphalt emulsion type grade as specified for the slurry is recommended. This can be applied with an asphalt distributor or a suitable water truck. The normal application rate is 0.189 to 0.378 L (0.05 to 0.10 gal) of the diluted emulsion per square yard of surface.

7.4 *Composition of the Slurry Mix*—The amount of asphalt emulsion to be blended with the aggregate shall be that as determined by laboratory mix design after final adjustment in the field. A minimum amount of water shall be added as necessary to obtain a fluid and homogeneous mixture.

7.5 *Weather Limitations*—The slurry seal shall not be applied if either the pavement or air temperature is below 13°C (55°F) and falling, but may be applied when both the air and pavement temperature is 7°C (45°F) or above and rising. The mixture shall not be applied if high-relative humidity prolongs the curing beyond a reasonable time.

7.6 *Traffic Control*—Suitable methods, should be used to protect the slurry from all types of traffic until sufficiently

cured to accept traffic. The length of time before traffic is permitted to use the surface depends on the type of emulsified asphalt, mixture characteristics, and weather conditions.

**7.7 Aggregate**—The aggregate shall be stockpiled in an area that drains readily. Precautions shall be taken to prevent contamination of the stockpile by oversized rock, soil, or vegetation. The aggregate shall be loaded on to the slurry seal trucks without segregation.

**7.8 Asphalt Emulsion**—The asphalt emulsion shall be stored in stationary, rail, or truck tanks that can easily be used to fill the slurry seal truck tanks. The tanks shall be equipped to prevent water from entering the emulsion. Suitable heat shall be provided if necessary to prevent freezing. Emulsified asphalts should be mixed or circulated once a day for uniformity.

**7.9 Water**—All water used with the slurry mixture shall be potable and free of harmful soluble salts.

#### **7.10 Application:**

**7.10.1 General**—The surface may be prewetted by fogging ahead of the slurry box if required by local conditions. Water used in prewetting the surface shall be applied at such a rate that the entire surface is damp with no apparent flowing water in front of the slurry box. The slurry mixture shall be of the desired consistency upon deposit on the surface and no additional elements shall be added. Total time of mixing shall not exceed 4 min. A sufficient amount of slurry shall be carried in all parts of the spreader at all times so that a complete coverage is obtained. Overloading of the spreader shall be avoided. No lumping, balling, or unmixed aggregate shall be

permitted. No segregation of the emulsion and aggregate fines from the coarse aggregate shall be permitted. If the coarse aggregate settles to the bottom of the mix the slurry shall be removed from the pavement. No excessive breaking of emulsion shall be allowed in the spreader box. No streaks, such as those caused by oversized aggregate will be left in the finished pavement.

**7.10.2 Joints**—Build-up on longitudinal and transverse joints should be kept to a minimum.

**7.10.3 Hand Work**—Approved squeegees shall be used to spread slurry in nonaccessible areas to the slurry mixer. Care should be exercised in leaving no unsightly appearance from the hand work.

**7.10.4 Curing**—Treated areas shall be allowed to cure until such time as the engineer or contracting officer permits their opening to traffic.

**7.10.5 Rolling**—Rolling is normally not required on slurry surfaces. However, in areas of slow turning traffic, for example, airfields, the paved surface should be rolled with a 4.5-metric ton (5-ton) roller. The paved area should be subjected to a minimum of five coverages. If a pneumatic roller is used it should be operated at a tire pressure of 345 kPa (50 psi).

## **8. Keywords**

8.1 abrasion resistance; appropriate ratio-mix formula; emulsified asphalt cold mixture; fine-graded aggregate; mineral filler; mixing water; set and cure time; specialized mixing and application equipment; slurry consistency; slurry seal

*The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.*



## Standard Test Method for Centrifuge Kerosine Equivalent<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 5148; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

### 1. Scope

1.1 This test method determines the centrifuge kerosine equivalent (CKE) of aggregate used in bituminous mixtures.

#### 1.2 Units of Measure:

1.2.1 With regard to sieve sizes and size of aggregate as determined by the use of testing sieves, the values in inch-pound units are shown for the convenience of the user, but the standard sieve designation shown in parentheses is the standard value as stated in Specification E 11.

1.2.2 With regard to other units of measure, the values shown in parentheses are for information purposes.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.* For specific hazard statements, see 7.1.

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards:

C 127 Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate<sup>2</sup>

C 128 Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate<sup>2</sup>

C 702 Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size<sup>2</sup>

D 75 Practice for Sampling Aggregates<sup>3</sup>

D 4753 Specification for Evaluating, Selecting, and Specifying Balances and Scales for Use in Soil, Rock, and Construction Materials Testing<sup>4</sup>

E 11 Specification for Wire-Cloth and Sieves for Testing Purposes<sup>5</sup>

E 832 Specification for Laboratory Filter Papers<sup>5</sup>

### 3. Terminology

#### 3.1 Symbols:

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D04 on Road and Paving Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D04.51 on Aggregate Tests.

Current edition approved Aug. 10, 1997. Published February 1998. Originally published as D 5148 – 90. Last previous edition D 5148 – 95.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.03.

<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.08.

<sup>5</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.04.

3.1.1  $C$ —coarse aggregate fraction, that portion of the sample which passes the  $\frac{3}{8}$ -in. (9.5-mm) sieve and is retained on the No. 4 (4.75-mm) sieve.

3.1.2  $F$ —fine aggregate fraction, that portion of the sample which passes the No. 4 (4.75-mm) sieve.

3.1.3  $SA$ —surface area. The sum,  $m^2/kg$  ( $ft^2/lb$ ), obtained by adding the products of the percent passing each sieve and its corresponding factor, (see 11.1) and dividing by 100.

3.1.4  $K$  factors—values determined as described in 3.1.5 through 3.1.8 and identified as  $K_c$ ,  $K_f$ , or  $K_m$ .

3.1.5  $K_c$ —determined from the percent of SAE No. 10 oil retained, which represents the total effect of the aggregate's absorptive properties and surface roughness of the aggregates coarse fraction.

NOTE 1—Based on comparative testing in California, the same results can be obtained substituting Shell Tellus No. 100 oil for SAE No. 10 oil.

3.1.6  $K_f$ —determined from the following factors:

3.1.7 Percent of kerosine retained, which represents the total effect of superficial area, the aggregate's absorptive properties and surface roughness of the aggregate's fine fraction.

3.1.7.1 Computed surface area, based on particle size.

3.1.7.2 Percent of aggregate passing No. 4 (4.75-mm) sieve.

3.1.8  $K_m$ —the "mean" or composite value of  $K$  for a given combination of coarse and fine materials on which  $K_c$  and  $K_f$  have already been determined independently.

### 4. Significance and Use

4.1 The CKE furnishes an index, designated as the  $K$  factor, that indicates the aggregate particle roughness and surface capacity based on porosity.

4.2 The CKE is used as part of the Hveem mix design procedure to determine the approximate bitumen ratio (ABR), as shown in Appendix X1. However, there are other applications such as determining the coarse aggregate fraction constant ( $K_c$ ) for use as an aid in selecting a bitumen content for open-graded friction courses.

### 5. Apparatus

5.1 *Centrifuge*, power driven, capable of exerting a force of  $400 \pm 8$  times gravity (400 G) on a 100-g sample.

The required  $r/min$  ( $\pm 10$ ) of the centrifuge head =  
$$\sqrt{(25.4(14\ 000\ 000/r))}$$

where  $r$  = radius to center of gravity of sample, mm.

5.2 *Centrifuge Cups*,  $71.4 \pm 1.6$  mm ( $2\frac{13}{16} \pm \frac{1}{16}$  in.) in height and  $52.4 \pm 1.6$  mm ( $2\frac{1}{16} \pm \frac{1}{16}$  in.) inside diameter (see Fig. 1) complete with perforated brass plate  $0.787 \pm 0.03$  mm ( $0.031 \pm 0.001$  in.) thick with a minimum of 15 holes,  $1.575$  mm  $\pm 0.03$  mm ( $0.062 \pm 0.001$  in.) in diameter, per square centimetre (100 holes/in.<sup>2</sup>).

5.3 *Balance*—A balance having a minimum capacity of 500 g and meeting the requirements of Specification D 4753, Class GP2.

5.4 *Metal Funnel*, top diameter  $98.4 \pm 1.6$  mm ( $3\frac{7}{8} \pm \frac{1}{16}$  in.), height  $109.5 \pm 1.6$  mm ( $4\frac{5}{16} \pm \frac{1}{16}$  in.), orifice  $12.7 \pm 1.6$  mm ( $\frac{1}{2} \pm \frac{1}{16}$  in.), with a piece of No. 10 (2.0-mm) sieve soldered slightly above the orifice (Fig. 2).

5.5 *Tin Pan*, round,  $114.3 \pm 1.6$  mm ( $4\frac{1}{2} \pm \frac{1}{16}$  in.) diameter,  $25.4 \pm 1.6$  mm ( $1 \pm \frac{1}{16}$  in.) deep.

6. Materials

- 6.1 Kerosine.
- 6.2 Lubricating Oil, SAE No. 10 (see Note 1).
- 6.3 Filter Paper, size 5½-cm diameter, Type 1, Class B.

NOTE 2—VWR Guide No. 613 satisfies ASTM grade Type 1, Class B, Specification E 832.

7. Hazards

7.1 **Warning**—Kerosine is flammable, and therefore caution should be used in storage and use.

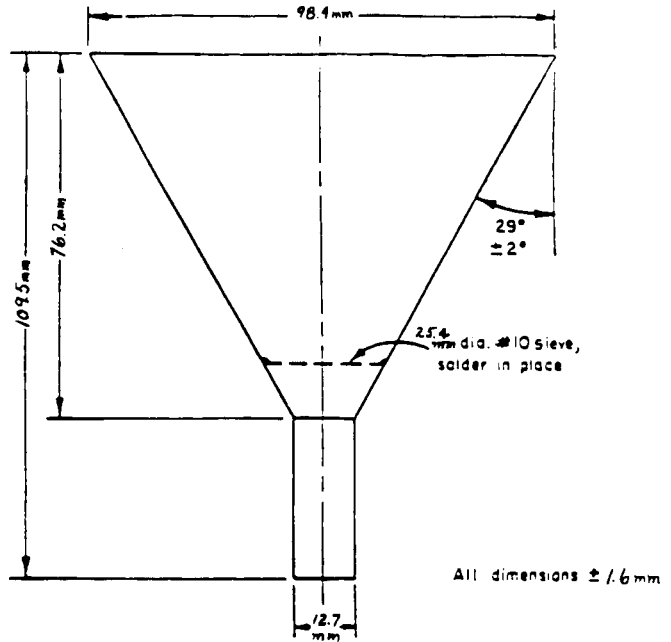


FIG. 2 Detailed Drawing for Metal Funnel

8. Sampling

- 8.1 Sampling is done in accordance with Practice D 75.
- 8.2 Reduce the sample in accordance with Practice C 702.

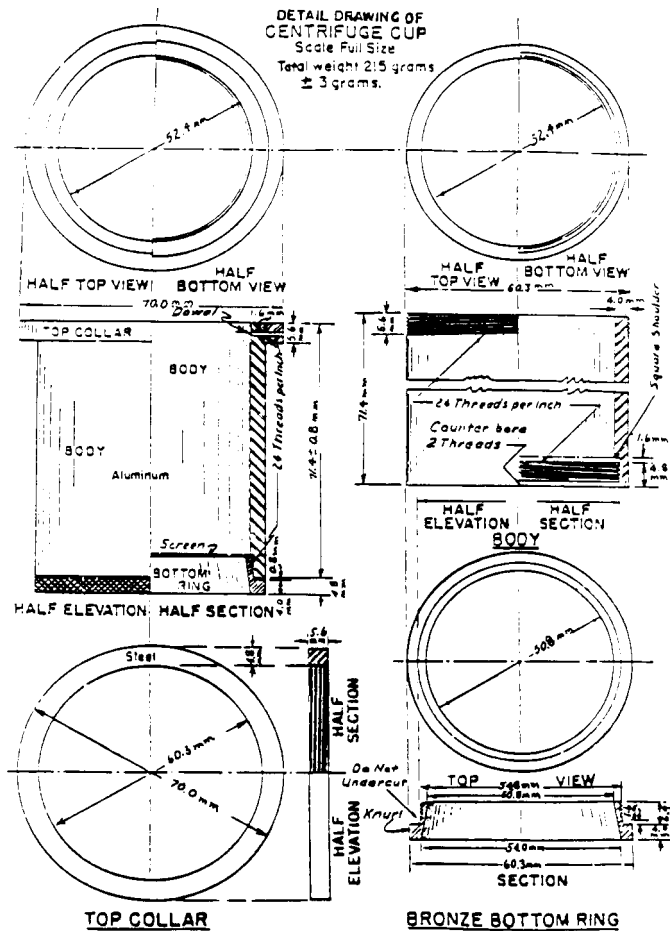


FIG. 1 Detailed Drawing of a Centrifuge Cup



## 9. Preparation of Sample

9.1 Determine the bulk specific gravity of the coarse aggregate (4.1) and apparent specific gravity of the fine aggregate (4.2), using Test Methods C 127 and C 128, respectively.

NOTE 3—Apparent specific gravity is used for the fine aggregate because it is easier to determine than the bulk specific gravity, and its use does not affect the CKE results.

9.2 *Specific Gravity*—Calculate the average specific gravity for the aggregate based upon the design grading by the following formula:

$$G = \frac{1}{\frac{P_c}{100G_c} + \frac{P_f}{100G_f}} \quad (1)$$

where:

$G$  = average specific gravity,

$P_c$  = coarse aggregate present in the original sample, weight %,

$P_f$  = fine aggregate present in the original sample, weight %,

$G_c$  = bulk (oven dry) specific gravity of the coarse aggregate, and

$G_f$  = apparent specific gravity of the fine aggregate.

9.3 Separate the aggregate into two size groups, “C” material (used for  $K_c$  determinations) passing the  $\frac{3}{8}$ -in. (9.5-mm) sieve and retained on the No. 4 (4.75-mm) sieve, and “F” material (for  $K_f$  determination) all passing the No. 4 (4.75-mm) sieve.

## 10. Procedures

### 10.1 Procedure for Fine F:

10.1.1 Quarter or split out approximately 105 g for each sample, representative of the material passing No. 4 (4.75-mm) sieve.

10.1.2 Place on hot plate or in  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ) oven and dry to constant weight.

10.1.3 Allow to cool.

10.1.4 Place  $100.0 \pm 0.1$  g in each of the tared centrifuge cups fitted with the perforated metal disk underlying a disk of filter paper.

10.1.5 Place centrifuge cups containing samples in pan with sufficient kerosine  $12.7 \pm 3.2$  mm ( $\frac{1}{2} \pm \frac{1}{8}$ in.) deep to saturate the sample. When specimens are thoroughly saturated (by capillary action), place the cups with samples in centrifuge. Samples should be tested in pairs, placed opposite of each other to avoid damage to the centrifuge.

10.1.6 Spin in centrifuge for 2 min at a force of 400 G.

10.1.7 Reweigh each cup, containing samples, to nearest 0.1 g and subtract original weight. The difference is the percent of kerosine retained (based on 100 g of dry aggregate). The percent of kerosine retained is the CKE value. Record the average of the two values for duplicate samples.

### 10.2 Procedure for Coarse C:

10.2.1 Quarter or split out approximately 105 g for each sample, representative of the material passing  $\frac{3}{8}$ -in. (9.5-mm) and retained on No. 4 (4.75-mm) sieve material.

10.2.2 Dry sample on hot plate or in  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ) oven to constant weight and allow to cool to room temperature.

10.2.3 Weigh out  $100.0 \text{ g} \pm 0.1 \text{ g}$  and place in funnel (see 5.4).

10.2.4 Completely immerse specimen in SAE No. 10 lubricating oil for 5 min (see Note 1).

10.2.5 Place the funnel in a container, maintaining the axis in a vertical position and allow to drain for 2 min.

10.2.6 Place funnel containing sample in  $60^\circ\text{C}$  ( $140^\circ\text{F}$ ) oven for 15 min of additional draining, remembering to keep the funnel axis in a vertical position.

10.2.7 Pour sample from funnel into tared pan, cool to room temperature, and reweigh sample to nearest 0.1 g. Subtract original weight and record difference as percent of oil retained (based on 100 g of dry aggregate).

## 11. Determination of K Factors

11.1 Use the following surface area factors to calculate surface area based upon design grading as follows:

Sieve Size Passed	m <sup>2</sup> /Kg	ft <sup>2</sup> /lb
Maximum size	0.41	2
No. 4 (4.75 mm)	0.41	2
No. 8 (2.36 mm)	0.82	4
No. 16 (1.18 mm)	1.6	8
No. 30 (600 μm)	2.9	14
No. 50 (300 μm)	6.1	30
No. 100 (150 μm)	12.3	60
No. 200 (75 μm)	32.8	160

11.1.1 All surface area factors must be used in calculations; thus, if a sample passes No. 4 (4.75-mm) sieve 100 %, include in calculations  $100 \times 0.41 \text{ m}^2/\text{kg}$  ( $2 \text{ ft}^2/\text{lb}$ ), for passing maximum size as well as  $100 \times 0.41 \text{ m}^2/\text{kg}$  ( $2 \text{ ft}^2/\text{lb}$ ) for passing No. 4 (4.75 mm) sieve.

11.2 Use the chart shown in Fig. 3 for determination of  $K_f$ .

11.2.1 If the apparent specific gravity for  $F$  is greater than 2.70 or less than 2.60, make correction for percent of kerosine retained, using the following formula:

$$\begin{aligned} & \text{Percent of kerosine retained} \\ & \times (\text{apparent specific gravity } F/2.65) \\ & = \text{CKE corrected for specific gravity} \end{aligned} \quad (2)$$

11.2.2 Start in lower left hand corner of chart in Fig. 3 with value for CKE corrected for specific gravity, following straightedge horizontally to right to the intersection with calculated surface area, hold point, move vertically upward to the intersection with the percent passing the No. 4 (4.75-mm) sieve, hold point, and follow straightedge horizontally to right. The value obtained will be the surface constant for the passing No. 4 (4.75-mm) fraction  $F$  and is known as  $K_f$ .

11.3 Use chart shown in Fig. 4 for determination of  $K_c$ .

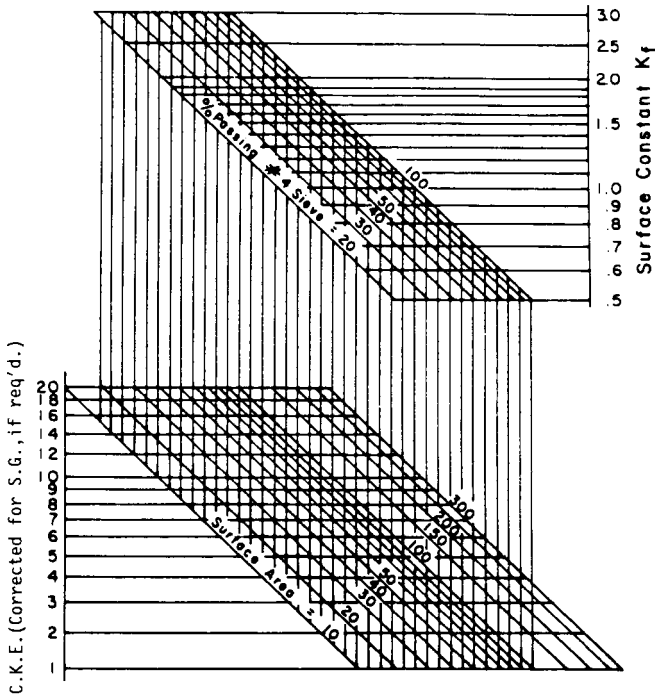
11.3.1 If the bulk (oven dry) specific gravity for  $C$  is greater than 2.70 or less than 2.60, apply correction to oil retained, using formula at top of chart in Fig. 4.

11.3.2 Start at the bottom of chart in Fig. 4 with the corrected percent of oil retained, follow straightedge vertically upward to intersection with the diagonal line, hold point, and follow the straightedge horizontally to the left. The value obtained will be the surface constant for the retained fraction  $C$  and is known as  $K_c$ .

11.4 Use the chart shown in Fig. 5 to combine  $K_f$  and  $K_c$  for determination of  $K_m$ .

CHART FOR DETERMINING  $K_f$  FROM C.K.E.

MATERIALS USED: aggregate passing 3/8in(7.5mm) sieve, ret. #4(4.75mm) sieve.  
Oil - SAE 10 or Shell Tallus # 100.



NOTE: C.K.E. Corrected for S.G. = % ker. ret. (C.K.E.) x  $\frac{\text{app. S.G. (f)}}{2.65}$

FIG. 3 Chart for Determining  $K_f$  from CKE

$$K_m = K_f + \text{correction to } K_f \quad (3)$$

11.4.1 The “correction to  $K_f$ ” value obtained from Fig. 5 is positive if  $(K_c - K_f)$  is positive and is negative if  $(K_c - K_f)$  is negative.

11.4.2 No correction needs to be applied for asphalt viscosity.

NOTE 4—When there is 20 % or less coarse material in a sample, the  $K_c$  is not used; therefore, the  $K_f$  and  $K_m$  are the same.

11.4.3 The determination of  $K_m$  is shown in the following example:

$$K_c = 1.0, K_f = 1.8, SA = 5.12 \text{ m}^2/\text{kg} \text{ (25 ft}^2/\text{lb)}, \text{ passing No. 4} = 60 \% \quad (4)$$

11.4.3.1 Using the chart in Fig. 5 start in lower left corner with  $SA = 5.12 \text{ m}^2/\text{kg} \text{ (25 ft}^2/\text{lb)}$ , follow straightedge horizontally to percent of coarse aggregate (40 %), hold point, follow straightedge vertically upward to intersection with the difference between  $K_c$  and  $K_f$  (0.8), hold point, and follow straightedge horizontally to right to a “correction to  $K_f$ .” In this example, the correction is 0.2. Because  $K_c - K_f$  (1.0 - 1.8) is negative, the correction is negative; therefore,  $K_m = 1.8 - 0.2 = 1.6$ . If  $K_c$  had been 1.8, and  $K_f$  1.0,  $K_c - K_f$  would have been positive (+0.8), and the correction (0.2) would have been positive. In this case,  $K_m$  would be  $1.0 + 0.2 = 1.2$ .

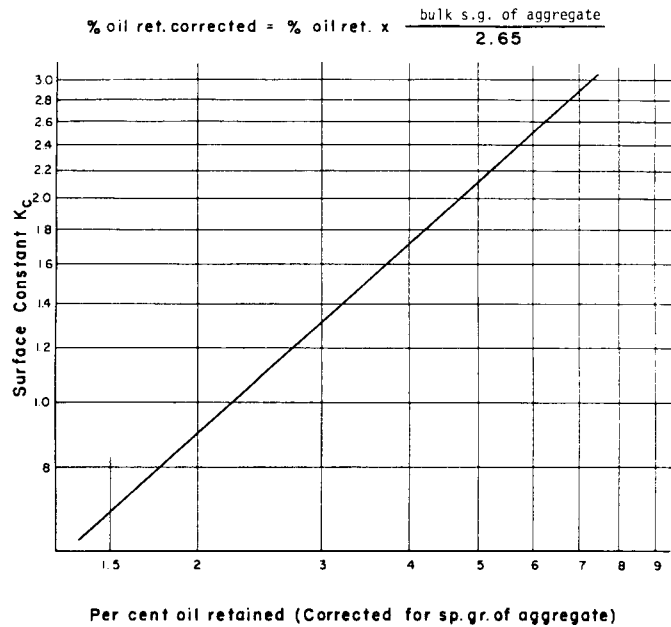


FIG. 4 Chart for Determining  $K_c$  from Coarse Aggregate Percent Oil Retained

12. Report

12.1 Report percent kerosine retained, percent oil retained,  $K_f$ ,  $K_m$ , and  $K_c$ .

13. Precision and Bias

13.1 Precision:

13.1.1 Estimates of variations within a laboratory cannot be made with available data because in several cases the same operator did not conduct all the tests from which the data were generated. However, the following is an estimate of variation between laboratories based on a test result that is the average of two samples.

	Variation Between Laboratories	
	Standard Deviation	Acceptable Range of Two Results
Kerosine retained, %	0.34	0.962
Oil retained, %	0.416	1.206

13.1.2 The precision statement is based on an interlaboratory study of 19 laboratories that tested two aggregates twice with an interval of one week. The same operator conducted the first series of tests on both aggregates but did not necessarily conduct the second series of tests. More specifically, the results are based on using an SAE No. 10 oil.

13.2 Bias—The procedure in this test method has no bias because the values of the kerosine retained and the oil retained are defined in terms of this test method.

14. Keywords

14.1 aggregates; bitumin content; centrifuge kerosine equivalent; surface roughness

If  $(K_c - K_f)$  is neg., corr. is neg.  
 If  $(K_c - K_f)$  is pos., corr. is pos.  
 $K_m = K_f + \text{corr. to } K_f$

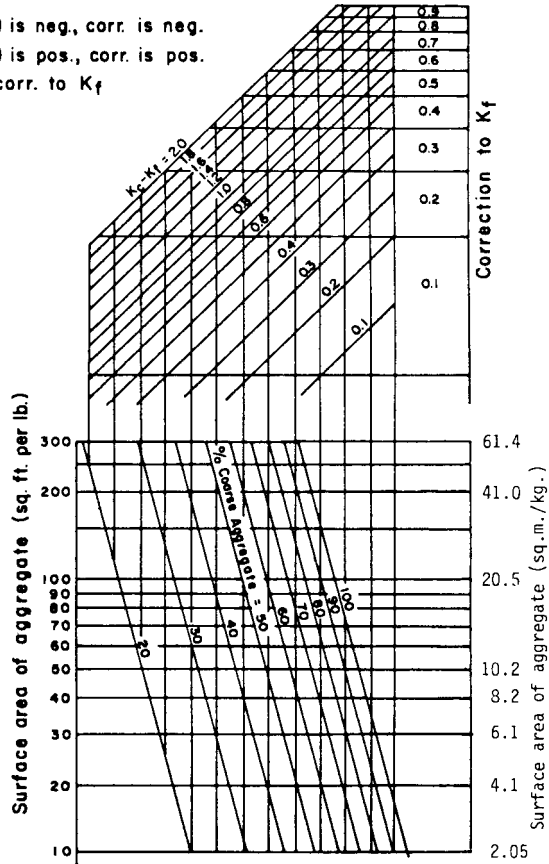


FIG. 5 Chart for Combining  $K_f$  and  $K_c$  to Determine  $K_m$

## APPENDIX

### (Nonmandatory Information)

#### X1.

##### X1.1 Scope

X1.1.1 The  $K_f$  and  $K_c$  constants for an aggregate are used in bituminous mix design procedures to determine an approximate bitumen ratio (ABR). When used in this manner in the Hveem mix design procedure for dense-graded bituminous mixtures, other mix properties are also considered such as appearance (for flushing condition), voids, and Hveem stability and cohesion. The ABR calculated for open-graded friction courses from acceptable relations should also be verified by conducting an asphalt drainage test.

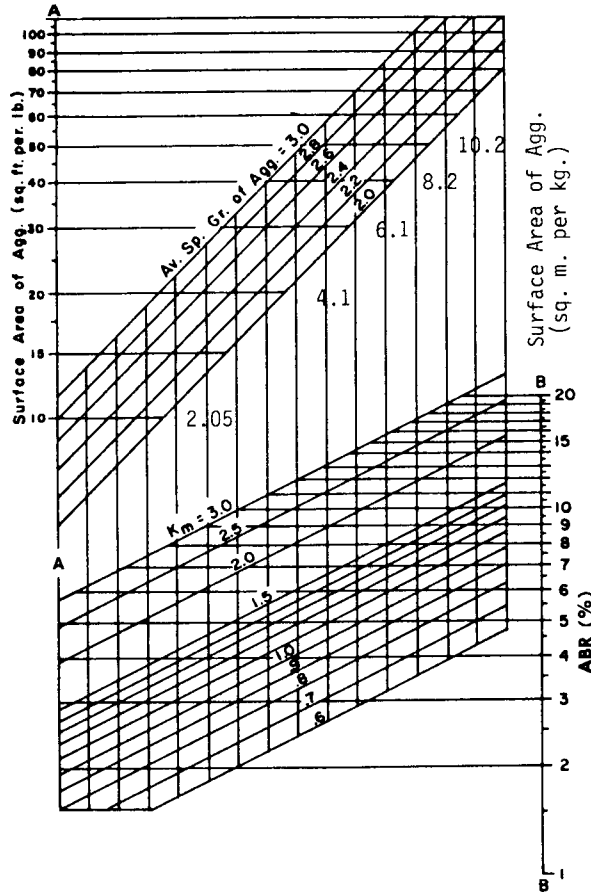
X1.1.2 The ABR for dense-graded bituminous mixtures is determined by use of Fig. X1.1.

X1.1.3 Fig. X1.2 is used for correcting the bitumen requirement for paving asphalts.

X1.1.4 The ABR for open-graded mixtures can be calculated from  $ABR = 2K_c + 4.0$  and correcting for aggregate specific gravity.<sup>6,7</sup>

<sup>6</sup> Federal Highway Administration, "Design of Open-Graded Asphalt Friction Courses," Report No. FHWA-RD-74-2, January 1974, Washington, DC, Suppl. No. 1, July 11, 1975.

<sup>7</sup> White, Thomas D., "Field Performance of Porous Friction Course," miscellaneous paper S-76-13, April 1976, US Army Engineer Waterways Experiment Station, CE, Vicksburg, MS; and Report No. FAA-RD-73-197, February 1975, Federal Aviation Administration, Washington, DC.

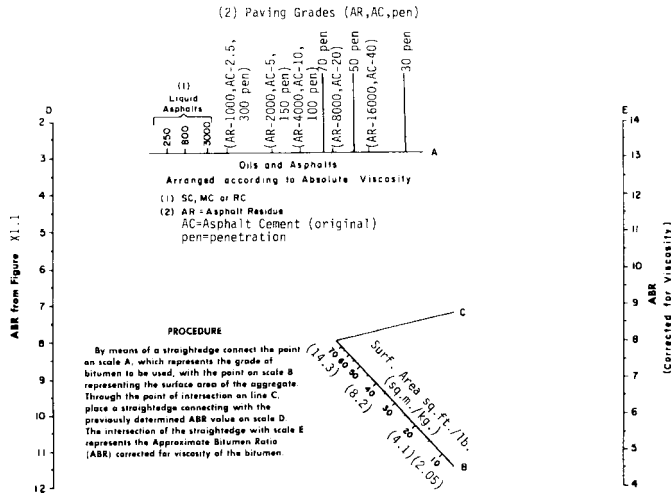


**PROCEDURE**

Find surface area on scale A. Proceed horizontally to curve corresponding to av. sp. gr. of aggregate, then down to curve corresponding to Km then horizontally to scale B for Approximate Bitumen Ratio.

ABR = lbs. of oil per 100 lbs. of aggregate and applies directly to oil of SC-250 MC-250 and RC-250 grades. A correction must be made for heavier liquid or paving asphalts. Fig. 5.

**FIG. X1.1 Chart for Computing Approximate Bitumen Ratio (ABR) for Dense-Graded Bituminous Mixtures**



**FIG. X1.2 Chart for Correcting ABR for Grade of Asphalt**



## D 5148

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or [service@astm.org](mailto:service@astm.org) (e-mail); or through the ASTM website ([www.astm.org](http://www.astm.org)).*



# Standard Practice for Design, Testing, and Construction of Micro-Surfacing<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 6372; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

## 1. Scope

1.1 This practice covers the design, testing, and construction of mixtures of polymer modified asphalt emulsion, mineral aggregate, mineral filler, water, and other additives, properly proportioned, mixed and spread on a paved surface. It is written as a guide and should be used as such. End use specifications should be adapted to conform to job and user requirements.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

## 2. Referenced Documents

### 2.1 ASTM Standards:

- C 88 Test Method for Soundness of Aggregate by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate<sup>2</sup>
- C 117 Test Method for Materials Finer Than No. 200 Sieve in Mineral Aggregates by Washing<sup>2</sup>
- C 131 Test Method for Resistance to Degradation of Small Size Coarse Aggregates by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine<sup>2</sup>
- C 136 Test Method for Sieve Analysis of Aggregate<sup>2</sup>
- D 36 Test Method for Softening Point by the Use of Ring and Ball<sup>3</sup>
- D 75 Practice for Sampling Aggregate<sup>4</sup>
- D 140 Practice for Sampling Bituminous Material<sup>4</sup>
- D 244 Test Method for Testing Emulsified Asphalt<sup>4</sup>
- D 977 Specification for Emulsified Asphalt<sup>4</sup>
- D 2397 Specifications for Cationic Emulsified Asphalt<sup>4</sup>
- D 2419 Test Method for Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate<sup>4</sup>

<sup>1</sup> This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee D-4 on Road and Paving Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D04.24 on Bituminous Surface Treatments.

Current edition approved June 10, 1999. Published August 1999. Originally published as D 6372-99. Last previous edition D 6372-99.

<sup>2</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02.

<sup>3</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.04.

<sup>4</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.03.

D 3910 Practice For Design, Testing, and Construction of Slurry Seal<sup>4</sup>

### 2.2 ISSA Documents:

- ISSA Technical Bulletin No. 100, Test Method for Wet Track Abrasion of Slurry Surfaces<sup>5</sup>
- ISSA Technical Bulletin No. 139, Test Method to Classify Emulsified Asphalt/Aggregate Mixture Systems by Modified Cohesion Tester, Measurement of Set and Cure Characteristics<sup>5</sup>
- ISSA A143 Revised May 1996 Recommended Performance Guidelines For Micro-Surfacing<sup>5</sup>
- ISSA Technical Bulletin No. 144, Test Method for Classification of Aggregate Filler—Bitumen Compatability by Schultze-Breuer and Ruck Procedures
- ISSA Technical Bulletin No. 147, Test Methods for Measurements of Stability and Resistance to Compaction, Vertical and Lateral Displacement of Multilayered Fine Aggregate Cold Mixes<sup>5</sup>

## 3. Terminology

### 3.1 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.1.1 *polymer modified emulsified asphalt micro-surfacing mixtures*—as related to this practice, mixtures of fine aggregate with mineral filler, mixing water, and field control additive, uniformly mixed with polymer modified emulsified asphalt.

## 4. Summary of Practice

4.1 This practice outlines the basic properties for materials, mix design procedures, and application techniques for the design and application of micro-surfacing. The mix developed through this practice should be capable of being spread in variable thick cross sections, which after curing and initial traffic consolidation, resist compaction through the entire design tolerance range of bitumen content and variable thickness to be encountered. The end product should maintain a high friction surface and variable thick sections throughout its surface life. The mix should be a quick traffic system and should be able to accept rolling traffic on a 12.7 mm thick surface within 1 h after placement in 24°C temperature and 50 % or less humidity.

<sup>5</sup> Available from International Slurry Surfacing Association, Washington, D.C., 20036.

**5. Significance and Use**

5.1 This micro-surfacing practice is written as a guide and should not be construed as a specification. End use specifications should be adapted to conform to job and user requirements.

**6. Design**

6.1 *Aggregates*—The aggregate shall be a manufactured crushed stone such as granite, slag, limestone, chat, or other high quality aggregate or combination thereof. The aggregate shall be totally crushed with 100 % of the parent aggregate being larger than the largest stone in the gradation to be used. Recommended grading requirements are shown in Table 1. When tested by Test Method D 2419, the combined aggregate prior to the addition of any chemically active mineral filler shall have a sand equivalent of not less than 65. When tested by Test Method C 88 the aggregate shall have a weighed average loss not greater than 15 % using sodium sulfate or 25 % using magnesium sulfate. Testing by Test Method C 131 shall show an abrasion resistance of 30 % maximum.

6.2 *Mineral Filler*—Mineral filler shall be any recognized brand of nonairentrained portland cement or hydrated lime. The mineral filler shall be free of lumps and accepted upon visual inspection. The type and amount of mineral filler needed shall be determined by a laboratory mix design and will be considered as part of the aggregate gradation.

6.3 *Emulsified Asphalt*—The emulsified asphalt shall be a quick set polymer modified asphalt emulsion conforming to the requirements of Specification D 2397 for CSS-1h or section 377, SSIA. The polymer material shall be milled or blended into the asphalt or emulsifier solution prior to the emulsification process. The cement mixing test shall be waived for this emulsion. The five day settlement test may be waived. Refer to ISSA Document A143.

**7. Composition of Micro-Surfacing Mixtures**

7.1 A job mixture shall be selected that conforms to the specifications for a quick traffic system, meaning that it will be able to accept traffic after a short period of time and is capable of being spread in variable cross sections, wedges, ruts, scratch courses, and surfaces and that after curing and initial traffic consolidation resists compaction throughout the entire design tolerance range of bitumen content and variable thickness to be encountered. The mixture should maintain a high friction surface, and variable thick sections throughout the service life of the mixture. The mixture shall be able to accept rolling traffic on a 12.7 mm thick surface within 1 h after placement at

24°C temperature and 50 % or less humidity. The mixture shall conform to one of the gradation types listed in Table 1. Type II is suitable for urban and residential streets and airport runways. It shall be applied at the minimum rate of 5.4 to 8.1 kg/m<sup>2</sup>. Type III is suitable for primary and interstate routes and to fill wheel ruts. It shall be applied at the rate of 8.1 to 16.2 kg/m<sup>2</sup> for primary and interstate routes. The application for wheel ruts shall be as prescribed in Appendix X1.

**8. Test Procedures For Mix Design of Polymer Modified Emulsified Asphalt Micro-Surfacing Systems**

8.1 *Cohesion Test:*

8.1.1 This test procedure is used to determine various set times of the micro surfacing mixture. It measures torque of a microsurfacing mixture as it coalesces and develops cohesive strength. The amount of torque developed plotted over time shows how the mixture is developing resistance to movement. Specific torque and time values are defined as “set time” and “early rolling traffic time” (see Fig. 1).

8.1.2 Set time is defined as the lapsed time after casting a specimen of the microsurfacing mixture that it cannot be remixed homogeneously (there is no free emulsion to lubricate the system) and no lateral displacement is possible when it is compacted. It is further defined as the time when there are no signs of free emulsion when pressed with an absorptive paper towel and there is no free emulsion diluted and washed away when rinsed with water.

8.1.3 Early rolling traffic time is defined as the time at which the micro-surfacing mixture will accept rolling traffic without picking or deformation.

8.1.4 Set times for the micro-surfacing mixture shall be determined as outlined in 6.3 of Practice D 3910.

NOTE 1—Referenced ISSA Technical Bulletin No. 139.

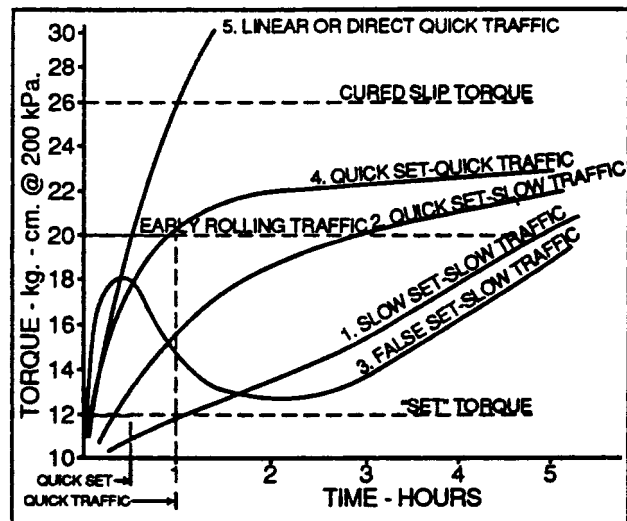
8.2 *Wet Track Abrasion Test:*

8.2.1 This test procedure is used to determine the minimum asphalt content and resistance to stripping.

8.2.2 It establishes the minimum permissible emulsion content of a given micro-surfacing system and the long term

**TABLE 1 Grading Requirements**

Sieve Size	Type II Percent Passing	Type III Percent Passing	Stockpile Tolerance
9.5 mm	100	100	
4.75 mm	90 to 100	70 to 90	± 5 %
2.36 mm	65 to 90	45 to 70	± 5 %
1.18 mm	45 to 70	28 to 50	± 5 %
600 µm	30 to 50	19 to 34	± 5 %
330 µm	18 to 30	12 to 25	± 4 %
150 µm	10 to 21	7 to 18	± 3 %
75 µm	5 to 15	5 to 15	± 2 %



**FIG. 1 Classification of Mix Systems by Modified Cohesion Test Curves**

moisture susceptibility of the system.

8.2.3 The test shall be run in accordance with Practice D 3910, Section 6.4.

NOTE 2—Referenced ISSA Technical Bulletin No. 100.

8.3 *Loaded Wheel Test*—This test procedure measures the amount of compaction and displacement characteristics of multi-layered micro-surfacing mixtures under simulated rolling traffic compaction (see Fig. 2).

8.3.1 *Summary of Test Procedure:*

8.3.1.1 A 500 g dry aggregate weight mixture is prepared using 0/#4 or other gradation aggregate and the desired quantities of fillers, water additives and asphalt emulsion. After 30 s of vigorous mixing, the mixture is cast into 12.7 by 50.8 mm by 38.1 cm mold centered over a 0.60 mm mounting plate and immediately struck-off uniformly with a wooden dowel or U shaped wooden screed using a sawing action. The inside

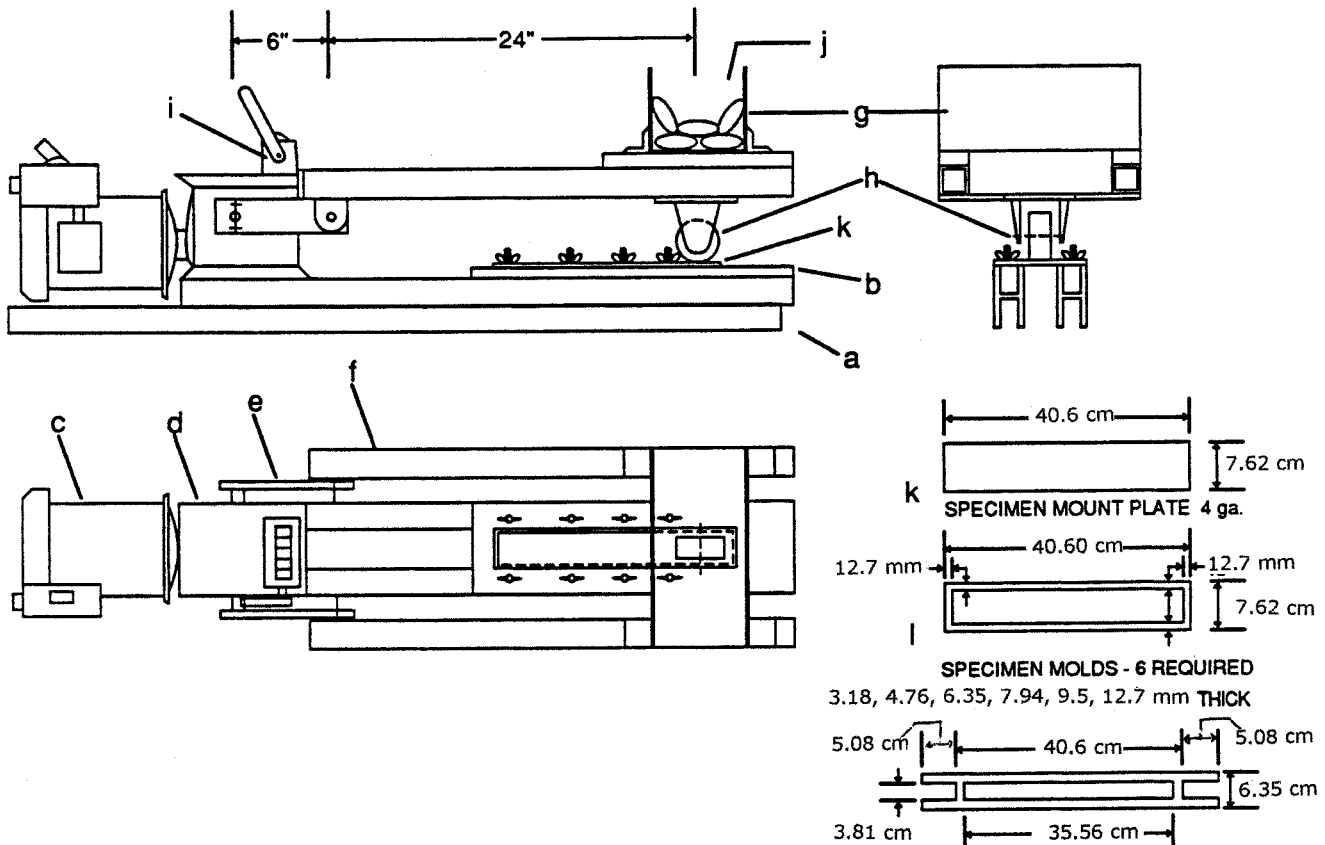
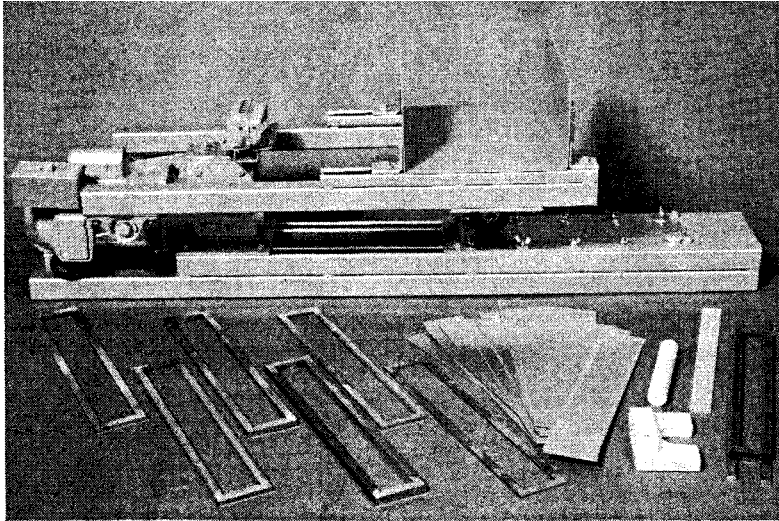


FIG. 2 Loaded Wheel Tester



surfaces of the mold may be coated with a thin coating of petroleum or a mixture of glycerin and talc as a mold release to prevent sticking.

8.3.1.2 As soon as the mixture is sufficiently set to prevent free flow, the mold is carefully removed without disturbing the specimen. The specimen is air cured for 24 h, then dried to a constant weight in a forced draft oven at 60°C for 18 to 20 h. After cooling, the specimen is measured centrally for width and net thickness. The net weight of the specimen is obtained and recorded. The specimen is then mounted in the loaded wheel track machine and subjected to 1000, 56.7 kg cycles of compaction. The specimen is then removed and immediately remeasured laterally in the wheel path and the results recorded. The lateral displacement is expressed as the percent increase of the original width. The specific gravity should be expressed as the increase by percent after compaction of the specimen.

#### 8.3.2 Apparatus:

8.3.2.1 *Balance*, capable of weighing 2000 g or more to within  $\pm 1.0$  g.

8.3.2.2 *Loaded Wheel Tester*, (as described in ISSA TB109) consisting of a 7.62 cm diameter soft rubber wheel loaded with 56.7 kg which reciprocates through a 30.48 cm horizontal path at the rate of 44 cycles per minute.

8.3.2.3 *Suitable Heavy Gage Round Bottom Bowl*, suitable to prepare 500 gram mixes.

8.3.2.4 *Long Handled Steel Spoon*, or suitable spatula for mixing of aggregate emulsion mixtures.

8.3.2.5 *Specimen Mounting Plate*, (0.60 mm galvanized steel 7.62 by 40.6 cm, deburred).

8.3.2.6 *Specimen Mold*, 12.7 mm thick by 76.2 mm  $\times$  40.6 cm outside and 50.8 mm by 38.1 cm inside dimensions.

8.3.2.7 *Calipers*, capable of measuring specimen width to within 0.01 mm.

8.3.2.8 *Oven*, forced draft constant temperature thermostatically controlled at  $60 \pm 3^\circ\text{C}$ . See specification E 145 Type IIB.

#### 8.3.3 Preparation of Test Specimen:

8.3.3.1 A 500 gram dry weight aggregate mixture is prepared using the 4.75 mm and smaller fractions, the desired quantities of fillers, water additives, and asphalt emulsion.

8.3.3.2 After 30 s of vigorous mixing, cast the mixture into the mold, centered over the 0.60 mm mounting plate and immediately struck-off uniformly with a wooden dowel or U shaped wooden screed using a sawing action. The casting operation should be completed within 15 s so that no more than 45 s has elapsed from starting the mix to finishing the specimen.

8.3.3.3 As soon as the mixture is sufficiently set to prevent free flow, carefully remove the mold without disturbing the specimen. Then air-cure the specimen for 24 h and then dry to a constant weight in a forced draft oven at 60°C for 18 to 20 h.

8.3.3.4 After cooling for 2 h to room temperature, measure the specimen with the calipers for net lateral thickness.

8.3.3.5 Then mount the specimen in the loaded wheel tester machine and subject it to 1000 cycles of compaction at a temperature of  $22 \pm 2^\circ\text{C}$ .

8.3.3.6 Then remove the specimen from the loaded wheel tester machine and immediately remeasure laterally.

8.3.3.7 Reference Document ISSA Technical Bulletin No. 147.

8.4 *Classification Test*—This test procedure covers the determination of the relative compatibility between aggregate filler of specific gradation and emulsified asphalt residue.

8.4.1 *Summary of Test Procedure*—The test procedure provides a rating system or grading values for abrasion loss, adhesion, and high temperature cohesion characteristics of a specified aggregate-bitumen combination for comparison with test values of referenced combinations.

#### 8.4.2 Apparatus:

8.4.2.1 *Balance*, capable of weighing 1000 g sensitive to  $0.01 \pm 0.005$  g.

8.4.2.2 *Oven*, forced draft constant temperature thermostatically controlled at  $60 \pm 3^\circ\text{C}$ . See Specification E 145 Type IIB.

8.4.2.3 *Suitable Heavy Gage Round Bottom Bowl*, to contain 200 g of mixture.

8.4.2.4 *Suitable Mixing Spatula*, or long handled metal spoon.

8.4.2.5 *Metal Pill Mold*, consisting of a base, a case 30 mm inside diameter by 70 mm height and a 29 mm diameter ram.

8.4.2.6 *Constant Force Press*, capable of exerting a constant force of 1000 kg.

8.4.2.7 *Shuttle Cylinders*, consisting of acrylic tubes 16 mm inside diameter by 400 mm inside length containing  $1100 \pm 25$  mm. Volume enclosed with water tight metal caps at each end, one of which is readily removable.

8.4.2.8 *Abrasion Machine*, capable of holding at least two pairs of shuttle cylinders and rotating them end for end about a central axis at 20 rpm (see Fig. 3).

8.4.2.9 *Open Top 6 mm Galvanized Hardware Cloth Baskets*, 50 mm diameter by 50 mm high with suitable means for suspension in boiling water.

8.4.2.10 *Hot Plate*, capable of heating 500 ml of water to boiling.

8.4.2.11 *800 ml Metal or Glass Beaker*, capable of holding boiling water.

#### 8.4.3 Preparation of Test Specimen:

8.4.3.1 The aggregate to be used shall be dry sieved and regraded as prescribed (see Table 2).

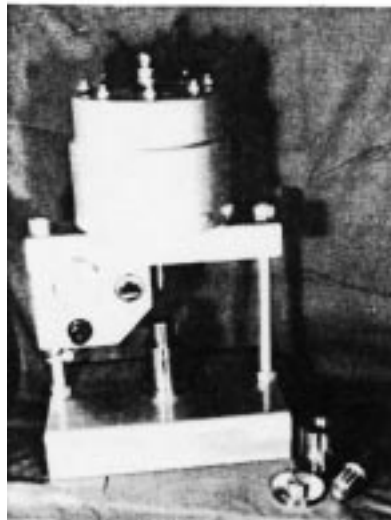
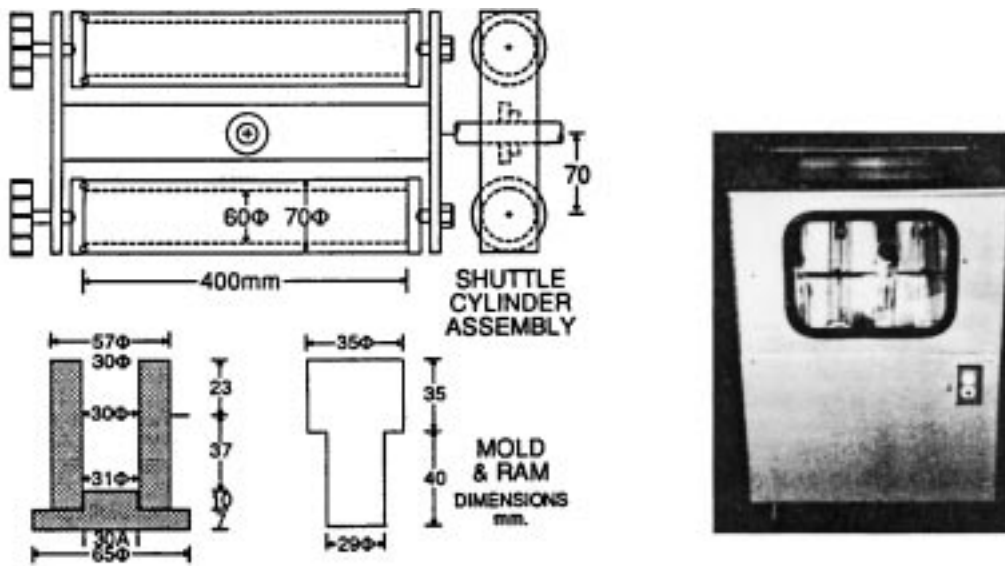
8.4.3.2 Weigh into the mixing bowl 200 g of the prepared aggregate, 2 g Type I portland cement or the desired amount of cement or other additives, or both, and sufficient water to produce a workable mix (about 50 g). Premix thoroughly before adding the emulsion.

8.4.3.3 Add the equivalent of  $8.125 \pm 0.1$  % pure bitumen (12.5 of a 65 % residue emulsified asphalt and mix until broken. Place the crumbed mixture into a suitable drying pan and air cure for minimum of 1 h. Dry in a forced draft 60°C oven to a constant weight.

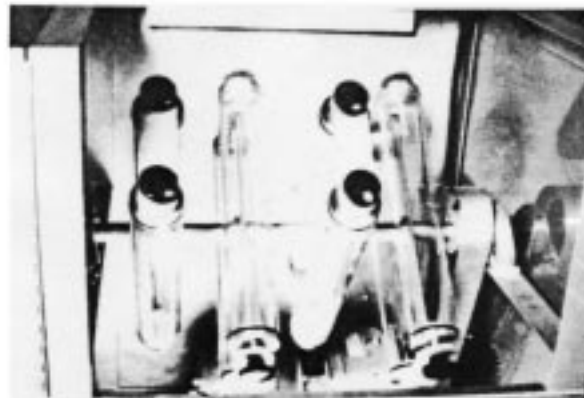
8.4.3.4 Place  $40 \text{ g} \pm$  one g of the dried crumbed mixture into the steel mold which is preheated to 60°C. Immediately press the mix for 1 min at a pressure of 1000 kg. Remove the resulting pill from the mold and cool to room temperature.

8.4.3.5 Remove any loose flashing from the pill and weigh to the nearest 0.01 g.

8.4.3.6 Submerge the pill in a  $25 \pm 3^\circ\text{C}$  water bath for six days.



Constant Force Pill Press and Molds



Above: Safety Cabinet Closed  
Below: Shuttle Cylinder Assembly

FIG. 3 Schulze-Breuer Abrasion Machine

TABLE 2 Dry Sieve Measurements for Aggregate

Metric Sieve	%
710 to 2.00 mm	= 25 %
250 to 710 μm	= 40 %
90 to 250 μm	= 15 %
0.0 to 90 μm	= 20 %

8.4.3.7 After soaking for six days, remove the pill from the water bath and surface dry by blotting with a hard surface paper towel until no wet spots appear on the towel.

8.4.3.8 Weigh the surface dried specimen to the nearest 0.01 g.

8.4.3.9 Fill the shuttle cylinder with tap water to  $750 \pm 25$  mL (2/3 full), place the pill in the cylinder, replace the removable end to close the cylinder and place securely in the

abrasion machine. Run the abrasion machine for  $3 \text{ h} \pm 3 \text{ min}$  at 20 rpm (3600 cycles). Upon completion, remove the pill from the shuttle cylinder and surface dry the abraded pill as before. Immediately weigh to the nearest 0.01 g.

8.4.3.10 Place the abraded pill in the hardware cloth basket and suspend in a 800 mL beaker or other suitable container full of vigorous boiling water. Boil the pill for 30 min. Remove the pill in the hardware cloth basket from the boiling water and place the remains of the boiled pill on an absorbent paper towel. When surface dry, weigh the largest remaining coherent mass and record. Calculate the weight as percent of the original saturated pill. After air drying for 24 h estimate the percent of aggregate filler particles that are completely coated with bitumen. A report of the average results of quadruplet specimens to include: absorption in grams absorbed, abrasion loss

and grams lost, adhesion and percent coated, and integrity in percent retained mass. Grade the results by comparing to the values in Table 3. See ISSA Technical Bulletin No. 144.

## 9. Micro-Surfacing Construction

9.1 The work covered by this procedure consists of furnishing all labor, equipment and materials and performing all operations necessary in connection with the proper application of a micro-surfacing system upon the designated surface.

9.2 *Equipment*—All equipment, tools and machines used to perform this work shall be maintained in satisfactory working order at all times.

9.2.1 *Micro-Surfacing Machine*—The machine shall be specifically designed and manufactured to lay micro-surfacing. The machine shall be a self-propelled, continuous flow mixing unit, able to accurately deliver and proportion the aggregate, emulsified asphalt, mineral filler, control setting additive, and water to a revolving multi-blade double shafted mixer and discharge the mixed product on a continuous flow basis. The machine shall have sufficient storage capacity for aggregate, emulsified asphalt, mineral filler, control additive and water to maintain an adequate supply to the proportioning controls. On major highway work, the machine may be required to be a self loading machine capable of loading materials while continuing to lay micro-surfacing. The self loading machine shall be equipped to allow the operator to have full control of the forward and reverse speed during application of the micro-surfacing material and be equipped with opposite side drivers stationed to assist in alignment. The self loading device, opposite side drivers stations, and forward and reverse speed controls shall be original equipment manufacturer designed.

9.2.1.1 Individual volume or weight controls for proportioning each material and used in material calibration shall be provided and properly marked.

9.2.1.2 The machine shall include a surfacing box with twin shafted paddles or spiral augers fixed in the spreader box. A front seal shall be provided to insure no loss of mixture at the road contact point. The rear shall act as a final strike-off and shall be adjustable. The spreader box and rear strike-off shall be so designed and operated that a uniform consistency is achieved to produce a free flow of material to the rear strike-off. The box shall have suitable means provided to side-shift the box to compensate for variations of pavement geometry. A secondary strike-off shall be provided to improve surface texture. It shall have the same leveling adjustments as the spreader box.

9.2.1.3 The filling of ruts 12.7 mm or greater in depth shall be filled with a rut filling spreader box 1.52 or 1.81 m wide. The rut box shall be so designed as to include fixed augers in the box to move material to the deepest portion of the rut and to provide variable depth control.

9.2.2 *Auxiliary Equipment*—Hand, squeegees, shovels, traffic control equipment and other support and safety equipment shall be provided if necessary to perform the work.

9.2.3 *Cleaning Equipment*—Power brooms, power blowers, air compressors, water flushing equipment, and hand brooms suitable for cleaning the surface and cracks of the old surface.

9.3 *Calibration*—Each mixing unit to be used in the performance of the work shall be calibrated prior to construction. Calibration documentation shall include an individual calibration of each material at various settings, which can be related to the machine metering devices. No machine will be allowed to work on the project until a calibration has been completed or accepted, or both.

### 9.4 Preparation of Surface:

9.4.1 Immediately prior to applying the micro-surfacing, clean the surface of all loose material, silt spots, vegetation and other objectionable material. Any standard cleaning method used to clean pavements will be acceptable. If water is used, cracks shall be allowed to dry thoroughly before applying the micro-surfacing. Manholes, valve boxes, drop inlets and other service entrances shall be protected from the micro-surfacing by a suitable method.

9.4.2 If the pavement area to be covered is extremely dry and raveled or is concrete or brick, a tack coat may be required. The tack coat should consist of one part emulsified asphalt and three parts water and be applied with a standard distributor. Emulsified asphalt should be a SS or CSS grade. The tack coat shall be applied at the rate of 0.16 to 0.32 L/m<sup>2</sup>. The tack coat shall be allowed to cure sufficiently before the application of micro-surfacing.

9.5 *Weather Limitations*—Micro-surfacing shall not be applied if either the pavement or air temperature is below 10°C and falling, but may be applied when both pavement and air temperature are above 7°C and rising. No micro-surfacing shall be applied when there is the possibility that the finished product will freeze within 24 h. The mixture shall not be applied when weather conditions prolong opening to traffic beyond a reasonable time.

9.6 *Traffic Control*—Suitable methods should be used to protect the micro-surfacing from all types of traffic until sufficiently cured to accept traffic.

### 9.7 Application:

9.7.1 The surface may be prewetted by water fogging ahead of the spreader box when road conditions require. The rate of application of the fog spray shall be adjusted during the day to suit temperatures, surface texture, humidity and dryness of the pavement.

9.7.2 The micro-surfacing shall be of the desired consistency upon leaving the mixer. A sufficient amount of material shall be carried in all parts of the spreader box at all times so that a complete coverage is obtained. Overloading of the spreader box shall be avoided. No lumping, balling or unmixed aggregate shall be permitted.

9.7.3 No streaks such as those caused by oversized aggregate shall be left in the finished surface. No excess streaking will be allowed. Excess streaking is defined as more than four drag marks greater than 12.7 or 100 mm long; or both, or 25.4

**TABLE 3 Compatibility Classification System**

Grade Rating, Each Test	Point Rating, Each Test	Abrasion Loss, grams	Adhesion 30' Boil, % Coated	Integrity 30' Boil % Retained
A	4	0 – .7	90 – 100	90 – 100
B	3	.7 – 1.0	75 – 90	75 – 90
C	2	1.0 – 1.3	50 – 75	50 – 75
D	1	1.3 – 2.0	10 – 50	10 – 50
0	0	2.0 +	0	0

and 76.2 mm in any 25 m<sup>2</sup>. No transverse ripples or longitudinal streaks of 6 mm in depth will be permitted when measured by placing a 3 mm straight edge over the surface.

9.7.4 No excess build-up, uncovered areas or unsightly appearance shall be permitted on longitudinal transverse joints. Suitable width spreading equipment shall be used to produce a minimum number of longitudinal joints. When possible, longitudinal joints should be placed on lane lines. Half passes and odd width passes will be used only in minimum amounts. If half passes are used, they shall not be the last pass of any paved area. A maximum of 76.2 mm shall be allowed for overlap of longitudinal lane line joints. The joint shall have no more than a 6 mm difference in elevation when measured by placing a 3 m straight edge over the joint and measuring the elevation drop-off.

9.7.5 Areas which cannot be reached with the mixing machine shall be surfaced using hand squeegees to provide a complete and uniform coverage. If necessary, the area to be handworked shall be lightly dampened prior to mix placement. Care shall be exercised to leave no unsightly appearance from handling. The same type of finish as applied by the spreader

box shall be required.

9.7.6 Care shall be taken to insure straight lines along curbs and shoulders. No run-off of these areas will be permitted. However, the shoulder area must be in good condition with no substantial drop-off to curb to insure no run-off. Lines at intersections will be kept straight to provide a good appearance. If necessary, a suitable material will be used to mask off the end of streets to provide straight lines. Edge lines should not vary by more than ± 50 mm horizontal variance in any 30 m of length.

9.7.7 All areas such as manways, gutters, and intersections shall have micro-surfacing mix removed on a daily basis. Debris associated with the performance of the work shall be removed as per local specifications.

**10. Keywords**

10.1 abrasion loss; consistency; lateral displacement; micro-surfacing; polymer modified emulsified asphalt; quick traffic-system, set and cure time; rut-fill; specialized mixing and application equipment; stability

**APPENDIX**

**(Nonmandatory Information)**

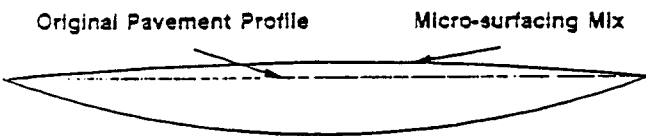
**X1. REPROFILING RUTTED WHEELPATHS WITH MICRO-SURFACING**

**X1.1 Rule of Thumb:**

X1.1.1 For every 2.54 cm of micro-surfacing mix add 3.2 to 6.4 mm of material As a crown to allow for compaction under traffic (see Fig. X1.1).

X1.2 When estimating quantities needed to level ruts with micro-surfacing, the exact amount of material needed is very

difficult to calculate. The depth and width of ruts vary drastically throughout the length of a project. Following is an approximate quantity chart for varying depths of ruts, for estimating purposes. See Table X1.1



**FIG. X1.1 Rut In Wheelpath**

**TABLE X1.1 Quantity Chart for Depth of Ruts**

Rut Depth, mm	kg/sqm
8.5 to 12	9.1 to 13.6
13 to 26.4	11.4 to 15.9
25.4 to 31.7	12.7 to 17.3
31.7 to 38.1	14.5 to 18.2

*The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.*

*This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (http://www.astm.org).*