

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



**“PROPUESTA DE DISEÑO Y PROCESO  
CONSTRUCTIVO DE LECHADA ASFALTICA EN EL  
MANTENIMIENTO DE OBRAS VIALES EN EL  
SALVADOR”**

**PRESENTADO POR:**

**MAURICIO ALEXANDER ORELLANA JIMENEZ**

**EDGAR DANIEL PEÑA MUÑOS**

**BLANCA MARGARITA PEREZ AGUIRRE**

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, ABRIL 2015**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR :

**ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO**

SECRETARIA GENERAL :

**DRA. ANA LETICIA ZAVALETA DE AMAYA**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

DECANO :

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

SECRETARIO :

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

DIRECTOR :

**Ph.D. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO CIVIL**

Título :

**“PROPUESTA DE DISEÑO Y PROCESO  
CONSTRUCTIVO DE LECHADA ASFALTICA EN EL  
MANTENIMIENTO DE OBRAS VIALES EN EL  
SALVADOR”**

Presentado por :

**MAURICIO ALEXANDER ORELLANA JIMENEZ  
EDGAR DANIEL PEÑA MUÑOS  
BLANCA MARGARITA PEREZ AGUIRRE**

Trabajo de Graduación Aprobado por los Docentes Asesores:

**ING. DILBER ANTONIO SANCHEZ  
ING. MAURICIO ERNESTO VALENCIA  
ING. CHRISTA MATA DE LARA**

San Salvador, abril de 2015

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Asesores :

**ING. DILBER ANTONIO SÁNCHEZ VIDES**

**ING. MAURICIO ERNESTO VALENCIA**

**ING. CHRISTA MATA DE LARA**

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios Todopoderoso por su inmenso amor hacia nosotros, por ayudarnos a superar un reto más en nuestras vidas, por darnos los recursos necesarios para culminar con éxito nuestros estudios universitarios.

A nuestros padres por su esfuerzo diario, por su amor y su entrega, nuestros logros son suyos.

A nuestros asesores Ing. Dilber Sánchez, Ing. Mauricio Valencia e Ing. Christa de Lara, gracias por su tiempo, su dedicación y su apoyo para con nosotros.

A la empresa Asfaltos de Centro América, ASFALCA SA de CV y a su personal técnico por apoyarnos en el desarrollo de nuestra investigación.

Al Ing. Erick Calidonio por guiarnos y compartir sus conocimientos con nosotros.

A nuestros amigos y compañeros por estar siempre a nuestro lado.

Gracias

*Margarita, Daniel y Mauricio*

## DEDICATORIA

**Dedico mi esfuerzo a Dios mi Señor Padre, Hijo y Espíritu Santo** a quien agradezco infinitamente por cada uno de los días de mi vida, por mi familia, por la salud, por cada uno de los milagros y bendiciones que he recibido. Gracias Padre Celestial por permitirme ver culminada una etapa de mi vida tan importante, gracias por tu amor y fidelidad. A ti sea la "Gloria y la Honra Señor". Amén.

**A mi Mamí Ana Margarita Aguirre Grande**, no hay palabras que describan cuanto te agradezco tu esfuerzo y tus sacrificios. Gracias mamá por todo, eres uno de mis grandes tesoros, gracias por apoyarme en esta aventura, por tener fe en mi y por bendecir mi vida todos los días. Te amo mamá

**A mi abuelita Blanca de Grande**, gracias por enseñarme a luchar, gracias por tu esfuerzo para darnos a todas una vida mejor, gracias por cuidar de mi, gracias por haberme ayudado en todo, gracias por darme un buen ejemplo. Te amo.

**A mi esposo Andrés Merino**, amor eres el mejor regalo que me dio la UES, eres lo que más le agradezco a Dios, gracias por tu comprensión, apoyo y amor incondicional. TE AMO Andrés Merino.

**A mi Tía Mirna** gracias por estar a mi lado siempre, gracias por verme como tu hija, gracias por ayudarnos a crecer. Te Amo

**A mi Hermana Merceditas**, eres mi mejor amiga, gracias por ser tan especial. Te amo hermanita

**A mi suegra Ana Luz de Merino**, gracias por ser mi amiga, gracias por su apoyo y su comprensión, gracias por ese hombre tan maravilloso que formó.

**A mi amigo Walther Ríos y a mi amiga Connie Mejía**, gracias por su apoyo y cariño, sobre todo gracias por su amistad. **A mi gran amigo Mauricio Polanco**, gracias por ser el hermano que la vida me dio. Te quiero un montón. A los tres gracias por estar en todos los momentos de mi vida.

**A mis docentes:** Ings. Edgar Gavidia, Susán Campos, Ricardo Herrera, Mauricio Valencia y Dilber Sánchez, porque más que guías en este camino fueron amigos que me brindaron comprensión y apoyo. Siempre los recordaré con mucho cariño y respeto.

**A mi compañero y amigo Daniel Peña** por haberme acompañado en este barco que a veces no tenía rumbo, pero nunca dejamos que se hundiera, gracias por haberte esforzado y por haber luchado a mi lado.

**A mi compañero Mauricio Orellana**

**A mi Asesora Inga. Christa de Lara** por habernos dedicado el tiempo en su agenda y colaborarnos tanto, aprendí mucho. Siempre le tendré cariño por haber estado presente en la etapa final de mi carrera.

Gracias Totales

*Margarita Aguirre*

## DEDICATORIA

**A Dios**, por haberme dado la vida y unos padres como los que me dio, por permitirme llegar hasta este punto de mi vida, también por todas las experiencias buenas o malas que atravesé a lo largo de esta etapa de mi vida que de una u otra forma me ayudan a mejorar como persona.

**A nuestros asesores de tesis:**

**Ing. Dilber Sánchez**

**Ing. Christa Mata de Lara**

**Ing. Mauricio Valencia**

Por compartir sus conocimientos y su tiempo para ayudarnos a resolver las diferentes inquietudes que se presentaron durante el desarrollo de este trabajo, siendo unos excelentes guías, darnos ánimos y ayudarnos a la agilización de este proceso, gracias por su comprensión ante las diferentes dificultades y los muy oportunos consejos dados.

**A los ingenieros y técnicos de la planta de la empresa ASFALCA S.A de C.V**, por brindarnos amablemente de su ayuda para la realización de los diferentes ensayos realizados, por todas sus atenciones, por todo el tiempo y conocimiento compartido con nosotros, el cual fue fundamental para el desarrollo de este trabajo.

**A mis padres**, por ser como son conmigo, por haberme dado toda su paciencia y amor principalmente, por siempre estar a mi lado aconsejándome y tratando de ayudarme para tomar las decisiones correctas, apoyándome y dándome ánimos para continuar a lo largo de este camino, por haberse esforzado y sacrificado para brindarme educación y todas las cosas necesarias para vivir y por haberme inculcado buenos principios. Les dedico esto en especial a mis padres ya que son los principales responsables además de Dios de que haya

llegado hasta aquí y son ellos a los que les tendré mis eternos agradecimientos siempre por todo lo que han hecho y siguen haciendo por mí, esperando pronto retribuir por lo menos una pequeña parte de todo lo que ellos me han dado.

**A mis hermanas**, por quererme tanto, por apoyarme y haber estado conmigo en todo momento para darme siempre palabras de ánimo, además de compartir muchos momentos importantes a lo largo de mi carrera y de mi vida, también por todos aquellos buenos y malos ratos que sirvieron para aprender y corregir muchas cosas de mi vida.

**A mi familia**, quienes siempre me han aconsejado para tomar las decisiones correctas para mi vida y mi educación, además siempre han estado pendientes para poder brindarme su apoyo en momentos de necesidad y darme la confianza y los ánimos necesarios en momentos difíciles.

**A mis compañeros de tesis**, por haber sido unas buenas personas, por toda su comprensión y todos los momentos buenos y malos que pasamos juntos durante todo este tiempo y que de los cuales he aprendido mucho y me ayudaran a ser mejor persona.

**A mis amigos**, por todas las palabras de ánimo recibidas de su parte, por todos sus buenos deseos y el apoyo incondicional ofrecido por parte de ellos.

*Mauricio Orellana*

## DEDICATORIA

Gracias **DIOS** por hacer posible este logro, por tu Gracia y Misericordia cada día a lo largo de mi vida y de este reto que hoy estoy culminando, porque solo Tú das la sabiduría, el conocimiento y la inteligencia.

**A mí padre, Edgar Reynaldo Peña Rodríguez (Q.D.D.G.)** por creer en mí y enseñarme a amar el trabajo

**A mi bella y amada madre Zonia Elisabet Muñoz de Peña** por tan abnegada labor en lo que fue la mejor profesión que pudiste elegir, educar e inculcar el amor de Dios a tus hijos. Para vos este triunfo, gracias por tu esfuerzo y dedicación.

**A mis hermanas Sara y Sonia Peña,** gracias por aguantar mis locuras y por amarme como yo las amo.

**A toda mi familia** por confiar y siempre estar pendiente de mí y brindarme siempre esa ayuda y esas palabras de apoyo oportunas.

**A todos mis compañeros y amigos de universidad** que de una u otra forma pusieron su granito de arena para llegar hasta este momento: Karla, Vero, Gema, Chamba, Godo.

**A Marcela Ruiz y su familia** por abrir su hogar y por darme su apoyo en todo momento.

**A Saúl Quintanilla y su familia** por permitirse ser usados y ser de gran bendición para mi vida.

**A la K-denita:** Saul, Carlos, Walter, Neto, Hugo, Kevin. Gracias por su amistad y por cada pasada en todos estos años de amistad.

**A la mapachada:** Andrea, Carlos, David, Fer, Karen, Marcela, Marco, Rebe. Gracias por sus oraciones y por su amistad.

A nuestros asesores de tesis: **Ing. Dilber Sánchez, Ing. Christa Mata de Lara, Ing. Mauricio Valencia.** Gracias por su esfuerzo y dedicación en hacer que esta investigación fuera posible.

**A mis compañeros de tesis Mauricio y Margarita,** por haber hecho que este logro fuera posible, gracias por su disposición y esfuerzo.

**A Blanca Margarita Aguirre,** gracias por tu paciencia, amistad y por hacer que este trabajo culminara exitosamente.

*Daniel Peña*

## INDICE GENERAL

<i>RESUMEN</i> .....	<i>i</i>
<i>INTRODUCCION</i> .....	<i>iii</i>
<i>CAPITULO I GENERALIDADES</i> .....	<i>1</i>
<i>1 Generalidades</i> .....	<i>2</i>
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Objetivos.....	4
1.2.1 Objetivo General.....	4
1.2.2 Objetivos Específicos.....	4
1.3 Alcances.....	5
1.4 Limitaciones.....	6
1.5 Justificación.....	7
1.6 Antecedentes.....	9
1.6.1 Tratamientos asfálticos superficiales.....	9
1.6.2 Tratamientos Superficiales (Lechadas Asfálticas) en El Salvador.....	18
<i>CAPITULO II MANTENIMIENTO VIAL</i> .....	<i>25</i>
<i>2 Mantenimiento vial</i> .....	<i>26</i>
2.1 Importancia del Mantenimiento Vial.....	27
2.2 Importancia de la Inspección Frecuente de Pavimentos.....	30
2.3 Conservación de Pavimentos Flexibles.....	31
2.3.1 Componentes de la conservación de Pavimentos.....	33
2.4 Pavimento Flexible.....	38
2.4.1 Fallas en Carpetas Asfálticas Flexibles.....	40
2.4.2 Fisura y Grietas.....	41
2.4.3 Deformaciones.....	44
2.4.4 Desintegraciones.....	46

2.4.5	Superficies Resbaladizas .....	48
2.5	Patologías derivadas de una mala ejecución de los Tratamiento Superficiales 49	
2.6	Ejemplo de Levantamiento de Daños observados en Micropavimento .....	52
<i>CAPITULO III TRATAMIENTOS SUPERFICIALES .....</i>		<i>54</i>
3	<i>Tratamientos superficiales .....</i>	<i>55</i>
3.1	Definición y Clasificación de Tratamientos Superficiales .....	55
3.2	Funciones de los Tratamiento superficiales.....	56
3.3	Tratamiento Superficial Simple.....	57
3.4	Tratamiento Superficial Doble .....	58
3.5	Slurry Seal.....	59
3.6	Micropavimento (Microsurfacing).....	59
3.7	Materiales.....	59
3.7.1	Agregados Pétreos.....	59
3.7.2	Propiedades del Agregado. ....	60
3.7.3	Polvo mineral (Filler).....	62
3.7.4	Agua de mezclado.....	62
3.8	Especificaciones y Características de Agregados para Lechada Asfáltica (Slurry Seal).....	63
3.9	Especificaciones y Características de Agregados para Micropavimento .....	64
3.10	Las Emulsiones Asfálticas.....	65
3.10.1	Los Emulsificantes.....	67
3.10.2	Tipos de Emulsiones Asfálticas .....	68
3.10.3	Nomenclatura de Las emulsiones Asfálticas.....	70
3.11	Emulsiones para Slurry Seal .....	71
3.12	Emulsiones para Micropavimento.....	72

3.13	Procesos Constructivos.....	74
3.13.1	Proceso Constructivo de Tratamientos Superficiales.....	74
3.13.2	Proceso constructivo de Lechadas Asfálticas.....	86
3.14	Propuesta de mejoras a procesos constructivos de lechadas asfálticas en el mantenimiento de obras viales en el salvador.....	95
<i>CAPITULO IV PROCESO DE DISEÑO PARA MICROPAVIMENTO.....</i>		<i>100</i>
<i>4</i>	<i>Proceso de diseño para micropavimento.....</i>	<i>101</i>
4.1	Metodología para el Diseño de Micropavimento.....	101
4.2	Diseño de Micropavimento tipo III: Dosificación de Diseño, Materiales Componentes de la Mezcla.....	103
4.3	Diseño de Micropavimento tipo III: Hoja de Resumen Parámetros de Calidad de Materiales y Evaluación del Desempeño.....	104
4.4	Prueba de calidad de los agregados.....	105
4.5	Relleno Mineral.....	112
4.6	Pruebas de Calidad a las Emulsiones Asfálticas.....	113
4.6.1	Pruebas a la Emulsión.....	113
4.6.2	Pruebas al Residuo Asfáltico.....	120
4.7	Pruebas para Obtener la Mezcla de Micropavimento.....	137
4.8	Reología del Asfalto (AASHTO T315 / ASTM D7175).....	149
4.8.1	Prueba de Recuperación Elástica Multi Stress Creep Recovery (MSCR) en Reómetro de Corte Dinámico AASHTO T 350 - 14.....	156
4.8.2	Grado de Desempeño de Ligantes Asfálticos usando MSCR (PG, Performance Grade) AASHTO M 332.....	165
4.8.3	Análisis Reológico Comparativo de Emulsiones (Experimento).....	170
4.8.4	Prueba de la Rueda Cargada (Loaded Wheel Test) ISSA TB 147 (Prueba experimental).....	171
<i>CAPITULO V PRESENTACION DE RESULTADOS.....</i>		<i>174</i>
<i>5</i>	<i>Presentación de resultados.....</i>	<i>175</i>

5.1	Caracterización del agregado.....	175
5.2	Caracterización de la Emulsión de Diseño .....	179
5.3	Pruebas de Mezcla.....	184
5.4	Pruebas Reológicas .....	192
<i>CAPITULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</i>		<i>210</i>
6	<i>Conclusiones y recomendaciones.....</i>	<i>211</i>
6.1	Conclusiones.....	211
6.2	Recomendaciones.....	214
<i>REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA .....</i>		<i>216</i>
<i>ANEXOS .....</i>		<i>221</i>

## **INDICE DE FIGURAS**

FIGURA 1.1 PRIMERAS MÁQUINAS APLICADORAS DE EMULSIÓN ASFÁLTICA .....	14
FIGURA 1.2 PRIMEROS MODELOS DE MÁQUINAS APLICADORAS DE SLURRY SEAL.....	16
FIGURA 1.3 MAQUINA APLICADORA DE SLURRY SEAL 1960 <sup>2</sup> .....	16
FIGURA 1.4 TIPOS DE TRANSPORTES SAN SALVADOR, DÉCADA 1910, CALLE RUBÉN DARÍO.....	20
FIGURA 1.5 TIPO DE CALLE SAN SALVADOR, DÉCADA 1910, CALLE RUBÉN DARÍO.....	20
FIGURA 2.1 COMPONENTES DE LA CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS .....	32
FIGURA 2.2 INTEGRACIÓN DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS Y CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS.....	36
FIGURA 2.3 CICLO DE VIDA DEL PAVIMENTO .....	37
FIGURA 2.4 COMPORTAMIENTO IDEAL DE UN PAVIMENTO CON MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	37
FIGURA 2.5 ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y DISTRIBUCIÓN DE LOS ESFUERZOS POR CAPA.....	39
FIGURA 2.6 PRESENCIA DE EXUDACIÓN EN PAVIMENTOS FLEXIBLES .....	49
FIGURA 3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.....	56
FIGURA 3.2 ESQUEMA REPRESENTATIVO DE UN TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE .....	58
FIGURA 3.3 ESQUEMA REPRESENTATIVO DE UN TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE .....	58
FIGURA 3.4 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UNA EMULSIÓN .....	66
FIGURA 3.5 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE UNA EMULSIÓN ANIÓNICA Y DE UNA CATIÓNICA.....	68
FIGURA 3.6 APLICACIÓN DE ASFALTO SOBRE BASE GRANULAR.....	74
FIGURA 3.7 ESPARCIDO DEL ASFALTO SOBRE BASE TRATADA.....	76
FIGURA 3.8 PROCESO DE DISTRIBUCIÓN DE AGREGADO .....	79
FIGURA 3.9 PROCESO CONSTRUCTIVO TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE .....	84
FIGURA 3.10 PROCESO CONSTRUCTIVO TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE.....	85
FIGURA 3.11 DIAGRAMA TÍPICO DE MEZCLADORA PARA LECHADA ASFÁLTICA .....	87
FIGURA 3.12 PROCESO DE PREPARACIÓN DE SUPERFICIE .....	88

FIGURA 3.13 ESQUEMA DE APLICACIÓN DE MICROPAVIMENTO .....	94
FIGURA 3.14 PROTECCIÓN DE TAPADERAS DE POZOS O VÁLVULAS DE AGUA .....	99
FIGURA 4.1 FILLER UTILIZADO EN EL DISEÑO DE MEZCLA .....	113
FIGURA 4.2 CANTIDADES DE EMULSIÓN ASFÁLTICA A ESPARCIR DE ACUERDO AL ÁREA, .....	125
FIGURA 4.3 CURVA DEL LÍMITE DE CONSISTENCIA.....	138
FIGURA 4.4 CURVAS LWT Y WTAT PARA ÓPTIMO CONTENIDO DE EMULSIÓN. ....	146
FIGURA 4.5 PROPIEDADES FÍSICAS DEL ASFALTO.....	152
FIGURA 4.6 REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO .....	155
FIGURA 4.7 PRINCIPIO DE LA APLICACIÓN DE ESFUERZOS EN EL DSR.....	155
FIGURA 4.8 PARTES DEL REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO, DSR.....	156
FIGURA 4.9 CICLO CREEP-RECOVERY, 1.0 SEG. A ESFUERZO CONSTANTE EN EL PASO CREEP Y 9.0 SEG. EN EL SEGMENTO DE RECUPERACIÓN A ESFUERZO CERO. ....	160
FIGURA 4.10 DEFORMACIÓN CAUSADA DURANTE EL SEGMENTO CREEP, DEFORMACIÓN RECUPERADA DURANTE EL PERIODO DE RECOVERY, DEFORMACIÓN PERMANENTE O NO RECUPERABLE, DURANTE UN CICLO CREEP- RECOVERY. (%STRAIN: PORCENTAJE DE DEFORMACIÓN.) .....	160
FIGURA 4.11 CICLOS CREEP-RECOVERY DE 1 A 10 A 100 PA EN CREEP, DE 11 A 20 A 3200 PA. ....	161
FIGURA 4.12 CREEP-RECOVERY A 100 Y 3200 PA, ASFALTO MODIFICADO CON ESTRUCTURA FUERTE. ....	162
FIGURA 4.13 ANÁLISIS DE DATOS DEL CICLO CREEP-RECOVERY .....	163
FIGURA 4.14 COMPARACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LOS ASFALTOS USANDO CREEP-RECOVERY .....	165
FIGURA 4.15 MÓDULO COMPLEJO DE CORTE Y ÁNGULO DE FASE .....	168

## **INDICE DE FOTOGRAFIAS**

FOTOGRAFÍA 1.1 APLICACIÓN DE MICROPAVIMENTO SOBRE EL PASEO GENERAL ESCALÓN, 1996 FUENTE: ASFALTOS DE CENTROAMÉRICA S.A. DE C.V.....	22
FOTOGRAFÍA 1.2 APLICACIÓN DE MICROPAVIMENTO SOBRE EL PASEO GENERAL ESCALÓN, 1996 FUENTE: ASFALTOS DE CENTROAMÉRICA S.A. DE C.V.....	23
FOTOGRAFÍA 3.1 CALIBRACIÓN DE MÁQUINA PARA APLICACIÓN DE LECHADA ASFÁLTICA.....	87
FOTOGRAFÍA 3.2 CAJA DISTRIBUIDORA CON LECHADA ASFÁLTICA .....	89
FOTOGRAFÍA 3.3 APLICACIÓN DE MICROPAVIMENTO, CARRETERA EL LITORAL (CA02) KM 14 ENTRE CARRETERA AL AEROPUERTO INTERNACIONAL MONSEÑOR OSCAR ARNULFO ROMERO Y ZACATECOLUCA, EL SALVADOR. ....	90
FOTOGRAFÍA 3.4 CORRECCIÓN DE IMPERFECCIONES EN LAS JUNTAS, TRAMO APOPA – QUITASOL, EL SALVADOR. ....	92
FOTOGRAFÍA 3.5 MICROPAVIMENTO RECIÉN COLOCADO SE PUEDEN OBSERVAR LA COLORACIÓN MARRÓN PREVIA A LA RUPTURA Y EL COLOR NEGRO POSTERIOR A LA RUPTURA .....	93
FOTOGRAFÍA 3.6 PARO DE LABORES DEBIDO A FALLAS EN MAQUINARIA .....	96
FOTOGRAFÍA 3.7 LIMPIEZA DE MATERIAL SUELTO EN LA SUPERFICIE.....	97
FOTOGRAFÍA 3.8 PROCESO DE BARRIDO PARA PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE.....	97
FOTOGRAFÍA 3.9 LIMPIEZA DE SUPERFICIE A TRATAR .....	98
FOTOGRAFÍA 4.1 REDUCCIÓN DE MUESTRA A TAMAÑO DE ENSAYO .....	107
FOTOGRAFÍA 4.2 PROCESO DE TAMIZADO EN AGITADOR MECÁNICO .....	107
FOTOGRAFÍA 4.3 FRACCIONES DE MATERIAL YA TAMIZADOS .....	108
FOTOGRAFÍA 4.4 EQUIPO UTILIZADO PARA ENSAYO EQUIVALENTE DE ARENA .....	109
FOTOGRAFÍA 4.5 PREPARACIÓN DE MUESTRA A ENSAYAR.....	109
FOTOGRAFÍA 4.6 PROCESO DE COLOCACIÓN Y AGITACIÓN DE MATERIAL EN PROBETA.....	110
FOTOGRAFÍA 4.7 IRRIGACIÓN DE PROBETA Y COLOCACIÓN DEL CONJUNTO DISCO, VARILLA, SOBREPESO.....	110
FOTOGRAFÍA 4.8 LECTURAS DE ARCILLA Y ARENA.....	111

FOTOGRAFÍA 4.9 EQUIPO UTILIZADO PARA ENSAYO DE DESTILACIÓN ..... 120

## **INDICE DE TABLAS**

TABLA 1.1 PROYECTOS DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES EN LOS ÚLTIMOS 5 AÑOS, FOVIAL .....	24
TABLA 2.1 CUADRO RESUMEN TIPOS DE FISURAS Y GRIETAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	42
TABLA 2.2 CUADRO RESUMEN TIPOS DE DEFORMACIONES EN PAVIMENTOS FLEXIBLES .....	45
TABLA 2.3 CUADRO RESUMEN TIPOS DE DESPRENDIMIENTOS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES .....	47
TABLA 3.1 RECOMENDACIONES ISSA PARA AGREGADOS PÉTREOS EN SLURRY SEAL.....	63
TABLA 3.2 GRANULOMETRÍA PARA SLURRY SEAL SEGÚN ISSA.....	64
TABLA 3.3 RECOMENDACIONES ISSA PARA AGREGADOS PÉTREOS PARA MICROPAVIMENTOS .....	64
TABLA 3.4 GRANULOMETRÍAS PARA MICROPAVIMENTOS SEGÚN RECOMENDACIONES ISSA .....	65
TABLA 3.5 ESPECIFICACIONES PARA LA EMULSIÓN CQS-1H .....	73
TABLA 3.6 PROCESO DE PREPARACIÓN DE JUNTAS .....	92
TABLA 4.1 DOSIFICACIÓN DE DISEÑO: MATERIALES COMPONENTES DE LA MEZCLA .....	103
TABLA 4.2 PARÁMETROS DE CALIDAD DE MATERIALES Y EVALUACIÓN DE LA PERFORMANCE .....	105
TABLA 4.3 PROCESO PARA LA REALIZACIÓN DE PRUEBA DE TAMIZADO EN EMULSIONES ASFÁLTICAS .....	115
TABLA 4.4 PROCESO PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYO ASENTAMIENTO ESTABILIDAD EN ALMACENAMIENTO.....	117
TABLA 4.5 PROCESO PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYO VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL .....	119
TABLA 4.6 PROCESO PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA .....	120
TABLA 4.7 PROCESO PARA LA EXTRACCIÓN DEL RESIDUO POR DESTILACIÓN.....	123
TABLA 4.8 PROCESO PARA LA EXTRACCIÓN DEL RESIDUO POR EVAPORACIÓN.....	124
TABLA 4.9 PROCESO PARA LA EXTRACCIÓN DEL RESIDUO POR EL MÉTODO DE LA PELÍCULA DELGADA .....	127
TABLA 4.10 PROCESO PARA LA REALIZACIÓN DE PRUEBA DE PENETRACIÓN.....	129
TABLA 4.11 PROCESO PARA LA REALIZACIÓN DE PRUEBA DE DUCTILIDAD .....	131
TABLA 4.12 PROCESO PARA LA REALIZACIÓN DE PRUEBA DE RECUPERACIÓN ELÁSTICA.....	133
TABLA 4.13 PROCESO PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYO DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO.....	136

TABLA 4.14 PRUEBA DE TIEMPO DE MEZCLADO ISSA TB 113 .....	138
TABLA 4.15 PRUEBA DE CONSISTENCIA ISSA TB 106.....	140
TABLA 4.16 PRUEBA DE RUEDA CARGADA LWT ISSA TB 109.....	143
TABLA 4.17PRUEBA DE ABRASIÓN ISSA TB 100 .....	146
TABLA 4.18 PRUEBA DE ABRASIÓN ISSA TB 139.....	149
TABLA 4.19 PRUEBA DE RECUPERACIÓN ELÁSTICA MULTI STRESS CREEP & RECOVERY (MSCR).....	159
TABLA 4.20 PRUEBA EXPERIMENTAL RUEDA CARGADA BASADA EN ISSA TB 147.....	173

## RESUMEN

En el transcurso de los años el mantenimiento de caminos y vías de comunicación ha sido de gran importancia para mantener la vida de los pavimentos, es así como surgen procesos, tales como son los tratamientos superficiales y las lechadas asfálticas, los cuales son utilizados para mejorar las características de la superficie de rodadura

El mantenimiento de los pavimentos no es fácil de definir. Existen varios significados que en general coinciden pero que presentan pequeñas diferencias en los caminos. El mantenimiento no solo protege la superficie del pavimento, sino que previene el desgaste acelerado.

Un programa de conservación de pavimentos se conforma principalmente de tres componentes: el mantenimiento preventivo, rehabilitación menor (no estructural), y algunas de las actividades de mantenimiento de rutina.

Entre las técnicas de Pavimentación de carreteras, la de los tratamientos superficiales ha sido la que mayor evolución ha experimentado en los últimos años, pasando de un sistema destinado a tránsitos livianos a ser utilizado en tratamientos de carreteras con tránsito pesado y en muchos países, en autopistas, entre los tratamientos superficiales tenemos: tratamiento simple, doble, triple y las lechadas asfálticas (slurry seal y micropavimento).

El micropavimento es una mezcla de emulsión asfáltica modificada con polímero, agregado mineral triturado y bien graduado, con los materiales, diseño y aplicación sometidos a mayores exigencias. Generalmente es usado

como lechada asfáltica para una superficie existente de pavimento de concreto asfáltico.

El método de diseño de micropavimentos en El Salvador está basado en la “International Slurry Surfacing Association”, ISSA, además los ensayos se sustentan en las normas de la “American Association of State Highway and Transportation Officials”, AASHTO, “American Society for Testing Materials”, ASTM. El diseño definitivo de un micropavimento debe establecer aspectos específicos como: la caracterización de la mezcla y las características de los materiales. Actualmente para mejorar los diseños de mezcla de micropavimento se sugiere apoyarse en las características reológicas de los asfaltos.

## INTRODUCCION

En éste documento se presenta el contenido del trabajo de graduación **“PROPUESTA DE DISEÑO Y PROCESO CONSTRUCTIVO DE LECHADA ASFALTICA EN EL MANTENIMIENTO DE OBRAS VIALES EN EL SALVADOR”**.

Se presenta en el **Capítulo I** de forma clara a través del planteamiento del problema los motivos e importancia que llevan a la realización de esta investigación, así como también los objetivos trazados para tratar de dar solución a ellos, justificándose debidamente el porqué de esta.

Además se definen los alcances y las limitaciones a los que dicha investigación estará sometida.

Para terminar este Capítulo se hace un repaso de los antecedentes que dan origen a la problemática y a los conocimientos que se desprenden de ella.

La realización de una inspección frecuente en los pavimentos y la incidencia que esto tiene en la conservación de los mismos se aborda en al **Capítulo II**, donde sea analiza la importancia del Mantenimiento Vial, los tipos y la frecuencia con la estos deben realizarse para evitar daños a la estructura del pavimento flexible.

Como complemento a la investigación se describen los tipos de Tratamiento Superficiales más utilizados en el país, como los son el Tratamiento Simple,

doble, Slurry Seal y el Micropavimenteto, mostrándose en el **Capítulo III** las características de cada uno de ellos así como las especificaciones que deben cumplir los materiales a usar y su correspondiente proceso constructivo.

Como parte central de esta investigación los **Capítulos IV y V** muestran el proceso que conlleva la elaboración del diseño de mezcla de un Micropavimento a través de los distintos ensayos requeridos tanto para la caracterización del material pétreo, la emulsión asfáltica y la mezcla.

Se muestra en una forma sistemática los pasos a seguir para la realización de cada ensayo de laboratorio y su posterior presentación de datos en el formato correspondiente.

Por último se presentan los datos obtenidos al realizar pruebas de desempeño haciendo uso del “Reómetro de Corte Dinámico a Emulsiones de distinta formulación, incluyendo la diseño para comparar su comportamiento en laboratorio y así poder predecir su comportamiento en el campo.

# CAPITULO I

## GENERALIDADES

## **1 Generalidades**

### **1.1 Planteamiento del problema**

A través del tiempo, dadas las condiciones climáticas y de tráfico, las capas superficiales de las vías sufren daños, ocurriendo en algunos casos desprendimiento de material pétreo, poniendo en riesgo la capacidad estructural de dichas vías. Es por ello que es necesario que se realicen las acciones de mantenimiento oportuno y adecuado, que permitan conservar el patrimonio vial, prolongando la vida de los pavimentos, con los menores costos de operación y mantenimiento posibles.

En el país por distintas razones los caminos son intervenidos hasta que es inevitable cambiar toda la carpeta de rodadura, lo cual tiene un alto costo y puede evitarse aplicando el mantenimiento adecuado, antes de que la vía se deteriore por completo.

Esta investigación plantea el estudio de una de las alternativas de conservación de pavimentos, como lo es la aplicación de lechadas asfálticas, como una alternativa de tratamiento superficial, la cual a través del tiempo ha demostrado ser eficiente en cuanto al mejoramiento del nivel de servicio de las vías, siempre y cuando se aplique bajo las condiciones y los procesos adecuados. Por eso se plantea la necesidad de crear un documento que abarque la metodología de construcción y de proceso de diseño de lechadas asfálticas.

Instituciones como el FOVIAL y las Municipalidades tienen gran interés en reforzar el uso de lechadas asfálticas como alternativa de intervención para los

caminos, pero se necesitan empresas que puedan ejecutar estos proyectos para poder adjudicárselos.

## 1.2 Objetivos

**1.2.1 Objetivo General** Elaborar una propuesta de diseño y proceso constructivo para la aplicación de lechadas asfálticas en el mantenimiento de vías.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Establecer criterios que permitan las adecuadas prácticas en la elaboración de diseños y su correspondiente proceso constructivo.
- Especificar las características de los componentes de las lechadas asfálticas.
- Explicar la influencia de los materiales que componen una lechada asfáltica en su desempeño.
- Realizar una evaluación de las fallas presentes en determinadas vías, en las cuales se considere adecuado la aplicación de lechadas asfálticas.
- Interpretar los resultados de las pruebas de laboratorio realizados para elaborar el diseño de una lechada asfáltica
- Evaluar el desempeño de la mezcla asfáltica en base a la predicción fundamentada en los resultados obtenidos en laboratorio.
- Describir el proceso constructivo de las lechadas asfálticas.

### 1.3 Alcances

Los alcances de la investigación son los siguientes:

- La investigación analizará diseños de mezcla elaborados con emulsión asfáltica para micropavimento.
- La elaboración del diseño del micropavimento, como tipo de lechada asfáltica, se efectuará bajo los lineamientos referidos de la *International Slurry Surfacing Association, ISSA*.
- Con la interpretación de los resultados obtenidos de la realización de los ensayos de laboratorio se pretende establecer el comportamiento esperado de la mezcla de diseño en el momento de colocación, con esto se pueden modificar los diseños hasta obtener el más satisfactorio.

#### **1.4 Limitaciones**

Las limitaciones de este trabajo de investigación son las siguientes:

- La investigación se enfocará principalmente en la relación entre el diseño y proceso constructivo de las lechadas asfálticas.
- Las pruebas de laboratorio a realizarse serán ejecutadas por personal calificado y dependerá de los recursos y equipo disponible de la empresa ASFALCA, S.A. de C.V. en presencia de los integrantes del trabajo de investigación.
- El análisis del proceso constructivo estará sujeto a los proyectos que la empresa IMPERSAL S.A. de C. V. ejecute al momento de la investigación.
- La realización de tramos de prueba para el diseño propuesto de micropavimento en este trabajo de investigación no será efectuada.
- El poco conocimiento existente en el país por parte de algunas empresas en lo referente a la ejecución y elaboración de procesos de diseño y construcción de las lechadas asfálticas.

## **1.5 Justificación**

La presente investigación nace de la necesidad que existe a nivel nacional de reforzar el uso de los tratamientos superficiales en el mantenimiento vial de caminos. Las lechadas asfálticas son una alternativa de los tratamientos superficiales para mejorar la comodidad de la vía y su vida útil.

En El Salvador, en décadas pasadas el uso de los tratamientos superficiales y su posterior desempeño en las vías en que fueran aplicadas era satisfactorio, pero los mantenimientos viales (incluidos los tratamientos superficiales) cayeron en estancamiento durante el conflicto armado. La no intervención a tiempo en las carpetas de rodadura ha provocado que estas deban ser removidas y sustituidas por carpetas nuevas, suceso que puede ser evitado con el uso de diseños modernos en las mezclas de tratamientos superficiales como lo son el uso de los micropavimentos como un tipo de lechada asfáltica y la aplicación de las mismas con los procesos constructivos, maquinarias, equipos y personal adecuado.

En el país, por distintas razones, resulta complicado para la mayoría de empresas constructoras llevar a cabo el diseño y aplicación de las lechadas asfálticas, salvo algunas pocas que si han invertido e incursionado en dicha tecnología, por lo tanto esas empresas con poco o ningún conocimiento o experiencia en el tema fracasan en su intento de realizarlos y terminan sugiriendo la construcción de una nueva carpeta, lo que resulta más costoso para el país.

Los hechos detallados anteriormente dan como resultado la necesidad de crear un documento de referencia que posea la metodología necesaria, tanto de diseño como de adecuados procesos de colocación, que es lo se pretende establecer en esta investigación.

Con este estudio podrán beneficiarse todos aquellos interesados en conocer los tratamientos superficiales destacando los micropavimentos como tipo de lechada asfáltica, como aplicarlas y puede ser interpretado como una metodología a seguir en sus procesos de diseños y construcción.

## **1.6 Antecedentes**

En el transcurso de los años el mantenimiento de caminos y vías de comunicación ha sido de gran importancia para mantener la vida de los pavimentos, por lo cual se plantea la necesidad de investigar nuevas tecnologías que satisfagan las necesidades del mantenimiento de éstas sin incurrir en altos costos, conservando las características propias de cada vía.

Es así como surgen procesos, tales como son los tratamientos superficiales y las lechadas asfálticas, los cuales son utilizados para mejorar las características de la superficie de rodadura en caminos. Dentro de los procesos de mantenimiento más importante se distinguen dos: los riegos asfálticos y los sellos asfálticos.

Los sellos asfálticos son revestimientos con emulsiones asfálticas y agregado fino destinado principalmente a sellar una superficie asfáltica existente, por medio del llenado de los vacíos y las grietas. Se pueden mencionar dos tipos de sellos asfálticos: la lechada asfáltica (slurry seal) y los micro aglomerados (micropavimento).

### **1.6.1 Tratamientos asfálticos superficiales**

En la mitad del siglo XIX se intenta que el asfalto fuera manufacturado para utilizarse en superficies de carreteras. El mismo provenía de depósitos naturales europeos. Así fue como se comenzaron a utilizar productos naturales que se obtenían del suelo, dando la llegada al carbón, alquitrán y luego el asfalto manufacturado a partir del crudo de petróleo. Los primeros ligantes

utilizados en carreteras (se considera el año de 1854 como el año en el que se realizó la primera pavimentación de carreteras), en la plaza Sallinis en Auch (Gers, Francia), utilizando alquitrán fluido procedente de una fábrica de gas). Es menos segura la fecha de realización del primer riego con una verdadera emulsión directa de asfalto en agua. Parece que los primeros ensayos de dispersiones de aceites pesados de petróleo o de aceite de nafta en agua fueron realizados en los primeros años del siglo XX (*Libro Emulsiones Asfálticas, SFERB Routes de France*).

Durante el siglo XIX el uso del asfalto estaba limitado por su escasa disponibilidad, no obstante lo cual a mediados del mismo, la roca asfáltica participaba en la pavimentación de calles en Europa y después de 1870, en USA.

El aporte intensivo del asfalto en obras viales ocurrió a finales del siglo XIX debido a dos acontecimientos casi simultáneos: la aparición del automotor con rodado neumático que sustituyó a la llanta maciza de caucho ideada en 1869 y la explotación masiva del petróleo cuya industrialización lo convirtió en productor principal de asfaltos, por tanto **los orígenes de los tratamientos superficiales** se remontan a la década de 1870 en Europa con la introducción del alquitrán para reducir el polvo en las carreteras urbanas, más tarde se añadió piedra granular a dicha sustancia, dándole así un mejor agarre a las calles en las cuales era utilizado, iniciándose así un método de **mantenimiento de carreteras** similar al utilizado hoy en día.

A medida que el tráfico motorizado se incrementaba rápidamente por toda Europa, **el tratamiento de las carreteras con gravilla incrustada en la calzada** se convirtió en un método ampliamente utilizado de **reacondicionamiento de carreteras**. El ritmo de las obras viales y la necesidad de mejorar los trabajos y reducir costos hizo progresar la operación vial.

Los métodos manuales se mecanizaron apareciendo: regadores de asfalto a presión, distribuidores de piedra, aplanadoras vibrantes, rodillos con neumáticos de presión controlada, etc. Las mezclas asfálticas en sitio cambiaron niveladoras y rastras por motoniveladoras y plantas móviles o fijas.

En el primer caso, el automóvil obtuvo pronto el favor del público que reclamó buenos caminos para mayor seguridad y confort.

El transporte carretero comercial creó la dependencia "camión-camino" exigiendo amplias carreteras para más y mejores vehículos. En el segundo caso, el petróleo produjo importantes volúmenes de asfaltos aptos para un directo uso vial (cementos asfálticos) y asfaltos diluidos con las fracciones livianas (cut-back). Las emulsiones bituminosas de tipo aniónico aparecieron por entonces (1905) como paliativo del polvo, mientras que las catiónicas lo hicieron entre 1951 y 1957 en Europa y EE.UU. respectivamente

A principios de 1900 (en 1905) se usó por primera vez una emulsión asfáltica en la construcción de carreteras en la ciudad de Nueva York; y fue del tipo aniónica, se empleó en lugar de los usuales caminos fabricados con material

pétreo, como una alternativa para evitar el polvo cuando transitaban los vehículos.

Tanta actividad volcada al campo vial hizo que se hablara de la **"era del automóvil y la construcción de carreteras"**. Los primeros trabajos asfálticos en calles y caminos fueron hechos con procesos sencillos para distribuir tanto el ligante como los áridos (a mano), apareciendo luego lanzas con pico regador y bomba manual.

La aparición y desarrollo de la circulación automovilística en las carreteras de aquel entonces de macadam a base de agua provocaban grandes nubarrones de polvo, ello dio origen a los **tratamientos superficiales a base de emulsiones** en el año 1903, con objeto de enfrentar dicho inconveniente. Se habla de la aplicación en 1903, en Beaulieu-Sur-Mer (Alpes Marítimos, Francia) de aceites pesados de petróleo emulsionado y saponificado con aguas amoniacales.

En 1904 fue aplicado aceite de petróleo emulsionado sobre el circuito de las Ardenas para evitar accidentes debido a las nubes de polvo originadas por las carreteras de automóviles.

En cambio, no existen dudas que merced al impulso de un médico suizo el Dr. Ernest Guglielminetti, a partir de las experiencias realizadas en Mónaco en marzo de 1902, el alquitranado de las carreteras alcanzo un gran desarrollo, hasta tal punto que en 1904 la superficie alquitranada en Francia alcanzó

360000 m<sup>2</sup>. Ensayos conferencias manifestaciones diversas tuvieron lugar bajo el impulso de este eminente científico

En 1909 en Versalles, sobre el firme de una carretera con un tráfico diario considerablemente pesado para la época, se construyó una capa de aglomerado bituminoso de 5 cm de espesor. Así pues, en los inicios del siglo XX, ya existían los principales componentes de la técnica de revestimientos bituminosos. Su desarrollo y perfeccionamiento, es tarea que incumbe a los profesionales del asfalto del siglo XX.

En el caso de las emulsiones asfálticas, la primera patente existente le pertenece a un químico inglés, Hugh Alan Mackay, quien la presentó el 9 de mayo de 1922. Podemos decir que este fue el banderillazo de salida para una nueva generación de ligantes para las carreteras que en unos pocos años, iba a cambiar profundamente la técnica de los tratamientos superficiales. Se usó mayormente en Europa hasta los años setenta.

***El mantenimiento vial preventivo*** se inició en Alemania con el Slurry Seal utilizado por primera vez a principios de 1930 como un proceso de mezcla en frío. Los alemanes utilizaron por primera vez el "proceso de mezcla mojada" de agregado fino, asfalto y agua en 1936 para fortalecer el aeropuerto de Berlín-Staaken.

A pesar del equipo primitivo y los métodos constructivos de esos días, los resultados fueron buenos. La consistencia de la mezcla era fluida; esto hacía que fuera fácil de esparcir con escobas, rasquetas y cajas esparcidoras.



**Figura 1.1 Primeras máquinas aplicadoras de Emulsión Asfáltica<sup>1</sup>**

En la década de 1930 el Slurry Seal demostró ser un nuevo enfoque, una nueva y prometedora técnica en el mantenimiento de superficies de carretera, y marcó el inicio del desarrollo de los morteros asfálticos.

Más tarde en esa década, una amplia experimentación en todo el mundo comienza en serio. La técnica aumentó en popularidad y se experimentó en todo el mundo durante la década de 1940 y principios de 1950. En el plano de la técnica en 1951 aparecen las emulsiones catiónicas. Teniendo en cuenta sus características propias, estas emulsiones reemplazaron rápidamente a las emulsiones aniónicas.

---

<sup>1</sup> FUENTE [http://www.techtransfer.berkeley.edu/pavementpres09downloads/olsen\\_thurs\\_slurry-seals.pdf](http://www.techtransfer.berkeley.edu/pavementpres09downloads/olsen_thurs_slurry-seals.pdf)

Al final de los cuarenta el equipo para el Slurry Seal se volvió más pronunciado en el mantenimiento vial. No obstante, fue hasta 1955 que una máquina se construyó para mejorar la aplicación del producto. La siguiente máquina innovadora apareció en 1959, la primera máquina de flujo continuo montada en un camión.

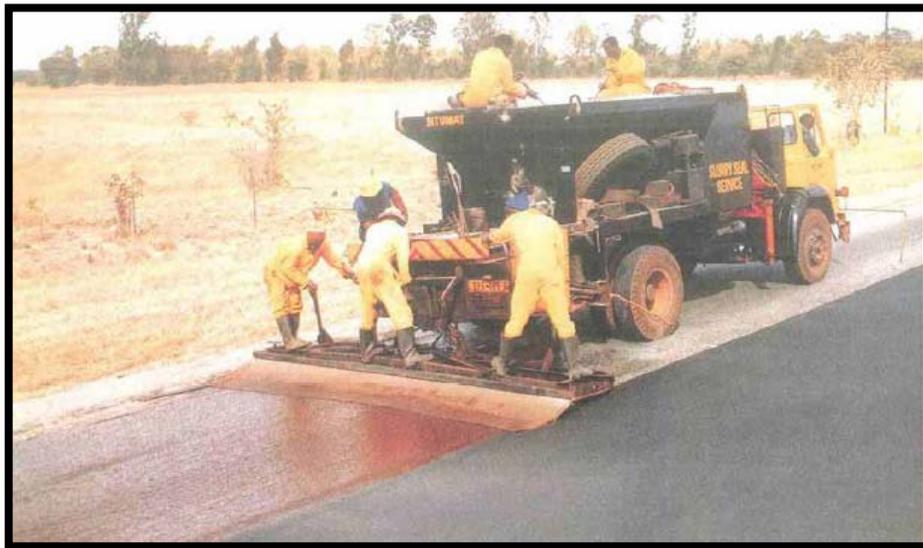
Al final de los cuarenta el equipo para el Slurry Seal se volvió más pronunciado en el mantenimiento vial. No obstante, fue hasta 1955 que una máquina se construyó para mejorar la aplicación del producto. La siguiente máquina innovadora apareció en 1959, la primera máquina de flujo continuo montada en un camión.

Pero no fue hasta la década de 1960, con la introducción de mejores emulsionantes y máquinas de flujo continuo, que se muestra un interés real en el uso del slurry seal para una amplia variedad de aplicaciones.

Avances continuos en los métodos de mezclas, emulsiones y maquinaria han hecho del slurry seal una elección de gran durabilidad, bajo costo de pavimentación y mantenimiento de superficies.



**Figura 1.2 Primeros modelos de máquinas aplicadoras de Slurry Seal<sup>2</sup>**



**Figura 1.3 Máquina Aplicadora de Slurry Seal 1960<sup>2</sup>**

---

<sup>2</sup> [http://www.techtransfer.berkeley.edu/pavementpres09downloads/olsen\\_thurs\\_slurry-seals.pdf](http://www.techtransfer.berkeley.edu/pavementpres09downloads/olsen_thurs_slurry-seals.pdf)

**El Micropavimento (microsurfacing)** fue iniciado en Alemania a finales de 1960 y principios de 1970. Científicos alemanes comenzaron a experimentar con el slurry seal convencional para encontrar la manera de usarlo en aplicaciones más gruesas que podrían aplicarse en caminos angostos, y no destruir las costosas líneas de trazado vial en las autopistas.

Cuando los científicos utilizaron agregados, asfalto, polímeros y emulsionantes cuidadosamente seleccionados, esto permitió que el producto fuese más estable incluso cuando se aplica en varios espesores, el resultado fue Microsurfacing (micropavimento).

Este nuevo sistema de slurry, microsurfacing, había sido utilizado en los setentas en Europa para rellenar ahuellamientos en las autopistas.

El Dr. Frederick Raschig de Raschig GmbH, de Alemania presentó su nuevo sistema de slurry, Ramulac, en la convención de la ISSA (International Slurry Surfacing Association) en 1980. Poco después de esta presentación, el director de investigación de la ISSA, Ben Benedict, y Bud Clovis, hicieron un viaje a Alemania para ver el material en uso y tratar de evaluar su rendimiento. El producto Ramulac los impresionó y empezaron a investigar cómo podían llevar el microsurfacing a los Estados Unidos. El microsurfacing llegó a los Estados Unidos en 1980.

Introducido en los Estados Unidos en 1980, Microsurfacing (micropavimento) ahora es reconocido no sólo como la manera más costo-efectiva para tratar el problema de la superficie de rodadura, sino también una variedad de otros

problemas de la calzada. Microsurfacing (micropavimento) ahora se utiliza en toda Europa, Estados Unidos y Australia.

El uso del alquitrán dio paso en la década de 1950 del siglo pasado a los ligantes del asfalto repercutiendo estos en la tecnología de tratamientos asfálticos de superficies desarrollándose considerablemente con sofisticación en los años recientes.

Los modernos tratamientos superficiales y las lechadas asfálticas pueden utilizarse ahora en situaciones exigentes en carreteras de tráfico considerable, siendo una técnica bien establecida y relativamente barata para sellar superficies desgastadas o de daño considerable de una carretera e impedir la entrada de agua, restaurando la textura de la carretera e incrementando el agarre y la resistencia al derrape.

### **1.6.2 Tratamientos Superficiales (Lechadas Asfálticas) en El Salvador**

Para inicios del siglo XX la actividad agrícola e industrial en El salvador crecía y para continuar con su desarrollo era necesario contar con una red vial que estuvieran de acordes a las necesidades que estas exigían.

Para ese entonces las calles de los diferentes poblados eran de tierra y las principales reforzadas de piedra ya que el transporte utilizado eran los carretones y caballos, ya con la modernización de la industria y la llegada de los automotores allá por 1915 fue necesario aplicar técnicas de conservación ya que estas siendo influenciadas por factores climáticos y de transito se deterioraban.

Durante las décadas de los cuarentas y cincuentas surge la construcción de una cantidad de caminos, que en su mayoría son revestidos con tratamientos superficiales dobles, triples o macadam, dadas las pocas exigencias a las que estos pavimentos eran sometidos ya que el flujo vehicular de aquella época era liviano.

Dentro de los trabajos más importantes realizados en dicha época tenemos algunos tramos en la CA-01, CA-02 y la carretera hacia Sonsonate, los cuales duraron entre 20 y 30 años, siendo la década de los setentas cuando la red vial nacional colapso.

Durante el desarrollo del conflicto armado en el país las inversiones por parte del gobierno en las vías de comunicación se vieron mermadas en gran manera, lo que trajo como consecuencia que las carreteras sufrieran tanto daño, que al pasar la guerra y el país comenzará a estabilizarse fue necesario que la red vial fuera intervenida.

Ese período de pausa provoco que la mayoría de los ingenieros civiles expertos en la aplicación de los tratamientos superficiales emigraran a otros países, envejecieron o fallecieron quedándose las empresas constructoras sin los profesionales expertos y también como consecuencia, las empresas dejaron de invertir en la tecnología (maquinaria y equipo) necesaria para construir los tratamientos superficiales.

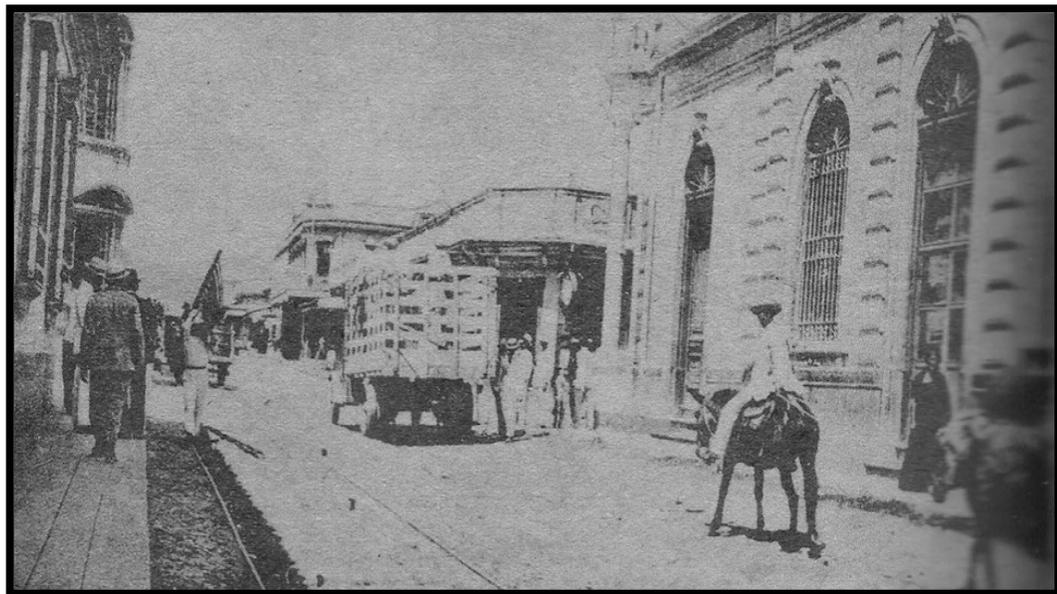


Figura 1.4 Tipos de Transportes San Salvador, Década 1910, Calle Rubén Darío



Figura 1.5 Tipo de Calle San salvador, Década 1910, Calle Rubén Darío

Es con los acuerdos de paz que se inicia una reconstrucción vial a gran escala facultándose al Ministerio de Obras Públicas (MOP) para dichas reconstrucciones, además de planificar el mantenimiento vial y desarrollar el mismo, reformándose para 1992 la Ley de Carreteras y Caminos Vecinales creada en 1969 la cual ya no correspondía con los tiempos que se vivían.

Llegada la década de los noventa se realizan grandes reconstrucciones a la red vial, las cuales estuvieron marcadas por la mala calidad de sus procesos y su inexistente control de calidad, fallando en pocos años.

Es durante esta época en la cual se incursiona en el uso de las lechadas asfálticas siendo Nueva Concepción, Chalatenango en 1993 el primer proyecto donde se colocó Micropavimento, obteniéndose buenos resultados. Ese mismo año se ejecuta otro proyecto de la misma índole en Nahulingo, Sonsonate.

Para el siguiente año, en 1994, es colocado un micropavimento como parte del programa de mantenimiento DUA-2 en la Autopista Sur y en Calle Montserrat en San Salvador, y en la calle Fray Felipe de Jesús Moraga de Santa Ana. También demostraron buen rendimiento. En el caso de la Autopista Sur, para la construcción del paso a desnivel en 1999, el micropavimento fue retirado para colocar un recarpeteo, y a esa fecha se encontraba en buen estado.

En 1996 se hizo la prueba de colocar micropavimento en corredores urbanos, siendo colocado en el Paseo General Escalón, San Salvador y en Sierra Morena, Soyapango. Los resultados fueron excelentes. Cuando el MOP evaluó

estos dos corredores 4 años después, encontró que su desempeño era satisfactorio.

Siempre en 1996, la Dirección General de Caminos (DGC) lanzó los programas de reconstrucción, dentro de los cuales el grupo DGC-5 llevaba incorporado la aplicación de micropavimentos en San José La Majada-Juayua e Ilopango-San Martín sobre una base reciclada en frío. Los resultados de estos dos proyectos no fueron buenos. En el caso de Ilopango-San Martín, se subestimó el volumen del tráfico, y el diseño no era el adecuado. En cuanto a San José La Majada-Juayúa, la base del camino no era buena.



**Fotografía 1.1 Aplicación de Micropavimento sobre el Paseo General Escalón, 1996**

**FUENTE: Asfaltos de Centroamérica S.A. de C.V.**

Pasados dichos proyectos no fue sino hasta el 2002 cuando bajo la dirección del MOP se colocan en el corredor Metropolitano de San Salvador cerca de 978,000  $m^2$  de Micropavimento en calles como la Alameda Juan Pablo II,

Alameda Roosevelt, Los Sisimiles, San Antonio Abad, Calle a Zacamil, Avenida Jerusalén.



**Fotografía 1.2 Aplicación de Micropavimento sobre el Paseo General Escalón, 1996**

**FUENTE: Asfaltos de Centroamérica S.A. de C.V.**

Tanto MOP como FOVIAL a la fecha se interesan por el uso de de los Micropavimentos y es como estas instituciones a partir de 2007 las incluyen en su mantenimiento rutinario, pero sin llegar a ser ejecutadas

Actualmente se desea reforzar el uso de los tratamientos superficiales en el país prueba de ello es que en los últimos cinco años se han aplicado en muchas vías del país, principalmente en la zona oriental, como se muestra en la Tabla 1.1

**Tabla 1.1 Proyectos de Tratamientos Superficiales en los últimos 5 años, FOVIAL**

<b>RUTA</b>	<b>BASE</b>	<b>RODAJE</b>	<b>TPDA año 2010</b>	<b>Año de ejecución</b>
SAM07N: Moncagua - Chapeltique 3.3 km.	30cm estabilizada con cemento	Tratamiento superficial simple	2,294	2011
UNI02N: CA02E – El Jaguey 2 km	20cm estabilizada con cemento	Tratamiento superficial simple	1,312	2011
CHA20N, CA03 - Agua Caliente 1.25 km	25cm estabilizada (tramos de prueba, cal, cemento y emulsión)	Micropavimento	666	2011
UNI04: RN18 – UNI19 (desvío El Sauce) 3 km	25cm estabilizada con cal y cemento	Micropavimento	3,447	2012
UNI04: UNI19 – Anamoros	25cm estabilizada con cemento	3cm de carpeta asfáltica	2,414	2012
MOR02N: RN18W – Sociedad	25cm estabilizada con cal y cemento	4cm de carpeta asfáltica	846	2012
UNI02N: CA02E – El Jaguey 10 km	20cm estabilizada con cemento	Tratamiento superficial doble	1,312	2012
SAM07N: Moncagua - Chapeltique 8 km.	30cm estabilizada con cemento	4cm de carpeta asfáltica	2,294	2012
UNI 19: El Sauce - Concepción de Oriente 2 km	20cm estabilizada con cal y cemento	Tratamiento superficial simple	659	2012
MOR02N: Sociedad – Corinto 10 km	25cm estabilizada con cal y cemento	3cm de carpeta asfáltica	351	2013
UNI 19: UNI04 - El Sauce - Concepción de Oriente 8.12 km	25cm estabilizada con cal y cemento	3cm de carpeta asfáltica	1,093	2013
UNI04: Anamoros – Nueva Esparta 3 km	22cm estabilizada con cal y cemento	3cm de carpeta asfáltica	1,461	2013
RN16: Placitas – CA01E	20cm estabilizada con cemento	3cm de carpeta asfáltica	1,537	2013

# CAPITULO II

## MANTENIMIENTO VIAL

## **2 Mantenimiento vial.**

El mantenimiento de los pavimentos no es fácil de definir. Existen varios significados que en general coinciden pero que presentan pequeñas diferencias. Algunos llaman a cualquier trabajo sobre el pavimento "mantenimiento". Otros solo incluyen aquellos trabajos que hacen que el camino se mantenga en condiciones como "recién construido".

Tomando en cuenta estas consideraciones lo podemos definir de la siguiente manera:

**"El mantenimiento es el trabajo realizado para mantener un pavimento que se encuentre en condiciones de tráfico y medio ambiente normales, tan cerca como sea posible a su estado o condición original (recién construido)".**

Si el pavimento es mantenido como en su estado original, "teóricamente: durara para siempre". Pero en la práctica, el mantenimiento solo ayuda a que el pavimento se comporte satisfactoriamente durante su vida de diseño. Además, esto deberá realizarse con un mínimo de costo e interrupciones de tráfico.

El mantenimiento incluye la conservación y cuidado de los derechos de vía y de cualquier tipo de pavimento, estructura, dispositivo de seguridad, de ornato, iluminación y de cualquier otra facilidad vial, de tal forma que ésta conserve las características geométricas y estructurales especificadas en el diseño y construcción original.

También las labores especiales o de emergencia requeridas por accidentes, tormentas, derrumbes u otras condiciones no usuales o imprevistas, se consideran como trabajos de mantenimiento.

Los programas de mantenimiento están diseñados para compensar los efectos del clima, crecimientos orgánicos, desgaste y daños provocados por el tránsito, así como al deterioro debido a los efectos de envejecimiento, fallas de los materiales, construcción y diseño.

Las técnicas aplicadas para el mantenimiento de los pavimentos de concreto asfáltico, dependen del tipo de falla en la superficie de rodamiento y/o sus capas inferiores. Estas se deben tomar en cuenta y estar basadas en las causas que generan las fallas para que sea efectiva la aplicación y lograr un mantenimiento adecuado.

El mantenimiento no solo protege la superficie del pavimento, sino que previene el desgaste acelerado. No debe de tomarse como un costo, sino como una inversión en la estructura del pavimento y un seguro contra los costos de reconstrucción totales.

## **2.1 Importancia del Mantenimiento Vial**

¿Por qué es importante el mantenimiento de vías?

Las carreteras figuran entre los bienes públicos más importantes en muchos países. Sus mejoras representan beneficios inmediatos y algunas veces espectaculares para los usuarios de las carreteras, ya que permiten un mejor acceso a los hospitales, escuelas y mercados; ofrecen mayor comodidad,

velocidad y seguridad, y reducen los costos de explotación de los vehículos. Para que estos beneficios sean duraderos, las mejoras viales deben ir seguidas de un programa bien planificado de mantenimiento. Sin mantenimiento programado, las carreteras pueden deteriorarse rápidamente, lo que impediría conseguir los efectos a más largo plazo de esas mejoras en el desarrollo.

Dado que un gran porcentaje de los accidentes automovilísticos que tienen lugar todos los días en las grandes ciudades están relacionados con el deterioro de las calles, resulta de gran importancia prolongar la vida de los pavimentos.

En países con un alto grado de industrialización, o en el caso de El Salvador que funciona como un canal seco, cada año crece el número de vehículos pesados que recorren sus vías sin piedad, lo que acelera exponencialmente el desgaste de las carreteras. Si no se busca una alternativa a la estructura actual, las interrupciones de tráfico para realizar tareas de mantenimiento y reconstrucción serán cada vez más frecuentes, lo que acarreará problemas tales como congestionamientos, contaminación acústica, mayor nivel de estrés y violencia. Pero este problema va de la mano del exceso de automóviles en las ciudades, cuestión que algunos gobiernos intentan combatir promoviendo el uso del transporte público como por ejemplo el Sistema Integrado de Transporte del Área Metropolitana de San Salvador, SITRAMSS, en El Salvador.

El aplazamiento de las obras de mantenimiento vial tiene como consecuencia elevados costos directos e indirectos. Si las deficiencias se reparan sin

demoras, el costo suele ser modesto. Si se descuidan, podría quedar inutilizado todo un tramo de carretera, lo que exigiría la reconstrucción total.



El aplazamiento de las obras de mantenimiento tiene también costos indirectos. Las carreteras descuidadas normalmente son más difíciles de utilizar, lo que representa un aumento en los costos de explotación de los

vehículos (reparaciones más frecuentes, mayor uso de combustible) y resistencia de los transportistas a utilizar las carreteras. Ello constituye un grave perjuicio para la economía: los servicios de pasajeros y de carga se reducen, con la consiguiente pérdida de oportunidades de desarrollo económico y social.

El desarrollo de un país puede evidenciarse por el estado de sus vías de comunicación como parte de su infraestructura, lo que es sumamente importante y demuestra que tan vanguardista y moderno es en otros aspectos.

Todo país necesita *carreteras y caminos eficientes*. Parte del presupuesto general de carreteras debe destinarse a la construcción y parte al mantenimiento de la red básica. Pero muchos países han dado mayor importancia a las nuevas construcciones, a la rehabilitación o a la reconstrucción de carreteras que al mantenimiento. Ello ha dado lugar a un aumento constante de los retrasos en las reparaciones viales y a una pérdida de resultados en términos de desarrollo, lo anterior no significa que la creación

de nuevas vías se desmerezca, pero es necesario enfatizar que también es muy importante mantener en buenas condiciones de servicio el patrimonio vial que se posee.

En cuanto más se tardan las instituciones en intervenir sus carreteras, las propuestas de mantenimiento se complican por ejemplo: pasan de un simple sello de grietas a un bacheo, o en algunos casos a la remoción total de la carpeta.

La ingeniería de carreteras toma su parte en esto, desarrollando técnicas que vuelvan más eficientes el mantenimiento vial y aun interviniendo en la gestión de los pavimentos para plantear la estructura administrativa organizacional ideal de la infraestructura vial que deben aplicar las instituciones competentes para la conservación de la misma.

Conservar en condiciones óptimas las vías existentes no es gasto, se le llama **“Mantenimiento”**.

## 2.2 Importancia de la Inspección Frecuente de Pavimentos



En el pavimento constantemente se presentan esfuerzos que producen defectos menores. Estos pueden ser causados por un cambio en la temperatura, en el contenido de humedad, el tráfico, o por acomodados pequeños de las capas inferiores del suelo. Las grietas, baches, depresiones y otros tipos de fallas son muestra evidente del desgaste del pavimento.

La detección oportuna y la reparación de los defectos menores, es sin duda; el trabajo más importante que debe realizar la brigada de mantenimiento. Las grietas y otros deterioros superficiales, que en su primera etapa no son notables, pueden ser la causa de serios defectos si no son reparados. Es por esto que debe realizarse la inspección de una manera frecuente y por personal capacitado.

Una vez que se detecta la falla, la reparación debe realizarse tan pronto como sea posible, es esencial que se determine la causa o causas de las fallas detectadas, antes de iniciar las acciones para remediarlas. En muchos casos, si la causa de la falla no es determinada y corregida antes de la reparación, el pavimento volverá a tener los mismos problemas en un corto periodo de tiempo, por lo que es muy importante establecer la causa y el efecto de las fallas.

### **2.3 Conservación de Pavimentos Flexibles**

¿Qué es la conservación del pavimento?

La conservación de pavimentos se define como aquellas actividades orientadas a brindar y a mantener los caminos, usando tratamientos de bajo costo para retardar el deterioro del pavimento, extendiendo la vida útil del mismo, mejorando su desempeño, reduciendo las molestias para los usuarios. La conservación de pavimentos Incluye el mantenimiento preventivo, pero no incluye los pavimentos nuevos o que necesitan reconstrucción

Dicho de otra manera, la conservación de pavimentos propone hacer uso efectivo de recursos económicos limitados, al identificar correctamente las fallas

de los pavimentos a ser tratados, empleando ***tratamientos correctos en el tiempo correcto y por la selección del pavimento correcto.***

La conservación de pavimentos es un sistema planeado para tratar pavimentos en el tiempo óptimo para maximizar su vida útil, mejorando de ésta manera la longevidad del pavimento al menor costo.

Un programa de conservación de pavimentos se conforma principalmente de tres componentes: el mantenimiento preventivo, rehabilitación menor (no estructural), y algunas de las actividades de mantenimiento de rutina como se observa en la ***Figura 2.1***



**Figura 2.1 Componentes de la Conservación de Pavimentos<sup>3</sup>**

---

<sup>3</sup> FUENTE: Federa Highway Administration

### 2.3.1 Componentes de la conservación de Pavimentos

➤ **Rehabilitación Menor:**

Consiste de mejoras no estructurales hechas a secciones de un pavimento existente para eliminar agrietamientos abajo-arriba que se desarrollan en pavimentos flexibles debido a la exposición ambiental.

➤ **Mantenimiento Preventivo:**

Es "una estrategia planificada de tratamientos rentables para un sistema vial existente y sus anexos que preserva el sistema, retarda el deterioro futuro, y mantiene o mejora el estado funcional del sistema (sin aumentar significativamente la capacidad estructural)."

El mantenimiento preventivo se aplica generalmente a los pavimentos en buen estado, cuya vida útil restante es significativa. Como un componente importante de la preservación del pavimento, el mantenimiento preventivo es una estrategia para prolongar la vida útil del pavimento, mediante la aplicación de tratamientos rentables.

Ejemplos de tratamientos preventivos incluyen: sello de grietas, colocación de tratamientos superficiales, slurry seal, micropavimento o capa delgada y ultra delgada de mezclas asfálticas en caliente superpuestas.

➤ **Mantenimiento de Rutina:**

Consiste en el trabajo que se planifica y lleva a cabo de forma rutinaria para mantener y preservar el estado de la red de carreteras o para responder a las

condiciones y acontecimientos específicos que restauran el sistema de carreteras a un nivel adecuado de servicio.

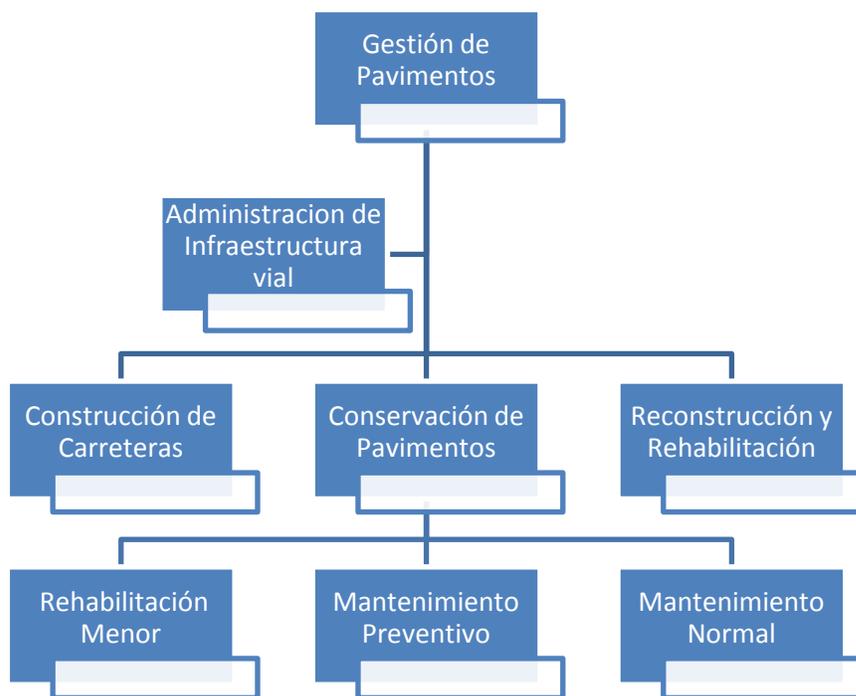
***En El Salvador la Ley del Fondo de Conservación Vial (FOVIAL) define la conservación de pavimentos*** como un “Amplio conjunto de actividades destinadas a preservar en forma continua y sostenida el buen estado de las vías terrestres de comunicación, de modo que se garantice un servicio óptimo al usuario”, comprende actividades tales como el mantenimiento rutinario y periódico, la señalización, así como las labores de mantenimiento de puentes y obras de paso.

**El mantenimiento rutinario** se refiere a la reparación localizada de pequeños defectos en la calzada y el pavimento; nivelación de superficies sin pavimentar y hombros; el mantenimiento regular del drenaje, los taludes laterales, los bordes, los dispositivos para el control de tránsito y otros elementos accesorios, la limpieza de fajas de derecho de vía y el control de la vegetación; por su naturaleza se aplica dicho mantenimiento una o más veces al año.

**El mantenimiento periódico** es el que se refiere al tratamiento y renovación de la superficie, sus períodos de aplicación son mayores de un año. Considerándose el Tratamiento de la Superficie, como la actividad de mantenimiento periódico de los caminos pavimentados, por la cual se procura establecer las características del pavimento, sin llegar a ser un refuerzo estructural; y como renovación de la superficie, en un camino sin pavimentar, como la aplicación de una capa de material o trabajos consistentes en la

adición de un material nuevo, pudiéndose efectuar un tratamiento de la base, antes de la colocación del mismo. En caminos pavimentados se refiere a la aplicación de una capa adicional sobre el pavimento, modificando en algunos casos la estructura subyacente y aumentando el refuerzo estructural.

La conservación de pavimentos no es un tema nuevo, como tampoco lo son los tratamientos que se emplean para extender la vida útil del pavimento. La novedad actual es que se están llevando a cabo cambios fundamentales en el sistema tradicional de gestión de pavimentos y la administración de la infraestructura vial, de acuerdo al modelo estadounidense en desarrollo sobre Gestión de Pavimentos. Dicho modelo tuvo su inicio en la industria privada y hoy se afirma a través de asociaciones gubernamentales tales como la Federal Highway Administration, (FHWA) y la American Association of State Highway and Transportation Officials, (AASHTO).



**Figura 2.2 Integración de Gestión de Pavimentos y Conservación de Pavimentos<sup>4</sup>**

Todos los pavimentos se deterioran durante el transcurso del tiempo, esto quiere decir que al comienzo se presentan pocos daños y el pavimento presenta una condición aceptable. Con el paso del tiempo y a causa de la acción del tránsito cada vez mayor, se presentan mayores deterioros y cada uno de estos contribuye en la generación de otros.

Es por eso que el mantenimiento reduce el ritmo con el que un pavimento se deteriora, ya que se van corrigiendo pequeños defectos antes que estos

---

<sup>4</sup> FUENTE: Conservación de Pavimentos, Metodología y Estrategias, Dr. Delmar Salomón

empeoren y conduzcan a deterioros mayores. Llega un momento en que un mantenimiento de rutina ya no es suficiente y se requieren obras de rehabilitación que conducen a un mejoramiento en la condición del pavimento.

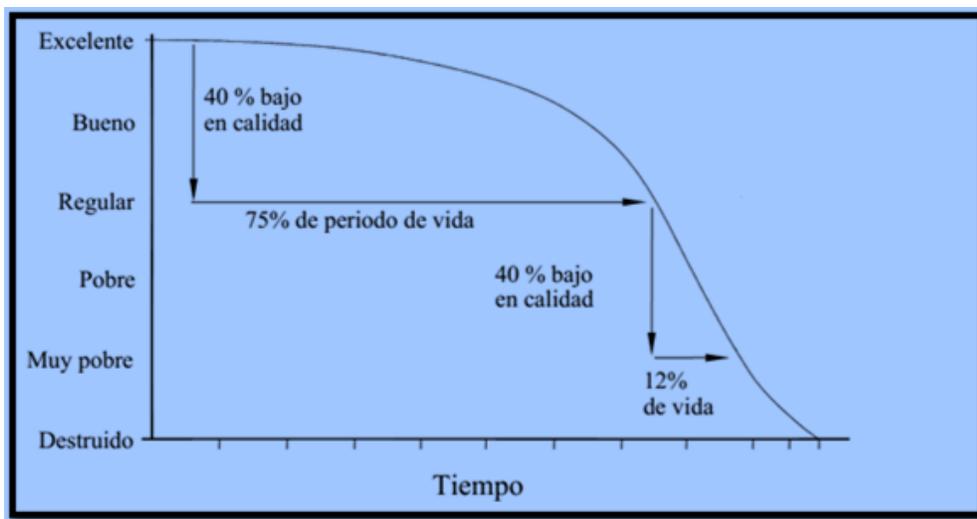


Figura 2.3 Ciclo de Vida del Pavimento<sup>5</sup>

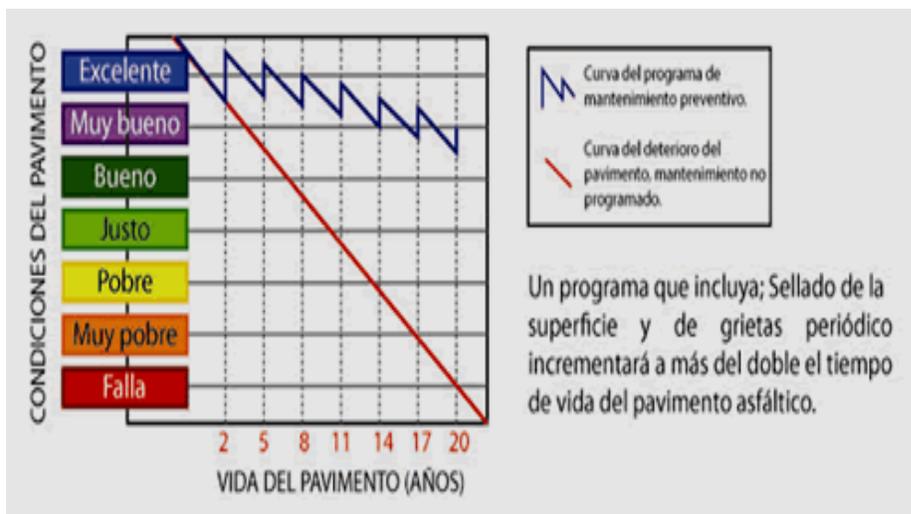


Figura 2.4 Comportamiento Ideal de un Pavimento con Mantenimiento Preventivo

<sup>5</sup> FUENTE: APWA Reporter, Noviembre 1983

## 2.4 Pavimento Flexible.

Del latín *pavimentum*, el **PAVIMENTO** es la capa o base que constituye el **SUELO** de una construcción o de una superficie no natural. Es importante tener en cuenta que el pavimento puede revestirse con diferentes materiales, como piedras o maderas. El término, sin embargo, suele asociarse en algunos países al **asfalto**, el material utilizado para construir calles, rutas y otras vías de comunicación.

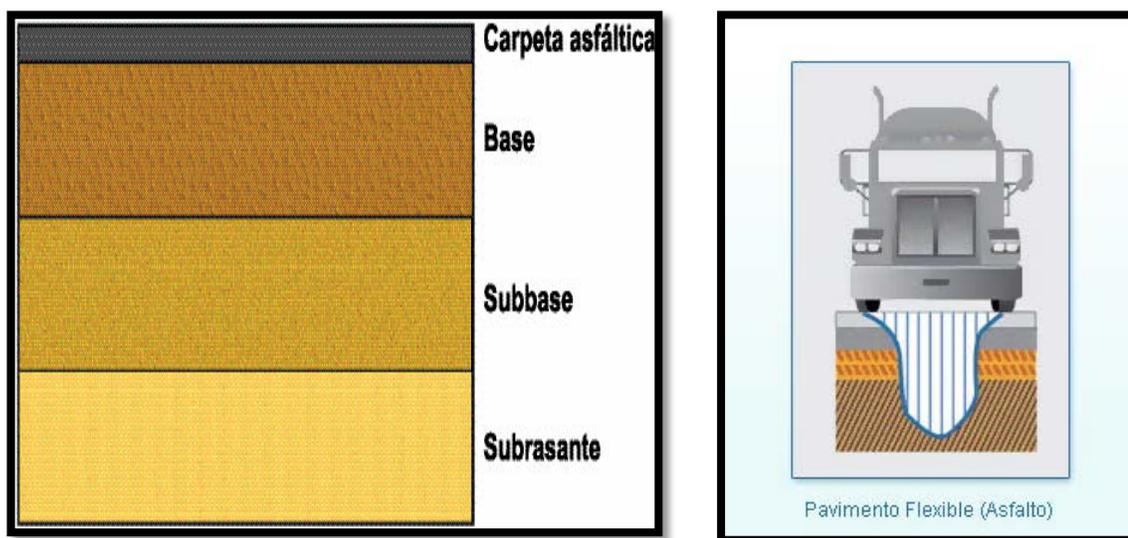
Las denominadas *mezclas asfálticas* y el concreto son los materiales más habituales para crear el pavimento, ya que tienen un buen rendimiento de soporte y permiten el paso constante de vehículos sin sufrir grandes daños.



Se denomina ***pavimentos flexibles*** a aquellos cuya estructura total se deflecta o flexiona dependiendo de las cargas que transitan sobre él. Es aquel que está elaborado por una carpeta asfáltica, construida sobre una capa de base y una capa de sub-base.

La construcción de pavimentos flexibles se realiza a base de varias capas de material. Cada una de las capas recibe cargas por encima de la capa. Cuando las supera la carga que puede sustentar traslada la carga restante a la capa inferior. De ese modo lo que se pretende es que poder soportar la carga total en el conjunto de capas.

Las capas de un pavimento flexible suelen ser: capa superficial o capa superior que es la que se encuentran en contacto con el tráfico rodado y que normalmente ha sido elaborada con varias **capas asfálticas**. La capa base es la capa que está debajo de la capa superficial y está, normalmente, construida a base de agregados y puede estar estabilizada o sin estabilizar. La capa sub – base es la capa o capas que se encuentra inmediatamente debajo de la capa base.



**Figura 2.5 Estructura del Pavimento Flexible y Distribución de los Esfuerzos por Capa**

Las capas de un pavimento flexible que conforman un suelo se colocan en orden descendente en capacidad de carga. La capa superior es la que mayor capacidad de soportar cargas tiene de todas las que se disponen. Por lo tanto la capa que menos carga puede soportar es la que se encuentra en la base.

### 2.4.1 Fallas en Carpetas Asfálticas Flexibles

Es importante resaltar que el objetivo del mantenimiento vial, es el sostenimiento de las características físicas de los elementos que conforman una carretera, para brindar al usuario una conducción cómoda y segura, por lo que deben monitorearse las vías en busca de fallas iniciales que puedan ser atendidas con un programa de mantenimiento rutinario o periódico, y en la medida de lo posible, realizar las acciones para evitar que estas ocurran al establecer un mantenimiento preventivo. En la evaluación de las fallas a los pavimentos, el análisis del riesgo nos da los elementos causales para reducir las eventuales vulnerabilidades frente a amenazas y reducir el riesgo de colapso.

El concepto de deterioro o falla está asociado al nivel de servicio que depende de la exigencia del consumidor. Una falla es algo que se aparta de lo que se consideró perfecto. Las fallas de los pavimentos pueden dividirse en tres grupos:

- Falla por insuficiencia estructural
- Falla por defecto constructivo
- Falla por fatiga

**Falla por insuficiencia estructural:** Pavimentos construidos con material inapropiado en cuanto a resistencia. Se pueden utilizar materiales con buena calidad pero espesores insuficientes. Esta falla se produce por la combinación de la resistencia al esfuerzo cortante de cada capa y sus espesores.

**Falla por defecto constructivo:** Pavimentos bien proporcionados y con materiales de buena calidad pero que en su construcción se cometieron errores.

**Falla por fatiga:** Pavimentos que originalmente estuvieron bien proporcionados y contruidos, con el paso del tiempo y la continua repetición de cargas sufren efectos de fatiga, degradación estructural, pérdida de resistencia y acumulan deformaciones.

Aparte de estos tres grupos, también se agrupan por su origen, es decir por el modo en que suceden y se manifiestan. Se separan en tres nuevos grupos que son: Por fracturamiento (Fisuras y Grietas) y, por deformación y por desintegración. Se relacionan con el efecto del tránsito, las características y estructuración del pavimento y el apoyo que proporciona la terracería.

#### **2.4.2 Fisura y Grietas**

Las fisuras y grietas son una manifestación muy frecuente de falla y su causa puede tener su origen en cualquiera de los elementos de la estructura del pavimento o de los materiales adyacentes.

Las grietas deben ser selladas por dos razones principales:

1. Para prevenir la intrusión de materiales incompresibles.
2. Para prevenir la intrusión de agua en las capas inferiores del pavimento.

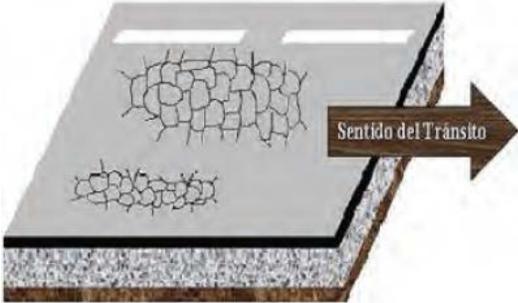
#### ***Tipos de Fisuras y Grietas***

Existen distintas fallas comunes en los pavimentos, la forma o patrón de agrietamiento es frecuentemente el mismo para varias causas y en etapas

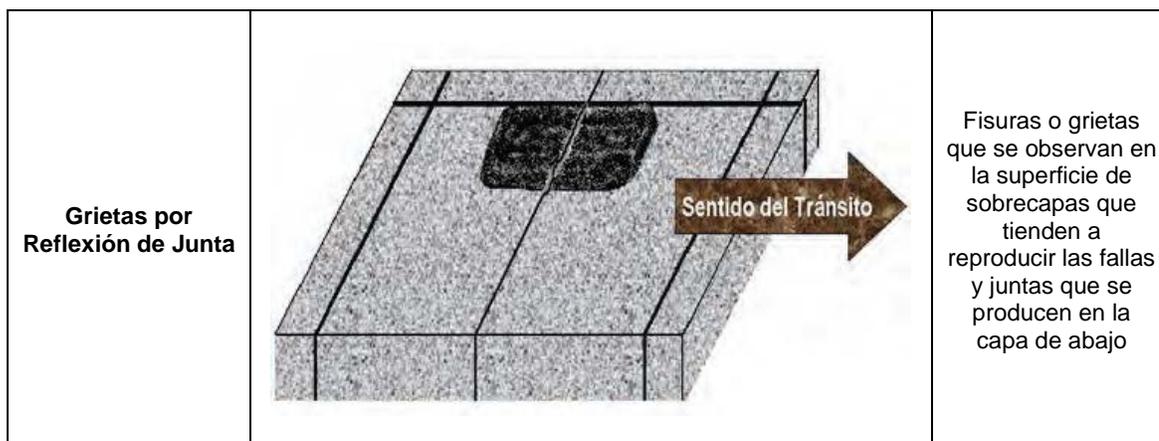
diferentes de la falla. Los tipos de grietas que generalmente encuentran las brigadas de mantenimiento son las siguientes:

- Fisuras Piel de Cocodrilo
- Grietas de Contracción ( Bloque)
- Grietas en Arco
- Grietas por Reflexión
- Grietas Longitudinal y Transversal
- Grietas de Desplazamiento

**Tabla 2.1 Cuadro resumen tipos de fisuras y grietas en pavimentos flexibles**

Fisuras y Grietas	Esquema	Descripción
<p><b>Piel de Cocodrilo</b></p>		<p>Serie de grietas interconectadas, formando pequeños polígonos irregulares de ángulos agudos, generalmente con diámetros promedios de 30 cm, con longitudes variables que pueden cubrir la totalidad de la sección de rodadura.</p>

<p><b>Grietas de Contracción (Bloque)</b></p>		<p>Series de grietas interconectadas, formando piezas aproximadamente rectangulares, cubriendo partes separadas de la rodadura.</p>
<p><b>Grietas en Arco</b></p>		<p>Son grietas en forma de media luna (o más precisamente de cuarto creciente) que pueden apuntar en ambas direcciones, derivadas de las fuerzas de tracción de las ruedas sobre el pavimento o de frenado sobre la misma.</p>
<p><b>Grietas Transversales</b></p>		<p>Serie de fisuras o grietas que se forman en sentido transversal a la rodadura de la carretera, generalmente aisladas y que pueden afectar todo el ancho de la sección de la misma.</p>
<p><b>Grietas Longitudinales</b></p>		<p>Serie de fisuras o grietas que se forman en sentido paralelo a la rodadura de la carretera, pudiendo ir aisladas o en grupos, cuyas longitudes son variables.</p>



### 2.4.3 Deformaciones

La deformación del pavimento es el resultado del debilitamiento de la subrasante por un reacomodo o consolidación del suelo o por la consolidación o compactación adicional de la base. Podrían o no aparecer grietas, pero en ambos casos se crea un conflicto o peligro para el tránsito, permite la acumulación del agua y eventualmente hace que se empeore. Las deformaciones pueden ser de diferentes formas:

- Acanalamientos o Ahuellamientos
- Corrugaciones y Desplazamientos
- Hundimientos o Depresiones
- Levantamientos o Hinchamientos
- Corrimientos

Así como cualquier otra falla, cada tipo de deformaciones tiene su causa y debe ser determinado antes de que un remedio correctivo pueda ser aplicado. Las distorsiones del pavimento generalmente ocurren en intersecciones y otras

áreas de parada y arranque donde el tráfico, especialmente los camiones pesados, imponen severos esfuerzos horizontales a la superficie del pavimento.

**Tabla 2.2 Cuadro resumen tipos de Deformaciones en pavimentos flexibles**

Deformaciones	Esquema	Descripción
<b>Ahuellamiento</b>		<p>Deformación longitudinal continua a lo largo de la rodadura, pudiendo aparecer cordones laterales a cada lado.</p>
<b>Corrimiento</b>		<p>Distorsiones de la superficie del pavimento por desplazamiento de la mezcla asfáltica, a veces acompañadas por levantamientos de material, formando cordones laterales.</p>
<b>Corrugación</b>		<p>Serie de ondulaciones, constituidas por crestas y depresiones, perpendiculares a la dirección del tránsito, las cuales se suceden muy próximas unas de otras, a intervalos regulares.</p>

<p><b>Hinchamiento</b></p>	 <p>Diagrama que muestra un hinchamiento localizado en la superficie del pavimento. Se observan líneas de tensión que se irradian desde el punto de hinchamiento. Una flecha indica el 'Sentido del Tránsito' hacia la derecha.</p>	<p>Abultamiento o levantamiento localizado en la superficie del pavimento, generalmente en la forma de una onda que distorsiona el perfil de la carretera.</p>
<p><b>Hundimiento</b></p>	 <p>Diagrama que muestra un hundimiento localizado en la superficie del pavimento. Se observan líneas de tensión que se irradian desde el punto de hundimiento. Una flecha indica el 'Sentido del Tránsito' hacia la derecha.</p>	<p>Depresión o descenso de la superficie del pavimento en un área localizada, sin tener definido un tamaño específico.</p>

#### 2.4.4 Desintegraciones

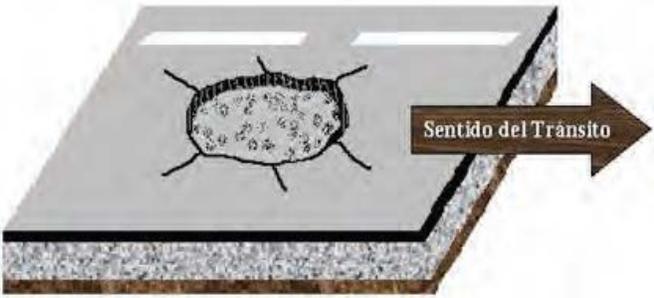
La desintegración es el rompimiento del pavimento en fragmentos pequeños y sueltos. Esto incluye el desalojo o pérdida de las partículas de agregado. Si no es detenida en su etapa inicial, la desintegración puede progresar hasta que el pavimento requiera de una reconstrucción completa. Los "baches, la desintegración de bordes y la presencia de agregados (desprendimiento)", son las formas más comunes que se presentan en las primeras etapas de desintegración.

Entre las desintegraciones del pavimento tenemos:

- Bache

- Desintegración de Bordes
- Presencia de Agregados
- Desprendimiento de la Capa de Rodadura

**Tabla 2.3 Cuadro resumen tipos de Desprendimientos en pavimentos flexibles**

Desintegraciones	Esquema	Descripción
<p><b>Bache</b></p>		<p>Desintegración total de la superficie de rodadura, que puede extenderse a otras capas del pavimento, formando una cavidad de bordes y profundidades irregulares.</p>
<p><b>Desintegración de Bordes</b></p>		<p>Consiste en la progresiva destrucción de los bordes del pavimento, principalmente en carreteras que no cuentan con hombros o que no son pavimentados.</p>

<p><b>Presencia de Agregados</b></p>		<p>Consiste en la existencia de agregados parcialmente expuestos, fuera del elemento ligante con los materiales finos que forman la estructura del pavimento.</p>
<p><b>Desprendimiento de la Capa de Rodadura</b></p>		<p>Consiste en el desprendimiento de las últimas capas de agregados finos de las lechadas y/o tratamientos superficiales.</p>

### 2.4.5 Superficies Resbaladizas

**Exudación del Asfalto:** La “exudación” es la presencia de una película de material bituminoso en la superficie del pavimento, la cual forma una superficie brillante, cristalina y reflectora que usualmente llega a ser pegajosa, es originada por exceso de asfalto en la mezcla, exceso de aplicación de un sellante asfáltico o un bajo contenido de vacíos de aire, o aplicación de un sellante asfáltico o un bajo contenido de vacíos de aire., o por deposición de aceites caído de los vehículos, o por concentración de residuos de combustibles no quemados.

La exudación ocurre cuando el asfalto llena los vacíos de la mezcla en medio de altas temperaturas ambientales y entonces se expande en la superficie del pavimento.

Debido a que el proceso de exudación no es reversible durante el tiempo frío, el asfalto se acumulará en la superficie.



Figura 2.6 Presencia de Exudación en Pavimentos Flexibles

## 2.5 Patologías derivadas de una mala ejecución de los Tratamiento Superficiales

Debido a los procedimientos de construcción, los tratamientos superficiales podrían desarrollar algunos defectos que no ocurren en otros tipos de superficies asfálticas. Esto incluye la pérdida del agregado protector y rayado.

**Pérdida del Agregado Protector:** La pérdida del agregado protector es el desprendimiento del agregado de un tratamiento superficial de un pavimento, bajo la acción del tráfico, dejando expuesta la película de asfalto. La pérdida del agregado protector puede ser causada por diferentes factores:

- Agregados esparcidos después que el asfalto se enfrió demasiado
- Agregados con demasiado polvo o húmedos al aplicarse
- Agregados no rodados o fijados inmediatamente después de esparcidos
- Rodados con equipo metálico sobre depresiones
- La apertura al tráfico demasiado pronto
- Superficies absorbentes
- Sobre-rodado, especialmente con rodillo metálico

**Rayado Longitudinal:** Las rayas longitudinales son líneas de asfalto gruesas y delgadas que aparecen paralelamente al centro de línea del camino. En el momento que el asfalto es aplicado, la forma de esparcido no provee un cubrimiento uniforme, por lo que aparece el rayado longitudinal. Los factores que pueden causar esto son:

La barra de esparcido no se fija a la altura adecuada sobre el pavimento

Las boquillas de esparcido no se fijan al Angulo correcto, son de diferente tamaño o están defectuosas

El asfalto está demasiado frio o tiene mucha viscosidad

Muy Baja presión de la bomba

**Rayado Transversal:** El rayado transversal es una serie de líneas de asfalto en ocasiones gruesas y en otras delgadas, que aparecen perpendiculares a la línea central que pueden resultar en corrugaciones de la superficie del pavimento. Es causado por interrupciones en el esparcido del asfalto. Estas

interrupciones pueden ser producidas por pulsaciones de la bomba de asfalto por partes desgastadas, velocidad inadecuada o por apagarse el motor.

**Desprendimiento de la Capa de Rodadura:** Consiste en el desprendimiento de las últimas capas de agregados finos de las lechadas y/o tratamientos superficiales. Posibles causas: Limpieza insuficiente previa al tratamiento superficial, esparcido heterogéneo del ligante (asfalto), ligante inadecuado, dosificación agregado (pétreo) – ligante (asfalto) inadecuada, colocación con lluvia o exceso de agua en la capa de apoyo, que produce de laminación, compactación deficiente (si procede), fraguado incompleto después de apertura al tránsito, envejecimiento del ligante (asfalto).

**2.6 Ejemplo de Levantamiento de Daños observados en Micropavimento**  
**MANTENIMIENTO PERIODICO DE LA RUTA CA12N:CA01W-DV EL**  
**CONGO-DV SANTA ANA, UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE SANTA**  
**ANA.<sup>6</sup>**

TRAMO	ESTACION	CARRIL	LATERAL	Daños Observados
1	0+850	EXT	LD	Exudación
1	1+290	EXT	LD	Exudación
1	1+660	EXT	LD	Exudación
1	1+887	EXT	LD	Daño por giro vehicular
1	2+960 - 2+480	EXT	LD	Irregularidades en superficie terminada
1	0+550 - 0+650	INT	LD	Irregularidades en superficie terminada
1	1+180 - 1+800	INT	LD	Irregularidades en superficie terminada
1	2+420 - 2+460	INT	LD	Irregularidades en superficie terminada
1	2+450	EXT	LI	Daño a causa de algún solvente
1	2+320	EXT	LI	Exudación
1	1+990	EXT	LI	Marca de huella peatonal
1	0+730	EXT	LI	Exudación
1	0+220	EXT	LI	Exudación
1	0+960 - 1+000	EXT	LI	Irregularidades en superficie terminada
1	1+900 - 1+940	EXT	LI	Irregularidades en superficie terminada
1	1+340 - 1+360	EXT	LI	Irregularidades en superficie terminada
1	0+140 - 0+180	EXT	LI	Irregularidades en superficie terminada
1	0+200	INT	LI	Exudación
1	2+370 - 2+460	INT	LI	Irregularidades en superficie terminada
2	2+750 - 2+770	EXT	LD	Exudación y daño en micropavimento
2	3+240	EXT	LD	Daño tipo rayón
2	3+420 - 3+440	EXT	LD	Daño tipo huellas peatonales en Micropavimento

<sup>6</sup>Asfaltos de Centro América, ASFALCA, Ing. Franklin Barrera.

2	3+460	EXT	LD	Exudación
2	3+760 - 3+780	EXT	LD	Exudación
2	4+000	EXT	LD	Daño tipo huellas peatonales en Micropavimento
2	4+220 - 4+240	EXT	LD	Daño tipo huellas peatonales en Micropavimento
2	2+840 - 3+000	EXT	LD	Irregularidades en superficie terminada
2	3+520 - 3+540	INT	LD	Exudación y daño en micropavimento
2	4+160	INT	LD	Daño tipo rayón
2	4+220 - 4+240	INT	LD	Daño tipo huellas peatonales en Micropavimento
2	3+520 - 3+540	EXT	LI	Exudación y huellas peatonales
2	2+680	INT	LI	Daño tipo huellas peatonales en Micropavimento
2	3+100 - 3+200	INT	LI	Irregularidades en superficie terminada
3	5+200 - 5+300		LD	Irregularidades en superficie terminada
3	5+200 - 5+300		LI	Irregularidades en superficie terminada
3	6+400 - 6+500		LD	Irregularidades en superficie terminada
DER. SUR	0+320	INT	LD	Daño tipo huellas peatonales en Micropavimento
DER.ORIENTE	0+030		LI	Empozamiento de agua
DER. ORIENTE	0+100		LI	Exudación

# CAPITULO III

## TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

### 3 Tratamientos superficiales

Entre las técnicas de Pavimentación de carreteras, la de los tratamientos superficiales ha sido la que mayor evolución ha experimentado en los últimos años, pasando de un sistema destinado a tránsitos livianos a ser utilizado en tratamientos de carreteras con tránsito pesado y en muchos países, en autopistas.

Como su nombre indica, es un tratamiento que afecta, en principio, a la superficie de la carretera, proporcionando una rodadura muy segura. No proporciona capacidad portante a la carretera, pero sí contribuye a que las capas inferiores mantengan la suya evitando que los agentes externos las deterioren.

Los tratamientos superficiales pueden ser utilizados como capas de protección sobre caminos estabilizados o como conservación de pavimentos asfálticos.

#### 3.1 Definición y Clasificación de Tratamientos Superficiales

Una manera tradicional de clasificar los Tratamientos Superficiales es la observada en la **Figura 3.1***Error! No se encuentra el origen de la referencia.*, la cual hace uso del tipo de base en la cual ha de ser colocada, pero debido a que son una unidad de obra que ha tenido un desarrollo muy activo y que ha proporcionado una técnica de Conservación de Carreteras muy adecuada ha llegado a tener una amplia gama de aplicaciones en diversos tipos de escenarios.



**Figura 3.1 Clasificación de los Tratamientos Superficiales**

### **3.2 Funciones de los Tratamiento superficiales**

Un tratamiento superficial por sí mismo no es considerado un pavimento. Básicamente brinda una cubierta impermeable a la superficie existente y resistencia abrasiva del tránsito. Algunas de las funciones más comunes con:

- Proveer una superficie económica y duradera para caminos con bases granulares que tienen tránsitos ligeros y de mediano volumen.
- Prevenir la penetración superficial de agua en bases granulares y pavimentos viejos que han comenzado a desintegrarse por el tiempo o a fisurarse.

- Rellenar huecos, recubrir y ligar partículas minerales desprendidas y restaurar la superficie del pavimento.
- Renovar superficies y restaurar la resistencia al deslizamiento de pavimentos deteriorados por el tránsito en los cuales los agregados superficiales han comenzado a pulirse.
- Restaurar capas de rodamientos afectadas por los agentes climáticos y dar nueva vida a superficies de pavimentos reseca.
- Proveer una cubierta temporaria en los casos de construcción de pavimentos incompletos y demorados o cuando se trata de una construcción por etapas.
- Paliar el polvo.
- Asegurar la adherencia de las capas asfálticas superiores con las bases granulares (riego de imprimación).
- Asegurar la trabazón entre la superficie que está siendo pavimentada y la capa superior (riego de liga).

### **3.3 Tratamiento Superficial Simple**

Consiste en una sola aplicación uniformemente distribuida de ligante bituminoso, seguido de una aplicación de agregado de tamaño tan uniforme como sea posible. Esta se realiza sobre una superficie acondicionada y con una estructura apropiada a las condiciones de solicitación a que va a estar expuesta



Figura 3.2 Esquema representativo de un Tratamiento Superficial Simple

### 3.4 Tratamiento Superficial Doble

Son dos riegos alternados y uniformemente distribuidos de ligante bituminoso y agregados sobre una superficie acondicionada previamente. El tamaño medio del agregado de cada distribución sucesiva es la mitad o menos del tamaño medio de la capa precedente. El espesor total es aproximadamente igual al tamaño máximo nominal del agregado de la primera aplicación.



Figura 3.3 Esquema representativo de un Tratamiento Superficial Doble

### **3.5 Slurry Seal**

Lechada asfáltica (slurry seal) es una mezcla de agregado de granulometría cerrada, emulsión asfáltica, fillers, aditivos y agua. La lechada asfáltica es aplicada como un tratamiento de superficie de poco espesor, con una máquina especialmente diseñada.

### **3.6 Micropavimento (Microsurfacing)**

El micropavimento es una mezcla de emulsión asfáltica modificada con polímero, agregado mineral triturado y bien graduado, con los materiales, diseño y aplicación sometidos a mayores exigencias. Generalmente es usado como lechada asfáltica para una superficie existente de pavimento de concreto asfáltico. Como tratamiento superficial, el micropavimento proporciona una superficie antiderrapante; cuando se usa como mantenimiento, puede también corregir roderas y pequeñas imperfecciones.

### **3.7 Materiales**

#### **3.7.1 Agregados Pétreos**

La manera más frecuentemente empleada para hacer uso del asfalto en la construcción y mantenimiento de pavimentos, es mezclándolo con agregados pétreos de características conocidas.

**Agregado:** también conocido como roca, material granular, o agregado mineral, es cualquier material mineral duro e inerte usado en forma de

partículas graduadas. Como parte de un pavimento, los agregados típicos incluyen arena, grava, piedra triturada, escoria y polvo de arena.

### **3.7.2 Propiedades del Agregado.**

Los agregados constituyen cerca del 90 al 95% del peso de una mezcla asfáltica y algo más del 75% del volumen de la misma. Contribuyen a la estabilidad mecánica, soportan la carga del tráfico y al mismo tiempo transmiten la carga a la sub-base a una unidad de presión considerablemente reducida. Sin embargo no cualquier tipo de agregado puede emplearse de la manera más adecuada, de ahí la necesidad de conocer sus características físicas para saber si es apto o no.

#### ➤ **Granulometría.**

Todas las especificaciones de pavimento asfáltico requieren que las partículas de agregado estén dentro de un cierto margen de tamaños y que cada tamaño de partículas esté presente en ciertas proporciones, la granulometría de partículas es determinada por un análisis efectuado sobre las muestras de agregado, es necesario entender cómo se mide el tamaño de partículas y la granulometría para determinar si la graduación del agregado cumple o no con las especificaciones.

#### ➤ **Tamaño Máximo de Partícula**

El tamaño de las partículas más grandes en la muestra debe ser determinado, debido a que las especificaciones hablan de un tamaño máximo de partículas para cada agregado usado

➤ **Limpieza.**

Las especificaciones de la obra generalmente ponen un límite a los tipos y cantidades de materiales indeseables (vegetación, arcilla esquistosa, partículas blandas, terrones de arcilla, etcétera) en el agregado. Las cantidades excesivas de estos materiales pueden afectar desfavorablemente el comportamiento del pavimento.

➤ **Dureza**

Los agregados deben ser capaces de resistir la abrasión (desgaste) y degradación durante la reducción, colocación, y compactación de la mezcla de pavimentación, y durante la vida de servicio del pavimento. Los agregados que están en, o cerca de la superficie deben ser más duros (tener más resistencia) que los agregados usados en las capas inferiores de la estructura del pavimento. Esto se debe a que las capas superficiales reciben los mayores esfuerzos y el mayor desgaste por parte de las cargas del tráfico.

➤ **Forma de la Partícula.**

La forma de la partícula afecta la trabajabilidad de la mezcla de pavimentación durante su colocación, así como la cantidad de fuerza necesaria para compactar la mezcla a la densidad requerida.

➤ **Textura Superficial.**

La textura superficial de las partículas de agregado es otro factor que determina no solo la trabajabilidad y resistencia al deslizamiento en la superficie del pavimento. Una partícula áspera aumenta la resistencia en el pavimento debido

a que evita que las partículas se muevan unas 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.

➤ **Capacidad de Absorción.**

Todos los agregados son porosos, y algunos más que otros. La capacidad de un agregado de absorber agua (o asfalto) es un elemento importante de información. Si un agregado es altamente absorbente, entonces continuará absorbiendo asfalto después del mezclado inicial en la planta, dejando así menos asfalto en su superficie para ligar las demás partículas de agregado.

### **3.7.3 Polvo mineral (Filler)**

El filler o polvo mineral de aportación es un producto comercial de naturaleza pulverulenta (cemento normalmente o cenizas volantes de central térmica) o un polvo en general calizo, especialmente preparado para utilizarlo en mastico para mezclas asfálticas. El empleo del polvo mineral, incrementa la magnitud de la resistencia a la deformación de la mezcla, sin modificar la naturaleza viscosa del ligante, originando como consecuencia un aumento de la resistencia al corte de las mezclas asfálticas.

### **3.7.4 Agua de mezclado**

El agua forma una parte importante de un diseño estable y su porcentaje de la mezcla total es un factor principal, esta puede ser introducida de tres maneras: como humedad alrededor en el agregado, pre-humedecido con agua, y como

uno de los dos principales componentes constituyentes de la emulsión. El agua para la elaboración de la mezcla puede ser obtenida de cualquier fuente que sea potable y no es necesario sujetarse a pruebas de laboratorio, aunque conocer el pH del agua es provechoso para mantener un pH balanceado en la mezcla. Serán evitados las aguas saladas o aguas contaminadas con cieno.

### 3.8 Especificaciones y Características de Agregados para Lechada Asfáltica (Slurry Seal)

Los agregados pétreos pueden ser naturales o producidos por trituración, tales como: granito, basalto, escoria o algún otro material de alta calidad o combinación de éstos, y deben someterse a los ensayos y deben cumplir con las especificaciones indicadas en la Tabla 3.1

Ensayo	Recomendación ISSA		
	AASHTO	ASTM	Especificación
Equivalente de Arena	T 176	D 2419	45% mínimo
Sanidad de los Agregados	T 104	C 88	15% máximo para Sulfato de Sodio 25% Máximo para sulfato de Magnesio
Desgaste de los Ángeles	T 96	C 131	35% Máximo

**Tabla 3.1 Recomendaciones ISSA para Agregados Pétreos en Slurry Seal**

La granulometría del agregado que podrá utilizarse para la ejecución de esta actividad, debe cumplir con las normas AASHTO T 27 (ASTM C 136) y AASHTO T 11 (ASTM C 117), según ISSA, tal como se muestra en la Tabla 3.2

Malla	Tipo I % que pasa	Tipo II % que pasa	Tipo III % que pasa	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 3.2 Granulometría Para Slurry Seal según ISSA**

### 3.9 Especificaciones y Características de Agregados para Micropavimento

Los agregados minerales deben ser compuestos por partículas limpias, duras y durables de piedra triturada (Basalto, granito o polvo de roca) y deberá cumplir con las especificaciones indicadas en la Tabla 3.3

Ensayo	Recomendación ISSA		
	AASHTO	ASTM	Especificación
Equivalente de Arena	T 176	D 2419	65% mínimo
Sanidad de los Agregados	T 104	C 88	15% máximo para Sulfato de Sodio 25% Máximo para sulfato de Magnesio
Desgaste de los Ángeles	T 96	C 131	30% Máximo

**Tabla 3.3 Recomendaciones ISSA para Agregados Pétreos para MicroPavimentos**

Hay dos tipos de granulometría, que se usan en los trabajos de micropavimentos las cuales obedecen a la Norma AASHTO T 27 (ASTM C 136)

y AASHTO T 11 (ASTM C 117), según ISSA y como se muestran en la Tabla 3.4

Malla	Tipo II % que pasa	Tipo III % que pasa	Tolerancia
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(1.18mm)	45-70	28-50	±5
# 30(600 µm)	30-50	19-34	±5
# 50(330 µm)	18-30	12-25	±4
# 100(150 µm)	10-21	7-18	±3
# 200(75 µm)	5-15	5-15	±2

**Tabla 3.4 Granulometrías para Micropavimentos según recomendaciones ISSA**

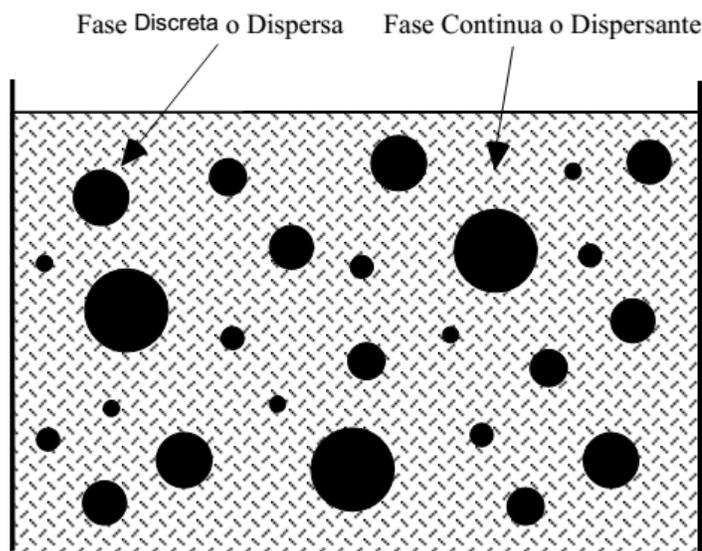
**TIPO II:** Esta granulometría es usada para rellenar huecos y daños por fatiga superficiales, se utiliza como sello proporcionando una superficie más durable.

**TIPO III:** Esta granulometría proporciona una máxima resistencia al deslizamiento y proporciona una superficie más durable, siendo apropiada para pavimento con alto tráfico.

### 3.10 Las Emulsiones Asfálticas

Podemos definir una emulsión como una dispersión fina más o menos estabilizada de un líquido en otro, los cuales son no miscibles entre sí y están unidos por un emulsificante, emulsionante o emulgente. Las emulsiones son sistemas formados por dos fases parcial o totalmente inmiscibles, en donde una forma la llamada fase continua (o dispersante) y la otra la fase discreta (o

dispersa). Esto puede apreciarse en la Figura 3.4, en donde se muestra un dibujo esquemático de una emulsión.



**Figura 3.4 Diagrama esquemático de una emulsión**

En el caso de emulsiones asfálticas, los líquidos no miscibles son el agua y el asfalto. Adicionalmente se tiene el emulgente el cual se deposita en la interface entre el agua y el asfalto y estabiliza la emulsión; éste depende del tipo de emulsión que se requiera.

Las emulsiones asfálticas se desarrollan con el objetivo de cambiar la consistencia del asfalto y darle así una trabajabilidad adecuada para cada tipo de aplicación sin la necesidad de calentarlo hasta altas temperaturas como es usual en mezclas tradicionales con cemento asfáltico.

Las principales ventajas que caracterizan el uso de emulsiones asfálticas es la considerable reducción de costos para la construcción y conservación de

caminos, ya que la adecuada trabajabilidad que presentan a temperaturas menores permiten un ahorro energético considerable, esto sumado a que las aplicaciones con emulsiones son de espesores mucho menores que los utilizados en mezclas tradicionales, permitiendo ahorro en el uso de material y tiempos de construcción.

Las desventajas de las emulsiones asfálticas son principalmente el tiempo de fraguado que estas requieren, la complicada química y reología que se desarrolla en las emulsiones, pues los compuestos químicos presentes en el asfalto como los asfaltenos y maltenos son variables y de diferente naturaleza química.

### **3.10.1 Los Emulsificantes**

Los emulsificantes son compuestos orgánicos de peso molecular relativamente elevado (entre 100 y 300); tienen una parte hidrofóbica (generalmente es una cadena hidrocarbonada ya sea lineal o cíclica) que es soluble en el medio orgánico (en nuestro caso en el asfalto) y una parte hidrofílica (generalmente es un grupo polar de tipo orgánico o inorgánico), soluble en el medio acuoso.

Los emulsificantes están compuestos generalmente por un radical alquilo R el cual es hidrofóbico y un componente hidrofílico, que se encuentran saponificados y con el contacto con el agua se disocian, quedando con cargas negativas o positivas según el tipo de emulsificante. En la **Figura 3.5** se muestra una representación pictórica de la emulsión aniónica y la catiónica.

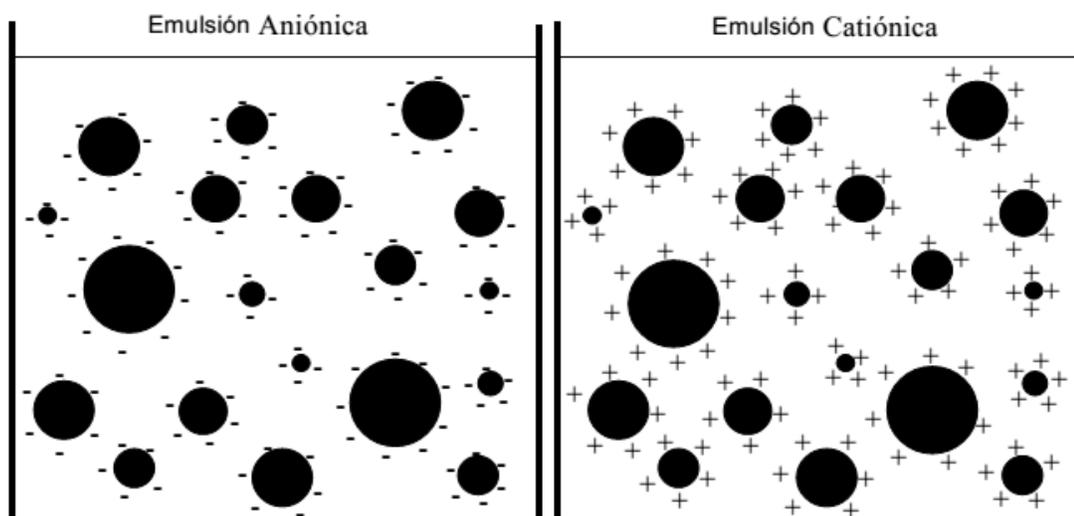


Figura 3.5 Representación esquemática de una emulsión aniónica y de una catiónica

### 3.10.2 Tipos de Emulsiones Asfálticas

Las emulsiones asfálticas pueden ser clasificadas de acuerdo al tipo de emulgente usado. En este caso podemos hablar de dos tipos, aniónicas y catiónicas:

#### ➤ Emulsiones Aniónicas

En este tipo de emulsiones el agente emulsificante le confiere una polaridad negativa a los glóbulos, o sea que éstos adquieren una carga negativa.

#### ➤ Emulsiones Catiónicas

En este tipo de emulsiones el agente emulsificante le confiere una polaridad positiva a los glóbulos, o sea que éstos adquieren una carga positiva.

Respecto a la estabilidad de las emulsiones asfálticas, éstas se pueden clasificar en los siguientes tipos:

➤ **De Rompimiento Rápido (RS, Rapid Setting)**

Los grados de rotura rápida se han diseñado para reaccionar rápidamente con el agregado y revertir de la condición de emulsión a la de asfalto. Se usan principalmente para aplicaciones de riego (spray applications), como tratamientos superficiales, sellados con arena (sandseals) y tratamientos de superficie. Los grados RS-2, HFRS-2 y CRS-2 (de rotura rápida) son de alta viscosidad para evitar el escurrimiento. Versiones de esas emulsiones modificadas con polímeros son usadas rutinariamente cuando se requiere una rápida adhesión, como el caso de áreas de intenso tráfico, cuando el control de tráfico es mínimo o cuando hay cargas pesadas.

➤ **De Rompimiento Medio (MS, Medium Setting)**

Las emulsiones de rotura media se diseñan para ser mezclarlas con agregados graduados. Debido a que estos grados de emulsiones se formulan para no romper inmediatamente después del contacto con el agregado, ellos pueden utilizarse para recubrir una amplia variedad de agregados graduados. Las mezclas con emulsiones de rotura media pueden mantenerse trabajables por lapsos que van de algunos minutos a varios meses, según la formulación. Las mezclas se elaboran en mezcladora y planta ambulante o, en el camino. En años recientes, han sido utilizadas en aplicaciones de reciclado en frío.

➤ **De Rompimiento Lento (SS, Slow Setting)**

Los grados de rotura lenta se diseñan para lograr mezclas estables. Se emplean con granulometrías cerradas, con alto porcentaje de finos. A los grados de rotura lenta corresponden prolongados períodos de trabajabilidad para asegurar una buena mezcla con agregados de granulometría cerrada. Estas mezclas no se diseñan para ser acopiadas. Todos los grados de rotura lenta tienen baja viscosidad, que puede ser aún más reducida con la incorporación de agua. Diluidos, estos grados pueden también ser usados para riegos de liga y riego pulverizado y como paliativos de polvo.

### **3.10.3 Nomenclatura de Las emulsiones Asfálticas.**

Con respecto a la nomenclatura para la identificación de las emulsiones, se utiliza el prefijo C en las emulsiones de tipo catiónicas, por ejemplo CSS y CRS representan emulsiones catiónicas de rotura lenta y rápida, respectivamente. Cuando no aparece la letra C se asume que la emulsión es del tipo aniónica. Este sistema también incluye la clasificación de la emulsión de acuerdo al grado de viscosidad que posea. De esta manera, se utilizan los sufijos 1 y 2 para designar a emulsiones cuyas viscosidades Saybolt Furol, a 122 °F, se encuentran en los rangos 20-100 y 100-400 s, respectivamente. Cuando se ha utilizado un asfalto duro (penetración de 40-50 a 77 °F) en la manufactura de la emulsión, se suele colocar la letra h como sufijo. Cuando no aparece la letra h se sobreentiende que se ha utilizado un asfalto con penetración entre 100-200. Por ejemplo, CSS-1h representa a una emulsión catiónica de sedimentación

lenta con viscosidad entre 20 y 100 s, en la que se ha utilizado un asfalto con penetración 40 a 90.

### **3.11 Emulsiones para Slurry Seal**

Las emulsiones asfálticas utilizadas en las lechadas pueden ser SS-1 (RL-1), CSS-1 (CRL-1), SS-1h (RL1h), QS-1h (.RR QS-1h), CSS-1h (CRL-1h) o CQS-1h (RR QS-1h). Para las emulsiones CQS-1h y QS-1h, no se exige el ensayo de mezcla con cemento. La emulsión adecuada para cualquier agregado de lechada asfáltica puede ser verificada mediante una mezcla de diseño.

A la mezcla de lechada pueden agregársele cantidades relativamente pequeñas de aditivos líquidos o en polvo. Dichos aditivos pueden usarse para mejorar las características de la mezcla, las características de rotura u otras propiedades que se ponen de manifiesto luego del curado. Estos materiales incluyen cemento Portland, cal y sulfato de aluminio en adición a algunas sustancias químicas orgánicas. El desempeño de cualquier aditivo debe evidenciarse en la mezcla de diseño. El agua utilizada en la lechada debe ser potable y compatible con la mezcla.

De acuerdo al ISSA se recomienda tener en cuenta para el uso de las emulsiones asfálticas y los residuos de asfalto emulsificado, que estos cumplan con los requerimientos de la norma AASHTO M140 o ASTM D 977, para las SS-1 o SS-1h. Para las CSS-1h o CQS-1h se debe cumplir con los requerimientos de la norma AASHTO M208 o ASTM D2397.

### **3.12 Emulsiones para Micropavimento**

Para micropavimento, las emulsiones CSS-1h-p (CRL) son las más ampliamente utilizadas. Estos materiales son empleados para poner en evidencia las características de rotura de la mezcla. A menudo, y para facilitar el mezclado, se utilizan aditivos surfactantes orgánicos. Al igual que con las lechadas asfálticas, el agua utilizada en micro-aglomerados debe ser potable y compatible con la mezcla.

Previamente a la aplicación, debe realizarse en laboratorio una mezcla de diseño de micro-aglomerado. Una correcta combinación de materiales debería producir una mezcla semi-fluida de material totalmente recubierto. No debería haber escurrimiento de la emulsión. La rotura del material y la aparición del agua clara debieran tener lugar dentro de los 30 minutos.

La emulsión asfáltica se modifica con un polímero que se incorpora al cemento asfáltico antes de emulsionarlo, o también puede modificarse en línea, cómo se hace cuando se le incorpora latex. El residuo asfáltico de una emulsión modificada, debe tener al menos 3% de polímero calculado en peso. La emulsión de asfalto modificada debe ser formulada para que la mezcla de pavimento MS-1 pueda curar lo suficiente para que al abrir el tránsito aproximadamente dos horas después, la carpeta no sufra daños. Además, la emulsión tipo CQS-1h cumplirá las especificaciones indicadas en la Tabla 3.5

**(Ver Anexo 2)**

Descripción	Mínima	Máxima
Viscosidad Saybolt Furol a 25°C AASHTO T59 ASTM D2444	20	100
Estabilidad en almacenaje, un día en porcentaje sedimentado	---	1%
Carga de la partícula DOTD TR 311	Positiva	
Porcentaje en emulsión retenido en la malla N° 20	---	0.1%
Residuo asfáltico obtenido por destilación AASHTO T59 ASTM D2444	62%	---
Penetración a 25°C, 100g 5 segundos AASHTO T49 ASTM D5	40	90
Ductilidad a 25°C, 5cm/min en cm AASHTO T51 ASTM D113	40	---
Solubilidad en tricloroestileno en porcentaje AASHTO T44 ASTM D2042	---	97.5

**Tabla 3.5 Especificaciones para la Emulsión CQS-1H**

### 3.13 Procesos Constructivos

#### 3.13.1 Proceso Constructivo de Tratamientos Superficiales

##### ➤ Preparación de la Superficie de la Capa Base

Consiste en la aplicación de asfalto a la superficie de una capa base sin asfalto, con los propósitos siguientes:

**Impermeabilizar la superficie de la base.**

Sellar y juntar las partículas sueltas de material inerte.

**Endurecer la superficie.**

Promover una adhesión entre la, base y el tratamiento



Figura 3.6 Aplicación de Asfalto sobre Base Granular

##### ➤ Colocación de la Capa Superficial

Sobre la superficie preparada de la base se esparce de 1 a 2.5 litros, por metro cuadrado de superficie, de asfalto de baja viscosidad, y se le hace penetrar lo más profundamente posible. Si el asfalto no es absorbido por completo en las próximas 24 horas, el exceso debe ser sacado aplicando la cantidad justa e

indispensable de material de secado, para prevenir desprendimientos con el tráfico.

➤ **Esparcido del Asfalto**

Antes de comenzar la operación, debe hacerse una línea a lo largo del camino, que servirá de guía al conductor del camión distribuidor. Esta línea puede hacerse unos 2 pies afuera del área a asfaltarse y pueden usarse rocas de un tamaño más o menos uniforme. En las calles de la ciudad pueden usarse las cunetas de la acera como guías.

Es conveniente proteger la cuneta de los derrames, o cubrirlo con una coraza o papel.

El largo de cada esparcido debe ser determinado antes de comenzar la faena de la aplicación del asfalto, de acuerdo con el número de camiones que transporta el agregado, que haya disponibles. Otro factor muy importante, que debe tenerse presente, es determinar los períodos de tiempo entre el esparcido del asfalto y el esparcido del agregado. De ninguna manera se esparcirá más asfalto que el que se quiera cubrir con agregado en menos de un minuto. Habrá también que considerar, para el asentamiento del largo del esparcido, tanto la cantidad de tráfico a controlarse, como, el movimiento en las intersecciones con otros caminos.

Una vez efectuados todos los ajustes y chequeos necesarios, incluyendo el calentamiento del asfalto hasta que adquiera la viscosidad apropiada para esparcirla, la aplicación en proporción correcta no debiera presentar problemas.

El conductor del distribuidor, sencillamente se limitará a mantener la velocidad preestablecida, de acuerdo con la lectura del dial del bitumen. El chequeo de la cantidad de asfalto consumido deberá hacerse de cada trayecto.



**Figura 3.7 Esparcido del Asfalto Sobre Base Tratada**

#### ➤ **Uniones Transversales (Empalmes)**

Las uniones transversales, ásperas e imperceptibles, pueden ser cortadas empezando y terminando el esparcido de asfalto y agregado en papel. El papel debe ubicarse de modo que la orilla delantera quede localizada en la unión deseada. El distribuidor guiado a la velocidad correcta para la proporción deseada de aplicación, debiera empezar esparciendo en el papel de modo que cuando toque la superficie, la barra esparcidora estará produciendo una aplicación completa y uniforme. Una segunda hilera de papeles debería ser

ubicada, atravesando la vereda, en el punto de término predeterminado por el distribuidor. Esto dará una junta derecha y afilada. Después que el esparcido de agregado ha pasado sobre el papel, debe ser inmediatamente removido y destruido. Para la próxima aplicación, el borde de ataque (sobresaliente) del papel, debe ser ubicado en la capa previa de tratamiento, de modo que estará dentro de 1½ pulgada de la línea de rompimiento o término. Esto impedirá un vacío entre ambos esparcidos.

#### ➤ **Juntas Longitudinales**

Las aplicaciones completas de asfaltos y agregado, eliminarán las juntas longitudinales, pero en la mayoría de los tratamientos, el tráfico debe ser mantenido en la mitad longitudinal del camino, por lo tanto, la junta es ineludible. Además, no debe hacerse una cubierta de asfalto de ancho completo, a menos que el distribuidor sea capaz de aplicar toda la presión, a toda la barra esparcidora y las provisiones puedan seguir inmediatamente, con una cubierta de agregado a todo ancho.

Para impedir al agregado de acumulaciones, en la junta longitudinal, la orilla del esparcido de agregado deberá coincidir con la orilla del grosor completo del asfalto aplicado. Esto permitirá un ancho que podrá ser superpuesto cuando se aplique asfalto en la vereda adyacente. Después, cuando el agregado sea esparcido para el ancho completo, en la próxima vereda, no habrá acumulaciones en la junta. El ancho de la franja variará, dependiendo de que la

altura de la barra forme o no, abanicos dobles y triples y por los espacios entre los boquetes.

Si es posible, la junta longitudinal debería estar a lo largo de la línea central del pavimento que se está tratando. Debería usarse una guía establecida para asegurar que la junta longitudinal quede justamente en el centro del camino.

➤ **Distribución del Agregado**

Todo el agregado necesario para el esparcido planeado deberá estar a mano antes de empezar. Cuando se mueva el distribuidor hacia adelante para esparcir el asfalto, el esparcidor de agregado debe empezar inmediatamente detrás. Es esencial que el asfalto sea cubierto dentro de un minuto a lo sumo, ya que el aumento de viscosidad que se produce dentro de ese tiempo puede impedir una buena humedad y junta del agregado. Es también importante que el agregado se esparza uniformemente y en la proporción apropiada. Es una aplicación simple, normalmente el agregado no se pegará al asfalto en más del grosor de una partícula, así es que resulta inútil aplicarlos en una proporción mayor que el grosor de una capa simple.

Un control de alto grado se logra con esparcidoras mecánicas, empujadas por tractor, o con esparcidoras automáticas. Una proporción uniforme de aplicación se obtendrá con un esparcidor correctamente ajustado, si se mantiene un taquímetro para asegurar una velocidad uniforme.

Otra ayuda para controlar la proporción de distribución, es cubriendo el largo con la carga de agregado de cada camión. El exceso de agregado, si se ha

dejado en algunas áreas, debe ser removido de inmediato con palas cuadradas. En áreas donde la aplicación es insuficiente, debe añadirse agregado adicional, lo más rápido posible.



**Figura 3.8 Proceso de distribución de Agregado**

### ➤ **Compactación**

Esto asienta el agregado en el asfalto y promueve la junta que es necesaria para resistir el paso del tráfico. El Instituto del Asfalto recomienda que en todos los tratamientos de superficies, se use compactadoras con ruedas neumáticas. Aunque ambos tipos dan buenos resultados, el primero da una presión uniforme, a toda el área, mientras que la rueda de acero hará presión sólo en los lugares más altos. Además, la presión de contacto, de la aplanadora de neumáticos, puede ser bajada para prevenir el tratamiento de las partículas suaves. En todo caso deberían usarse aplanadoras automáticas para cada

esparcidor de agregado. El aplanamiento debería empezar inmediatamente después de la distribución del material cubridor, con una compactadora neumática y continuar hasta que el agregado se asiente apropiadamente en el tratamiento superficial.

Tan pronto como el agregado tenga un asentamiento, o se haya endurecido, la compactación debe ser interrumpida o la junta entre asfalto y el agregado podría romperse con la compactadora. El aplanamiento debería empezarse en la línea de afuera del tratamiento, y proceder en dirección longitudinal, avanzando hacia el centro del trabajo. Cada viaje debe sobreponerse al viaje anterior, en más o menos la mitad del ancho de las ruedas delanteras o del rodillo.

➤ **Barrido**

El agregado distribuido en forma apropiada no requerirá redistribución, y las dragas deberían ser eliminadas. Las dragas tienden a trasladar las partículas más pequeñas al fondo e impedir la adhesión de las partículas más grandes. También tienden a desalojar o desglosar el agregado adherido, dando vuelta la parte asfaltada hacia arriba, de modo que las ruedas del tráfico terminan por desprenderlo.

➤ **Remoción del exceso de agregado**

A pesar de las precauciones, siempre habrán partículas sueltas de agregado en la superficie del camino, después de completada la operación de aplanamiento.

Antes de que se cubra con asfalto, se debe barrer el agregado suelto a lo largo de la junta.

El agregado que no adhiere crea un problema, ya que los neumáticos en vehículos rápidos, cogerán las partículas sueltas arrojándolas contra los vehículos siguientes, dañando a menudo faroles delanteros, parabrisas y los niquelados. Estas partículas deben ser removidas, por un barrido ligero con una barredora rotatoria durante el fresco de la mañana (temprano) cuando el asentamiento final del asfalto ya ha ocurrido.

➤ **Control del Tráfico**

En el área de trabajo, el control del tráfico es un factor de gran importancia, si se quiere obtener un trabajo de alta calidad. Un tráfico de alta velocidad, sobre un tratamiento fresco, desplazará el agregado, produciendo una superficie negra, aceitosa y resbaladiza. El tráfico debe ser sencillamente desviado, en caso de no ser esto posible, permitirlo solamente en el carril que está en construcción. Cuando el trabajo esté completado y el asfalto inicial se haya asentado, el tránsito debe ser controlado a una velocidad moderada hasta que el asentado del asfalto haya sido definitivo.

El tiempo que demore el último asentamiento dependerá de las condiciones climatológicas. El tráfico dirigido a través de las áreas de trabajo se hará de modo que los operarios tengan la máxima seguridad y las menos interrupciones posibles en sus trabajos el control del tráfico debe ser mantenido fuera del área de trabajo.

El mejor modo de controlar el tráfico, es con señales de advertencia, banderilleros, y un piloto de tractor, guiando los vehículos fuera de la zona de trabajo.

El control de tráfico debe extenderse al equipo de transporte. Los camiones del agregado, deberán ser puestos en ruta hacia el esparcidor en la dirección contraria a la de los trabajos de tratamiento de superficie. Esto, les impedirá regresar por el lugar, fresco del tratamiento. Todos los camiones deberían, dar vuelta en un lugar designado, lejos del área de trabajo.

### **Factores de Control**

Durante la ejecución de la obra se deben efectuar los controles siguientes:

➤ **Condiciones climáticas.**

Es ideal un clima cálido, seco. No se debe trabajar si la temperatura ambiente es menor de 10 °C para emulsiones asfálticas y 15 °C para cementos asfálticos y asfaltos rebajados, o si la temperatura superficial es menor de 21 °C. No debe trabajarse si hay tiempo neblinoso o posibilidades de lluvia

➤ **Condiciones de la superficie.**

➤ La superficie deberá estar limpia, libre de materias extrañas y secas, sin acumulaciones de bitumen correspondiente a la imprimación o liga.

➤ **Equipos**

Todas las partes de los equipos deben examinarse de modo de tener la certeza que están en buenas condiciones de trabajo. Se debe verificar que

la barra regadora esté colocada a la altura correcta para el traslape adecuado y que todas las boquillas estén limpias y en el ángulo adecuado.

- Granulometría y humedad de los agregados, según especificaciones.
- Temperatura de aplicación del asfalto, según gráfico viscosidad.
- Control de las cantidades de asfalto (ASTM D 2995-79) y agregados aplicadas según dosificación.
- Muestreo de todas las partidas de asfalto llegadas a la obra para su análisis de calidad.

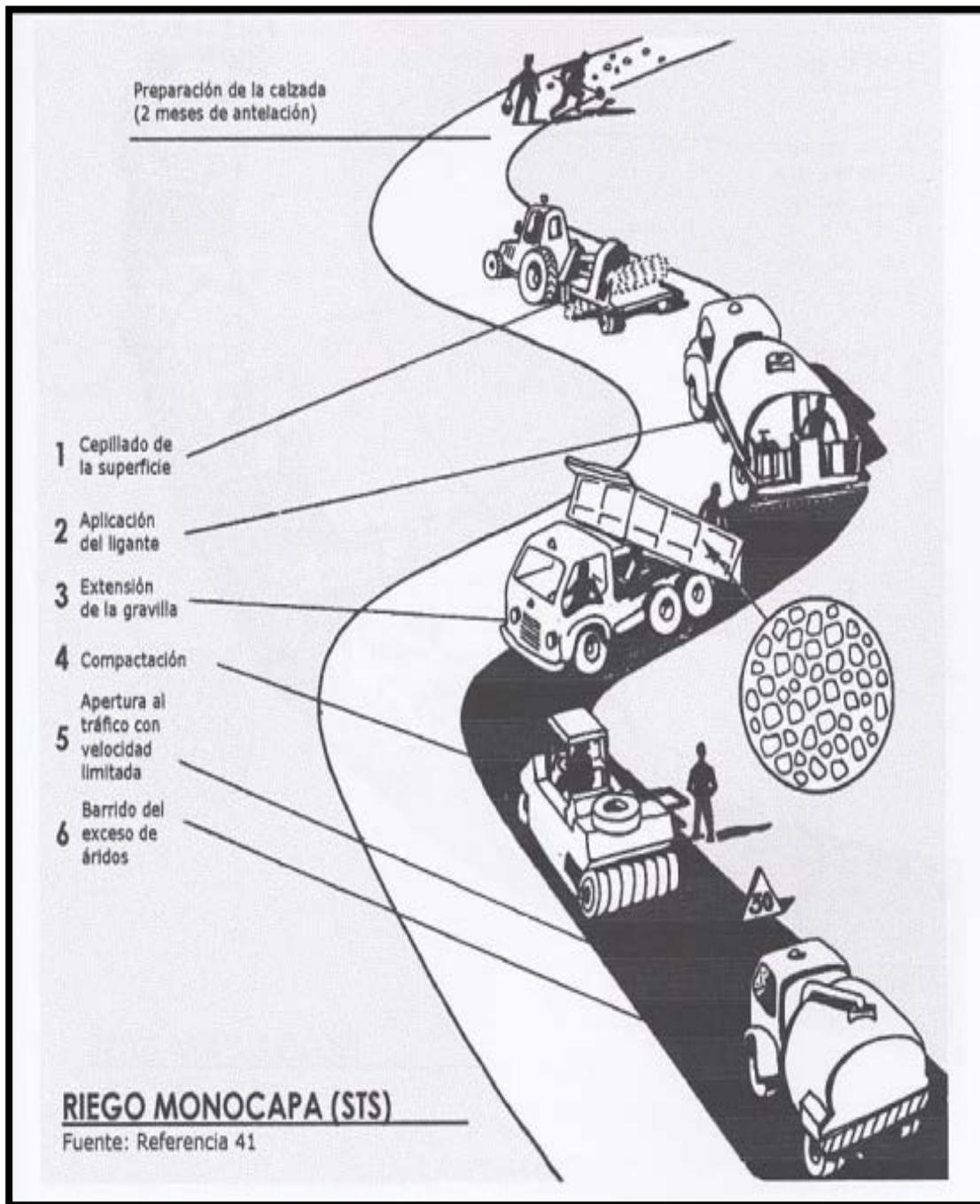


Figura 3.9 Proceso Constructivo Tratamiento Superficial Simple

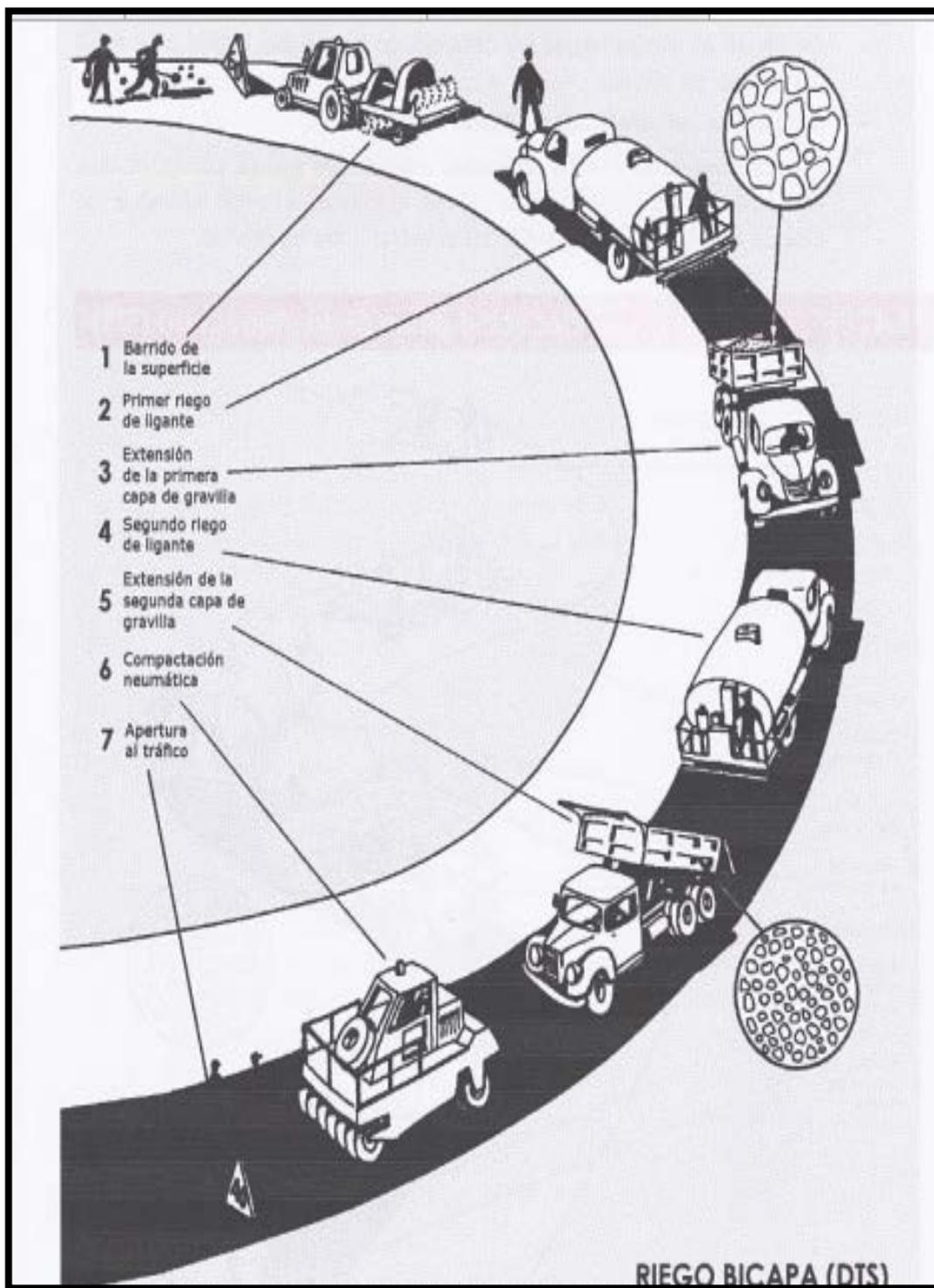


Figura 3.10 Proceso Constructivo Tratamiento Superficial Doble

### **3.13.2 Proceso constructivo de Lechadas Asfálticas**

Es de gran importancia la colocación de dispositivos de seguridad transitorios y verificar que todo el personal disponga de la vestimenta obligatoria en buen estado, y asegurar el control adecuado del tránsito.

Un paso importante en la selección de los materiales adecuados y de una mezcla compatible, es realizar una mezcla de diseño en el laboratorio previamente a la aplicación. “Una correcta combinación de materiales debería producir una lechada con una textura homogénea cremosa que fluiría suavemente como una onda por delante de la enrasadora. No debiera haber escurrimiento de la lechada.”

➤ **Calibración de la maquina**

Es esencial calibrar cada máquina de lechada con los mismos materiales del proyecto. La calibración debería respetar las proporciones de los materiales correspondientes al diseño de la mezcla. Pueden aceptarse informes sobre calibraciones previas con estos mismos materiales, si aquellos fueron realizados dentro del actual año calendario. Deberían realizarse aplicaciones de prueba como una verificación final de la consistencia y trabajabilidad de la lechada.

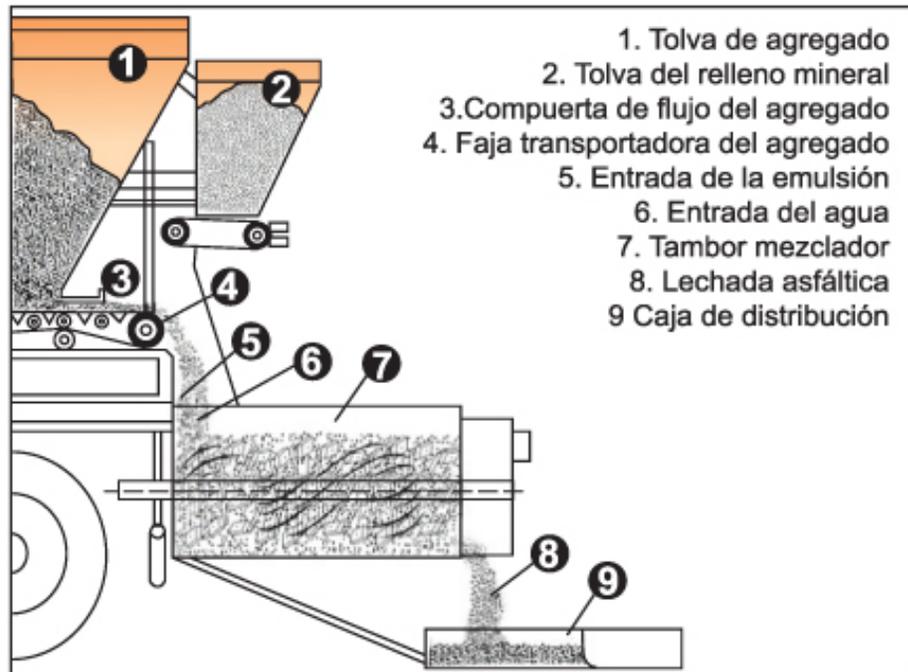


Figura 3.11 Diagrama Típico de Mezcladora para Lechada Asfáltica



Fotografía 3.1 Calibración de Máquina para Aplicación de Lechada Asfáltica

➤ Preparación de la superficie

Es importante reparar todas las áreas de falla previamente a la aplicación de la lechada asfáltica. Sellar las fisuras en la superficie del pavimento con un aceptable sellado de fisuras. Finalmente, la superficie debe ser limpiada de todos los materiales sueltos, manchas de aceite, vegetación y toda otra materia extraña. Cualquier método estándar de limpieza será aceptable.

	<p>En caso de que la superficie en la que se colocará el micropavimento este demasía lisa deberá levantarse una pequeña capa de dicha superficie para mejorar la adherencia del micropavimento en la misma.</p>
	<p>Debe limpiarse la superficie hasta retirar la mayor parte de partículas sueltas antes de poder colocar el micropavimento</p>

**Figura 3.12 Proceso de preparación de superficie**

Si se emplea agua, las fisuras deberán estar secas antes de la aplicación de la lechada asfáltica. A menos que la superficie del pavimento esté extremadamente "seca" y haya sufrido severos desprendimientos o se trate de un pavimento de concreto, en general no es necesario un riego de liga

(tackcoat) previamente a la aplicación de la lechada asfáltica. El riego de liga debe curar antes de aplicarse la lechada asfáltica.

Cuando las condiciones locales lo requieran, la superficie será ligeramente humedecida con una muy fina aspersion de agua por delante de la caja distribuidora. La cantidad unitaria de aplicación de la aspersion debe ser ajustada durante el día para adaptarse a las condiciones existentes. Para la aspersion con agua, la máquina de lechadas dispone de barras de riego. Se debe evitar una excesiva aspersion, que origina charcos delante de la caja distribuidora.

Durante la aplicación de la lechada asfáltica, no debe haber grumos, ni apelonamientos ni haber material grueso sin mezclar en la caja distribuidora. En cada parte de la caja distribuidora debe haber suficiente material para lograr un cubrimiento completo. Debe evitarse sobrecargar la caja distribuidora.



**Fotografía 3.2 Caja distribuidora con lechada asfáltica**



**Fotografía 3.3 Aplicación de Micropavimento, Carretera El Litoral (CA02) Km 14 entre Carretera al Aeropuerto Internacional Monseñor Oscar Arnulfo Romero y Zacatecoluca, El Salvador.**

➤ Reparación de imperfecciones

Las estrías como aquellas causadas por un agregado de tamaño excesivo, deben ser reparadas inmediatamente con una escoba de goma de mano.

Debe ponerse cuidado en evitar la excesiva acumulación de lechada asfáltica en las juntas longitudinales y transversales. En juntas longitudinales se permite un máximo traslapo de 150 mm (6 pulgadas).

➤ Control de juntas transversales

Debe ponerse cuidado en evitar la excesiva acumulación de lechada asfáltica en las juntas longitudinales y transversales. En juntas longitudinales se permite un máximo traslapo de 150 mm (6 pulgadas).

Las juntas transversales deben ser lo suficientemente suaves para permitir un desplazamiento cómodo de los vehículos.

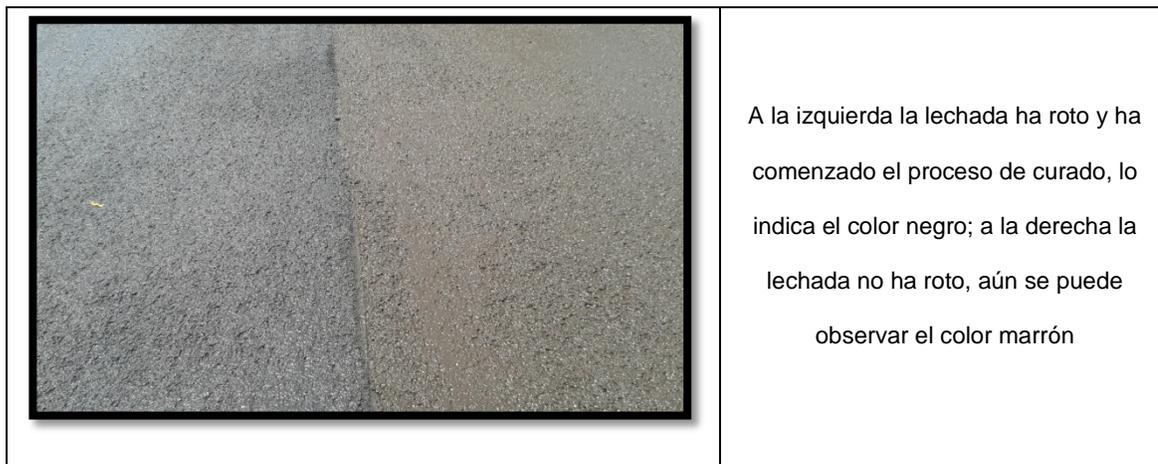
Para mejorar las juntas, corregir imperfecciones menores y colocar la lechada en áreas inaccesibles a la máquina, se emplean rastras y escobas manuales. El área a ser trabajada manualmente debe primero ser ligeramente humedecida con agua. Luego, la lechada asfáltica puede ser colocada e inmediatamente trabajada con las escobas de goma de mano. Debe ponerse cuidado en no dejar las áreas trabajadas a mano con una apariencia desagradable. La aplicación manual de la lechada asfáltica debería limitarse a, y sólo debe realizarse en, áreas imposibles de acceder con la máquina.



Preparación de las juntas transversales



Las juntas transversales deben ser los más suaves posibles



**Tabla 3.6 Proceso de preparación de juntas**



**Fotografía 3.4 Corrección de Imperfecciones en las Juntas, Tramo Apopa – Quitasol, El Salvador.**

➤ Compactación

Rara vez es necesaria la compactación de una lechada asfáltica. El uso de un compactador neumático puede ayudar en proyectos de aeropuertos y estacionamientos, donde el tráfico existente no alcanza a compactar

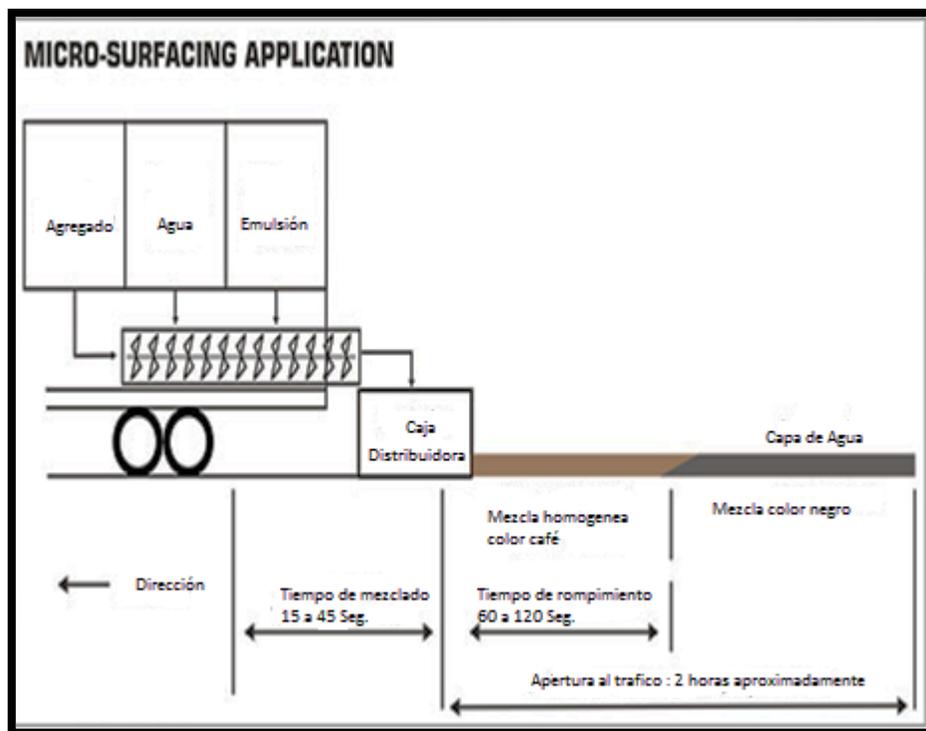
suficientemente la lechada luego de su aplicación. Un compactador neumático de nueve ruedas, con un peso de entre 9 y 11 toneladas, con una presión de 350-425 kPa (50-60 libras por pulgada<sup>2</sup>), es adecuado, y en general son suficientes dos pasadas. Es importante compactar cuando el proceso de rotura de la lechada asfáltica está lo suficientemente 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 adecuados para lechadas asfálticas. Estos compactadores tienden a apoyarse sobre las zonas altas del pavimento, dejando sin compactar las áreas bajas. Además, dejan marcas en la superficie y pueden triturar el agregado de mayor tamaño.



**Fotografía 3.5 Micropavimento recién colocado se pueden observar la coloración marrón previa a la ruptura y el color negro posterior a la ruptura**

➤ Control de temperatura

Las lechadas asfálticas no deberían colocarse cuando la temperatura del pavimento y del ambiente sea menor de 15 °C. Nunca debe aplicarse un mortero, cuando se espere que las condiciones climatológicas puedan prolongar el tiempo de curado. Las lechadas asfálticas no deberían ser aplicadas en condiciones de niebla excesiva o en períodos de lluvia.



**Figura 3.13 Esquema de Aplicación de Micropavimento**

### **3.14 Propuesta de mejoras a procesos constructivos de lechadas asfálticas en el mantenimiento de obras viales en el salvador.**

Como parte de esta investigación se realizaron visitas de campo para presenciar la colocación del micropavimento en proyectos realizados en el Cantón la Joya, municipio de Ilopango y en el nuevo retorno en Quezaltepeque. De la experiencia de campo se resaltan aspectos importantes los cuales se detallan a continuación, proponiéndose la implementación de ellos o mejorando la ejecución de los mismos a fin de obtener una mayor calidad en los micropavimentos colocados en las vías de nuestro país.

- **Mantenimiento y calibración de equipo.**

Es de vital importancia hacer un adecuado chequeo del equipo del cual se dispone, realizando las pruebas necesarias para garantizar la funcionalidad de este. Dichas pruebas deberán realizarse antes de movilizar la maquinaria al lugar de la obra y así evitar pérdidas de tiempo y dinero debido a suspensión de labores por fallas en la maquinaria.



**Fotografía 3.6 Paro de labores debido a fallas en maquinaria**

➤ Visitas de campo previas

Debe realizarse visitas previas al lugar de colocación del micropavimento y así verificar que las condiciones propuestas para el diseño estén en concordancia con las del lugar del proyecto.

➤ Limpieza y preparación 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 funcionales.



**Fotografía 3.7 Limpieza de material suelto en la superficie**



**Fotografía 3.8 Proceso de barrido para preparación de la superficie**

La hierba y maleza que crece sobre el pavimento, tendrán que ser quitada antes de que la mezcla sea aplicada. La presencia de manchas de grasa extensas o superficies saturadas de aceite deberán ser quitadas o tratadas antes de la aplicación de la mezcla. La utilización de detergentes industriales ayudará en el lavado de las manchas.



**Fotografía 3.9 Limpieza de superficie a tratar**

- Protección de las tapaderas de pozos de inspección y tapas de válvulas de agua potable

Se deberá cortar papel o plástico de acuerdo al tamaño y será adherido a las tapaderas usando pegamento, además se deberán realizar bocetos de la ubicación de cada tapa para su posterior ubicación.



**Figura 3.14 Protección de tapaderas de pozos o válvulas de agua**

➤ Control del tráfico

Tanto antes como después de la colocación de la mezcla, se debe hacer uso de la correspondiente señalización que garantice la protección del personal que ejecute la obra, así como para proteger el micropavimento recién colocado del daño que puede producir la apertura de tráfico.

**CAPITULO IV**  
**PROCESO DE DISEÑO PARA**  
**MICROPAVIMENTO**

## **4 Proceso de diseño para micropavimento**

### **4.1 Metodología para el Diseño de Micropavimento**

El método de diseño está basado en la “International Slurry Surfacing Association”, ISSA, además los ensayos se sustentan en las normas de la “American Association of State Highway and Transportation Officials”, AASHTO, “American Society for Testing Materials”, ASTM

El diseño definitivo de un micropavimento debe establecer aspectos específicos como:

**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.

**Las características de curado y fraguado:** Asegurar que la mezcla fragüe en el tiempo establecido, 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.

**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.

**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.

La metodología de diseño puede resumirse en los pasos siguientes:

**1. Caracterización de los materiales.**

Inicialmente debe 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 intrínseco en la mezcla.

**2. Caracterización de la mezcla.**

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 solicitaciones esperadas de diseño.

Los pasos anteriores pueden resumirse y describirse en base a los procedimientos siguientes:

- Ensayo de Consistencia con el Cono Kansas. (ISSA TB 106)
- Prueba de Tiempo de Mezclado (ISSA TB 113)
- Prueba de Desgaste por Abrasión en Húmedo (ISSA TB 100)
- Prueba de Rueda Cargada, LWT, (ISSA TB 109)
- Prueba de Cohesión en Húmedo, (ISSA TB 139)

## 4.2 Diseño de Micropavimento tipo III: Dosificación de Diseño, Materiales

### Componentes de la Mezcla.

Tipo	Proporción	Ensayo de Calidad para su Determinación	Especificación según ISSA A 143
Emulsión Asfáltica Modificada con Polímero Tipo CQS-1hp	Óptimo de Diseño: 11% (6.93% Residuo asfáltico por peso de agregado seco).	ISSA TB 100 (WTAT) vrs. ISSA TB 109 (LWT)	5.5% -10.5% Residuo Asfáltico por peso de agregado seco.
Filler Mineral	Óptimo de Diseño: 1.0 % por peso de agregado seco.	ISSA TB 139	0.0 - 3% Por peso de agregado seco.
Contenido de Polímero	Óptimo de Diseño: Igual o mayor al 3% basado en el peso del contenido del asfalto.	AASHTO T 59 (ASTM D 6997)	Mínimo el 3% de polímero basado en el peso del contenido de asfalto en la emulsión de diseño.
Aditivo	Óptimo de Diseño: Sin agregar aditivo para mezclar.	ISSA TB 145	Depende de las condiciones ambientales del proyecto.
Agua Adicional para Mezcla	Óptimo de Diseño: (Rango del 6.6 a 7.6% de agua adicional a la emulsión por peso de agregado seco).	ISSA TB 106	Depende de las condiciones ambientales del proyecto.
<p>NOTA: Los valores antes mencionados, han sido determinados como los rangos óptimos de contenido de los , materiales componentes de la mezcla de micropavimento de diseño, los cuales se han escogido en base a los resultados de las pruebas ISSA TB especificadas en el cuadro anterior. Algunos ensayos han sido realizados bajo condiciones ideales y fácilmente controlables en laboratorio, por lo cual en muchos casos los valores óptimos representarían rangos de aceptación de contenido de los elementos.</p>			

**Tabla 4.1 Dosificación de Diseño: Materiales Componentes de la Mezcla**

### 4.3 Diseño de Micropavimento tipo III: Hoja de Resumen Parámetros de Calidad de Materiales y Evaluación del Desempeño

Tipo y Calidad de los Materiales							
Tipo	Descripción	Norma de Ensayo de calidad Según ISSA A 143	Especificación	Resultado de Diseño	Aceptación		
Ligante Bituminoso: Emulsión Modificada con Polímero: CQS – 1hp	Emulsión catiónica de rompimiento acelerado controlado	REQUERIMIENTOS: AASHTO M 208 (ASTM D 2397)	Viscosidad Saybolt Furol 20 a 100s	26.31 s	OK		
			Prueba del Tamiz Max. 0.10%	0.08%	OK		
			Penetración, 25°C, 100g, 5s: 40 a 90 dmm	63.3 dmm	OK		
			Ductilidad, 25°C, 5cm/min: Mín. 40 cm	131 cm	OK		
		<b>EXCEPCIONES A LOS REQUERIMIENTOS DE AASHTO M 208 (ASTM D 2397) SEGÚN ISSA A 143</b>					
		AASHTO T 59 (ASTM D 6930)	Estabilidad en almacenamiento a 24h Max. 1%	0.8%	OK		
			Destilación Min. 62%	64.71%	OK		
		AASHTO T 53 (ASTM D 36)	Punto de ablandamiento (anillo y bola) Mín. 57°C	59.5°C	OK		
Agregado Mineral Triturado	ISSA tipo III	AASHTO T 27 (ASTM C 136) AASHTO T 11 (ASTM C 117)	ISSA A 143 SECCIÓN 4.2.3: GRADACIÓN TIPO III	CUMPLE	OK		
		<b>ISSA A 143 SECCIÓN 4.2.2: ENSAYOS DE CALIDAD DE AGREGADOS</b>					
		AASHTO T 176 (ASTM D 2419)	65 % Min.	78.57%	OK		
		AASHTO T 96 (ASTM C 131)	30% Max.	22.37%	OK		
<b>ISSA A 143 Sección 5.2: Diseño de Mezcla: Evaluación del Desempeño</b>							
Ensayo	ISSA TB N°	Especificación		Resultado de Diseño	Aceptación		
Tiempo de Mezcla (25°C)	TB 113	Controlable a 120 s mínimo		220 S	OK		

Cohesión Húmeda: 30 minutos mín. (curado) 60 minutos mín. (tráfico)	TB 139	12 kg-cm (mínimo)	15.6 kg-cm	OK
		20 kg-cm o casi giro completo (mínimo)	25.7 kg-cm	OK
Pérdida por Abrasión Húmeda: 1 hora de inmersión	TB 100	538 g/m <sup>2</sup> máximo	213.85 g/m <sup>2</sup>	OK
Exceso de Asfalto por LWT Adhesión de Arena	TB 109	538 g/m <sup>2</sup> máximo	273.06 g/m <sup>2</sup>	OK

**Tabla 4.2 Parámetros de Calidad de Materiales y Evaluación de la Performance**

#### **4.4 Prueba de calidad de los agregados**

La química del agregado es extremadamente importante por esto 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.

El procedimiento que se tuvo para el control de calidad de los materiales fue el siguiente:

- Ensayos de calidad y características del agregado fueron realizados en el Laboratorio de Pavimentos de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador y en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Empresa Asfaltos de Centro América SA de CV, ASFALCA.

- Ensayos de calidad de la emulsión fueron realizados en el Laboratorio de Control de Calidad de la Empresa Asfaltos de Centro América SA de CV, ASFALCA.

Los principales ensayos que se realizan al agregado mineral para establecer su calidad y aptitud para ser utilizados en sistemas de microsurfacing son los siguientes.

#### **Ensayo granulométrico AASHTO T27, ASTM C 136**

Este ensayo consiste en la separación a través de una serie de tamices de abertura conocida una masa conocida de agregado seco, para la determinación de la distribución de tamaños de las partículas que constituyen el agregado mineral. La granulometría del agregado debe acoplarse con los requerimientos granulométricos tipo II y tipo III establecidos por la ISSA.

**Procedimiento:** Se obtiene una muestra representativa del agregado la cual es reducida a tamaño de ensayo según ASTM D 702 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), para dicha muestra se determina el porcentaje de finos menores de 75  $\mu\text{m}$  (# 200) siguiendo el proceso de lavado descrito en ASTM C 117. Luego la muestra es secada al horno a  $110 \pm 5^\circ$  hasta obtener masa constante. (**Ver Cap. 5, formulario A-1**)



**Fotografía 4.1 Reducción de muestra a tamaño de ensayo**

La muestra secada al horno es tamizada 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 4.2 Proceso de tamizado en agitador mecánico**



Fotografía 4.3 Fracciones de material ya tamizados

### **Equivalente de arena AASHTO T 176, ASTM D2419**

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 término “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.

**Procedimiento:** Se vierte un volumen medido de agregado y una pequeña cantidad de solución floculante dentro de un cilindro plástico graduado, agitándose para soltar el recubrimiento de arcilla presente en las partículas del 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 en el cociente de la altura de arena entre la altura de la arcilla por 100. . **(Ver Cap. 5, formulario A-3)**



**Fotografía 4.4**Equipo utilizado para ensayo Equivalente de arena



**Fotografía 4.5** Preparación de muestra a ensayar



**Fotografía 4.6 Proceso de colocación y agitación de material en probeta**



**Fotografía 4.7 Irrigación de probeta y colocación del conjunto disco, varilla, sobrepeso**



**Fotografía 4.8 Lecturas de arcilla y arena**

### **Abrasión por la máquina de los Ángeles AASHTO T96, ASTM C131**

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 granulometría 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

Procedimiento: Para determinar la resistencia al desgaste en la máquina de los Ángeles (abrasión), se toma una muestra representativa de 5000gr. La muestra se somete a un lavado para limpiar las impurezas y luego secada al horno por un tiempo de 12 horas a la temperatura de 110 °C. Luego de preparada la muestra, se introducen las esferas de acero en el equipo, junto con el agregado y se aplican 500 revoluciones, por un tiempo aproximado de 30 minutos. Una vez terminado este ciclo, el material fino se tamiza por la malla N° 12 a fin de determinar el porcentaje de desgaste. **(Ver Cap. 5, formulario A-2)**

#### **4.5 Relleno Mineral**

De acuerdo a la norma ISSA A143, se pueden utilizar indistintamente como relleno mineral: cemento Portland Tipo I, cal hidratada, polvo de piedra caliza o ceniza volcánica, con un porcentaje mínimo del 0.00% y un máximo de 2 %. La adición de este relleno mineral tiene como finalidad incrementar las propiedades de manejabilidad en la mezcla, así como, mejorar la parte fina de la curva granulométrica de los agregados, influyendo en el comportamiento a la ruptura y curado del mortero asfáltico, pudiendo acortar los tiempos a la apertura del tránsito.

En el diseño elaborado se utilizó 0.5% de filler con respecto al agregado



Figura 4.1 Filler utilizado en el Diseño de Mezcla

#### 4.6 Pruebas de Calidad a las Emulsiones Asfálticas.

Consisten en una serie de ensayos que se realizan sobre la emulsión para determinar si cumple con las especificaciones requeridas en un uso particular. Estas pruebas se aplican para el control de calidad tanto en su fabricación como en su aplicación. **(Ver anexo 1)**

##### 4.6.1 Pruebas a la Emulsión

###### **Prueba de Tamizado (ASTM D 6933)**

El objetivo de esta prueba es determinar cuantitativamente, el contenido de asfalto presente en forma de glóbulos relativamente grandes, que pudieran obstruir los equipos de aplicación. Además de indicar que tan estable puede encontrarse la emulsión asfáltica. **(Ver cap. 5 formulario E-3)**

	<p>1° Determinar el peso del tamiz</p>
	<p>2° Determinar el peso de la muestra, la cual deberá ser suficiente para los ensayos de calidad de la emulsión</p>
	<p>3° Verter la emulsión a través del tamiz en otro recipiente</p>
	<p>4° Pesar el tamiz más los glóbulos retenidos</p>

	<p>5° Colocar durante 2 horas en el horno a una temperatura de 60° el tamiz más la muestra retenida</p>
---	---

**Tabla 4.3 Proceso para la realización de prueba de tamizado en emulsiones asfálticas**

### **Asentamiento o Estabilidad en Almacenamiento (ASTM D 244 29/32)**

El objeto de la prueba es obtener un índice de la tendencia de las gotas de asfalto al sedimentarse durante el almacenamiento prolongado de la emulsión. El equipo típico utiliza dos cilindros de 500 ml de capacidad con tapón de corcho o vidrio. Se coloca en cada cilindro una muestra de 500 ml de emulsión y se dejan en reposo durante cierto tiempo (24 horas), a temperatura ambiente. Transcurrido ese tiempo, se destapan los cilindros y se toman 50 g de la parte inferior y superior de cada uno, tratando de no alterar el resto de la muestra, y se examina el residuo asfáltico por evaporación. El asentamiento se reporta como la diferencia de los promedios porcentuales de asfalto de la parte inferior y superior. El valor máximo permisible de asentamiento es de 1% a las 24 horas para cualquier tipo de emulsión. . (**Ver Cap. 5, formulario E-3**)

	<p>1° Determinación de la muestra y almacenamiento a 24 horas</p>
	<p>2° Determinar el peso de dos recipientes en los que se depositará 50 g del fondo de la muestra y 50 g de la parte superior de la muestra</p>
	<p>3° Extracción de los 50 g de la parte superior de la muestra</p>

	<p>4° Mecanismo para extraer la mayor parte de la muestra y dejar en la probeta la muestra del fondo</p>
<p>5° Se coloca al horno ambas muestras de la parte superior y del fondo y se determina el residuo asfáltico</p>	

**Tabla 4.4 proceso para la realización de ensayo Asentamiento Estabilidad en Almacenamiento**

### **Viscosidad Saybolt Furol (ASTM D 7496-11y D 88-94 (1999))**

Esta prueba cuantifica el estado de fluidez de la emulsión a la temperatura de estudio. Se lleva a cabo con un viscosímetro del tipo Saybolt, en el cual se mide el tiempo en que la muestra de emulsión llena un matraz aforado de 60 cm<sup>3</sup>. Este tiempo se utiliza como una característica del tipo de rompimiento de una emulsión; rápido, medio o lento. Los resultados se reportan en segundos Saybolt Furol, y por conveniencia y precisión de ensayo, se realiza a dos temperaturas, 25 °C y 50 °C, las cuales cubren el intervalo normal de trabajo.

***(Ver Cap. 5, formulario E-2)***



1° Viscosímetro Sabolt Furol y recipientes para determinar la viscosidad



2° Determinación de la muestra de ensayo a 25° C



3° Depositar la muestra en el viscosímetro

	<p>4° Dejar pasar la muestra hasta la marca de aforo del recipiente y determinar el tiempo.</p>
---	---

Tabla 4.5 Proceso para la realización de ensayo Viscosidad Saybolt Furol

### Gravedad Específica D 70

Como para cualquier corte petrolero, la gravedad específica de un asfalto es su densidad relativa al agua en las mismas condiciones de temperatura. **(Ver Cap. 5, formulario E-4)**

	<p>1° Determinar la masa del recipiente 2° Determinar la masa del recipiente lleno con agua</p>
	<p>3° Determinar la masa del recipiente con la muestra de asfalto hasta la marca de aforo</p>

	4° Determinar la masa del recipiente + la muestra + agua
---	---

Tabla 4.6 Proceso para la realización de ensayo gravedad específica

#### 4.6.2 Pruebas al Residuo Asfáltico

##### Destilación (ASTM D 244)

Con esta prueba se determinan las proporciones de agua y residuo asfáltico de la emulsión (y solvente, en caso de un asfalto rebajado). El residuo asfáltico se utiliza posteriormente en las pruebas de penetración, ductilidad y solubilidad. El método establece una destilación mediante un sistema como el que se muestra en la Fotografía 4.9. (*Ver Cap. 5, formulario E-1*):



Fotografía 4.9 Equipo utilizado para ensayo de Destilación



1° Obtener el peso del alambique



2° Determinar el peso del recipiente más la muestra

3° Controlar la temperatura de destilación y tomar el tiempo de destilación



4° La destilación esta por comenzar cuando el vapor sale.



5° Destilación



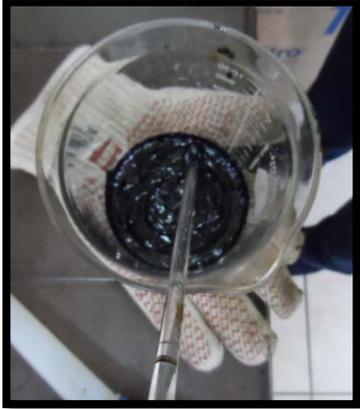
6° Determinar el contenido de aceite presente  
despues de la destilación

	<p>7° Pesar el alambique más la muestra después de la destilación para calcular el residuo asfáltico</p>
---	--

**Tabla 4.7 Proceso para la extracción del residuo por Destilación**

### **Residuo por Evaporación (ASTM D 6934)**

El objeto de esa prueba es determinar el residuo de las emulsiones asfálticas, mediante evaporación rápida. Resulta útil para determinar el contenido de asfalto en el menor tiempo posible, principalmente cuando se trata de analizar el residuo asfáltico procedente de una planta en operación. El ensayo consiste en determinar, por diferencia de peso, el contenido de asfalto de una muestra de emulsión que se somete a evaporación por calentamiento directo de un recipiente de dimensiones normalizadas. El residuo obtenido en este ensayo tiende a dar valores de penetración y ductilidad inferiores a los que se obtienen en el residuo por destilación, por esto no puede usarse este residuo para tales ensayos. **(Ver Cap. 5, formulario E-1)**

	<p>1° En tres recipientes colocar la misma cantidad de muestra y poner al horno a 163°C por 3 horas</p>
	<p>2° Transcurridas las tres horas determinar el peso del residuo asfáltico</p>

**Tabla 4.8 Proceso para la extracción del residuo por Evaporación**

**Residuo Asfáltico por método de Película Delgada AASHTO PP72 (Método “A”)**

Ésta práctica se utiliza para obtener un residuo de asfalto emulsionado para la prueba adicional en dispositivos tales como un reómetro de corte dinámico. Las temperaturas de evaporación bajas de este procedimiento proporcionan condiciones que son muy cercanas a la de las técnicas de aplicación para estos materiales. Con ésta práctica, en lugar de técnicas de recuperación, como las

de la T 59; las temperaturas utilizadas en dicha norma pueden afectar negativamente el residuo.

### Método A

Verter la cantidad requerida de emulsión asfáltica en un tapete de silicón con el apoyo de una bandeja de horno plana y esparcir uniformemente con una espátula para producir un índice de cobertura de 1,5 a 2,0 kg / m<sup>2</sup> de emulsión asfáltica. Utilizar la siguiente tabla como guía para las cantidades de asfalto emulsión asfáltica necesaria para producir la tasa diferencial correspondiente, para una zona determinada.

Emulsified Asphalt Spread Rate	Emulsified asphalt quantity in grams for each area in m <sup>2</sup> (ft <sup>2</sup> )			
	0.01 m <sup>2</sup> (0.11 ft <sup>2</sup> )	0.0225 m <sup>2</sup> (0.24 ft <sup>2</sup> )	0.04 m <sup>2</sup> (0.43 ft <sup>2</sup> )	0.0625 m <sup>2</sup> (0.67 ft <sup>2</sup> )
1.5 kg/m <sup>2</sup> (0.31 lb/ft <sup>2</sup> )	15.0 g	33.75 g	60.0 g	93.75 g
2.0 kg/m <sup>2</sup> (0.41 lb/ft <sup>2</sup> )	20.0 g	45.0 g	80.0 g	125.0 g

Note: The area dimensions correspond to the following square and circle sizes in mm.

Area	Square	Circle
0.01 m <sup>2</sup> (0.11 ft <sup>2</sup> )	100 × 100 mm (3.9 × 3.9 in.)	56.4-mm (2.22-in.) radius
0.0225 m <sup>2</sup> (0.24 ft <sup>2</sup> )	150 × 150 mm (5.9 × 5.9 in.)	84.6-mm (3.33-in.) radius
0.04 m <sup>2</sup> (0.43 ft <sup>2</sup> )	200 × 200 mm (7.8 × 7.8 in.)	112.8-mm (4.44-in.) radius
0.0625 m <sup>2</sup> (0.67 ft <sup>2</sup> )	250 × 250 mm (9.8 × 9.8 in.)	141.0-mm (5.55-in.) radius

**Figura 4.2 Cantidades de emulsión asfáltica a esparcir de acuerdo al área,  
AASHTO PP72-11, Método A**

Una vez esparcida la emulsión dejar reposar a 25°C durante 24 horas; Luego llevar al horno a 60°C durante 24 horas; sacar del horno y despegar la película del molde de silicón, calentar dicha película hasta que se vuelva fluida y verter en los moldes para pastillas de ensayo de reómetro.



1° Tapete de silicón



2° Verter la emulsión asfáltica



3° Esparcir uniformemente y dejar reposar 24 h.  
Llevar al horno por 24 h adicionales

	<p>4° Desprender la película de residuo. Colocar en un recipiente y calentar hasta que se torne fluido</p>
	<p>5° Elaborar las pastillas para las pruebas a realizarse en el diámetro</p>

Tabla 4.9 Proceso para la extracción del residuo por el método de la película delgada

### Penetración ASTM D 5

Esta prueba se realiza al asfalto residual después de que se ha roto la emulsión, y se ha eliminado la fase acuosa. El procedimiento es similar al realizado al asfalto solo, antes de ser emulsificado. **(Ver Cap.5, formulario E-4)**

	<p>1° Llenar la capsula de ensayo arras con la muestra</p>
---	--



2° Llevar la muestra a 25° C como temperatura de ensayo



3° Colocar la muestra en el penetrometro y ajustar la aguja lo más al centro posible para realizar en ensayo

	<p>4° Pasados los 5 s del ensayo registrar la lectura de penetración.</p>
---	---

Tabla 4.10 Proceso para la realización de prueba de Penetración

### **Ductilidad a 25 °C (ASTM D113). al Residuo de la Destilación**

La presencia o ausencia de ductilidad es importante porque mide cuanto el asfalto se estira antes de romperse bajo condiciones controladas. Los asfaltos dúctiles tienen normalmente a mejores propiedades aglomerantes. Por otra parte, asfaltos con una ductilidad muy elevada son usualmente susceptibles a los cambios de temperatura y por lo tanto a la deformación. **(Ver Cap. 5, formulario E-4)**



1° Preparar los moldes en lo que se coloca la muestra



2° Verter la muestra en los moldes a rebalsar para poder enrasarlos



3° Sumergir la muestra en agua a 25° C por 30 min.



4° Enrasar los moldes con la muestra y devolver a inmersión por 1.5 horas.

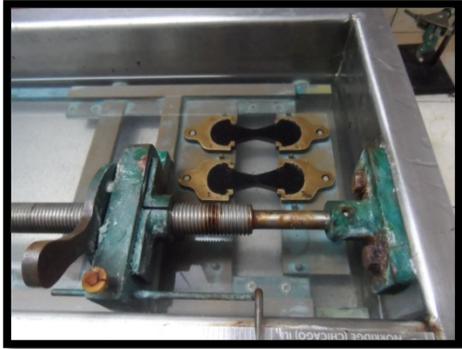
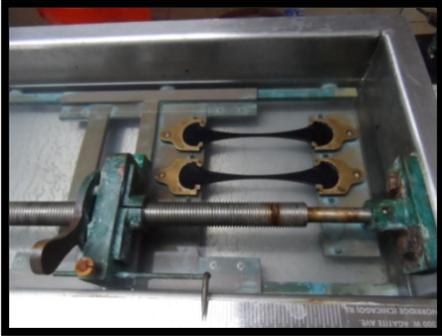
	<p>5° Colocar los moldes en el ductilometro</p>
	<p>6° Ensayar la muestra hasta que se corten los hilos debido al estiramiento de la misma</p>

Tabla 4.11 Proceso para la realización de prueba de Ductilidad

### **Ensayo de Recuperación Elástica (ASTM D 6084)**

Este ensayo está basado en el ensayo de Ductilidad. En éste se emplea la misma técnica para la preparación de las muestras, la diferencia está en los moldes que se utilizan para realizar el ensayo. La muestra es estirada a una velocidad de 5 cm/min, hasta una distancia de 10 cm. El hilo se corta al medio y al cabo de 30 min. Se mide la recuperación elástica. Se expresa la recuperación elástica como un porcentaje de la deformación aplicada.

El ensayo de acuerdo a las distintas especificaciones, puede realizarse a una temperatura de 7°C, 13°C y a 25°C.

Si la rotura del hilo se produce antes de los 10 cm, se tomará esta distancia para el cálculo de la recuperación elástica. (**Ver Cap. 5, formulario M-1**)

	<p>1° Preparar los moldes en lo que se coloca la muestra</p>
	<p>2° Verter la muestra en los moldes a rebalsar para poder enrasarlos</p>
	<p>3° Sumergir la muestra en agua a 25° C por 30 min.</p>

	<p>4° Enrasar los moldes con la muestra y devolver a inmersión por 1.5 horas.</p>
	<p>5° Colocar los moldes en el ductilometro</p>
	<p>6° Cortarlos hilos</p>
	<p>7° Juntar los hilos y esperar 1h para determinar la recuperación elástica</p>

**Tabla 4.12 Proceso para la realización de prueba de Recuperación Elástica**

### **Punto de Ablandamiento (ASTM D 36)**

Por ser mezclas complejas, los asfaltos no presentan un punto de fusión definido, sino que su consistencia se va haciendo más y más blanda a medida que aumenta la temperatura. Arbitrariamente, se ha definido el punto de ablandamiento como la temperatura a la cual el asfalto es suficientemente blando para que una esfera de acero (diámetro de 3/8" y masa de 3.5 g) pase a través de un anillo (Diámetro Interno de 5/8" y altura de 1/4") en el cual se encuentra la muestra de asfalto. El sistema está colocado en un baño de agua o de glicerina, cuya temperatura se incrementa a razón de 5 °C por minuto. Cuando la esfera atraviesa el anillo, la temperatura del baño corresponde al punto de ablandamiento. **(Ver Cap. 5, formulario E-5)**

	1° Preparar los moldes
	2° Verter la muestra en los anillos



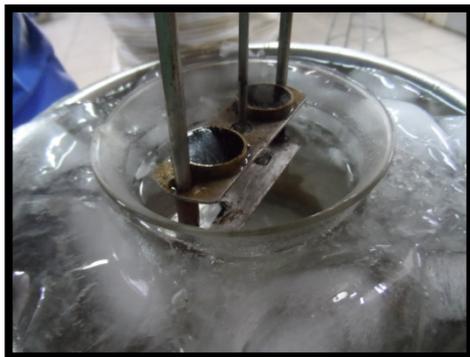
3° Llevar el agua en la que se ensayan las muestras a una temperatura inicial de 4° C



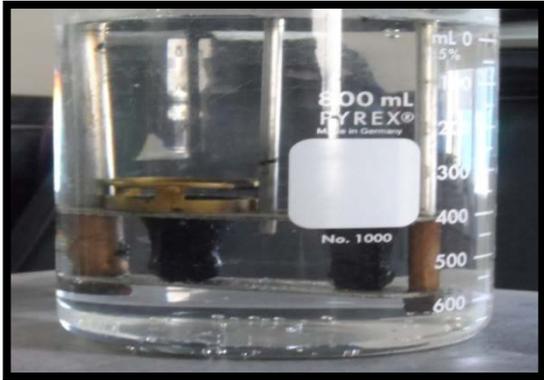
4° Enrasar los moldes, luego de 30 min. de inmersión en agua a 25° C



5° Las canasitas y las bolas deben estar a 4° C



6° Colocar los moldes en el recipiente con el agua a 4°C por 20 min.

	<p>7° Armar el dispositivo Anillo y Bola</p>
	<p>8° Iniciar el ensayo registrando los incrementos de temperatura minuto a minuto hasta el punto de ablandamiento</p>
	<p>9° El Punto de Ablandamiento se registra en el momento en que la bola cae por la muestra tocando la parte inferior del dispositivo</p>

**Tabla 4.13 Proceso para la realización de ensayo de Punto de ablandamiento**

#### 4.7 Pruebas para Obtener la Mezcla de Micropavimento

##### Prueba de Tiempo de Mezclado o Mezclado Manual (Mix Time) ISSA TB

##### 113

Este ensayo es importante para poder determinar el tiempo de ruptura de la mezcla y determinar si dicho tiempo es ideal, de tal forma que permita la colocación de la mezcla en campo.

El resultado del ensayo de Mezclado Manual deberá cumplir con las exigencias de la norma ISSA TB113:

Ensayo	Requerimiento
Tiempo de Mezclado	Controlable 120 s mínimo.

El resultado se expresa en segundos (seg); al ser un ensayo por observación no hay cálculos que realizar.

Para el diseño de la mezcla el resultado satisfactorio de diseño son **220 s.** (Ver **Cap. 5, formulario M-1y M-2**)



1° Preparar los agregados, filler, agua, emulsión y aditivo (si fuese necesario)

	<p>2° Mezclar y obtener el tiempo de mezclado</p> <p>mezclado</p>
---	---

Tabla 4.14 Prueba de Tiempo de Mezclado ISSA TB 113

### **Ensayo de Consistencia con Cono de Kansas ISSA TB 106**

El resultado del ensayo de Consistencia con Cono Kansas deberá cumplir con las exigencias de la norma ISSA TB106 según lo mostrado a continuación en la Figura 4.3

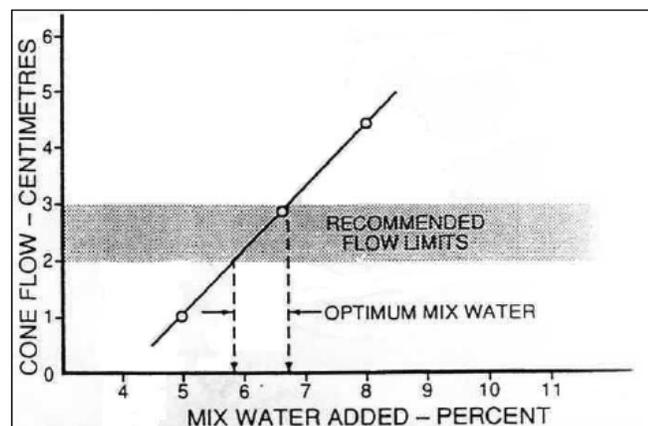


Figura 4.3 Curva del Límite de Consistencia

Según lo establecido en el boletín TB106 del manual ISSA A143, el límite de consistencia que define el contenido Óptimo de Agua en la mezcla, debe estar entre un 'acomodamiento' de 2 a 3 cm (teniendo como óptimo 2.5cm). La ISSA TB106 no define una dosificación estándar, por lo que se realizarán iteraciones,

las cuales arrojarán puntos para una recta, variando los porcentajes de contenido de agua y emulsión, hasta llegar a un contenido de agua óptimo que se ajuste a la exigencia. Es decir, que la mezcla cumpla con el 'acomodamiento' (2–3cm) y además que sea una mezcla de consistencia estable (**ver Anexo 3**).

Entiéndase como 'mezcla estable' a aquella de coloración marrón y consistencia trabajable (ni muy pastosa, ni muy fluida).

Además el cono de Kansas debe ajustarse a las normas ASTM C128 y/o AASHTO T84, teniendo material, dimensiones y volúmenes establecidos.

Una vez establecido el contenido óptimo del agua, que se expresa en porcentaje (%), se pueden realizar los ensayos de Rueda Cargada (LWT) y de Pérdida por Abrasión Húmeda (WTAT) para la obtención del Óptimo Contenido de Emulsión en la mezcla.

En éste diseño el resultado de la prueba arroja un rango de **6.65 a 7.6% de humedad adicional** que debe contener la mezcla.



1° Preparar la mezcla

	<p>2° Verter la mezcla en el cono de Kansas colocado sobre el papel en el que se evalúa el acomodamiento</p>
	<p>3° Retirar el cono de Kansas</p>
	<p>4° Evaluar el acomodamiento de la mezcla, tomando cuatro lecturas aproximadas de los círculos y obtener el promedio, ese valor es el acomodamiento.</p>

Tabla 4.15 Prueba de Consistencia ISSA TB 106

### **Prueba de la Rueda Cargada (Loaded Wheel Test) ISSA TB 109**

El resultado del ensayo de Rueda Cargada deberá cumplir con los requerimientos de la ISSA TB109. El resultado del ensayo deberá cumplir con las recomendaciones del manual ISSA A143

Ensayo	Requerimiento
Exceso de Asfalto por Adhesión de Arena LWT	538 g/m <sup>2</sup> Máximo

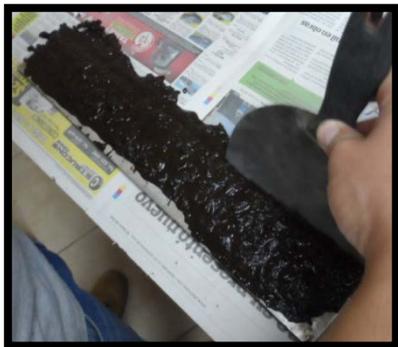
Este método define el porcentaje máximo de ligante en el Micropavimento para evitar exudaciones y deformaciones, bajo cargas de tráfico.

**Procedimiento:** se ensaya probetas rectangulares, previamente condicionadas la cuales se someten al paso repetido de una rueda de goma cargada. Posteriormente se cubren con arena caliente para luego someterlas a nuevos ciclos de carga. La cantidad de arena adherida a la probeta, es un indicador del exceso de ligante que tiene la probeta.

En este diseño el resultado de la prueba LWT Adhesión de Arena es **273.06 g/m<sup>2</sup>** (ver Cap. 5, formulario M-4)



1° Preparar la mezcla de acuerdo a los resultados de la prueba del cono de Kansas



2° Verter la mezcla en los moldes para elaborar las pastillas a ensayar



3° Dejar secar al horno a 60°C las pastillas hasta obtener peso constante (24 h)



4° Equipo de Rueda Cargada



5° Esparcir arena Ottawa a 80°C en toda la pastilla para determinar la adhesión, y comenzar el ensayo

	<p>6° Retirar de la pastilla ensayada toda la arena suelta y pesarla. Obtener la adhesión de arena.</p>
---	---

**Tabla 4.16 Prueba de Rueda Cargada LWT ISSA TB 109**

### **Rueda de Abrasión en Húmedo (Wet Track Abrasion Test) ISSA TB 100**

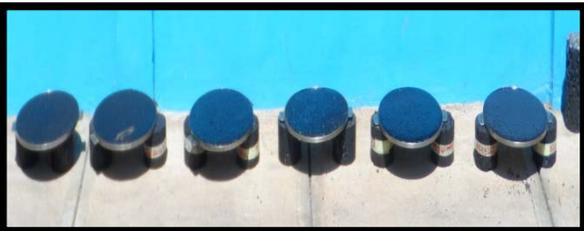
El resultado del ensayo de Pérdida por Abrasión Húmeda deberá cumplir con las exigencias de la norma ISSA TB100

Ensayo	Requerimiento
Wet- Track Abrasion (1 h de inmersión)	538 g/m <sup>2</sup> máximo

Este método define la cantidad mínima de emulsión necesaria para obtener un Micropavimento con la cohesión suficiente para resistir la acción abrasiva producida por el tráfico.

**Procedimiento:** se ensaya una probeta circular de Micropavimento, secada en horno a 60 °C hasta lograr masa constante, la cual se sumerge en un baño de agua a 25 °C durante una hora, para posteriormente ser sometida a la acción abrasiva de un cilindro de goma que roza su superficie en forma orbital. Como resultado del ensaye se obtiene la pérdida de masa que experimenta la probeta.

En este diseño la Pérdida por Abrasión Húmeda en 1h de inmersión fue de **213.85 g/m<sup>2</sup>** (ver Cap. 5, formulario M-3)

	<p>1° Preparar la mezcla de acuerdo a los resultados de la prueba del cono de Kansas</p>
	<p>2° Verter la mezcla en los moldes y esparcir de manera uniforme</p>
	<p>3° Elaborar las pastillas de ensayo</p>
	<p>4° Llevar al horno a 60° C hasta peso constante (24h)</p>



5° Equipo de Ensayo



6° Colocar la pastilla en la pista de ensayo del equipo, luego de 1h de inmersión, cubrir con suficiente agua la pastilla en la pista de ensayo



7° Iniciar el ensayo

	<p>8° Retirar todas las partículas sueltas en la pastilla ensayada, producto de la abrasión y llevar al horno a 60° hasta peso constante</p>
---	--

Tabla 4.17 Prueba de Abrasión ISSA TB 100

En ambos casos, en los ensayos LWT y WTAT, se utilizan el porcentaje de Contenido Óptimo de Agua obtenido en el ensayo de Consistencia con el Cono de Kansas.

Una vez realizados los ensayos LWT Y WTAT, y realizadas también las curvas de pérdida y adhesión de arena para diferentes contenidos de emulsión, se puede obtener el Óptimo Contenido de Emulsión de la mezcla según como se muestra en la **Figura 4.4**

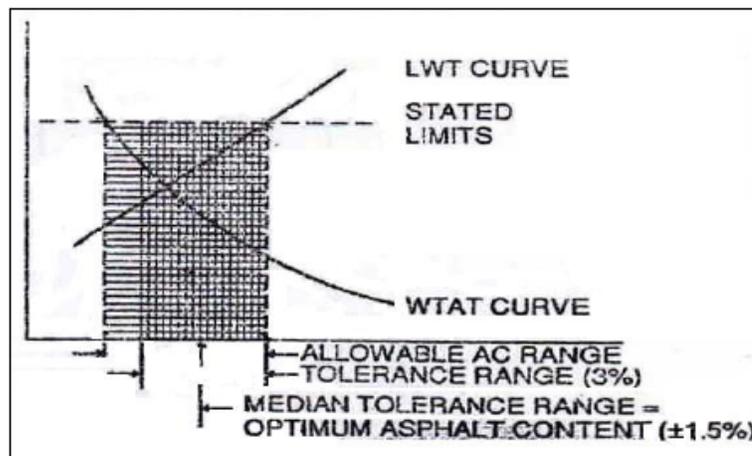


Figura 4.4 Curvas LWT y WTAT para Óptimo Contenido de Emulsión.

En la Figura 4.4 se puede observar un rango permitido del 3%, que puede correr a la izquierda o a la derecha. Éste concepto queda a criterio del diseñador, pues bien podría aumentarse el contenido de emulsión para climas fríos, o bien disminuir para casos de climas calurosos. También podría darse el caso de disminución para compensar la utilización de polímeros. En cualquiera de los casos, debe sustentarse la corrección. (**Ver Cap. 5, formulario M-5**)

#### **Ensayo de Cohesión Húmeda (Wet Cohesion ISSA TB 139)**

El resultado del ensayo de Cohesión Húmeda deberá cumplir con las recomendaciones de la ISSA TB139 según se muestra en la tabla:

Ensayo	Requerimiento
Cohesión Húmeda a 30 min	12 kg-cm mínimo
Cohesión Húmeda a 60 min	20 kg-cm o casi giro completo (mínimo)

El resultado se expresa en unidad de torque kilogramo–cm (Kg-cm); al ser un ensayo por observación no hay cálculos que realizar.

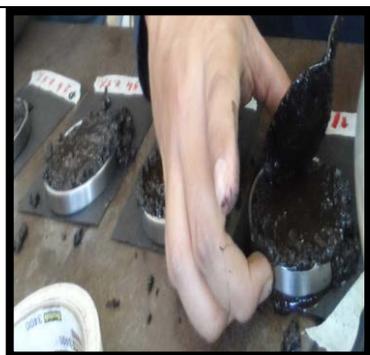
En este diseño el resultado de la prueba de cohesión satisfactorio es:

Cohesión Húmeda a 30 min.: **15.6 kg-cm**

Cohesión Húmeda a 60 min.: **25.7 kg-cm**



1° Preparar la mezcla



2° Depositar la mezcla en los moldes colocados sobre papel asfaltado



3° Equipo de ensayo

	<p>4° Colocar la pastilla de ensayo en el equipo y empezar el ensayo</p>
	<p>5° Registrar la lectura de carga</p>
	<p>6° Observar el daño de la pastilla después de registrar la lectura</p>

Tabla 4.18 Prueba de abrasión ISSA TB 139

#### 4.8 Reología del Asfalto (AASHTO T315 / ASTM D7175).

##### Reología

Es la ciencia que estudia el flujo y la deformación de los materiales sometidos a esfuerzos externos. (El nombre fue propuesto hace más de setenta años por el

Dr. E.C. Bingham del “Lafayette College” de los EE.UU de Norte América. Bingham es considerado uno de los padres de la Reología).

Esto explica cómo un material responde a una fuerza. Estudia la respuesta mecánica de un material, cuyas propiedades varían en función de la temperatura y al tiempo de aplicación de una carga, excluyéndose los fenómenos de rotura.

Las tendencias de las investigaciones recientes, en los últimos años abarcan dos aspectos principales: los derivados de petróleos pesados y la optimización en sus aplicaciones. Los ligantes bituminosos, o asfaltos, constituyen una fracción pesada del petróleo, cuyas propiedades dependen de su composición química y sus características estructurales a nivel molecular, propiedades que a su vez dependen del origen del crudo del petróleo y del proceso de obtención del asfalto.

### **Relación de las propiedades físicas y de las propiedades reológicas de los asfaltos.**

Con el fin de entender el comportamiento de estos materiales, se han adelantado estudios para establecer relaciones la entre la composición química, las características estructurales y funcionales a nivel molecular, con las propiedades físicas de los asfaltos. En la primera mitad del siglo XX, los ensayos simples como la penetración, ductilidad y punto de ablandamiento, fueron empleados para clasificar los asfaltos, y posteriormente se introdujo la

viscosidad como una característica fundamental. Sin embargo, estudios posteriores mostraron que las medidas puntuales de viscosidad no eran suficientes para describir el comportamiento de los asfaltos, los cuales manifiestan propiedades viscoelásticas, caracterizadas por su fuerte dependencia con la temperatura y el tiempo de duración de estímulos externos. Como resultado, se implementaron las mediciones reológicas dinámicas, que también han sido ampliamente utilizadas en el campo de los polímeros. Con base en las mediciones reológicas dinámicas se ha establecido una nueva clasificación de los asfaltos, conocida como **Grado de Desempeño (PG por sus iniciales en inglés, Grade Performance)**. El PG se denota por dos temperaturas, la temperatura máxima de desempeño y la temperatura mínima de desempeño, que a su vez indican el intervalo de temperaturas en el que un asfalto determinado se puede desempeñar satisfactoriamente.

Las propiedades reológicas, describen el comportamiento mecánico de los asfaltos de manera más apropiada, pues dichas propiedades están definidas en principios y unidades ingenieriles. Por ejemplo: los ensayos de consistencia, como la viscosidad y el módulo complejo permiten cuantificar los cambios a nivel macroscópico.

## **Relaciones Físicas de los Asfaltos**

### ***Consistencia/Viscosidad***

- *A temperatura intermedia:* Penetración a 25°C:

Base para la clasificación de los asfaltos por penetración: CA 40/50, CA 60/70, CA 85/100, CA 120/150.

Controlan los criterios de mezcla.

- A temperatura alta: Punto de Reblandecimiento (Anillo y Bola, Punto de Ablandamiento) o Viscosidad 60°C.
- A temperatura baja: Punto de Fragilidad Fraass

**Susceptibilidad térmica:** Índice de penetración

**Trabajabilidad:** Relación Viscosidad/Temperatura

**Seguridad:** Punto de Inflamación Cleveland (vaso abierto-COC)

**Durabilidad:** Envejecimiento: Valores tras TFOT/RTFOT

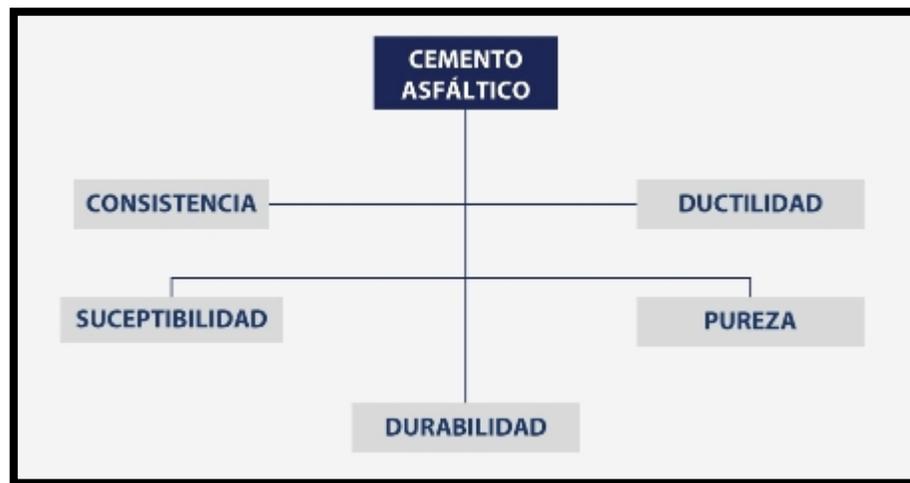


Figura 4.5 Propiedades físicas del Asfalto

Las propiedades reológicas del asfalto dependen de las proporciones en que están presentes sus componentes, las cuales varían de acuerdo con el origen de los crudos de petróleo. El comportamiento reológico del ligante tiene una

influencia significativa en las propiedades de la mezcla asfalto-agregado (ahuellamiento, fatiga y susceptibilidad térmica).

Los principales problemas que se presentan en los pavimentos asfálticos en servicio son la resistencia a la fatiga y la deformación permanente, como consecuencia de una inadecuada dosificación ligante-agregado, sus interacciones, el método y la temperatura de colocación, mezclado y compactación (la compactación no se usa en micropavimentos) de la mezcla asfáltica. Las propiedades deseables en las mezclas asfálticas son: resistentes al desplazamiento, a la fatiga, al deslizamiento, a la deformación plástica, impermeables, durables, grado adecuado de flexibilidad. El desempeño, durabilidad y resistencia de la mezcla asfáltica depende directamente de las propiedades del ligante y el agregado, su interrelación, y de los procesos de elaboración, colocación y compactación.

Los ligantes asfálticos modificados son productos concebidos para superar las propiedades del asfalto original (las cuales dependen de su contenido de asfaltenos, resinas y aceites), mejorando así el desempeño del pavimento a largo plazo. Si bien los modificadores pueden afectar muchas propiedades, la mayoría de ellos intenta reducir la dependencia de la temperatura, el endurecimiento por oxidación del cemento asfáltico y la susceptibilidad a la humedad de la mezcla asfáltica.

El asfalto se clasifica como material viscoelástico porque exhibe características viscosas y elásticas simultáneamente, es decir que es un material de

comportamiento intermedio entre el sólido de Hooke (elástico) y el líquido de Newton (viscoso). A temperaturas elevadas ( $>100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), el cemento asfáltico se comporta como un fluido viscoso (muestra la consistencia de un lubricante utilizado como aceite para motores), mientras que a bajas temperaturas ( $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) se comporta casi como un sólido elástico (como una banda de goma). Cuando se aplica una carga, el ligante se estira o comprime adoptando diferentes formas. Cuando se retira la carga, retorna a su forma original. A una temperatura intermedia, que es la condición prevista para el pavimento, el cemento asfáltico tiene características de fluido viscoso y sólido elástico.

Para establecer las temperaturas de mezclado y compactación para el diseño de mezclas asfálticas se busca el empleo de temperaturas equiviscosas, con el fin de minimizar el efecto que puede causar la rigidez del ligante sobre las propiedades volumétricas de la mezcla durante el mezclado en caliente en planta, independiente del tipo de ligante, original o modificado y de la gradación del agregado.

**El viscosímetro rotacional (RTV)** consiste en un cilindro rotacional coaxial que mide la viscosidad por medio de un torque requerido para rotar un eje; sumergido en la muestra de asfalto, permite determinar la curva reológica del asfalto.

Para caracterizar las propiedades viscoelásticas de los bitúmenes se recomienda el uso del **reómetro de corte dinámico DSR**, el cual mide la

respuesta de la deformación específica de corte del espécimen sometido a un torque.



Figura 4.6 Reómetro de corte dinámico

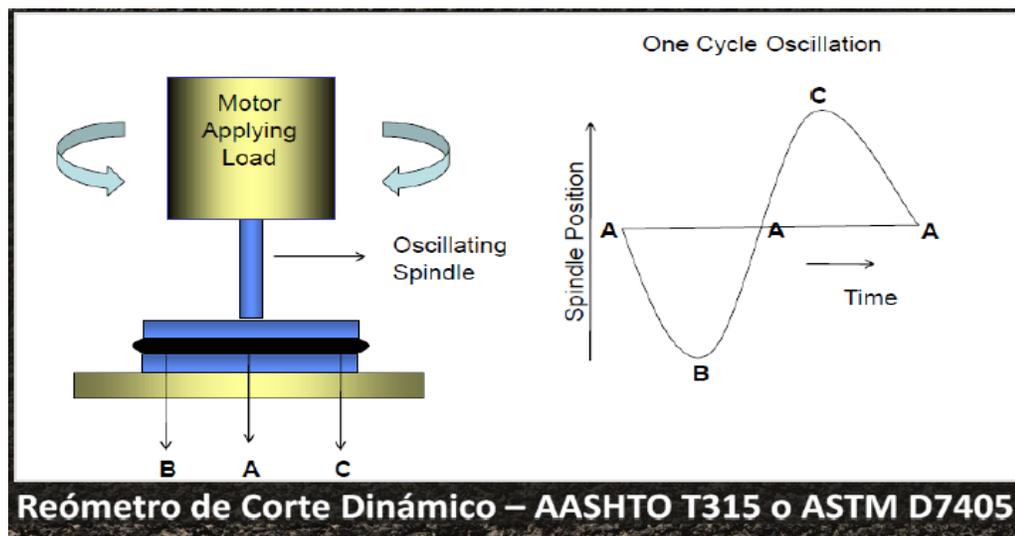


Figura 4.7 Principio de la Aplicación de Esfuerzos en el DSR

## Partes del Reómetro

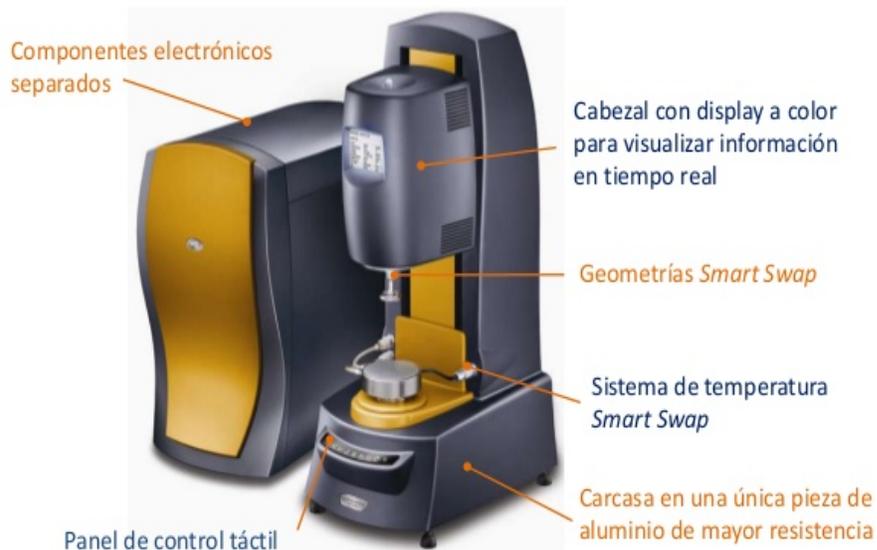


Figura 4.8 Partes del Reómetro de Corte Dinámico, DSR

Finalmente el **reómetro de viga flexible (BBR)** permite caracterizar las propiedades elásticas del bitumen a bajas temperaturas.

### 4.8.1 Prueba de Recuperación Elástica Multi Stress Creep Recovery (MSCR) en Reómetro de Corte Dinámico AASHTO T 350 - 14

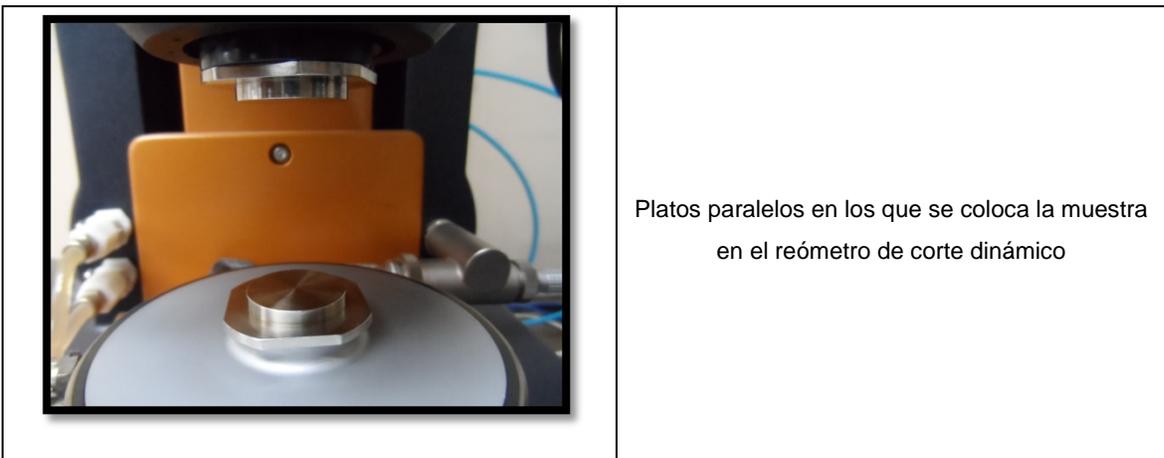
La prueba de Creep-Recovery (MSCRTest) consiste en aplicar a un material un esfuerzo determinado, causando con esto una deformación (creep), después de un periodo determinado en el cual se mantuvo el esfuerzo constante, se retira

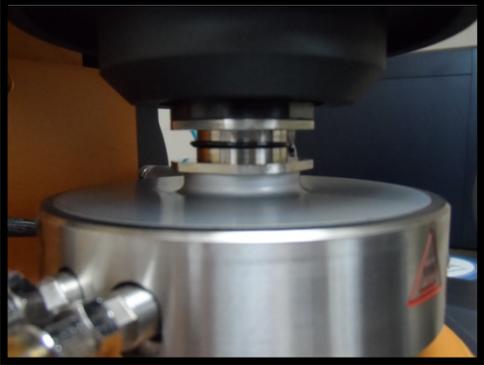
totalmente el esfuerzo aplicado, dejando así que la estructura del material se recupere de la deformación causada con el esfuerzo aplicado (recovery).

Este proceso puede realizarse en un solo ciclo, incluyendo este solo un paso de deformación y uno de recuperación o en ciclos repetidos en el cual pueden realizarse varios pasos consecutivos de deformación-recuperación, en este caso es posible evaluar la deformación acumulada por la aplicación de cargas repetidas.

*A continuación se describe el protocolo de MSCR:*

Condiciones de la prueba Se realiza el ensayo con la misma geometría del método SUPERPAVE, platos paralelos de 25.0 mm de diámetro y 1.0 mm de gap, ambientando correctamente a la temperatura de prueba por 600 seg., que es la temperatura de Grado de Desempeño PG.



	<p>Muestra a ensayar</p>
	<p>Unión de los platos paralelos contra la muestra de ensayo</p>
	<p>Inicio del Ensayo</p>



**Tabla 4.19 Prueba de Recuperación Elástica Multi Stress Creep & Recovery (MSCR)**

Se aplica un esfuerzo constante de 1.0 segundo de duración (creep) el esfuerzo máximo se alcanza en aproximadamente 0.02 segundos, seguido del lapso de recuperación de 9.0 segundos a esfuerzo cero (recovery). Se corren 30 ciclos a dos niveles de esfuerzo, los primeros 10 ciclos se realizan a 100 Pa y se conocen como ciclos de acomodamiento y no tienen influencia alguna en los cálculos del ensayo, los siguientes 10 ciclos al igual que los anteriores se realizan a 100 Pa, estos ya son determinantes del ensayo (en el paso creep) y los siguientes 10 ciclos se llevan a cabo a 3200Pa.

Es muy importante resaltar que el reómetro de corte dinámico no realiza otra acción durante este periodo más que la de medir la respuesta del material, por lo que las mediciones en el segmento de recuperación dependen totalmente de la memoria elástica del material.

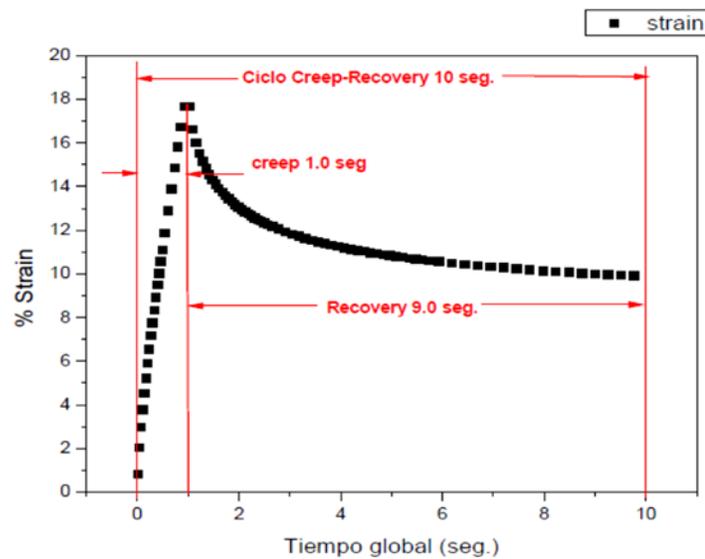


Figura 4.9 Ciclo Creep-Recovery, 1.0 seg. a esfuerzo constante en el paso creep y 9.0 seg. en el segmento de recuperación a esfuerzo cero.

La prueba de creep-recovery permite medir la memoria elástica del material.

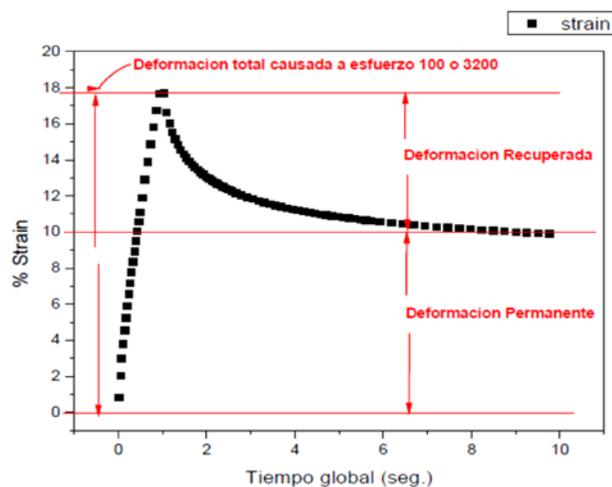
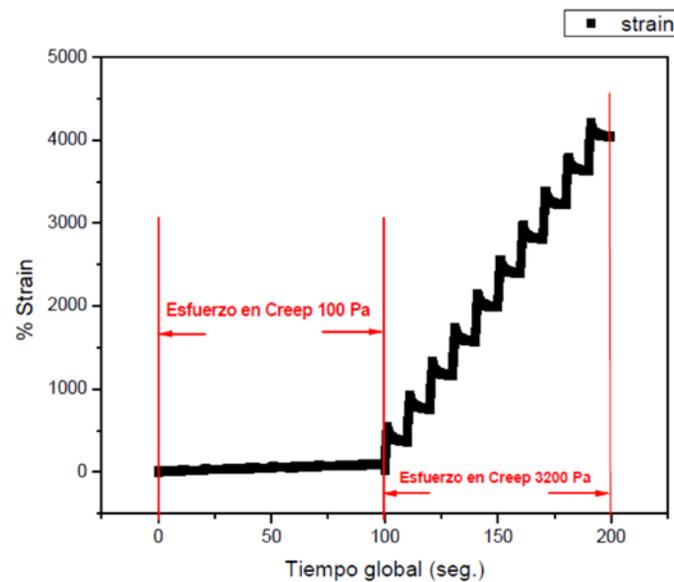


Figura 4.10 Deformación causada durante el segmento Creep, Deformación recuperada durante el periodo de recovery, Deformación permanente o No recuperable, durante un ciclo Creep- Recovery. (%Strain: porcentaje de deformación.)



**Figura 4.11 Ciclos creep-recovery de 1 a 10 a 100 Pa en creep, de 11 a 20 a 3200 Pa.**

Al aplicar dos niveles de esfuerzo, 100 y 3200 Pa, se puede evaluar la capacidad elástica del asfalto ante el esfuerzo de corte, además de que la diferencia entre los segundos y los terceros 10 ciclos junto con la deformación total alcanzada al final de la prueba dan información sobre la estabilidad y fuerza de la red polimérica formada por el modificador en el seno del asfalto. Cuanto menor es la diferencia entre la recuperación elástica del segmento a 100 Pa y la del segmento a 3200 Pa, más estable y resistente es la red polimérica del modificador.

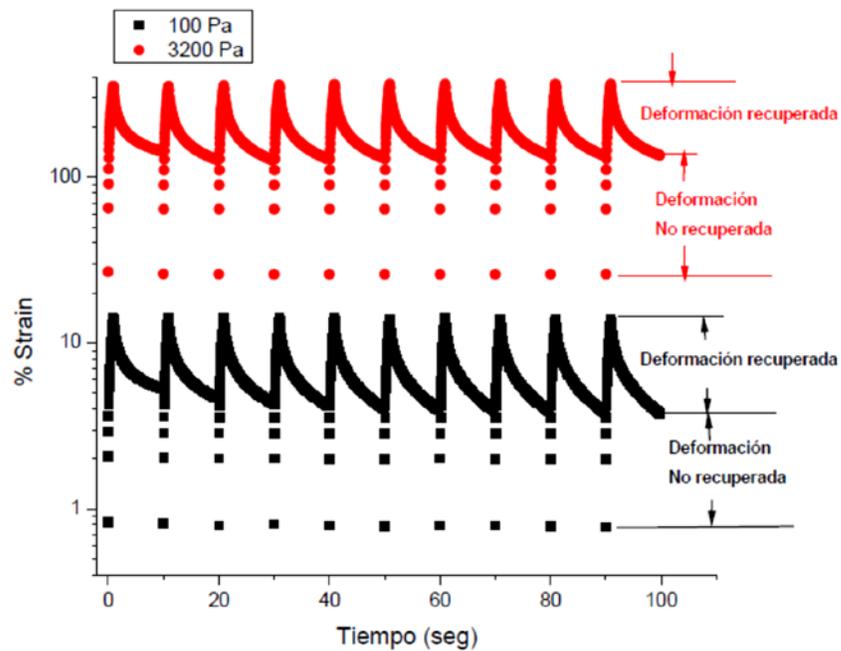


Figura 4.12 Creep-Recovery a 100 y 3200 Pa, Asfalto modificado con estructura fuerte.

En la figura anterior se presenta un asfalto modificado con una estructura fuerte, la recuperación elástica en la fase de 100 Pa es alta, además de que se observa claramente que la diferencia entre las recuperaciones elásticas entre los dos esfuerzos 100 y 3200 Pa es pequeña, lo que indica que su estructura es resistente y no se ve afectada en gran medida por el aumento de esfuerzo y las deformaciones repetidas.

#### **Análisis de datos.**

En cada ciclo creep-recovery es necesario registrar cada uno de los siguientes parámetros:

$\epsilon_0$  Valor inicial para la deformación en el principio del segmento creep para cada ciclo.

$\epsilon_c$  Valor de la deformación al final del segmento creep para cada ciclo.

$\epsilon_1$  Valor de la deformación total causada durante el segmento creep de cada ciclo, calculado como  $\epsilon_c - \epsilon_0$ .

$\epsilon_r$  Valor de la deformación al final del segmento de recuperación de cada ciclo, es la deformación total acumulada hasta este ciclo.

$\epsilon_{10}$  Valor de la deformación al final del segmento de recuperación de cada ciclo, calculado como  $\epsilon_r - \epsilon_{10}$ , es la deformación no recuperada en cada ciclo.

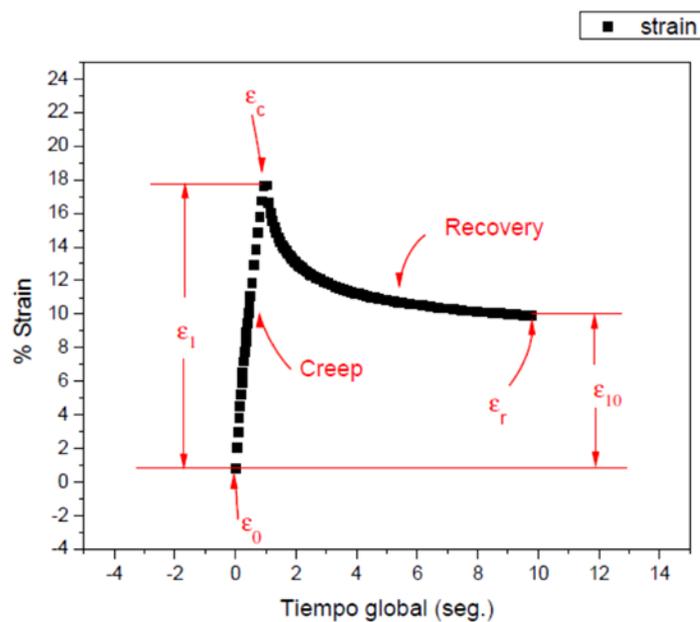


Figura 4.13 Análisis de Datos del ciclo Creep-Recovery

Cálculos para obtener respuesta elástica:

Para cada uno de los ciclos a 100 Pa es necesario calcular el porcentaje de recuperación como sigue:

$$RE(100, N) = \frac{(\varepsilon_1 - \varepsilon_{10}) \times 100}{\varepsilon_1}$$

De igual forma para cada uno de los ciclos a 3200 Pa es necesario calcular el porcentaje de recuperación como sigue:

$$RE(3200, N) = \frac{(\varepsilon_1 - \varepsilon_{10}) \times 100}{\varepsilon_1}$$

Con estos resultados se calcula el promedio de las recuperaciones elásticas (% $\varepsilon_r$ ) para los diez ciclos en los dos niveles de esfuerzo, 100 y 3200 Pa.

$$\%RE(100, prom.) = \frac{\Sigma(\varepsilon_r(100, N))}{10} \quad N = 1 \text{ a } 10$$

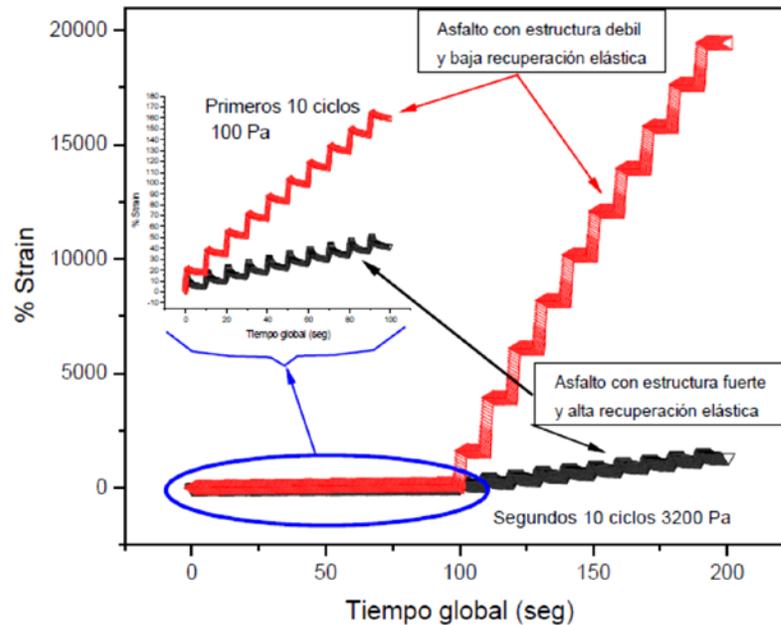
$$\%RE(3200, prom.) = \frac{\Sigma(\varepsilon_r(3200, N))}{10} \quad N = 1 \text{ a } 10$$

El valor absoluto de la diferencia entre los porcentajes de respuesta elástica a 100 y 3200 Pa, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Rdif(100Pa - 3200Pa) = \%RE(100, prom) - \%RE(3200, prom)$$

El valor obtenido muestra la susceptibilidad de la respuesta elástica a la variación del esfuerzo aplicado.

Un valor elevado en la susceptibilidad de la respuesta elástica al nivel de esfuerzo, indica debilidad en la estructura del asfalto.



**Figura 4.14 Comparación de la estructura de los asfaltos usando Creep-Recovery**

Además es importante tomar en cuenta la deformación total acumulada al final de los 20 ciclos ya que esta nos puede dar una idea más clara del comportamiento del asfalto, tanto de su resistencia ante la deformación como de su capacidad de recuperar las deformaciones.

#### **4.8.2 Grado de Desempeño de Ligantes Asfálticos usando MSCR (*PG*, *Performance Grade*) AASHTO M 332**

El grado de desempeño o Grado PG es el rango de temperaturas, máxima a mínima, entre las que un cemento asfáltico se desempeña satisfactoriamente. El Grado PG permite seleccionar el cemento asfáltico más adecuado para una determinada obra, en función del clima dominante y de la magnitud del tránsito a que estará sujeta durante su vida útil (Ver anexo 12)

Un cemento asfáltico clasificado como PG 64-22 tendrá un desempeño satisfactorio cuando trabaje a temperaturas tan altas como sesenta y cuatro (64) grados Celsius y tan bajas como menos veintidós (-22) grados Celsius. Las temperaturas máximas y mínimas se extienden tanto como sea necesario con incrementos estandarizados de seis (6) grados.

Los cementos asfálticos Grado PG, son utilizados en la elaboración de mezclas asfálticas o para la fabricación de emulsiones asfálticas, que se utilicen en la construcción de carpetas estructurales o carpetas delgadas de rodamiento, ya sea como cementos asfálticos convencionales o modificados.

#### Cementos Asfálticos grado PG

Son aquellos cuyo comportamiento en los pavimentos está definido por las temperaturas máxima y mínima que se esperan en el lugar de su aplicación, dentro de las cuales se asegura un desempeño (performance) adecuado para resistir deformaciones o agrietamientos por temperaturas bajas o por fatiga, en condiciones de trabajo que se han correlacionado con ensayos especiales y simulaciones de envejecimiento a corto y a largo plazo. Estos ensayos miden propiedades físicas que pueden ser directamente relacionadas, mediante principios de ingeniería, con el comportamiento en obra, y forman parte de los productos del Programa de Investigación de Carreteras desarrollado por la Unión Americana, conocida como la Tecnología SHRP.

La clasificación de asfaltos por grado PG ha tomado gran importancia. Es bien sabido que la metodología para clasificación de asfaltos por grado PG presenta algunas debilidades, ya que no permite discernir entre asfaltos que, aunque cumplen con el grado PG, no tendrán un buen desempeño en el pavimento en términos de su vida útil. En Estados Unidos se ha evolucionado a técnicas mejoradas como la PG Plus con la intención de evitar el uso de asfaltos “endurecidos”.

Dicha técnica exige que, no solo se solicite un grado PG para el asfalto, sino que adicionalmente se realice una prueba de recuperación elástica por ductilómetro.

Las metodologías para la caracterización de asfaltos para pavimentos, han intentado predecir, mediante diversos parámetros, el desempeño que éste tendrá en campo. Actualmente, el parámetro  $G^*/\sin\delta$  ( $G^*$ , Módulo Complejo de Corte.  $\delta$ , Ángulo de Fase) es empleado para medir la resistencia de los asfaltos a la deformación permanente. Éste parámetro es parte de la clasificación de grado PG (Performance Grade), desarrollada en Estados Unidos por la FHWA (Federal Highway Administration) bajo el programa SHARP (Strategic Highway Research Program).

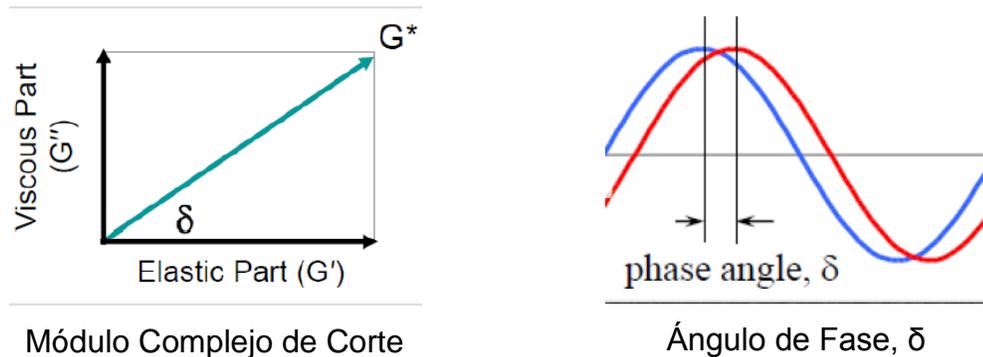


Figura 4.15 Módulo Complejo de Corte y Ángulo de Fase

$G^*/\text{sen}\delta$  ha evolucionado a un nuevo parámetro: "Jnr", con la finalidad de reforzar el grado PG, (Non Recoverable Creep Compliance), que a su vez deriva de una prueba de Creep Repetido Multi-esfuerzo, MSCR (Multi Stress Creep and Recovery), la cual simula de mejor manera las condiciones de trabajo (comportamiento) futuras a las que el asfalto será sometido en el pavimento, haciendo énfasis en la resistencia a la deformación permanente. Esta metodología simula mejor el mecanismo de falla, Con la finalidad de mejorar la exactitud para predecir el desempeño del asfalto en un pavimento y que éste cumpla con la vida útil diseñada para el mismo, "Jnr" (Non-recoverable Creep Compliance) existe como un parámetro efectivo y probado. "Jnr" es la deformación no recuperable (deformación permanente) generada al aplicar una unidad de esfuerzo. Este valor es calculado de la siguiente manera:

$$J_{nr} = \frac{\text{Deformación no recuperada}}{\text{Esfuerzo aplicado}}$$

"A menor Jnr, menor será la deformación permanente al aplicar una carga".

Este parámetro se calcula a partir de los datos obtenidos de la prueba de MSCR.

El uso de la clasificación por grado PG en conjunto con “Jnr”, ofrece información mucho más valiosa ya que permite evaluar propiedades del asfalto como: Deformación permanente generada por unidad de esfuerzo, respuesta elástica, dependencia del comportamiento a diferentes niveles de esfuerzo, memoria elástica, capacidad elástica real, deformación total acumulada.

Éste conjunto de propiedades permite, a partir de las condiciones climatológicas existente en la zona del proyecto y del número de ejes equivalentes considerados para el mismo, seleccionar asfaltos óptimos.

Cálculos para Jnr (Non-Recoverable Creep Compliance)

Para cada uno de los ciclos a 100 Pa y 3200 Pa es posible calcular Jnr100 y Jnr3200 como sigue, respectivamente:

$$J_{nr,100}(100, N) = \frac{\varepsilon_{10}}{100} \quad J_{nr,3200}(3200, N) = \frac{\varepsilon_{10}}{3200}$$

Con estos resultados se calcula el promedio de Jnr para los diez ciclos en los dos niveles de esfuerzo, 100 y 3200 Pa.

$$J_{nr,100}(100, prom) = \frac{\sum (J_{nr,100}(100, N))}{10} \quad N = 1 \text{ a } 10$$

$$J_{nr,3200}(3200, prom) = \frac{\sum (J_{nr,3200}(3200, N))}{10} \quad N = 1 \text{ a } 10$$

Diferencia en porcentaje entre Jnr a 100 y 3200 Pa.:

$$J_{nr dif}(100Pa - 3200Pa) = \frac{J_{nr,3200}(3200, prom) - J_{nr,100}(100, prom)}{J_{nr,100}(100, prom)} \times 100$$

Diferencias grandes de “Jnr” entre 100 y 3200 Pa, indica facilidad para acumular deformaciones.

#### **4.8.3 Análisis Reológico Comparativo de Emulsiones (Experimento)**

En el desarrollo de esta investigación se analizaron cuatro emulsiones del mismo tipo CQS 1h, pero todas de distinta formulación (incluyendo la emulsión considerada para el diseño propuesto de micropavimento), cada una con características propias. Características físicas importantes como: Punto de Ablandamiento, Recuperación Elástica, Ductilidad y Penetración fueron determinadas para las emulsiones utilizadas en la comparación con la emulsión de diseño. Además, la recuperación de los residuos de dichas emulsiones, se obtuvo usando dos de los tres métodos descritos anteriormente: Evaporación y Película Delgada, dichos residuos se usaron para poder determinar, mediante el uso del Reómetro de Corte Dinámico (DSR), los Grados de Desempeño PG y los MSCR de dichas emulsiones, los cuales también fueron comparados entre sí, para determinar con cuál de los métodos de recuperación se obtienen resultados más representativos y así determinar en laboratorio cuál de las

emulsiones se desempeñará mejor en campo. (**Ver Cap. 5 formularios, D-1 al D-6; ver anexos 4 al 9**)

#### **4.8.4 Prueba de la Rueda Cargada (Loaded Wheel Test) ISSA TB 147 (Prueba experimental)**

Para efectos de completar esta investigación se realizó la prueba LWT ISSA TB147, con condiciones un poco distintas a como lo manda dicha recomendación ISSA, la prueba se realizo con más ciclos de ensayo que los estipulados, pero manteniendo el propósito de conocer el ahuellamiento que sufrirían las pastillas de ensayo.

Las pastillas de ensayo fueron elaboradas con la misma granulometría Tipo III (tamizada por la malla N°4), el mismo contenido de filler y con igual cantidad de emulsión (el contenido óptimo propuesto en el diseño de micropavimento), la variante es la emulsión usada para elaborar las pastillas. (**Ver cuadro de diseño**)

Con esta última prueba se trata de simular el desempeño en campo del diseño propuesto y poderlo comparar con el desempeño que presentaría con emulsiones distintas el mismo diseño. (**Ver Cap. 5 formulario D-7 y gráfico D-1 al D-4**). A continuación se muestra la memoria fotográfica del experimento.



	<p>Inicio del ensayo Emulsión A</p>
	<p>500 ciclos de ensayo</p>
	<p>Finalización del ensayo después de 2500 ciclos Emulsión A</p>
	<p>Inicio del ensayo Emulsión de Diseño</p>

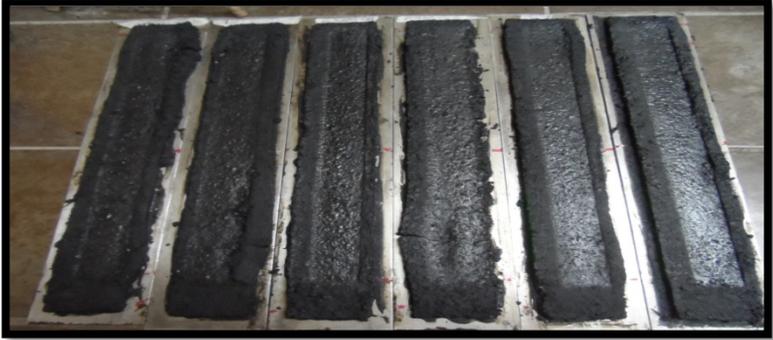
	500 ciclos
	Fin del ensayo después de 1976 ciclos Emulsión de Diseño
	Pastillas Ensayadas

Tabla 4.20 Prueba experimental Rueda Cargada basada en ISSA TB 147

# CAPITULO V

## PRESENTACION DE RESULTADOS



Universidad de El Salvador  
España la libertad por la cultura



## 5 Presentación de resultados

### 5.1 Caracterización del agregado

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

FORMULARIO A-1  
ANALISIS GRANULOMETRICO (ASTM C136 Y ASSTHO T27)

Solicita: UES
Proyecto: Trabajo de graduación

Laboratorista: Daniel Peña	Fecha de ensayo: 25 Nov 2014
Banco de agregado: La cantera, San Diego , La Libertad	Fecha de reporte: 01 Dic 2014
Granulometría: TIPO III	Especificación:

Malla	Abertura de tamiz (mm)	Peso retenido (gr)	% Retenido		% Pasante	% Especificado
			Parcial	Acumulado		
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00	100
#4	4.750	247.80	15.65	15.65	84.35	70-90
#8	2.360	414.70	26.19	41.84	58.16	45-70
#16	1.180	262.00	16.55	58.38	41.62	28-50
#30	0.600	195.50	12.35	70.73	29.27	19-34
#50	0.330	129.20	8.16	78.89	21.11	12-25
#100	0.150	97.80	6.18	85.06	14.94	7-18
#200	0.075	71.50	4.52	89.58	10.42	5-15
Fondo	----	165.00	10.42	100.00	0.00	----

Peso antes de lavado por malla #200	
Peso después de lavado	
Pasa malla # 200	
Corrección	

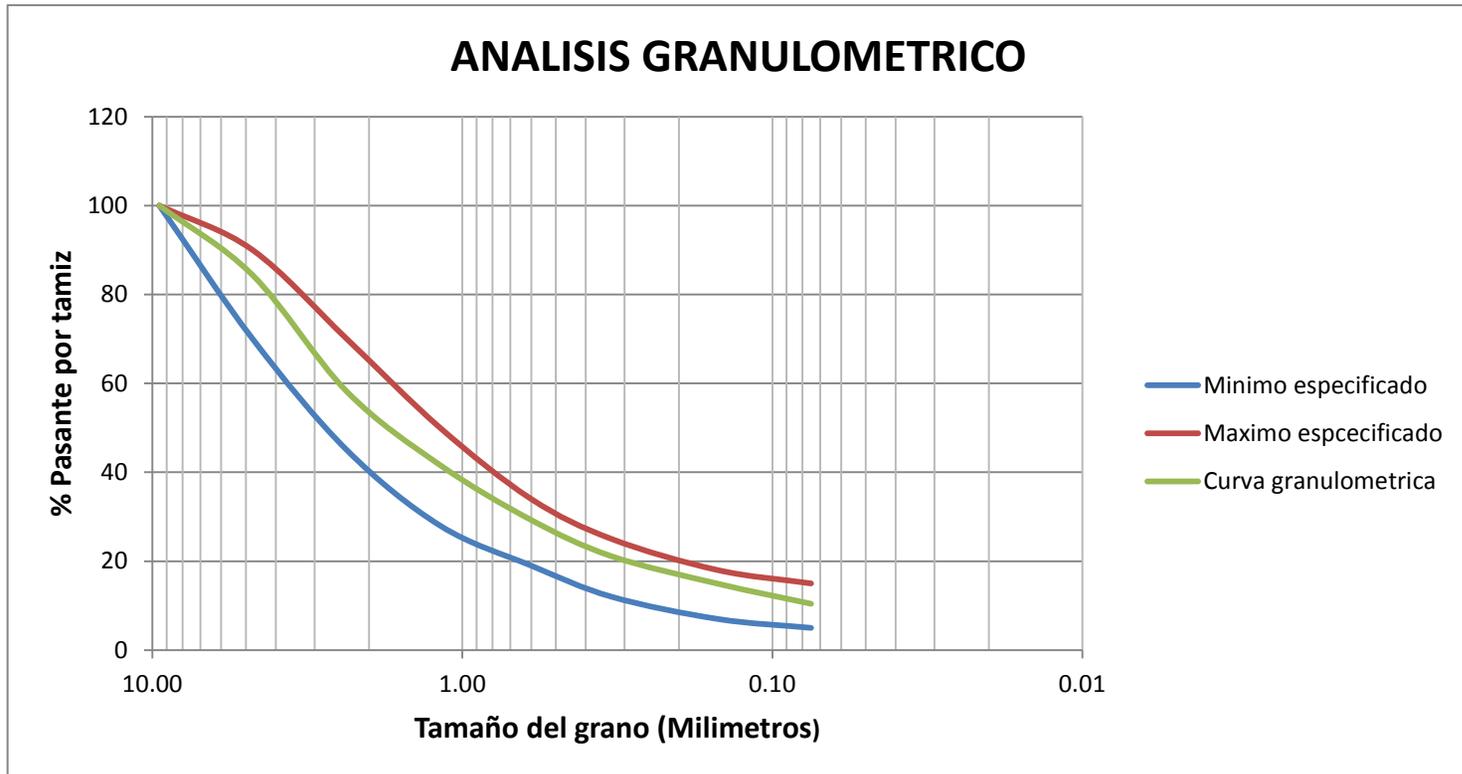
Observaciones Granulometría Tipo III para Micropavimento según recomendación ISSA A 143

\_\_\_\_\_  
Ing. Jefe de Laboratorio



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUOLA DE INGENIERIA CIVIL

GRAFICA A-1  
ANALISIS GRANULOMETRICO (ASTM C136 Y ASSTHO T27)





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

FORMULARIO A-2  
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA ABRASION E IMPACTO EN LA MAQUINA DE LOS  
ANGELES (ASTM C 131 Y AASTHO T96)

Hoja N° \_\_\_\_\_

Solicita: UES
Proyecto: Trabajo de graduación

Laboratorista: Daniel Peña	Fecha de ensayo: 25 Nov 2014
Banco de agregado: La cantera, San Diego , La Libertad	Fecha de reporte: 01 Dic 2014
Granulometría: TIPO III	Especificación: Desgaste $\leq$ 30 %

Tipo de graduación	C
N° Esferas	8
A Peso inicial (g)	5000.00
B Peso retenido malla N°12 (g)	1957.20
C Peso retenido malla N° 4 (g)	1924.20
D Suma peso retenido malla N°12 y N°4 (g)	3881.40
E % Desgaste = $((A-D)/A)*100$	22.37

Observaciones Resistencia a la abrasión e impacto 30% máximo según recomendación ISSA A143.- 22.37% Desgaste es aceptable

\_\_\_\_\_  
Ing. Jefe de Laboratorio.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUOLA DE INGENIERIA CIVIL

FORMULARIO A-3  
MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA  
VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADO FINO (ASTM D 2419 Y  
AASHTO T176)

Hoja N° \_\_\_\_\_

Solicita: UES
Proyecto: Trabajo de graduación

Laboratorista: Daniel Peña	Fecha de ensayo: 25 Nov 2014
Banco de agregado: La cantera, San Diego , La Libertad	Fecha de reporte: 01 Dic 2014
Granulometría: TIPO III	Especificación: 65% Mínimo

A	Lectura aparente de arcilla (cm)	4.2
B	Lectura de arena (cm)	3.3
C	Valor equivalente de arena (%) = (B/A)*100	78.57

Observaciones \_\_\_\_\_ Valor de equivalente de arena 65% mínimo según  
recomendación ISSA A 143.- 78.57% es aceptable

\_\_\_\_\_  
Ing. Jefe de Laboratorio.



## 5.2 Caracterización de la Emulsión de Diseño

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

FORMULARIO E-1  
PRUEBAS DE COMPOSICION A EMULSIONES ASFALTICAS ASTM D 244

Tipo de emulsión: CQS 1h-p (Emulsión de Diseño)	Muestreada en: Planta
Fecha de producción:	Fecha de muestreo:
Tanque de almacenamiento:	Muestreada por:

RESIDUO POR EVAPORACIÓN ASTM D 6334 (Repetibilidad = 0.4 % en peso)				
A	Peso de recipiente + Varilla (g)	316.30	122.30	122.00
B	Peso de recipiente + Varilla + Emulsión (g)	366.30	172.30	172.10
C	Peso de Emulsión (50 ± 0.1 g)	50.00	50.00	50.10
D	Peso de recipiente + Varilla + Residuo (g)	349.00	155.00	151.60
E	% Residuo Asfáltico = 2(A-D)	65.40	65.40	59.20
PROMEDIO		63.33		

RESIDUO POR DESTILACION ASTM D 6997		
A	Peso de alambique vacío (g)	2333.60
B	Peso de alambique + Emulsión (g)	2534.20
C	Peso de emulsión (A-B) (200 ± 1 g)	200.60
D	Peso de alambique + Residuo (g)	2463.40
E	% Residuo asfáltico = 100(D-A)/C	64.71
F	tiempo de duración destilación (75 minutos ,Max)	68 Min
G	ml de Aceite destilado en probeta	1.00
H	% de Aceite destilada (G/C)	0.50
EMULSION CLASIFICA		62% Min.

Observaciones \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
 Ing. Jefe de Laboratorio.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUA DE INGENIERIA CIVIL

FORMULARIO E-2  
PRUEBA DE CONSISTENCIA A EMULSIONES ASFALTICAS ASTM D 244

Tipo de emulsión: CQS 1h-p	Muestreada en: Planta
Fecha de producción:	Fecha de muestreo:
Tanque de almacenamiento:	Muestreada por:

ENSAYO DE VISCOSIDAD SAYBOL FUROL (ASTM D 7496 y D 88)				
Temperatura de ensayo (°C)	25°	1ª Lectura	2ª Lectura	3ª Lectura
Viscosidad Saybol Furol (s)		26.84	26.15	25.93
Factor de corrección de la galería		1.00	1.00	1.00
Viscosidad Saybol Furol corregido (s)		26.84	26.15	25.93
MEDIA DE LOS RESULTADOS DUPLICADOS		<b>26.31</b>		

Observaciones: Viscosidad Saybolt Furol 20 a 100 s.- 26.31 s es aceptable

---



---



---

\_\_\_\_\_  
Ing. Jefe de Laboratorio.



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

FORMULARIO E-3  
PRUEBA DE ESTABILIDAD A EMULSIONES ASFALTICAS ASTM D 244

Tipo de emulsión: CQS 1h-p	Muestreada en: Planta
Fecha de producción:	Fecha de muestreo:
Tanque de almacenamiento:	Muestreada por:

PRUEBA DEL TAMIZ ASTM D 6933		
A	Peso de tamiz + fondo (g)	162.20
B	Peso de recipiente + emulsión (g)	1281.30
C	Peso de recipiente vacío (g)	291.50
D	Peso de tamiz + fondo + residuo (g)	163
E	% SOBRE PARTIICULAS = $((D-A)/(B-C)) \times 100$	0.0808

PESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE LA EMULSIÓN A 25 °C ASTM D 6937		
A	Peso de emulsión en la copa (g)	85.2152
B	Factor de la copa = $A \times 0.9958$	84.8573
C	Densidad a 25 °C (g/l) = $B \times 11.98$	1016.5904
D	Densidad a 25 °C (lb/gal) = $B/10$	8.4857
E	Densidad a 15 °C (lb/gal) = $D \times 1.00475$	8.5260
F	Peso por galón a 15.6 °C (kg/gal) = $E/2.2041$	3.8683

PRUEBA DE ESTABILIDAD EN ALMACENAMIENTO (24 h) ASTM D 6930			
		TOP	FONDO
A	Peso de Beaker + agitador de vidrio	121.10	122.00
B	Peso de Beaker + agitador de vidrio + emulsión	171.10	172.00
C	Peso de Beaker + agitador de vidrio + residuo	152.7	153.20
D	% R.A. = $1 - ((B-C)/(B-A))$	63.2	62.4
E	% de sedimentación = % R.A. (FONDO) - % R.A. (TAP)	0.8	

Observaciones Prueba del tamiz: 0.1% máximo.- 0.0808% es aceptable

Prueba de estabilidad en almacenamiento 1% máximo.- 0.8% es aceptable

\_\_\_\_\_  
Ing. Jefe de Laboratorio.



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

FORMULARIO E-4  
EXAMINACION DEL RESIDUO ASTM D 244

Tipo de emulsión: CQS 1h-p	Muestreada en: Planta
Fecha de producción:	Fecha de muestreo:
Tanque de almacenamiento:	Muestreada por:

GRAVEDAD ESPECIFICA (ASTM D 70) (AASHTO T 228)		
A	Picnómetro seco y limpio (g)	31.6398
B	Picnómetro aforado con agua (25 °C) (g)	53.6761
C	Picnómetro aforado con C.A. (25 °C) (g)	45.4500
D	Picnómetro con agua y C.A. aforada (25 °C) (g)	54.0132
E	Gravedad específica del cemento asfáltico = $(C-A)/((B-A)-(D-C))$	1.0250

ENSAYO DE DUCTILIDAD, 25 °C, 5 cm/min, cm (ASTM D 113) (AASHTO T 51)	
Muestra 1	128
Muestra 2	134
Muestra 3	
PROMEDIO	131

ENSAYO DE PENETRACIÓN A 25 °C, 100 g, 5 s, dmm (ASTM D 5) (AASHTO T 49)	
1	63.0
2	63.0
3	64.0
PROMEDIO	63.3

Observaciones \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Ductilidad 40 cm mín.- 131 cm es aceptable

\_\_\_\_\_ Penetración 40 a 90 dmm.- 63.3 dmm es aceptable

\_\_\_\_\_  
Ing. Jefe de Laboratorio.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUOLA DE INGENIERIA CIVIL

FORMULARIO E-5  
EXAMINACION DEL RESIDUO ASTM D 244

Tipo de emulsión: CQS 1h-p	Muestreada en: CQS 1h-p
Fecha de producción:	Fecha de muestreo:
Tanque de almacenamiento:	Muestreada por:

Anillo 1	59.5
Anillo 2	59.5
Promedio	59.5

PUNTO DE ABLANDAMIENTO ( Anillo y Bola ) (ASTM D 36) (AASHTO T 53)		
Minuto	Temperatura Medida (°C)	Rango de temperatura (°C)
1	6.8	4.7
2	12.6	4.3
3	17.3	4.2
4	21.6	3.8
5	25.8	4.3
6	29.6	4.3
7	33.9	4.5
8	38.2	3.7
9	42.7	3.7
10	46.4	3.8
11	50.1	3.7
12	53.9	1.9
13	57.6	
	59.5	T° de punto de ablandamiento -----

Observaciones Punto de Ablandamiento 57°C mínimo.- 59.5°C es aceptable

\_\_\_\_\_  
Ing. Jefe de Laboratorio.



### 5.3 Pruebas de Mezcla

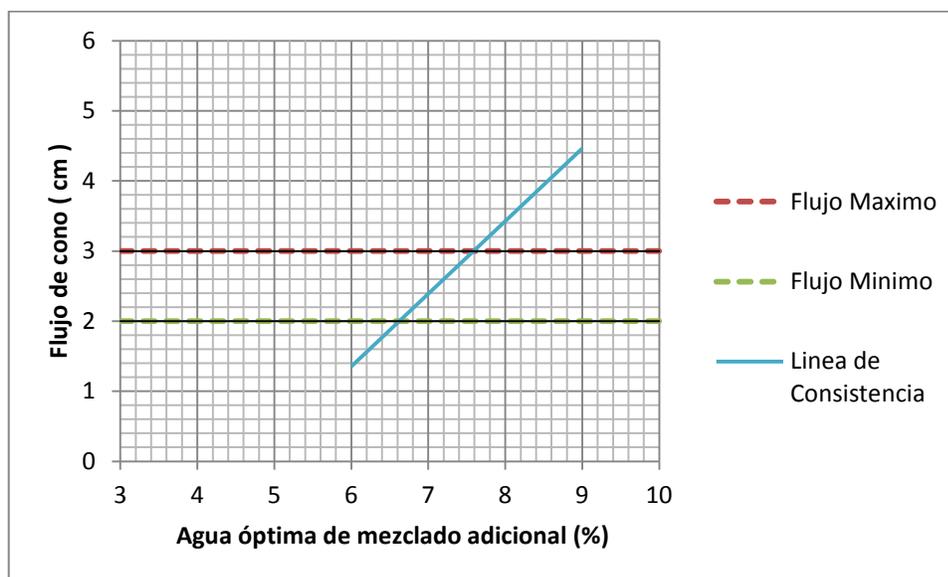


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

FORMULARIO M-1  
TIEMPOS DE MEZCLADO ISSA TB - 113

Tipo de emulsión: CQS 1h-p	Muestreada en: Planta
Fecha de producción:	Fecha de muestreo:
Tanque de almacenamiento:	Muestreada por:

	Prueba #1	Prueba #2	Prueba #3
% de Agua requerida adicional para ensayo de consistencia	6	7	8
Flujo de cono	1.63	2.38	2.63
% Óptimo de emulsión	11	11	11
% de Residuo Asfáltico	6.615	6.615	6.615
% de Agua de la emulsión	3.885	3.885	3.885
% de Agua en el agregado tipo III	1.3	1.3	1.3
% de Agua total en la mezcla	11.185	12.185	13.185
% de Filler	0.5	0.5	0.5
% de Aditivo	0	0	0



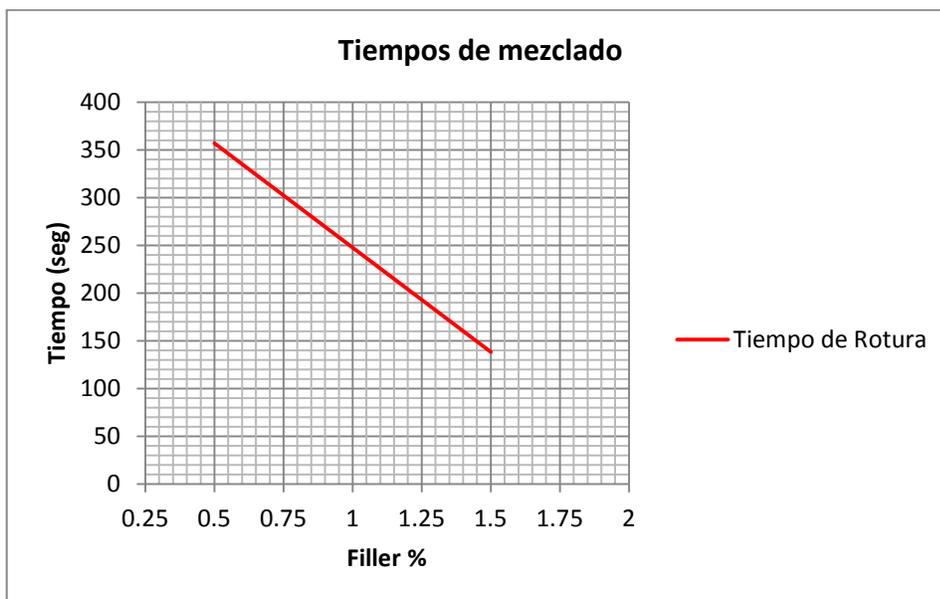


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUOLA DE INGENIERIA CIVIL

FORMULARIO M-2  
TIEMPOS DE MEZCLADO ISSA TB - 113

Tipo de emulsión: CQS 1h-p	Muestreada en: CQS 1h-p
Fecha de producción:	Fecha de muestreo:
Tanque de almacenamiento:	Muestreada por:

% de Filler	% de Emulsión	% de Residuo asfáltico	% de Agua añadida	% de Aditivo	Valores de prueba	
					Tiempo de rotura (s)	Habilidad del sistema para mezclarse y mantenerse homogéneo por 120 seg mínimo
0.5	11	6.99	8	0.0	377	ok
0.75	11	6.99	8	0.0	294	ok
1	11	6.99	8	0.0	220	ok
1.5	11	6.99	8	0.0	154	ok



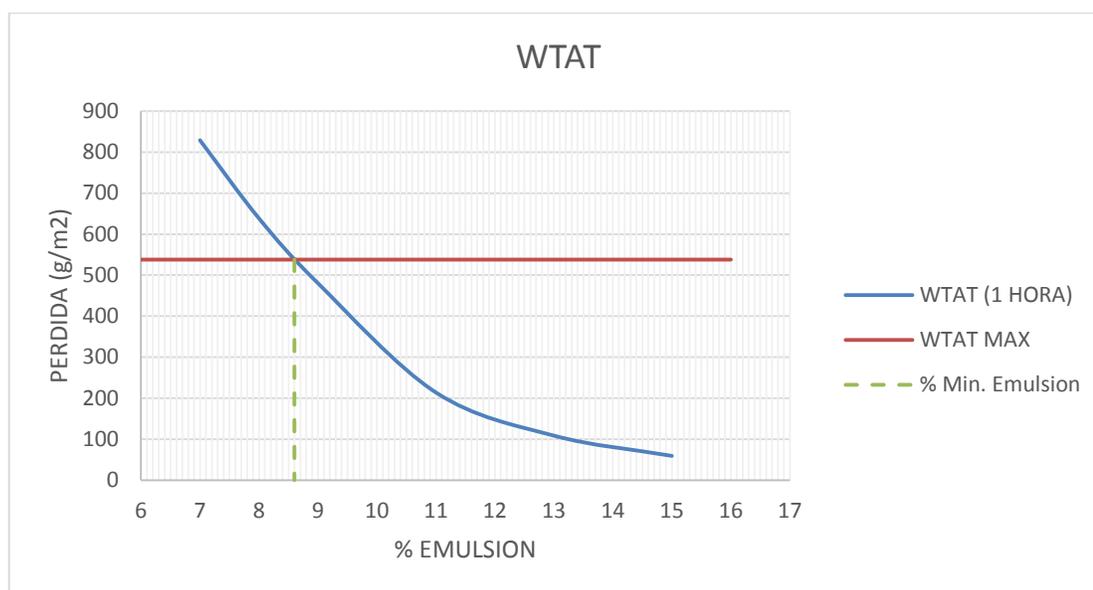


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

FORMULARIO M-3  
PRUEBA DE ABRASION EN HUMEDO (WET TRACK ABRASION TEST) ISSA TB 100

Proyecto	Fecha de ensayo:
Laboradorista:	Fecha de reporte:
Banco de agregado::	Tipo de emulsión:

WET TRACK ABRASION TEST (1 HORA SUMERGIDO)							
Mezcla N°	% Emulsión	Temperatura ensayo (°C)	Peso (g)		Pérdida de peso		
			Antes	Después	Perdida gramos	Factor de conversión	Perdida por área (g/m <sup>2</sup> )
1	9	26.2	2465.3	2450.7	14.6	32.9	480.34
2	11	26.2	2356.6	2350.1	6.5	32.9	213.85
3	13	26.2	2475.7	2472.4	3.3	32.9	108.57
4	15	26.2	2494.9	2493.1	1.8	32.9	59.22



Observaciones : % mínimo de emulsión 8.6 %

Ing. Jefe de Laboratorio.

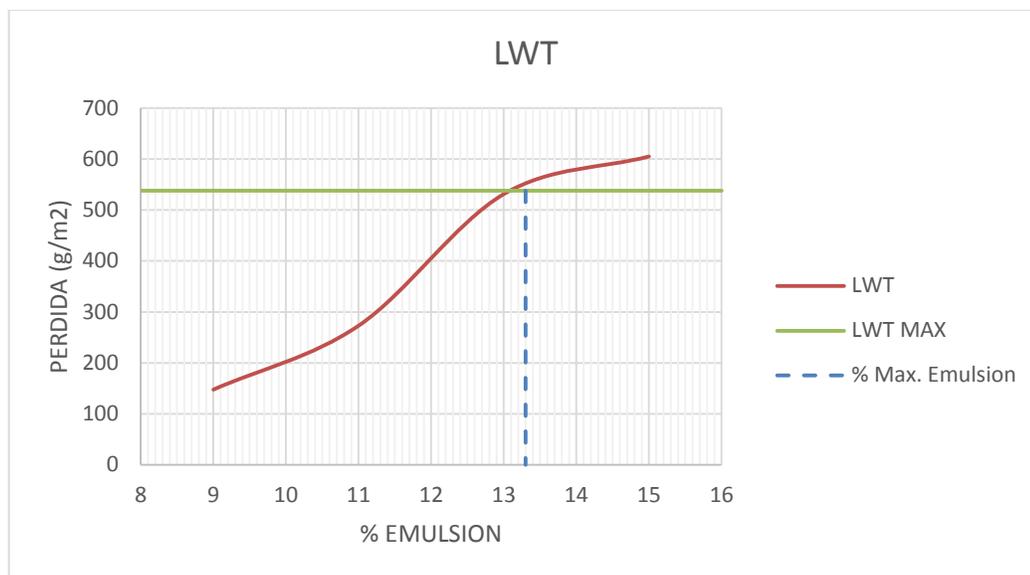


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

FORMULARIO M-4  
PRUEBA DE LA RUEDA CARGADA (LOADED WHEEL TEST) ISSA TB 109

Proyecto	Fecha de ensayo:
Laboratorista:	Fecha de reporte:
Banco de agregado::	Tipo de emulsión:

Mezcla N°	% Emulsión	Peso (g)		Adhesión de arena		
		Antes	Después	Ganancia gramos	Factor de conversión	Perdida por área (g/cm <sup>2</sup> )
1	9	721.00	723.00	2.00	73.80	147.60
2	11	724.60	728.30	3.70	73.80	273.06
3	13	721.30	728.50	7.20	73.80	531.36
4	15	725.70	733.90	8.20	73.80	605.16



Observaciones : % máximo de emulsión 13.3 %

Ing. Jefe de Laboratorio.



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

FORMULARIO M-5  
CALCULO DEL % OPTIMO DE EMULSION (WTAT vrs LWT) ISSA TB 100 Y TB 109

Proyecto	Fecha de ensayo:
Laboratorista:	Fecha de reporte:
Banco de agregado::	Tipo de emulsión:

% Min. Emulsión (WTAT)	8.6	TOLERANCIAS	
% Max. Emulsión (LWT)	13.3	% Min. Emulsión	9.5
% OPTIMO DE EMULSION	11	%Max. Emulsión	12.5

WTAT		LWT	
% Emulsión	Perdida por área (g/cm <sup>2</sup> )	% Emulsión	Perdida por área (g/cm <sup>2</sup> )
9	480.34	9	147.6
11	213.85	11	273.06
13	108.57	13	531.36
15	59.22	15	605.16
LINEAS AUXILIARES			
Línea de tránsito pesado		% Optimo de emulsión	
0	538	11	538
17	538	11	0
Eje de % mínimo		Eje de % máximo	
8.6	538	13.3	538
8.6	0	13.3	0
Tolerancia % Max. Emulsión		Tolerancia % Min. Emulsión	
12.5	538	9.5	538
12.5	0	9.5	0

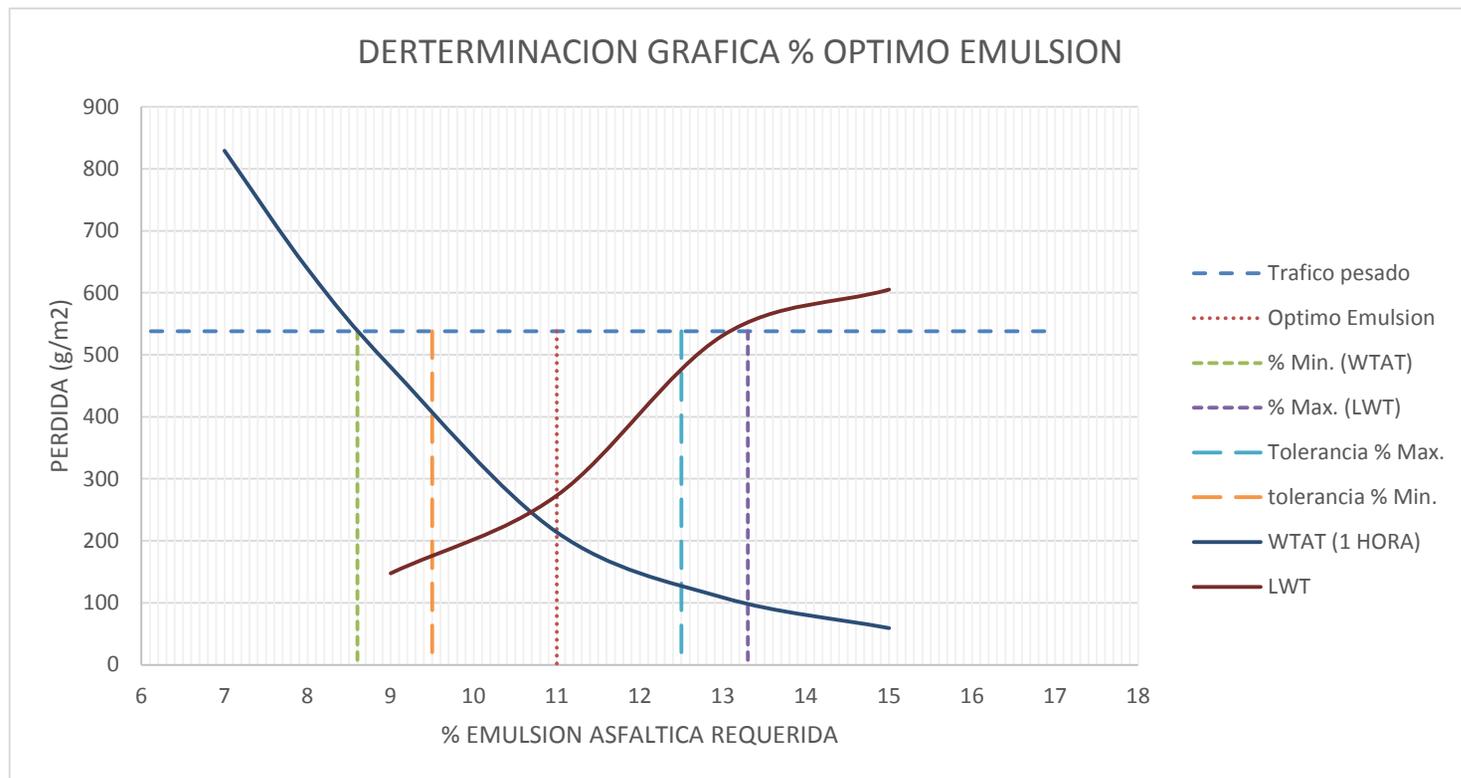
Observaciones \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
 Ing. Jefe de Laboratorio



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCULA DE INGENIERIA CIVIL

GRAFICA M-1  
 DETERMINACION GRAFICA % OPTIMO EMULSION (ISSA TB 100 Y TB 109)





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

FORMULARIO M-6  
PRUEBA DE COHESIÓN ISSA TB 139

Proyecto	Fecha de ensayo:
Laboradorista:	Fecha de reporte:
Banco de agregado::	Tipo de emulsión:

% de Emulsión	% de Residuo asfáltico	% de Agua agregada	% de Aditivo	Cohesión		
				Tiempo (hora)	Torque (lbs./in)	Torque (kg/cm)
11	6.93	8	0.0	0.5	9.4	10.8
				1	10.8	12.4
				1.5	12.9	14.9
				2.5	15.4	17.7
				3.5	17.6	20.3
11	6.93	8	0.0	0.5	9.8	11.3
				1	12	14.9
				1.5	15.4	17.7
				2.5	18.9	21.8
				3.5	20.1	23.2
11	6.93	8	0.0	0.5	12.7	14.6
				1	14.6	16.8
				1.5	17.6	20.5
				2.5	20.1	23.2
				3.5	21.2	24.4
11	6.93	8	0.0	0.5	12.9	14.9
				1	18.2	21
				1.5	20.3	23.4
				2.5	22.2	25.6
				3.5	22.7	26.2

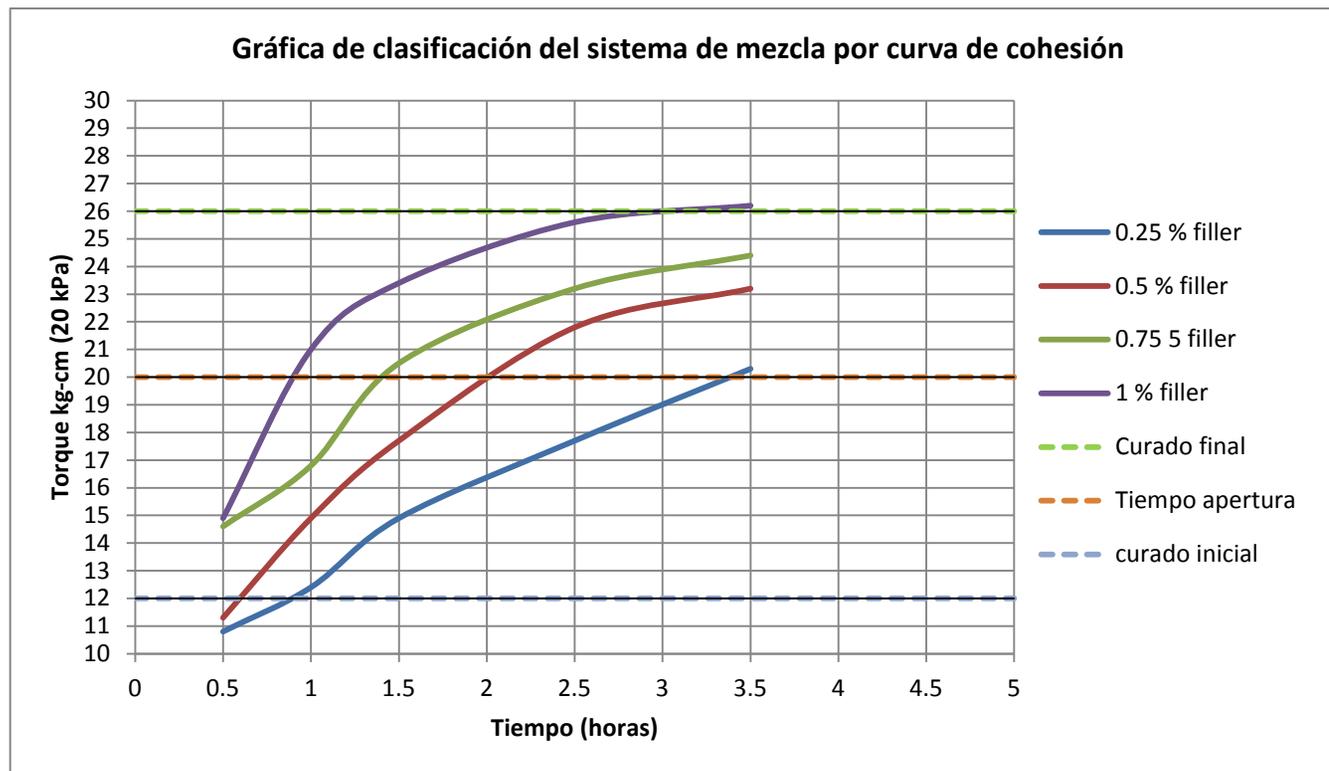
Observaciones \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Ing. Jefe de Laboratorio



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCULA DE INGENIERIA CIVIL

GRAFICA M-2  
 CLASIFICACIÓN DEL SISTEMA DE MEZCLA POR CURVA DE COHESIÓN (ISSA TB 113)





## 5.4 Pruebas Reológicas

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

FORMULARIO D-1  
EVALUACIÓN DE EMULSIONES ASFALTICAS

MUESTRAS	Punto de ablandamiento (ASTM D 36) (AASHTO T 53)	Ensayo de ductilidad (ASTM D 113) (AASHTO T 51)	Recuperación elástica	Ensayo de penetración (ASTM D 5) (AASHTO T 49)
Emulsión de diseño	59.5	131	62	63.3
Emulsión tipo A	62.75	15	26.25	45.33
Emulsión tipo B	57.5	150	65	61.67
Emulsión tipo C	62	84	45	57.83

Observaciones: La emulsión de diseño cumple con los parámetros de calidad Según ASTM 2397, se recomienda analizar propiedades reológicas a fin de predecir su desempeño.

La emulsión tipo A no cumple con todos los parámetros de calidad según ASTM 2397, por lo tanto se recomienda analizar propiedades reológicas a fin de predecir su desempeño.

---

Ing. Jefe de Laboratorio



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

FORMULARIO D-2  
ANÁLISIS COMPARATIVO DE RECUPERACIÓN DEL RESIDUO ASFÁLTICO UTILIZANDO  
EL MÉTODO DE EVAPORACIÓN ASTM D 6934 Y EL MÉTODO DE PELÍCULA DELGADA  
AASHTO PP72 (MÉTODO A)

Emulsión tipo A

RESIDUO POR EVAPORACIÓN ASTM D 6334 (Repetibilidad = 0.4 % en peso)			
A	Peso de recipiente + Varilla (g)	155.8	172.9
B	Peso de recipiente + Varilla + Emulsión (g)	205.8	220.9
C	Peso de Emulsión (50 ± 0.1 g)	50.00	50.00
D	Peso de recipiente + Varilla + Residuo (g)	188.3	205.3
E	% Residuo Asfaltico = 2(A-D)	65	64.8
PROMEDIO		64.9	

RESIDUO POR PELÍCULA DELGADA AASHTO PP 72		
A	Peso del mantel de silicón (g)	99.8
B	Peso del mantel + Emulsión (g)	159.8
C	Peso de Emulsión (60 ± 0.1 g)	60.0
D	Peso del mantel + residuo	137.2
E	% Residuo Asfaltico	62

Observaciones: El porcentaje obtenido por residuo en ambos métodos es aceptable.

---



---



---

\_\_\_\_\_  
Ing. Jefe de Laboratorio



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

FORMULARIO D-3  
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL GRADO DE DESEMPEÑO PG OBTENIDO DE LOS  
RESIDUOS RECUPERADOS POR EVAPORACIÓN ASTM D 6934 Y EL MÉTODO DE  
PELÍCULA DELGADA AASHTO PP72 (MÉTODO A)

Emulsión Tipo A

Método de Recuperación del Residuo	Temperatura	Temperatura °C	G* /Sen(delta) (Kpa)	delta (grados)
Evaporación	1	64	4.179	75.83
	2	70	2.119	77.49
	3	76	1.183	82.87
	4	82	0.6380	84.74
Temperatura de falla °C	77.58			
Película Delgada	1	70	4.691	75.86
	2	76	2.574	80.50
	3	82	1.38	83.13
	4	88	0.7261	84.86
Temperatura de falla °C	85.01			

Observaciones: PG por evaporación: el ensayo inicia en una temperatura más baja y falla en una temperatura más baja, caso contrario con la muestra de ensayo obtenida por el método de película delgada, por lo tanto es probable que el PG de la emulsión de estudio sea mayor.

---



---



---

\_\_\_\_\_  
Ing. Jefe de Laboratorio



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

FORMULARIO D-3  
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL GRADO DE DESEMPEÑO PG OBTENIDO DE LOS  
RESIDUOS RECUPERADOS POR EVAPORACIÓN ASTM D 6934 Y EL MÉTODO DE  
PELÍCULA DELGADA AASHTO PP72 (MÉTODO A)

Emulsión Tipo B

Método de Recuperación del Residuo	Temperatura	Temperatura °C	$ G^* /\text{Sen}(\text{delta})$ (Kpa)	delta (grados)
Evaporación	1	70	2.489	74.18
	2	76	1.382	75.31
	3	82	0.786	76.38
	4			
Temperatura de falla °C	79.45			
Película Delgada	1	70	2.315	79.71
	2	76	1.207	81.72
	3	82	0.6426	83.47
	4			
Temperatura de falla °C	77.83			

Observaciones: PG por evaporación: el ensayo falla a una temperatura más baja, caso contrario con la muestra de ensayo obtenida por el método de película delgada, aunque el PG de la emulsión de estudio es el mismo en ambos casos.

---



---



---

\_\_\_\_\_  
Ing. Jefe de Laboratorio



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

FORMULARIO D-3  
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL GRADO DE DESEMPEÑO PG OBTENIDO DE LOS  
RESIDUOS RECUPERADOS POR EVAPORACIÓN ASTM D 6934 Y EL MÉTODO DE  
PELÍCULA DELGADA AASHTO PP72 (MÉTODO A)

Emulsión Tipo C

Método de Recuperación del Residuo	Temperatura	Temperatura °C	G* /Sen(delta) (Kpa)	delta (grados)
Evaporación	1	70	6.974	66.93
	2	76	4.477	70.87
	3	82	2.634	72.83
	4	88	1.501	74.73
	5	94	0.865	76.45
Temperatura de falla °C	92.61			
Película Delgada	1	70	4.87	74.30
	2	76	2.702	77.84
	3	82	1.506	80.86
	4	88	0.8414	82.53
Temperatura de falla °C	86.21			

Observaciones: PG por evaporación: El ensayo falla en una temperatura más alta, caso contrario con la muestra de ensayo obtenida por el método de película delgada, por lo tanto es probable que el PG de la emulsión de estudio sea menor en este método.

---



---



---

\_\_\_\_\_  
Ing. Jefe de Laboratorio



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

FORMULARIO D-3  
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL GRADO DE DESEMPEÑO PG OBTENIDO DE LOS  
RESIDUOS RECUPERADOS POR EVAPORACIÓN ASTM D 6934 Y EL MÉTODO DE  
PELÍCULA DELGADA AASHTO PP72 (MÉTODO A)

Emulsión de Diseño

Método de Recuperación del Residuo	Temperatura	Temperatura °C	G* /Sen(delta) (Kpa)	delta (grados)
Evaporación	1	70	2.69	78.41
	2	76	1.503	80.54
	3	82	0.846	82.43
	4			
Temperatura de falla °C	80.25			
Película Delgada	1	76	1.553	80.54
	2	82	0.8627	82.51
	3	88	0.4883	84.11
	4			
Temperatura de falla °C	80.53			

Observaciones: PG. La diferencia entre las temperaturas de falla es muy pequeña se puede decir que la temperatura de falla es la misma, el PG en ambos casos es el mismo

\_\_\_\_\_  
Ing. Jefe de Laboratorio



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

FORMULARIO D-4  
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PRUEBAS MSCR REALIZADAS A LOS RESIDUOS  
RECUPERADOS POR EVAPORACIÓN ASTM D 6934 Y EL MÉTODO DE PELÍCULA  
DELGADA AASHTO PP72 (MÉTODO A)

Emulsión Tipo A

Método de Recuperación del Residuo	Temperatura °C	R0.1 KPa	R3.2 KPa	Jnr 0.1	Jnr 3.2
Evaporación	52	47.42	32.57	0.1452	0.1895
	58	31.56	12.96	0.5473	0.7458
	64	27.99	6.539	1.298	1.96
Película Delgada	52	51.45	43.99	0.05679	0.06579
	58	36.02	25.10	0.2224	0.2653
	64	31.85	13.67	0.5658	0.8018

Observaciones: A pesar que las temperaturas aplicadas en el ensayo son las mismas para cada muestra, los mejores resultados se observan en el residuo recuperado por el método de película delgada. La deformación no recuperable es menor con éste método. Ver anexos 4 y 5

---



---



---

\_\_\_\_\_  
Ing. Jefe de Laboratorio



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUOLA DE INGENIERIA CIVIL

FORMULARIO D-4  
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PRUEBAS MSCR REALIZADAS A LOS RESIDUOS  
RECUPERADOS POR EVAPORACIÓN ASTM D 6934 Y EL MÉTODO DE PELÍCULA  
DELGADA AASHTO PP72 (MÉTODO A)

Emulsión Tipo B

Método de Recuperación del Residuo	Temperatura °C	R0.1 KPa	R3.2 KPa	Jnr 0.1	Jnr 3.2
Evaporación	52	60.35	46.45	0.1107	0.1547
	58	61.25	44.19	0.2825	0.4467
	64	58.02	36.11	0.7318	1.317
Película Delgada	52	34.88	25.24	0.2367	0.2796
	58	27.74	14.55	0.5971	0.7512
	64	19.18	6.16	1.623	2.112

Observaciones: A pesar que las temperaturas aplicadas en el ensayo son las mismas para cada muestra, los mejores resultados se observan en el residuo recuperado por el método de evaporación. La deformación no recuperable es menor con éste método.

Ver anexos 4 y 5

---

Ing. Jefe de Laboratorio



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

FORMULARIO D-4  
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PRUEBAS MSCR REALIZADAS A LOS RESIDUOS  
RECUPERADOS POR EVAPORACIÓN ASTM D 6934 Y EL MÉTODO DE PELÍCULA  
DELGADA AASHTO PP72 (MÉTODO A)

Emulsión Tipo C

Método de Recuperación del Residuo	Temperatura °C	R0.1 KPa	R3.2 KPa	Jnr 0.1	Jnr 3.2
Evaporación	52	73.42	65.47	0.0279	0.0373
	58	69.92	54.62	0.0798	0.1275
	64	66.98	46.03	0.1704	0.3118
Película Delgada	52	57.5	49.34	0.0480	0.0588
	58	47.09	34.54	0.1569	0.1999
	64	40.98	22.14	0.3350	0.4764

Observaciones: A pesar que las temperaturas aplicadas en el ensayo son las mismas para cada muestra, los mejores resultados se observan en el residuo recuperado por el método de película delgada. La deformación no recuperable es menor con este método. Ver anexos 4 y 5

---

Ing. Jefe de Laboratorio



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

FORMULARIO D-4  
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PRUEBAS MSCR REALIZADAS A LOS RESIDUOS  
RECUPERADOS POR EVAPORACIÓN ASTM D 6934 Y EL MÉTODO DE PELÍCULA  
DELGADA AASHTO PP72 (MÉTODO A)

Emulsión de Diseño

Método de Recuperación del Residuo	Temperatura °C	R0.1 KPa	R3.2 KPa	Jnr 0.1	Jnr 3.2
Evaporación	52	52.29	36.7	0.1598	0.23
	58	44.25	20.75	0.397	0.67
	64	35.18	9.69	0.849	1.565
Película Delgada	52	52.72	40.02	0.1315	0.1746
	58	43.22	19.57	0.4087	0.7116
	64	32.80	8.489	0.9210	1.637

Observaciones: A pesar que las temperaturas aplicadas en el ensayo son las mismas para cada muestra, los mejores resultados se observan en el residuo recuperado por el método de película delgada. La deformación no recuperable es menor con éste método  
Ver anexos 4 y 5

---



---



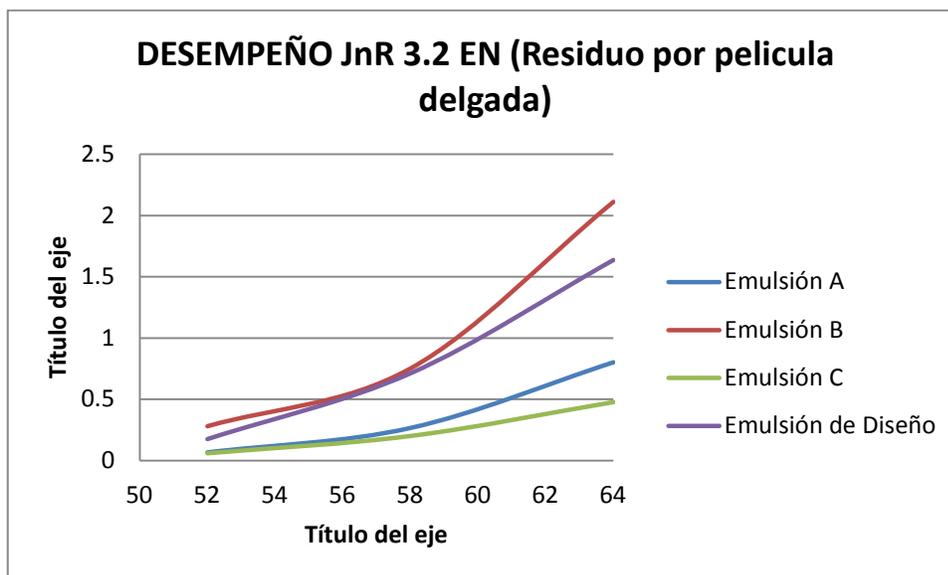
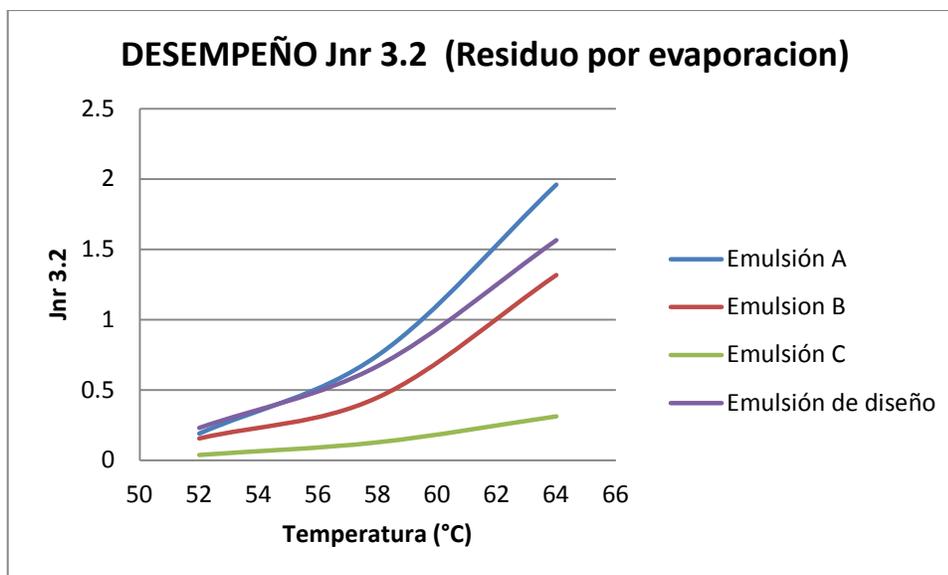
---

\_\_\_\_\_  
Ing. Jefe de Laboratorio



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

GRAFICA D-1  
ANALISIS DE DESEMPEÑO Jnr 3.2 Vrs TEMPERATURA



Observaciones: Ver anexos 4 y 5



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

FORMULARIO D-5

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PRUEBAS MSCR REALIZADAS A LOS RESIDUOS RECUPERADOS POR EL MÉTODO DE PELÍCULA DELGADA AASHTO PP72 (MÉTODO A), PARA LA EMULSIÓN DE DISEÑO vs. LAS EMULSIONES A, B, C

Emulsión	Temperatura °C	R0.1 KPa	R3.2 KPa	Jnr 0.1	Jnr 3.2	Dif Jnr, %
De Diseño	52	52.72	40.02	0.1315	0.1746	32.81
	58	43.22	19.57	0.4087	0.7116	74.14
	64	32.80	8.489	0.9210	1.637	77.7
Tipo A	52	51.45	43.99	0.05679	0.06579	15.85
	58	36.02	25.10	0.2224	0.2653	19.29
	64	31.85	13.67	0.5658	0.8018	41.71
Tipo B	52	34.88	25.24	0.2367	0.2796	18.11
	58	27.74	14.55	0.5971	0.7512	25.8
	64	19.18	6.16	1.623	2.112	30.15
Tipo C	52	57.5	49.34	0.0480	0.0588	22.30
	58	47.09	34.54	0.1569	0.1999	27.40
	64	40.98	22.14	0.3350	0.4764	42.09

Observaciones:.. Probablemente la emulsión de diseño tendrá una mayor influencia en la deformación de la mezcla ya que sus valores de Jnr son más elevados que los de las otras emulsiones.

Ver anexos 4 y 5

\_\_\_\_\_  
Ing. Jefe de Laboratorio



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

FORMULARIO D-5  
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PRUEBAS MSCR REALIZADAS A LOS RESIDUOS  
RECUPERADOS POR EL MÉTODO DE EVAPORACIÓN, PARA LA EMULSIÓN DE DISEÑO  
vrs. LAS SEMULSIÓN A, B, C

Emulsión	Temperatura °C	R0.1 KPa	R3.2 KPa	Jnr 0.1	Jnr 3.2	Dif Jnr, %
De Diseño	52	52.29	36.7	0.1598	0.23	43.75
	58	44.25	20.75	0.397	0.67	68.81
	64	35.18	9.69	0.849	1.565	84.36
Tipo A	52	47.42	32.57	0.1452	0.1895	30.51
	58	31.56	12.96	0.5473	0.7458	36.26
	64	27.99	6.539	1.298	1.96	50.99
Tipo B	52	60.35	46.45	0.1107	0.1547	39.83
	58	61.25	44.19	0.2825	44.67	58.12
	64	58.02	36.11	0.7318	1.317	79.93
Tipo C	52	73.42	65.47	0.0279	0.0373	33.71
	58	69.92	54.62	0.0798	0.1275	59.43
	64	66.98	46.03	0.1704	0.3118	83.03

Observaciones:.. Probablemente la emulsión de diseño tendrá una mayor influencia en la deformación de la mezcla ya que sus valores de Jnr son más elevados que los de las otras emulsiones.

Ver anexos 4 y 5

---

Ing. Jefe de Laboratorio



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

FORMULARIO D-6  
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PRUEBAS PG REALIZADAS A LOS RESIDUOS  
RECUPERADOS POR EL MÉTODO DE PELÍCULA DELGADA AASHTO PP72 (MÉTODO A),  
PARA LA EMULSIÓN DE DISEÑO vrs. LA EMULSIÓN TIPO A

Emulsión	Temperatura	Temperatura °C	G* /Sen(delta) (Kpa)	delta (grados)
De Diseño	1	76	1.553	80.54
	2	82	0.8627	82.51
	3	88	0.4883	84.11
Temperatura de falla °C	80.53			
Tipo A	1	70	4.691	75.86
	2	76	2.574	80.50
	3	82	1.38	83.13
	4	88	0.7261	84.86
Temperatura de falla °C	85.01			
Tipo B	1	70	2.315	79.71
	2	76	1.207	81.72
	3	82	0.6426	83.47
Temperatura de falla °C	77.83			
Tipo C	1	70	4.87	74.30
	2	76	2.702	77.84
	3	82	1.506	80.86
	4	88	0.8414	82.53
Temperatura de falla °C	86.21			

Observaciones: Ver anexos 4 y 5

---



---



---

\_\_\_\_\_  
Ing. Jefe de Laboratorio



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUOLA DE INGENIERIA CIVIL

FORMULARIO D-6  
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PRUEBAS PG REALIZADAS A LOS RESIDUOS  
RECUPERADOS POR EL MÉTODO DE MÉTODO DE EVAPORACIÓN, PARA LA EMULSIÓN  
DE DISEÑO vs. LA EMULSIÓN TIPO A

Emulsión	Temperatura	Temperatura °C	G* /Sen(delta) (Kpa)	delta (grados)
De Diseño	1	70	2.69	78.41
	2	76	1.503	80.54
	3	82	0.846	82.43
Temperatura de falla °C	80.25			
Tipo A	1	64	4.179	75.83
	2	70	2.119	77.49
	3	76	1.183	82.87
Temperatura de falla °C	77.58			
Tipo B	1	70	2.489	74.18
	2	76	1.382	75.31
	3	82	0.786	76.38
Temperatura de falla °C	79.45			
Tipo C	1	70	6.974	66.93
	2	76	4.477	70.87
	3	82	2.634	72.83
	4	88	1.501	74.73
	5	94	0.8605	76.45
Temperatura de falla °C	92.61			

Observaciones: Ver anexos 4 y 5

---



---



---

\_\_\_\_\_  
Ing. Jefe de Laboratorio



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

FORMULARIO D-7  
ANALISIS COMPARATIVO DE AHUELLAMIENTO Y DEFORMACION LATERAL

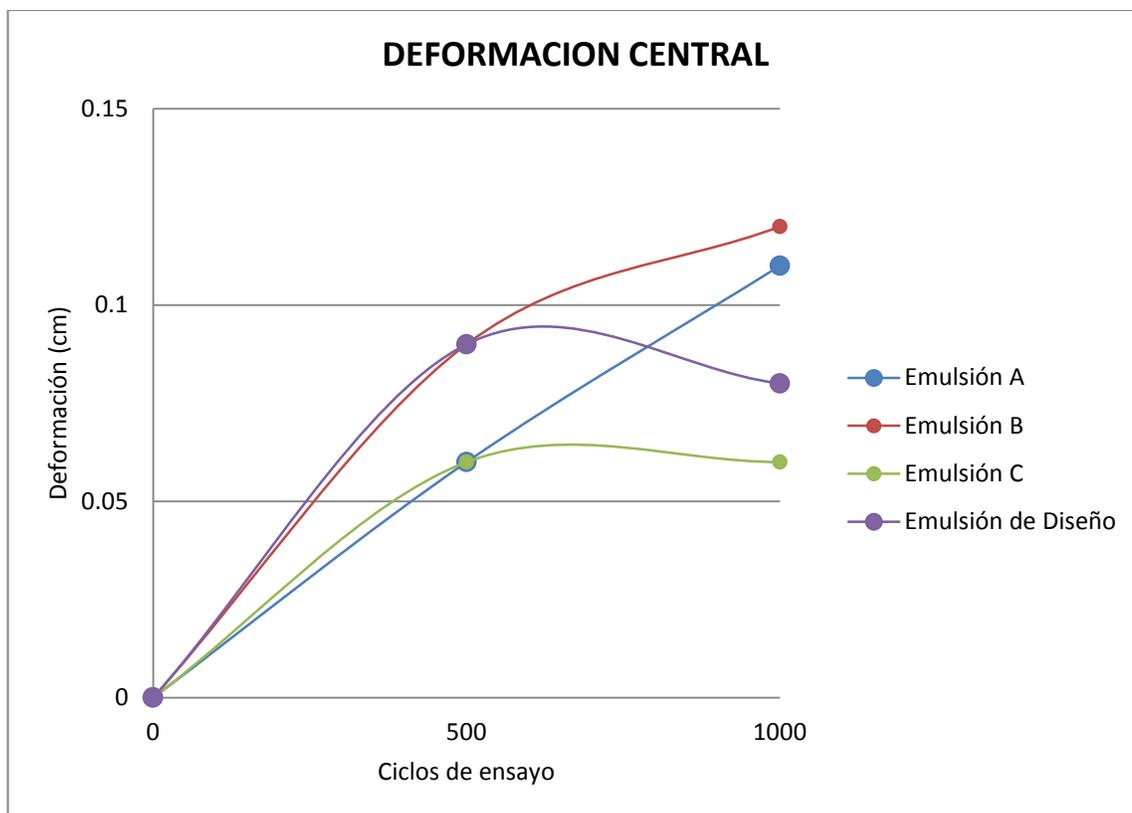
MUESTRA	CICLOS	Ancho Izquierdo (cm)	Deformación Lateral Izquierdo	Ancho Centro (cm)	Deformación Lateral Central	Ancho Derecho (cm)	Deformación Lateral Derecha	AHUELLAMIENTO (mm)		AHUELLAMIENTO PROMEDIO (mm)
								SUPERIOR	INFERIOR	
Emulsión A	0	5.03	0	5.09	0	5.06	0	SUPERIOR	0.025	0.0683
	500	5.09	0.06	5.15	0.06	5.07	0.01	CENTRO	0.065	
	1000	5.09	0.06	5.2	0.11	5.07	0.01	INFERIOR	0.115	
Emulsión B	0	4.99	0	5.09	0	4.94	0	SUPERIOR	0.120	0.1067
	500	5.06	0.07	5.18	0.09	5.07	0.13	CENTRO	0.100	
	1000	5.07	0.08	5.21	0.12	5.07	0.13	INFERIOR	0.100	
Emulsión C	0	5.16	0	5.14	0	5.15	0	SUPERIOR	0.130	0.1067
	500	5.21	0.05	5.2	0.06	5.15	0	CENTRO	0.110	
	1000	5.22	0.06	5.2	0.06	5.15	0	INFERIOR	0.080	
Emulsión de Diseño	0	4.76	0	5.12	0	5.13	0	SUPERIOR	0.150	0.1767
	500	4.93	0.17	5.21	0.09	5.12	-0.01	CENTRO	0.140	
	1000	4.95	0.19	5.2	0.08	5.11	-0.02	INFERIOR	0.240	

Observaciones: Para la Emulsión de Diseño se observa desquebramiento en la pastilla al llegar a los 500 ciclo, produciendo una deformación negativa al reducirse el tamaño de la pastilla de prueba



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUOLA DE INGENIERIA CIVIL

GRAFICA D-3  
ANALISIS COMPARATIVO DE DEFORMACION CENTRAL



Observaciones: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

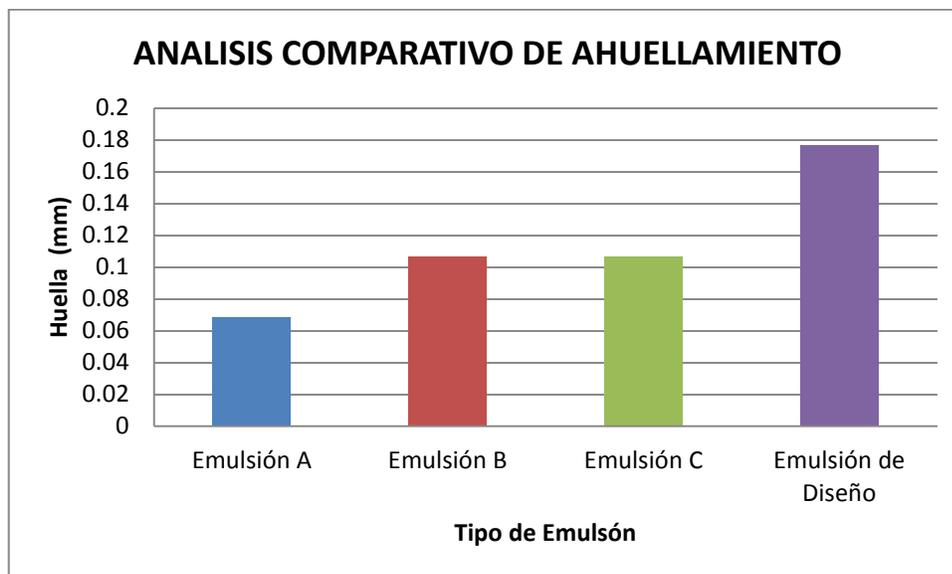
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Ing. Jefe de Laboratorio



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

GRAFICA D-4  
ANALISIS COMPARATIVO DE AHUELLAMIENTO



Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
 Ing. Jefe de Laboratorio

# CAPITULO VI

## CONCLUSIONES Y

## RECOMENDACIONES

## 6 Conclusiones y recomendaciones

### 6.1 Conclusiones

Al finalizar esta investigación se concluye en base a los resultados de los ensayos y a la observación de campo:

- El uso de los micropavimentos, como técnica de mantenimiento vial, contribuye al mejoramiento de las superficies de rodadura de las vías, siempre y cuando las superficies de rodadura, en las que se desee aplicar la técnica, sean preparadas adecuadamente y se tengan presentes los cuidados necesarios en el proceso constructivo.
- La mala ejecución o descuidar detalles en el proceso constructivo de los micropavimentos deriva en la presencia de daños a corto plazo en la estructura.
- El agregado cumple con el requerimiento de la norma ISSA A143, estando dentro de los parámetros del Tipo III. La uniformidad de la gradación debe mantenerse para evitar cambios en el diseño.
- Los ensayos de Consistencia con Cono de Kansas y de Mezcla Manual fueron satisfactorios, demostrando así la compatibilidad Agregado-Emulsión, siendo innecesario realizar el ensayo de Azul de Metileno.
- Por medio de los ensayos de Ductilidad, Recuperación Elástica y de Bola-Anillo, se pudo observar la fuerte influencia del polímero en el

comportamiento del asfalto, mejorando evidentemente las propiedades elásticas y resistencia a altas temperaturas.

- Por medio del ensayo LWT se pudo observar que a mayor contenido de emulsión asfáltica, mayor adherencia de arena, es decir, que dicho ensayo representa la exudación (exceso de asfalto). Por otro lado, el ensayo WTAT representa la falta de asfalto en la mezcla, representando las peladuras del pavimento y la pérdida de agregado.
- Se consideraron tres emulsiones del mismo tipo CQS 1h-p, de distintas formulaciones, para el desarrollo de la investigación, con la intención de poder comparar sus características reológicas con las de la emulsión utilizada en la realización de la propuesta de diseño y así predecir cual de las cuatro emulsiones utilizadas tendría un mejor desempeño.
- Para realizar la prueba ISSA TB 147, se utilizó el mismo diseño de mezcla, la única variante fue la formulación de la emulsión asfáltica que se aplicó en dicha mezcla.
- Si bien es importante la realización de las pruebas físicas de composición de las emulsiones, éstas no ayudan a predecir el desempeño de la emulsión en campo, por lo tanto es necesario apoyarse en las características reológicas del asfalto, porque con ellas podemos predecir el desempeño de las mismas en campo de forma cercana a la realidad.
- Al realizar la prueba de ISSA 147, para comparar la propuesta de diseño usando distintas emulsiones del tipo CQS 1h, el desempeño de la

propuesta de diseño no fue el esperado, a pesar que todos los requisitos para los materiales utilizados en el diseño cumplían con los de las normas AASHTO y ASTM respectivos, debido a las condiciones del equipo utilizado al ensayar la emulsión de diseño, no pudo aplicarse los 2500 ciclos de carga planificados para la prueba, por lo que la prueba tuvo que limitarse a comparar resultados hasta 1000 ciclos.

- El método de recuperación de los residuos asfálticos de las emulsiones tiene una incidencia significativa en los resultados de las pruebas reológicas, se pudo comprobar que con el método de Evaporación los resultados de las pruebas PG y MSCR son menos favorables que los obtenidos con el método de Película Delgada.
- Los resultados de las pruebas reológicas experimentales de laboratorio predicen que la Emulsión Tipo C tendrá mejor desempeño en campo en comparación con la Emulsión de Diseño, lo anterior no significa que el diseño propuesto en este trabajo de graduación no pueda ser adaptado a condiciones reales y tener un desempeño óptimo.

## 6.2 Recomendaciones

Al finalizar esta investigación se recomienda:

- Apoyarse en el estudio de las características reológicas en futuras investigaciones, en las que se utilicen ligantes asfálticos a fin de predecir en laboratorio el desempeño de estos en campo.
- Realizar tramos de prueba en investigaciones similares a esta, de tal forma que los resultados de desempeño obtenidos en laboratorio puedan ser complementados con la observación de campo.
- Solicitar en las especificaciones técnicas de los proyectos de micropavimento que se evalúe la temperatura de desempeño del pavimento existente, para poder determinar el tipo de emulsión adecuada para evitar el ahuellamiento.
- Realizar la inspección previa a la superficie de forma adecuada y cuidadosa, con personal consciente de la importancia que esta conlleva para la futura vida del micropavimento.
- En la ejecución del proceso constructivo, es muy importante la implementación de la seguridad industrial, como la señalización del tramo y protección de los trabajadores durante la aplicación.
- Trabajar con los mismos materiales en campo y en el laboratorio para hacer que los resultados sean lo más precisos posibles.

- Evaluar la recuperación de los residuos asfálticos usando los métodos descritos en la norma AASHTO TP 72 y compararlos a fin de determinar con cuál de los dos se obtienen mejores resultados.

REFERENCIA  
BIBLIOGRAFÍA

Dr. Delmar Salomón, 2006, *Conservación de Pavimentos: Metodologías y Estrategias*, Recuperados de <http://www.pavementpreservationsystems.com/>

SSA Technical Bulletin A105. "Recommended Performance Guideline For Emulsified Asphalt Slurry Seal". International Slurry Surfacing Association. (Revised) February 2010

ISSA Technical Bulletin No. 100. "Test Method for Wet Track Abrasion of Slurry Surfaces". International Slurry Surfacing Association. 4th Revision 2005

ISSA Technical Bulletin No. 106. "Measurement of Slurry Seal Consistency". International Slurry Surfacing Association. 3rd Revision 2005.

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. 3rd Revision 2005.

ISSA Technical Bulletin No. 111. "Outline Guide Design Procedure for Slurry Seal". 2nd Revision 2005

ISSA Technical Bulletin No. 113. "Trial Mix Procedure for Slurry Seal Design". International Slurry Surfacing Association. 3rd Revision 2005

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". 2nd Revision 2005

ISSA Technical Bulletin A143. "Recommended Performance Guidelines For Micro-Surfacing". International Slurry Surfacing Association. (Revised) February 2010.

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. 1st Revision 2005.

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 D 244. "Standard Test Methods and Practices for Emulsified Asphalts". American Society for Testing and Materials (2000).

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).

Jonathan Romero, Luis Chipagua, Victor Ramirez. "Propuesta de aplicación de lechadas asfálticas modificadas (microsurfacing) como técnica de mantenimiento periódico en vías de alto tráfico, Universidad de El Salvador". Tesis UES. Universidad de El Salvador. Septiembre 2007.

Asphalt Institute. Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente, MS-22USA, 1992

Asphalt Institute: Manual básico de emulsiones asfálticas, MS-19 USA, 1992.

Luciana García, 2009, *Reología de ligantes asfálticos mediante el viscosímetro brookfield*, Recuperado de: <http://lemac.frlp.utn.edu.ar/>

Quim. Jorge Salazar Delgado, LanammeUCR, 2011, *Guía para la realización de ensayos y clasificación de asfaltos, emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados según el Reglamento Técnico Centroamericano*, Recuperado de: <http://revistas.ucr.ac.cr/>

REPSOL, 2010, *Fisicoquímica del Asfalto*, Recuperado de: <http://www.repsol.com/>

Jaleydi Cárdenas y Elsa Fonseca, 2009, *Modelación del comportamiento reológico de asfalto convencional y modificado con polímero reciclado, estudiada desde la relación viscosidad-temperatura*, Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n12>

Ing. Israel Sandoval Navarro e Ing. Ignacio Cremades Ibáñez SURFAX SA de CV, 2011 *Caracterización de asfaltos mediante creep repetido multi-esfuerzo en reómetro de corte dinámico*. Recuperado de: <http://www.dupont.com/content/mexico-wheel-tracking-spanish.pdf>

Ing. Israel Sandoval Navarro LASFALTO S. de R.L. de C.V. e Ing. Ignacio Cremades Ibáñez SURFAX S.A. de C.V., 2011, Evolución del grado pg en la caracterización de asfaltos, Recuperado de: [www.ichasfalto.cl](http://www.ichasfalto.cl)

**ANEXOS**

## 1. Glosario

**Asfalto:** El asfalto, también denominado betún, es un material viscoso, pegajoso y de color negro. Se utiliza mezclado con arena o gravilla para pavimentar caminos. En las mezclas asfálticas es usado como aglomerante para la construcción de carreteras. Está presente en el petróleo crudo y compuesto casi por completo de betún bitumen. El asfalto es una sustancia que constituye la fracción más pesada del petróleo crudo

**Conservación de Pavimentos:** La conservación de pavimentos es un sistema planeado para tratar pavimentos en el tiempo óptimo para maximizar su vida útil, mejorando de ésta manera la longevidad del pavimento al menor costo.

**Emulsión Asfáltica:** Las emulsiones asfálticas son una mezcla de asfalto con emulsificantes que con el agua forman una emulsión estable que permite tender las carpetas asfálticas "en frío", es decir, a temperaturas menores a 100°C.

**Filler:** El filler o polvo mineral de aportación es un producto comercial de naturaleza pulverulenta (cemento normalmente o cenizas volantes de central térmica) o un polvo en general calizo, especialmente preparado para utilizarlo en mastico para mezclas asfálticas.

**Grado de Desempeño:** El grado de desempeño o Grado PG es el rango de temperaturas, máxima a mínima, entre las que un cemento asfáltico se desempeña satisfactoriamente.

**Mantenimiento:** El mantenimiento es el trabajo realizado para mantener un pavimento que se encuentre en condiciones de tráfico y medio ambiente

normales, tan cerca como sea posible a su estado o condición original (recién construido).

**Micropavimento:** El micropavimento es una mezcla de emulsión asfáltica modificada con polímero, agregado mineral triturado y bien graduado, con los materiales, diseño y aplicación sometidos a mayores exigencias. Generalmente es usado como lechada asfáltica para una superficie existente de pavimento de concreto asfáltico.

**Reología:** Es la ciencia que estudia el flujo y la deformación de los materiales sometidos a esfuerzos externos.

**Tratamiento Superficial:** Es un tratamiento que afecta, en principio, a la superficie de la carretera, proporcionando una rodadura muy segura. No proporciona capacidad portante a la carretera, pero sí contribuye a que las capas inferiores mantengan la suya evitando que los agentes externos las deterioren.

## 2. Requerimientos para Emulsiones Catiónicas ASTM 2397-02

TABLE 1 Requirements for Cationic Emulsified Asphalt

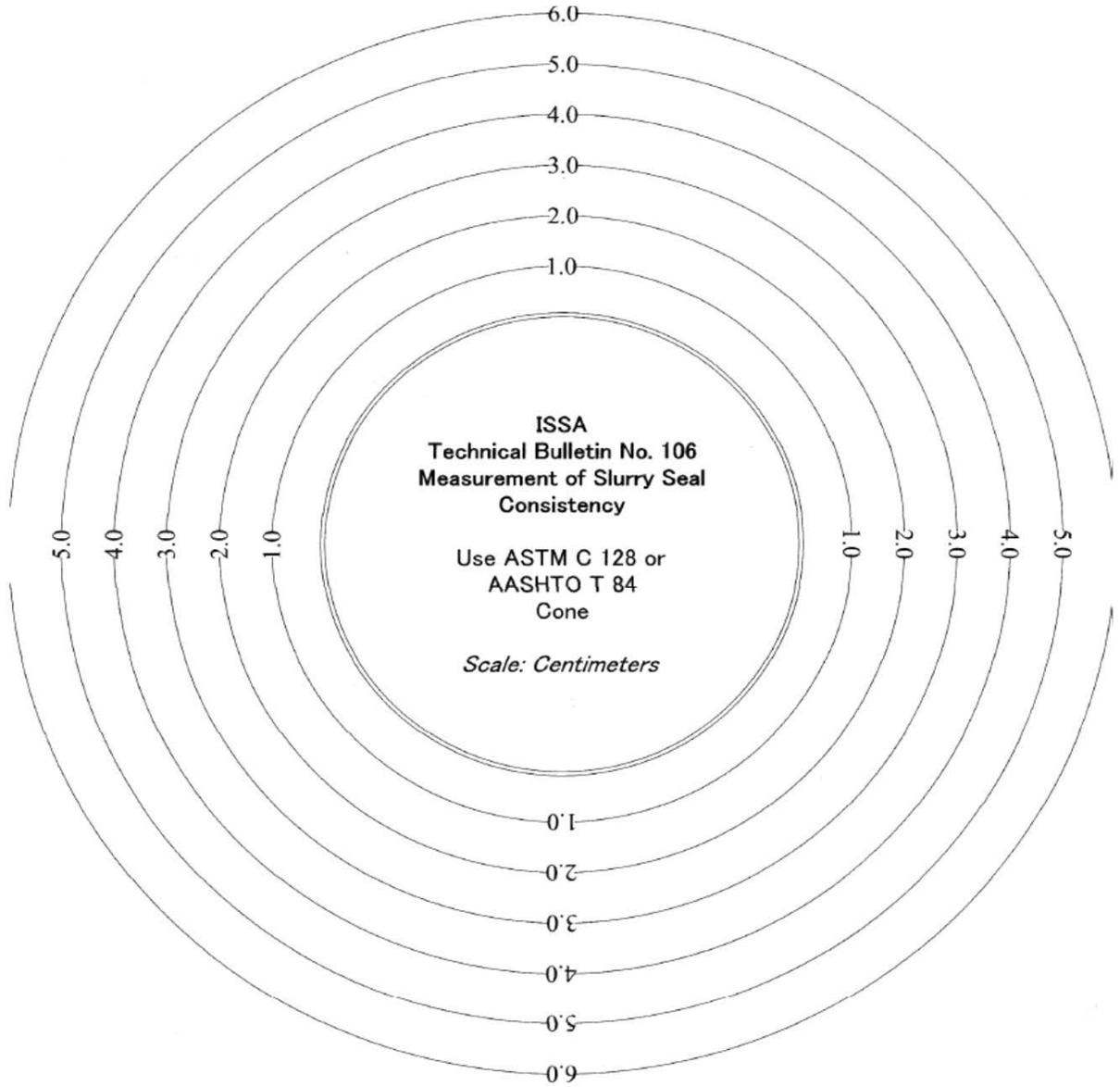
NOTE 1—CQS-1H emulsions shall meet the requirements outlined in Practices D 3910.

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		good							
Coating, after spraying					fair		fair							
Coating, wet aggregate					fair		fair							
Coating, after spraying					fair		fair							
Particle charge test	positive		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.

**3. Formato para prueba de Consistencia con Cono de Kansas ISSA TB 106**



Sample No.	cm
Mix Formula	cm
	cm
	cm
	Total
Date	Average

## 4. Clasificación de los Asfaltos de acuerdo al Grado de Desempeño PG AASHTO M 332-14

**Table 1—Performance-Graded Asphalt Binder Specification<sup>a</sup>**

Performance Grade	PG 46			PG 52						PG 58					
	34	40	46	10	16	22	28	34	40	46	16	22	28	34	40
Average 7-day max pavement design temp, °C <sup>b</sup>	<46			<52						<58					
Min pavement design temp, °C <sup>b</sup>	>-34	>-40	>-46	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-46	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40
Original Binder															
Flash point temp, T 48, min °C	230														
Viscosity, T 316: <sup>c</sup> max 3 Pa·s, test temp, °C	135														
Dynamic shear, T 315: <sup>d</sup> G*/sinδ, min 1.00 kPa <sup>e</sup> test temp @ 10 rad/s, °C	46			52						58					
Rolling Thin-Film Oven Residue (T 240)															
Mass change, max, percent <sup>f</sup>	1.00														
MSCR, T 350: Standard Traffic "S" J <sub>sr</sub> , max 4.5 kPa <sup>-1</sup> J <sub>srif</sub> , max 75% test temp, °C	46			52						58					
MSCR, T 350: Heavy Traffic "H" J <sub>sr</sub> , max 2.0 kPa <sup>-1</sup> J <sub>srif</sub> , max 75% test temp, °C	46			52						58					
MSCR, T 350: Very Heavy Traffic "V" J <sub>sr</sub> , max 1.0 kPa <sup>-1</sup> J <sub>srif</sub> , max 75% test temp, °C	46			52						58					
MSCR, T 350: Extremely Heavy Traffic "E" J <sub>sr</sub> , max 0.5 kPa <sup>-1</sup> J <sub>srif</sub> , max 75% test temp, °C	46			52						58					
Pressurized Aging Vessel Residue (R 28)															
PAV aging temp, °C <sup>g</sup>	90			90						100					
Dynamic shear, T 315: "S" G* sinδ, max 5000 kPa <sup>e</sup> test temp @ 10 rad/s, °C	10	7	4	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13
Dynamic shear, T 315: "H," "V," "E" G* sinδ, max 6000 kPa <sup>e</sup> test temp @ 10 rad/s, °C	10	7	4	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13
Creep stiffness, T 313: <sup>h</sup> S, max 300 MPa m-value, min 0.300 test temp @ 60 s, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30
Direct tension, T 314: <sup>i</sup> Failure strain, min 1.0% test temp @ 1.0 mm/min, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30

<sup>a</sup> MSCR testing on RTFO residue should be performed at the PG grade based on the environmental high pavement temperature. Grade bumping is accomplished by requiring a lower J<sub>sr</sub> value while testing at the environmental temperature.

<sup>b</sup> Pavement temperatures are estimated from air temperatures using an algorithm contained in the LTPP Bind program, may be provided by the specifying agency, or by following the procedures as outlined in M 323 and R 35, excluding the provisions for "grade bumping."

<sup>c</sup> This requirement may be waived at the discretion of the specifying agency if the supplier warrants that the asphalt binder can be adequately pumped and mixed at temperatures that meet all applicable safety standards.

<sup>d</sup> For quality control of unmodified asphalt binder production, measurement of the viscosity of the original asphalt binder may be used to supplement dynamic shear measurements of G\*/sinδ at test temperatures where the asphalt is a Newtonian fluid.

<sup>e</sup> G\*/sinδ = high temperature stiffness and G\* sinδ = intermediate temperature stiffness.

<sup>f</sup> The mass change shall be less than 1.00 percent for either a positive (mass gain) or a negative (mass loss) change.

<sup>g</sup> The PAV aging temperature is based on simulated climatic conditions and is one of three temperatures, 90°C, 100°C, or 110°C. Normally the PAV aging temperature is 100°C for PG 58-xx and above. However, in desert climates, the PAV aging temperature for PG 70-xx and above may be specified as 110°C.

<sup>h</sup> If the creep stiffness is below 300 MPa, the direct tension test is not required. If the creep stiffness is between 300 and 600 MPa, the direct tension failure strain requirement can be used in lieu of the creep stiffness requirement. The m-value requirement must be satisfied in both cases.

**Table 1—Performance-Graded Asphalt Binder Specification<sup>a</sup> (continued)**

Performance Grade	PG 64						PG 70					
	10	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	40
Average 7-day max pavement design temp, °C <sup>b</sup>	<64						<70					
Min pavement design temp, °C <sup>b</sup>	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40
Original Binder												
Flash point temp, T 48, min °C	230											
Viscosity, T 316: <sup>c</sup> max 3 Pa·s, test temp, °C	135											
Dynamic shear, T 315: <sup>d</sup> G*/sinδ, min 1.00 kPa <sup>e</sup> test temp @ 10 rad/s, °C	64						70					
Rolling Thin-Film Oven Residue (T 240)												
Mass change, max, percent <sup>f</sup>	1.00											
MSCR, T 350: Standard Traffic "S" J <sub>nr</sub> , max 4.5 kPa <sup>-1</sup> J <sub>vir</sub> , max 75% test temp, °C	64						70					
MSCR, T 350: Heavy Traffic "H" J <sub>nr</sub> , max 2.0 kPa <sup>-1</sup> J <sub>vir</sub> , max 75% test temp, °C	64						70					
MSCR, T 350: Very Heavy Traffic "V" J <sub>nr</sub> , max 1.0 kPa <sup>-1</sup> J <sub>vir</sub> , max 75% test temp, °C	64						70					
MSCR, T 350: Extremely Heavy Traffic "E" J <sub>nr</sub> , max 0.5 kPa <sup>-1</sup> J <sub>vir</sub> , max 75% test temp, °C	64						70					
Pressurized Aging Vessel Residue (R 28)												
PAV aging temp, °C <sup>g</sup>	100						100 (110)					
Dynamic shear, T 315: "S" G* sinδ, max 5000 kPa <sup>e</sup> test temp @ 10 rad/s, °C	31	28	25	22	19	16	34	31	28	25	22	19
Dynamic shear, T 315: "H," "V," "E" G* sinδ, max 6000 kPa <sup>e</sup> test temp @ 10 rad/s, °C	31	28	25	22	19	16	34	31	28	25	22	19
Creep stiffness, T 313: <sup>h</sup> S, max 300 MPa m-value, min 0.300 test temp @ 60 s, °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30
Direct tension, T 314: <sup>i</sup> Failure strain, min 1.0% test temp @ 1.0 mm/min, °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30

<sup>a</sup> MSCR test on RTFO residue should be performed at the PG grade based on the environmental high pavement temperature. Grade bumping is accomplished by requiring a lower J<sub>nr</sub> value while testing at the environmental temperature.

<sup>b</sup> Pavement temperatures are estimated from air temperatures using an algorithm contained in the LTPP Bind program, may be provided by the specifying agency, or by following the procedures as outlined in M 323 and R 35, excluding the provisions for "grade bumping."

<sup>c</sup> This requirement may be waived at the discretion of the specifying agency if the supplier warrants that the asphalt binder can be adequately pumped and mixed at temperatures that meet all applicable safety standards.

<sup>d</sup> For quality control of unmodified asphalt binder production, measurement of the viscosity of the original asphalt binder may be used to supplement dynamic shear measurements of G\*/sinδ at test temperatures where the asphalt is a Newtonian fluid.

<sup>e</sup> G\*/sinδ = high temperature stiffness and G\* sinδ = intermediate temperature stiffness.

<sup>f</sup> The mass change shall be less than 1.00 percent for either a positive (mass gain) or a negative (mass loss) change.

<sup>g</sup> The PAV aging temperature is based on simulated climatic conditions and is one of three temperatures, 90°C, 100°C, or 110°C. Normally the PAV aging temperature is 100°C for PG 58-xx and above. However, in desert climates, the PAV aging temperature for PG 70-xx and above may be specified as 110°C.

<sup>h</sup> If the creep stiffness is below 300 MPa, the direct tension test is not required. If the creep stiffness is between 300 and 600 MPa, the direct tension failure strain requirement can be used in lieu of the creep stiffness requirement. The m-value requirement must be satisfied in both cases.

**Table 1—Performance-Graded Asphalt Binder Specification<sup>o</sup> (continued)**

Performance Grade	PG 76					PG 82				
	10	16	22	28	34	10	16	22	28	34
Average 7-day max pavement design temp, °C <sup>d</sup>	<76					<82				
Min pavement design temp, °C <sup>d</sup>	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34
Original Binder										
Flash point temp, T 48, min°C	230									
Viscosity, T 316: <sup>e</sup> max 3 Pa·s, test temp, °C	135									
Dynamic shear, T 315: <sup>f</sup> G* <sup>g</sup> /sin δ, min 1.00 kPa <sup>h</sup> test temp @ 10 rad/s, °C	76					82				
Rolling Thin-Film Oven Residue (T 240)										
Mass change, max, percent <sup>i</sup>	1.00									
MSCR, T 350: Standard Traffic "S" J <sub>1012</sub> , max 4.5 kPa <sup>-1</sup> J <sub>1015</sub> , max 75% test temp, °C	76					82				
MSCR, T 350: Heavy Traffic "H" J <sub>1012</sub> , max 2.0 kPa <sup>-1</sup> J <sub>1015</sub> , max 75% test temp, °C	76					82				
MSCR, T 350: Very Heavy Traffic "V" J <sub>1012</sub> , max 1.0 kPa <sup>-1</sup> J <sub>1015</sub> , max 75% test temp, °C	76					82				
MSCR, T 350: Extremely Heavy Traffic "E" J <sub>1012</sub> , max 0.5 kPa <sup>-1</sup> J <sub>1015</sub> , max 75% test temp, °C	76					82				
Pressurized Aging Vessel Residue (R 28)										
PAV aging temp, °C <sup>g</sup>	100 (110)					100 (110)				
Dynamic shear, T 315: "S" G* <sup>g</sup> /sin δ, max 5000 kPa <sup>h</sup> test temp @ 10 rad/s, °C	37	34	31	28	25	40	37	34	31	28
Dynamic shear, T 315: "H," "V," "E" G* <sup>g</sup> /sin δ, max 6000 kPa <sup>h</sup> test temp @ 10 rad/s, °C	37	34	31	28	25	40	37	34	31	28
Creep stiffness, T 313: <sup>h</sup> S, max 300 MPa m-value, min 0.300 test temp @ 60 s, °C	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24
Direct tension, T 314: <sup>h</sup> Failure strain, min 1.0% test temp @ 1.0 mm/min, °C	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24

<sup>o</sup> MSCR test on RTFO residue should be performed at the PG grade based on the environmental high pavement temperature. Grade bumping is accomplished by requiring a lower J<sub>1012</sub> value while testing at the environmental temperature.

<sup>d</sup> Pavement temperatures are estimated from air temperatures using an algorithm contained in the LTPP Bind program, may be provided by the specifying agency, or by following the procedures as outlined in M 323 and R 35, excluding the provisions for "grade bumping."

<sup>e</sup> This requirement may be waived at the discretion of the specifying agency if the supplier warrants that the asphalt binder can be adequately pumped and mixed at temperatures that meet all applicable safety standards.

<sup>f</sup> For quality control of unmodified asphalt binder production, measurement of the viscosity of the original asphalt binder may be used to supplement dynamic shear measurements of G\*<sup>g</sup>/sin δ at test temperatures where the asphalt is a Newtonian fluid.

<sup>g</sup> G\*<sup>g</sup>/sin δ = high temperature stiffness and G\* sin δ = intermediate temperature stiffness.

<sup>h</sup> The mass change shall be less than 1.00 percent for either a positive (mass gain) or a negative (mass loss) change.

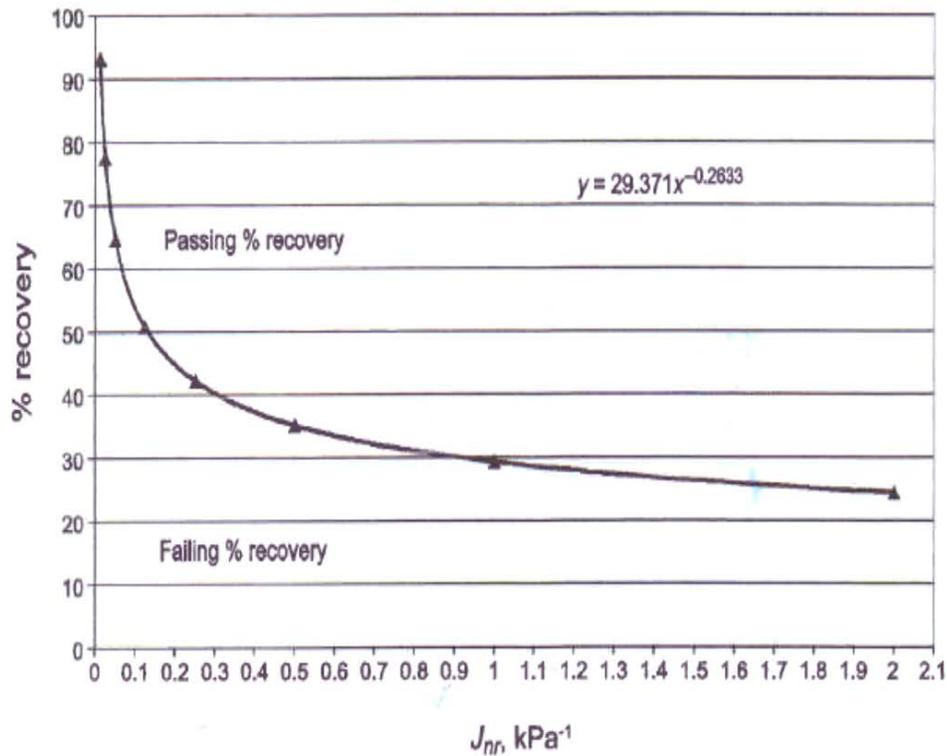
<sup>i</sup> The PAV aging temperature is based on simulated climatic conditions and is one of three temperatures, 90°C, 100°C, or 110°C. Normally the PAV aging temperature is 100°C for PG 58-xx and above. However, in desert climates, the PAV aging temperature for PG 70-xx and above may be specified as 110°C.

<sup>h</sup> If the creep stiffness is below 300 MPa, the direct tension test is not required. If the creep stiffness is between 300 and 600 MPa, the direct tension failure strain requirement can be used in lieu of the creep stiffness requirement. The m-value requirement must be satisfied in both cases.

## 5. Indicaciones para Evaluar la Respuesta Elástica

### X1. INDICATIONS OF ELASTIC RESPONSE

- X1.1. For an asphalt binder tested according to T 350, the percent recovery is intended to provide a means for determining the presence of elastic response and stress dependence of polymer modified and unmodified asphalt binders. Figure X1.1 may be used as an indicator of the presence of an elastomeric polymer.



**Figure X1.1**—Nonrecoverable Creep Compliance Versus Percent Recovery

- X1.2. On the graph in Figure X1.1, plot the average percent recovery at 3.2 kPa,  $R_{3.2}$ , versus the average nonrecoverable creep compliance at 3.2 kPa,  $J_{nr3.2}$ , measured at the same temperature.
- X1.3. If the plotted point falls on or above the line on the graph, the indication is that the asphalt binder is modified with an acceptable elastomeric polymer. If the plotted point falls below the line on the graph, the indication is that the asphalt binder is not modified with an elastomeric polymer.

6. Reportes de MSCR para Emulsión de Diseño (Residuo por método de Película Delgada)

52°C

## DSR Report

### Multiple Stress Creep & Recovery (MSCR)

#### Sample, Procedure, and Geometry Details

Sample name	MSCR residuo de CQS IHP de producción película delgada a 52°C
Procedure name	Two stress repeated creep procedure
Geometry name	25.0mm steel plate

Test Temperature: 52.00°C

#### Files

C:\TAIRheology\Results\MSCR residuo de CQS IHP de producción película delgada a 52°C-0001c.rsl  
06/03/2015 10:43:41 a.m.

#### Analysis

R0.1 - Average percent recovery at 0.100kPa = 52.72

R3.2 - Average percent recovery at 3.200kPa = 40.02

R diff - Percent difference between average recovery at 0.100kPa and 3.200kPa = 24.08

Jnr0.1 - Non-recoverable creep compliance at 0.100kPa = 0.1315

Jnr3.2 - Non-recoverable creep compliance at 3.200kPa = 0.1746

Jnr diff - Percent difference between non-recoverable creep compliance at 0.100kPa and 3.200kPa = 32.81

58°C

## DSR Report

### Multiple Stress Creep & Recovery (MSCR)

#### Sample, Procedure, and Geometry Details

Sample name	MSCR residuo de CQS IHP de produccion pelicula delgada a 58°C
Procedure name	Two stress repeated creep procedure
Geometry name	25.0mm steel plate

Test Temperature: 58.00°C

#### Files

C:\TA\Rheology\Results\MSCR residuo de CQS IHP de produccion pelicula delgada a 58°C-0001c.rsl  
06/03/2015 11:07:02 a.m.

#### Analysis

R0.1 - Average percent recovery at 0.100kPa = 43.22

R3.2 - Average percent recovery at 3.200kPa = 19.57

R diff - Percent difference between average recovery at 0.100kPa and 3.200kPa = 54.72

Jnr0.1 - Non-recoverable creep compliance at 0.100kPa = 0.4087

Jnr3.2 - Non-recoverable creep compliance at 3.200kPa = 0.7116

Jnr diff - Percent difference between non-recoverable creep compliance at 0.100kPa and 3.200kPa = 74.14

64°C

## DSR Report

### Multiple Stress Creep & Recovery (MSCR)

#### Sample, Procedure, and Geometry Details

Sample name	MSCR residuo de CQS IHP de produccion pelicula delgada a 64°C
Procedure name	Two stress repeated creep procedure
Geometry name	25.0mm steel plate

Test Temperature: 64.00°C

#### Files

C:\ITA\Rheology\Results\MSCR residuo de CQS IHP de produccion pelicula delgada a 64°C-0001c.rsl  
06/03/2015 11:38:51 a.m.

#### Analysis

R0.1 - Average percent recovery at 0.100kPa = 32.80

R3.2 - Average percent recovery at 3.200kPa = 8.489

R diff - Percent difference between average recovery at 0.100kPa and 3.200kPa = 74.12

Jnr0.1 - Non-recoverable creep compliance at 0.100kPa = 0.9210

Jnr3.2 - Non-recoverable creep compliance at 3.200kPa = 1.637

Jnr diff - Percent difference between non-recoverable creep compliance at 0.100kPa and 3.200kPa = 77.70

## 7. Grado de desempeño PG de la Emulsión de Diseño (método de Película Delgada)

### DSR Report

#### DSR Specifications

DSR Description: TA Instruments CSAII

Bearing Type: UHP

Temperature Control: UHP

#### Files

C:\TA\Rheology\Results\PG residuo de CQS IHP de produccion pelicula delgada-0001o.rsl  
06/03/2015 09:36:10 a.m.

C:\TA\Rheology\Results\PG residuo de CQS IHP de produccion pelicula delgada-0002o.rsl  
06/03/2015 09:49:28 a.m.

C:\TA\Rheology\Results\PG residuo de CQS IHP de produccion pelicula delgada-0003o.rsl  
06/03/2015 10:02:46 a.m.

#### Sample, Procedure, and Geometry Details

Sample name	PG residuo de CQS IHP de produccion pelicula delgada
Procedure name	Original Binder
Geometry name	25.0mm steel plate

#### 1<sup>st</sup> Temperature

	ang. frequency	temperature	osc. stress	% strain	delta	G*	G* /sin(delta)
	rad/s	°C	Pa		degrees	Pa	kPa
1	10.00	76.0	182.2	12.011	80.54	1532	1.553

#### 2<sup>nd</sup> Temperature

	ang. frequency	temperature	osc. stress	% strain	delta	G*	G* /sin(delta)
	rad/s	°C	Pa		degrees	Pa	kPa
1	10.00	82.0	102.0	12.028	82.51	855.4	0.8627

#### 3<sup>rd</sup> Temperature

	ang. frequency	temperature	osc. stress	% strain	delta	G*	G* /sin(delta)
	rad/s	°C	Pa		degrees	Pa	kPa
1	10.00	88.0	58.55	12.015	84.11	485.8	0.4883

**Sample, Procedure, and Geometry Details**

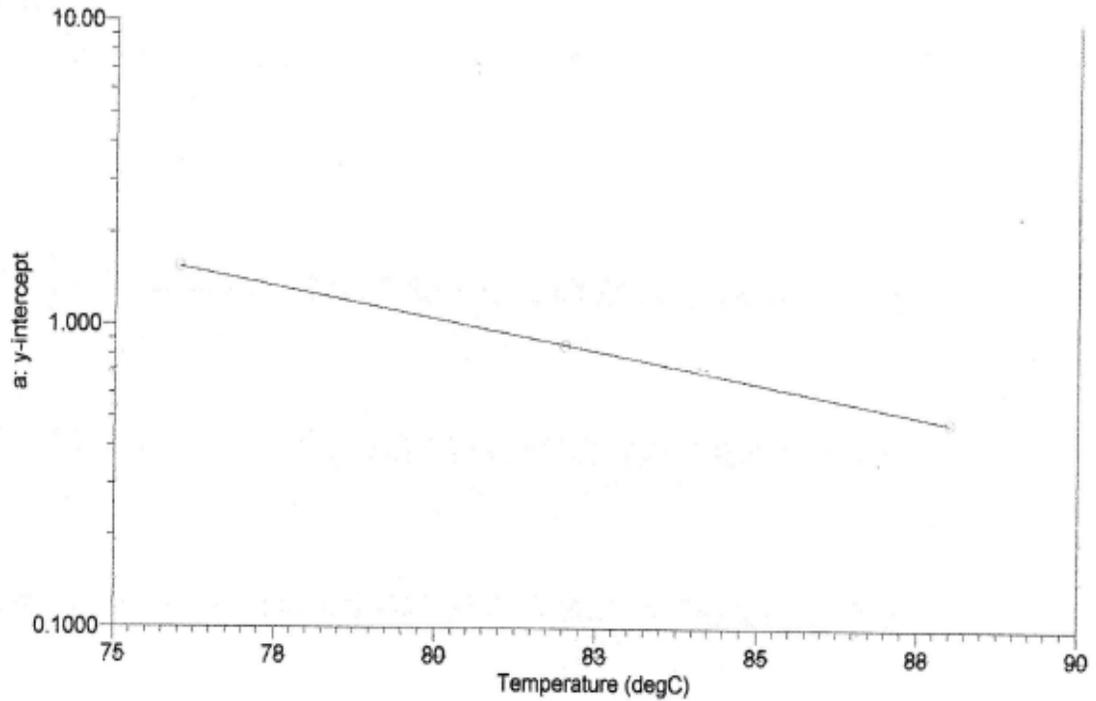
Sample name	PG residuo de CQS IHP de produccion pelicula delgada
Procedure name	Original Binder
Geometry name	25.0mm steel plate

**Analysis Summary**

	filename	QC Pass/Fail	a: y-intercept	Temperature
1	PG residuo de CQS IHP de produccion pelicula delgada-0001o.rsl	Pass	1.553	76 degC
2	PG residuo de CQS IHP de produccion pelicula delgada-0002o.rsl	Fail	0.8627	82
3	PG residuo de CQS IHP de produccion pelicula delgada-0003o.rsl	Fail	0.4883	88

**Fail Graph**

Fail temperature = 80.53°C



8. Reportes de MSCR para Emulsión de Diseño (Residuo por método de Evaporación)

52°C

## DSR Report

### Multiple Stress Creep & Recovery (MSCR)

#### Sample, Procedure, and Geometry Details

Sample name	MSCR 52C CQS-1h proyecto evaporacion
Procedure name	Two stress repeated creep procedure
Geometry name	25.0mm steel plate

Test Temperature: 52.00°C

#### Files

C:\TA\Rheology\Results\MSCR 52C CQS-1h proyecto evaporacion-0001c.rsl  
02/03/2015 11:36:32 a.m.

#### Analysis

R0.1 - Average percent recovery at 0.100kPa = 52.29

R3.2 - Average percent recovery at 3.200kPa = 36.70

R diff - Percent difference between average recovery at 0.100kPa and 3.200kPa = 29.81

Jnr0.1 - Non-recoverable creep compliance at 0.100kPa = 0.1598

Jnr3.2 - Non-recoverable creep compliance at 3.200kPa = 0.2296

Jnr diff - Percent difference between non-recoverable creep compliance at 0.100kPa and 3.200kPa = 43.75

58°C

## DSR Report

### Multiple Stress Creep & Recovery (MSCR)

#### Sample, Procedure, and Geometry Details

Sample name	MSCR 58C CQS-1h proyecto evaporacion
Procedure name	Two stress repeated creep procedure
Geometry name	25.0mm steel plate

Test Temperature: 58.01°C

#### Files

C:\TA\Rheology\Results\MSCR 58C CQS-1h proyecto evaporacion-0001c.rsl  
02/03/2015 12:04:49 p.m.

---

#### Analysis

R0.1 - Average percent recovery at 0.100kPa = 44.25

R3.2 - Average percent recovery at 3.200kPa = 20.75

R diff - Percent difference between average recovery at 0.100kPa and 3.200kPa = 53.11

Jnr0.1 - Non-recoverable creep compliance at 0.100kPa = 0.3968

Jnr3.2 - Non-recoverable creep compliance at 3.200kPa = 0.6699

Jnr diff - Percent difference between non-recoverable creep compliance at 0.100kPa and 3.200kPa = 68.81

64°C

## DSR Report

### Multiple Stress Creep & Recovery (MSCR)

#### Sample, Procedure, and Geometry Details

Sample name	MSCR 64C CQS-1h proyecto evaporacion
Procedure name	Two stress repeated creep procedure
Geometry name	25.0mm steel plate

Test Temperature: 63.98°C

#### Files

C:\TA\Rheology\Results\MSCR 64C CQS-1h proyecto evaporacion-0001c.rsl  
02/03/2015 01:16:27 p.m.

---

#### Analysis

R0.1 - Average percent recovery at 0.100kPa = 35.18

R3.2 - Average percent recovery at 3.200kPa = 9.690

R diff - Percent difference between average recovery at 0.100kPa and 3.200kPa = 72.46

Jnr0.1 - Non-recoverable creep compliance at 0.100kPa = 0.8486

Jnr3.2 - Non-recoverable creep compliance at 3.200kPa = 1.565

Jnr diff - Percent difference between non-recoverable creep compliance at 0.100kPa and 3.200kPa = 84.36

## 9. Grado de desempeño PG de la Emulsión de Diseño (método de Película Delgada)

### DSR Report

#### DSR Specifications

DSR Description: TA Instruments CSAII  
 Bearing Type: UHP  
 Temperature Control: UHP

#### Files

C:\TA\Rheology\Results\PG CQS-1h proyecto evaporacion-0001o.rsl  
 02/03/2015 01:59:01 p.m.

C:\TA\Rheology\Results\PG CQS-1h proyecto evaporacion-0002o.rsl  
 02/03/2015 02:12:20 p.m.

C:\TA\Rheology\Results\PG CQS-1h proyecto evaporacion-0003o.rsl  
 02/03/2015 02:25:42 p.m.

#### Sample, Procedure, and Geometry Details

Sample name	PG CQS-1h proyecto evaporacion
Procedure name	Original Binder
Geometry name	25.0mm steel plate

#### 1<sup>st</sup> Temperature

	ang. frequency	temperature	osc. stress	% strain	delta	G*	G* /sin(delta)
	rad/s	°C	Pa		degrees	Pa	kPa
1	10.00	70.0	315.5	12.067	78.41	2635	2.690

#### 2<sup>nd</sup> Temperature

	ang. frequency	temperature	osc. stress	% strain	delta	G*	G* /sin(delta)
	rad/s	°C	Pa		degrees	Pa	kPa
1	10.00	76.0	176.8	12.048	80.54	1482	1.503

#### 3<sup>rd</sup> Temperature

	ang. frequency	temperature	osc. stress	% strain	delta	G*	G* /sin(delta)
	rad/s	°C	Pa		degrees	Pa	kPa
1	10.00	82.0	100.0	12.034	82.43	838.4	0.8458

**Sample, Procedure, and Geometry Details**

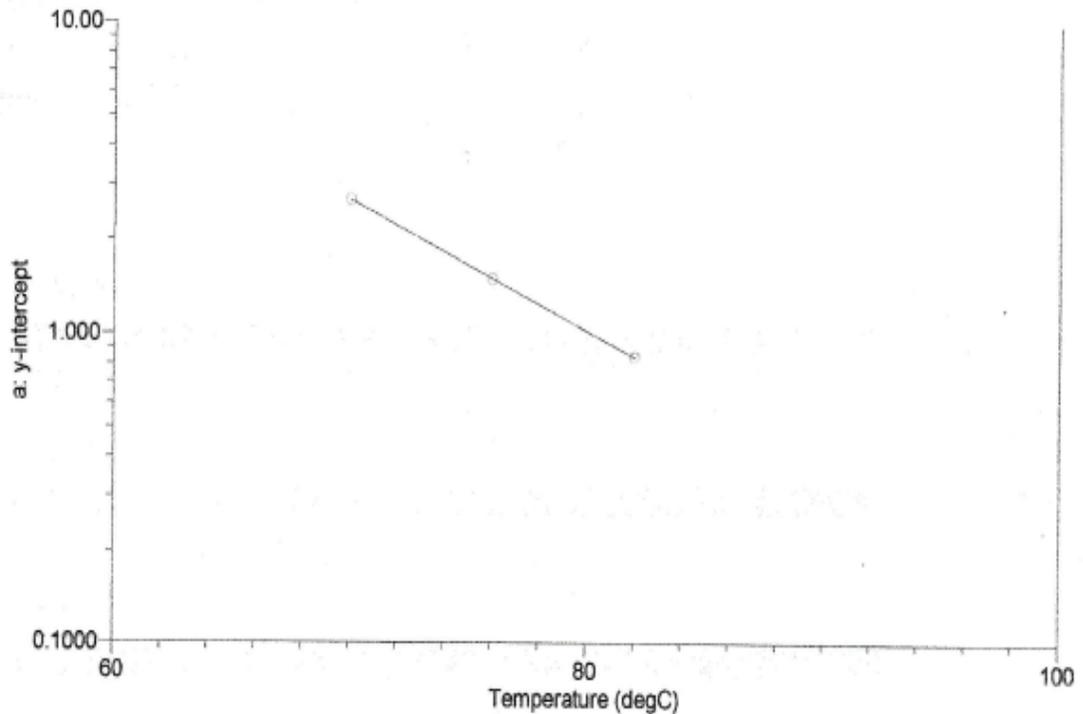
Sample name	PG CQS-1h proyecto evaporacion
Procedure name	Original Binder
Geometry name	25.0mm steel plate

**Analysis Summary**

filename	QC Pass/Fail	a: y-intercept	Temperature
			degC
1 PG CQS-1h proyecto evaporacion-0001o.rsl	Pass	2.690	70
2 PG CQS-1h proyecto evaporacion-0002o.rsl	Pass	1.503	76
3 PG CQS-1h proyecto evaporacion-0003o.rsl	Fail	0.8458	82

**Fail Graph**

Fail temperature = 80.25°C



## 10. Reportes de MSCR para Emulsión Tipo A (Residuo por método de Película Delgada)

52°C

### DSR Report

### Multiple Stress Creep & Recovery (MSCR)

#### Sample, Procedure, and Geometry Details

Sample name	MSCR 52°C CQS-1h polimero (1) pelicula delgada
Procedure name	Two stress repeated creep procedure
Geometry name	25.0mm steel plate

Test Temperature: 52.00°C

#### Files

C:\TA\Rheology\Results\MSCR 52°C CQS-1h polimero (1) pelicula delgada-0001c.rsl  
27/02/2015 10:38:32 a.m.

#### Analysis

R0.1 - Average percent recovery at 0.100kPa = 51.45

R3.2 - Average percent recovery at 3.200kPa = 43.99

R diff - Percent difference between average recovery at 0.100kPa and 3.200kPa = 14.50

Jnr0.1 - Non-recoverable creep compliance at 0.100kPa = 0.05679

Jnr3.2 - Non-recoverable creep compliance at 3.200kPa = 0.06579

Jnr diff - Percent difference between non-recoverable creep compliance at 0.100kPa and 3.200kPa = 15.85

58°C

## DSR Report

### Multiple Stress Creep & Recovery (MSCR)

#### Sample, Procedure, and Geometry Details

Sample name	MSCR 58°C CQS-1h polimero (1) pelicula delgada
Procedure name	Two stress repeated creep procedure
Geometry name	25.0mm steel plate

Test Temperature: 58.01°C

#### Files

C:\TA\Rheology\Results\MSCR 58°C CQS-1h polimero (1) pelicula delgada-0001c.rsl  
27/02/2015 11:22:10 a.m.

#### Analysis

R0.1 - Average percent recovery at 0.100kPa = 36.02

R3.2 - Average percent recovery at 3.200kPa = 25.10

R diff - Percent difference between average recovery at 0.100kPa and 3.200kPa = 30.33

Jnr0.1 - Non-recoverable creep compliance at 0.100kPa = 0.2224

Jnr3.2 - Non-recoverable creep compliance at 3.200kPa = 0.2653

Jnr diff - Percent difference between non-recoverable creep compliance at 0.100kPa and 3.200kPa = 19.29

64°C

## DSR Report

### Multiple Stress Creep & Recovery (MSCR)

#### Sample, Procedure, and Geometry Details

Sample name	MSCR 64°C CQS-1h polimero (1) pelicula delgada
Procedure name	Two stress repeated creep procedure
Geometry name	25.0mm steel plate

Test Temperature: 64.00°C

#### Files

C:\TA\Rheology\Results\MSCR 64°C CQS-1h polimero (1) pelicula delgada-0001c.rsl  
27/02/2015 11:48:26 a.m.

#### Analysis

R0.1 - Average percent recovery at 0.100kPa = 31.85

R3.2 - Average percent recovery at 3.200kPa = 13.67

R diff - Percent difference between average recovery at 0.100kPa and 3.200kPa = 57.09

Jnr0.1 - Non-recoverable creep compliance at 0.100kPa = 0.5658

Jnr3.2 - Non-recoverable creep compliance at 3.200kPa = 0.8018

Jnr diff - Percent difference between non-recoverable creep compliance at 0.100kPa and 3.200kPa = 41.71

## 11. Grado de desempeño PG de la Emulsión Tipo A (Método de Película Delcada)

### DSR Report

#### DSR Specifications

DSR Description: TA Instruments CSAII  
 Bearing Type: UHP  
 Temperature Control: UHP

#### Files

C:\TA\Rheology\Results\PG residuo CQS IHP polimero pelicula delgada-0001o.rsl  
 27/02/2015 01:40:43 p.m.

C:\TA\Rheology\Results\PG residuo CQS IHP polimero pelicula delgada-0002o.rsl  
 27/02/2015 01:53:59 p.m.

C:\TA\Rheology\Results\PG residuo CQS IHP polimero pelicula delgada-0003o.rsl  
 27/02/2015 02:07:16 p.m.

C:\TA\Rheology\Results\PG residuo CQS IHP polimero pelicula delgada-0004o.rsl  
 27/02/2015 02:27:49 p.m.

#### Sample, Procedure, and Geometry Details

Sample name	PG residuo CQS IHP polimero pelicula delgada
Procedure name	Original Binder
Geometry name	25.0mm steel plate

#### 1<sup>st</sup> Temperature

	ang. frequency	temperature	osc. stress	% strain	delta	G*	G* /sin(delta)
	rad/s	°C	Pa		degrees	Pa	kPa
1	10.00	70.0	544.0	12.031	75.86	4548	4.691

#### 2<sup>nd</sup> Temperature

	ang. frequency	temperature	osc. stress	% strain	delta	G*	G* /sin(delta)
	rad/s	°C	Pa		degrees	Pa	kPa
1	10.00	76.0	305.6	12.116	80.50	2539	2.574

#### 3<sup>rd</sup> Temperature

	ang. frequency	temperature	osc. stress	% strain	delta	G*	G* /sin(delta)
	rad/s	°C	Pa		degrees	Pa	kPa
1	10.00	82.0	164.7	12.100	83.13	1370	1.380

	ang. frequency	temperature	osc. stress	% strain	delta	G*	G* /sin(delta)
	rad/s	°C	Pa		degrees	Pa	kPa
1	10.00	88.0	86.97	12.049	84.86	723.2	0.7261

**Sample, Procedure, and Geometry Details**

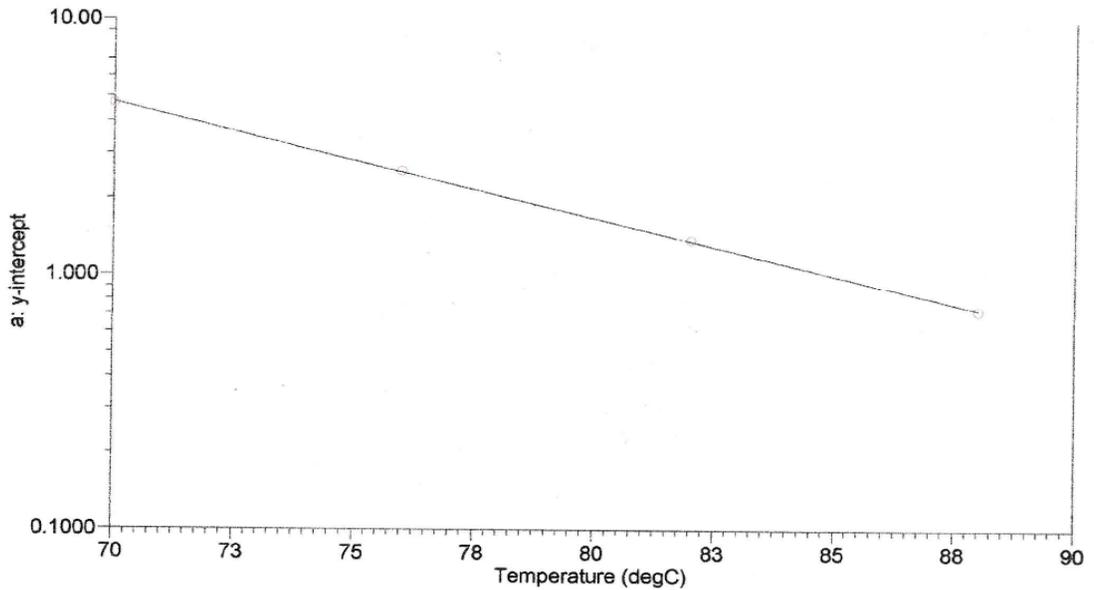
Sample name	PG residuo CQS IHP polimero pelicula delgada
Procedure name	Original Binder
Geometry name	25.0mm steel plate

**Analysis Summary**

	filename	QC Pass/Fail	a: y-intercept	Temperature
				degC
1	PG residuo CQS IHP polimero pelicula delgada-0001o.rsl	Pass	4.691	70
2	PG residuo CQS IHP polimero pelicula delgada-0002o.rsl	Pass	2.574	76
3	PG residuo CQS IHP polimero pelicula delgada-0003o.rsl	Pass	1.380	82
4	PG residuo CQS IHP polimero pelicula delgada-0004o.rsl	Fail	0.7261	88

**Fail Graph**

Fail temperature = 85.01°C



12. Reportes de MSCR para Emulsión Tipo A (Residuo recuperado con el Método Evaporación)

52°C

## DSR Report

### Multiple Stress Creep & Recovery (MSCR)

#### Sample, Procedure, and Geometry Details

Sample name	MSCR 52°C CQS-lh solo polimero (1)
Procedure name	Two stress repeated creep procedure
Geometry name	25.0mm steel plate

Test Temperature: 52.01°C

#### Files

C:\TA\Rheology\Results\MSCR 52°C CQS-lh solo polimero (1)-0001c.rsl  
25/02/2015 02:54:56 p.m.

#### Analysis

R0.1 - Average percent recovery at 0.100kPa = 47.42

R3.2 - Average percent recovery at 3.200kPa = 32.57

R diff - Percent difference between average recovery at 0.100kPa and 3.200kPa = 31.32

Jnr0.1 - Non-recoverable creep compliance at 0.100kPa = 0.1452

Jnr3.2 - Non-recoverable creep compliance at 3.200kPa = 0.1895

Jnr diff - Percent difference between non-recoverable creep compliance at 0.100kPa and 3.200kPa = 30.51

58°C

## DSR Report

### Multiple Stress Creep & Recovery (MSCR)

#### Sample, Procedure, and Geometry Details

Sample name	MSCR 58°C CQS-lh solo polimero (1)
Procedure name	Two stress repeated creep procedure
Geometry name	25.0mm steel plate

Test Temperature: 57.99°C

#### Files

C:\TA\Rheology\Results\MSCR 58°C CQS-lh solo polimero (1)-0001c.rsl  
25/02/2015 03:34:35 p.m.

#### Analysis

R0.1 - Average percent recovery at 0.100kPa = 31.56

R3.2 - Average percent recovery at 3.200kPa = 12.91

R diff - Percent difference between average recovery at 0.100kPa and 3.200kPa = 59.08

Jnr0.1 - Non-recoverable creep compliance at 0.100kPa = 0.5473

Jnr3.2 - Non-recoverable creep compliance at 3.200kPa = 0.7458

Jnr diff - Percent difference between non-recoverable creep compliance at 0.100kPa and 3.200kPa = 36.26

64°C

## DSR Report

### Multiple Stress Creep & Recovery (MSCR)

#### Sample, Procedure, and Geometry Details

Sample name	MSCR 64°C CQS-Ih solo polimero (1)
Procedure name	Two stress repeated creep procedure
Geometry name	25.0mm steel plate

Test Temperature: 63.99°C

#### Files

C:\TA\Rheology\Results\MSCR 64°C CQS-Ih solo polimero (1)-0001c.rsl  
25/02/2015 04:12:35 p.m.

---

#### Analysis

R0.1 - Average percent recovery at 0.100kPa = 27.99

R3.2 - Average percent recovery at 3.200kPa = 6.539

R diff - Percent difference between average recovery at 0.100kPa and 3.200kPa = 76.64

Jnr0.1 - Non-recoverable creep compliance at 0.100kPa = 1.298

Jnr3.2 - Non-recoverable creep compliance at 3.200kPa = 1.960

Jnr diff - Percent difference between non-recoverable creep compliance at 0.100kPa and 3.200kPa = 50.99

### 13. Grado de desempeño PG de la Emulsión de Tipo A (método de evaporación)

## DSR Report

#### DSR Specifications

DSR Description: TA Instruments CSAII  
 Bearing Type: UHP  
 Temperature Control: UHP

#### Files

C:\TA\Rheology\Results\PG CQS-lh solo polimero (1)-0001o.rsl  
 25/02/2015 04:39:32 p.m.

C:\TA\Rheology\Results\PG CQS-lh solo polimero (1)-0002o.rsl  
 25/02/2015 04:52:51 p.m.

C:\TA\Rheology\Results\PG CQS-lh solo polimero (1)-0003o.rsl  
 25/02/2015 05:06:07 p.m.

C:\TA\Rheology\Results\PG CQS-lh solo polimero (1)-0004o.rsl  
 25/02/2015 05:19:53 p.m.

#### Sample, Procedure, and Geometry Details

Sample name	PG CQS-lh solo polimero (1)
Procedure name	Original Binder
Geometry name	25.0mm steel plate

#### 1<sup>st</sup> Temperature

	ang. frequency	temperature	osc. stress	% strain	delta	G*	G* /sin(delta)
	rad/s	°C	Pa		degrees	Pa	kPa
1	10.00	64.0	485.7	12.067	75.83	4051	4.179

#### 2<sup>nd</sup> Temperature

	ang. frequency	temperature	osc. stress	% strain	delta	G*	G* /sin(delta)
	rad/s	°C	Pa		degrees	Pa	kPa
1	10.00	70.0	246.6	12.045	77.49	2069	2.119

#### 3<sup>rd</sup> Temperature

	ang. frequency	temperature	osc. stress	% strain	delta	G*	G* /sin(delta)
	rad/s	°C	Pa		degrees	Pa	kPa
1	10.00	76.0	140.3	12.037	82.87	1174	1.183

#### 4<sup>th</sup> Temperature

	ang. frequency	temperature	osc. stress	% strain	delta	G*	G* /sin(delta)
	rad/s	°C	Pa		degrees	Pa	kPa
1	10.00	82.0	76.23	12.004	84.74	635.3	0.6380

#### Sample, Procedure, and Geometry Details

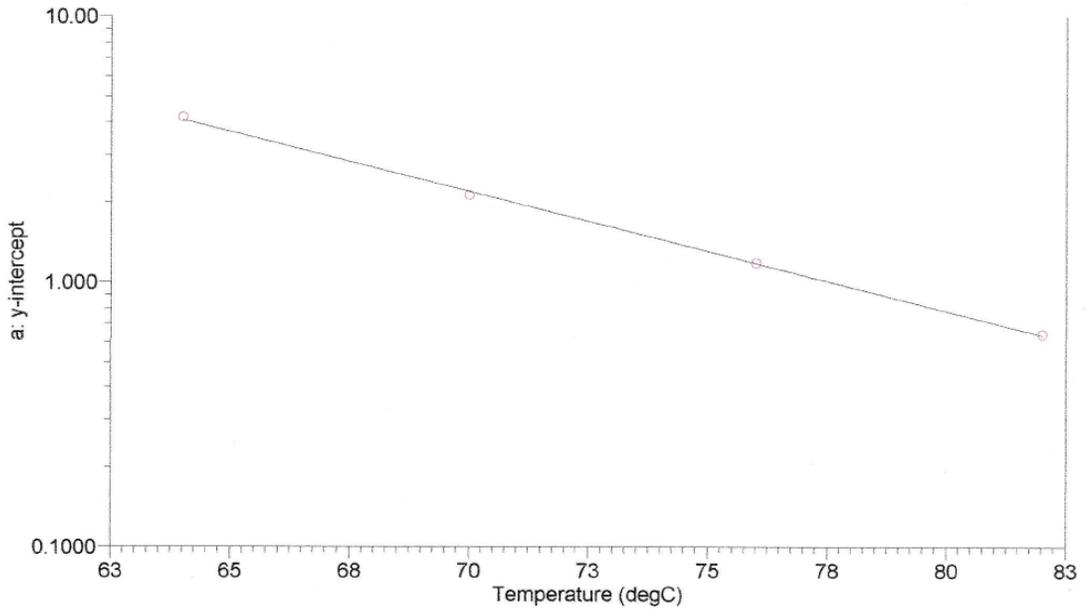
Sample name	PG CQS-lh solo polimero (1)
Procedure name	Original Binder
Geometry name	25.0mm steel plate

#### Analysis Summary

	filename	QC Pass/Fail	a: y-intercept	Temperature
				degC
1	PG CQS-lh solo polimero (1)-0001o.rsl	Pass	4.179	64
2	PG CQS-lh solo polimero (1)-0002o.rsl	Pass	2.119	70
3	PG CQS-lh solo polimero (1)-0003o.rsl	Pass	1.183	76
4	PG CQS-lh solo polimero (1)-0004o.rsl	Fail	0.6380	82

#### Fail Graph

Fail temperature = 77.58°C



14. Reportes de MSCR para Emulsión Tipo B (Residuo recuperado con el Método de Película Delgada)

52°C

## DSR Report

### Multiple Stress Creep & Recovery (MSCR)

#### Sample, Procedure, and Geometry Details

Sample name	MSCR residuo CQS IH 3% latex pelicula delgada tesis
Procedure name	Two stress repeated creep procedure
Geometry name	25.0mm steel plate

Test Temperature: 52.00°C

#### Files

C:\TA\Rheology\Results\MSCR residuo CQS IH 3% latex pelicula delgada tesis-0001c.rsl  
27/02/2015 02:55:53 p.m.

#### Analysis

R0.1 - Average percent recovery at 0.100kPa = 34.88

R3.2 - Average percent recovery at 3.200kPa = 25.24

R diff - Percent difference between average recovery at 0.100kPa and 3.200kPa = 27.63

Jnr0.1 - Non-recoverable creep compliance at 0.100kPa = 0.2367

Jnr3.2 - Non-recoverable creep compliance at 3.200kPa = 0.2796

Jnr diff - Percent difference between non-recoverable creep compliance at 0.100kPa and 3.200kPa = 18.11

58°C

## DSR Report

### Multiple Stress Creep & Recovery (MSCR)

#### Sample, Procedure, and Geometry Details

Sample name	MSCR residuo CQS IH 3% latex pellicula delgada tesis 58°C
Procedure name	Two stress repeated creep procedure
Geometry name	25.0mm steel plate

Test Temperature: 58.00°C

#### Files

C:\TA\Rheology\Results\MSCR residuo CQS IH 3% latex pellicula delgada tesis 58°C-0001c.rsl  
27/02/2015 03:22:41 p.m.

#### Analysis

R0.1 - Average percent recovery at 0.100kPa = 27.74

R3.2 - Average percent recovery at 3.200kPa = 14.55

R diff - Percent difference between average recovery at 0.100kPa and 3.200kPa = 47.56

Jnr0.1 - Non-recoverable creep compliance at 0.100kPa = 0.5971

Jnr3.2 - Non-recoverable creep compliance at 3.200kPa = 0.7512

Jnr diff - Percent difference between non-recoverable creep compliance at 0.100kPa and 3.200kPa = 25.80

64°C

## DSR Report

### Multiple Stress Creep & Recovery (MSCR)

#### Sample, Procedure, and Geometry Details

Sample name	MSCR residuo CQS IH 3% latex pellicula delgada tesis 64°C
Procedure name	Two stress repeated creep procedure
Geometry name	25.0mm steel plate

Test Temperature: 64.01°C

#### Files

C:\TAIRheology\Results\MSCR residuo CQS IH 3% latex pellicula delgada tesis 64°C-0001c.rsl  
27/02/2015 03:46:08 p.m.

#### Analysis

R0.1 - Average percent recovery at 0.100kPa = 19.18

R3.2 - Average percent recovery at 3.200kPa = 6.165

R diff - Percent difference between average recovery at 0.100kPa and 3.200kPa = 67.85

Jnr0.1 - Non-recoverable creep compliance at 0.100kPa = 1.623

Jnr3.2 - Non-recoverable creep compliance at 3.200kPa = 2.112

Jnr diff - Percent difference between non-recoverable creep compliance at 0.100kPa and 3.200kPa = 30.15

**15. Grado de desempeño PG de la Emulsión de Tipo B (método de Película Delgada)**

## DSR Report

### DSR Specifications

DSR Description: TA Instruments CSAII  
 Bearing Type: UHP  
 Temperature Control: UHP

### Files

C:\TA\Rheology\Results\PG CQS-1H latex pelicula delgada-0001o.rsl  
 02/03/2015 10:41:45 a.m.

C:\TA\Rheology\Results\PG CQS-1H latex pelicula delgada-0002o.rsl  
 02/03/2015 10:55:03 a.m.

C:\TA\Rheology\Results\PG CQS-1H latex pelicula delgada-0003o.rsl  
 02/03/2015 11:08:18 a.m.

### Sample, Procedure, and Geometry Details

Sample name	PG CQS-1H latex pelicula delgada
Procedure name	Original Binder
Geometry name	25.0mm steel plate

### 1<sup>st</sup> Temperature

	ang. frequency	temperature	osc. stress	% strain	delta	G*	G* /sin(delta)
	rad/s	°C	Pa		degrees	Pa	kPa
1	10.00	70.0	272.1	12.040	79.71	2277	2.315

### 2<sup>nd</sup> Temperature

	ang. frequency	temperature	osc. stress	% strain	delta	G*	G* /sin(delta)
	rad/s	°C	Pa		degrees	Pa	kPa
1	10.00	76.0	142.3	12.020	81.72	1195	1.207

### 3<sup>rd</sup> Temperature

	ang. frequency	temperature	osc. stress	% strain	delta	G*	G* /sin(delta)
	rad/s	°C	Pa		degrees	Pa	kPa
1	10.00	82.0	76.32	12.008	83.47	638.4	0.6426

**Sample, Procedure, and Geometry Details**

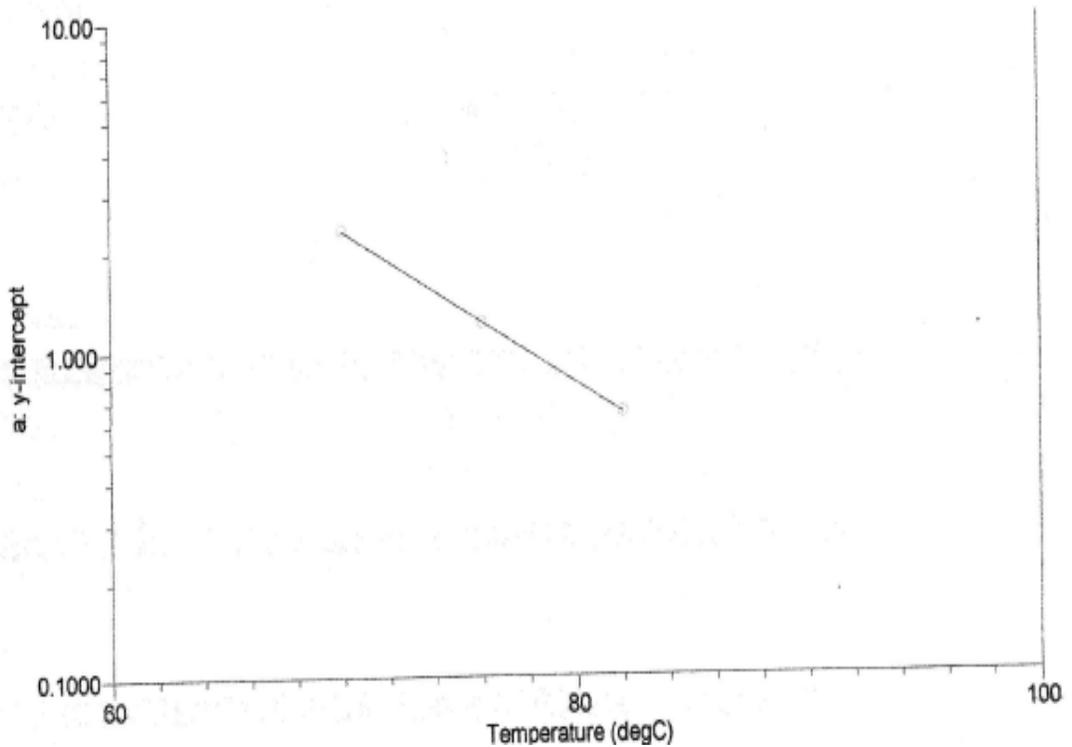
Sample name	PG CQS-1H latex pellicula delgada
Procedure name	Original Binder
Geometry name	25.0mm steel plate

**Analysis Summary**

	filename	QC Pass/Fail	a: y-intercept	Temperature degC
1	PG CQS-1H latex pellicula delgada-0001o.rsl	Pass	2.315	70
2	PG CQS-1H latex pellicula delgada-0002o.rsl	Pass	1.207	76
3	PG CQS-1H latex pellicula delgada-0003o.rsl	Fail	0.6426	82

**Fail Graph**

Fail temperature = 77.83°C



16. Reportes de MSCR para Emulsión Tipo B (Residuo recuperado con el Método de Evaporación)

52°C

## DSR Report

### Multiple Stress Creep & Recovery (MSCR)

#### Sample, Procedure, and Geometry Details

Sample name	MSCR 52°C CQS-1H con latex (1)
Procedure name	Two stress repeated creep procedure
Geometry name	25.0mm steel plate

Test Temperature: 52.00°C

#### Files

C:\TA\Rheology\Results\MSCR 52°C CQS-1H con latex (1)-0001c.rsl  
26/02/2015 08:52:52 a.m.

#### Analysis

R0.1 - Average percent recovery at 0.100kPa = 60.35

R3.2 - Average percent recovery at 3.200kPa = 46.45

R diff - Percent difference between average recovery at 0.100kPa and 3.200kPa = 23.03

Jnr0.1 - Non-recoverable creep compliance at 0.100kPa = 0.1107

Jnr3.2 - Non-recoverable creep compliance at 3.200kPa = 0.1547

Jnr diff - Percent difference between non-recoverable creep compliance at 0.100kPa and 3.200kPa = 39.83

58°C

## DSR Report

### Multiple Stress Creep & Recovery (MSCR)

#### Sample, Procedure, and Geometry Details

Sample name	MSCR 58°C CQS-1H con latex (1)
Procedure name	Two stress repeated creep procedure
Geometry name	25.0mm steel plate

Test Temperature: 58.00°C

#### Files

C:\TA\Rheology\Results\MSCR 58°C CQS-1H con latex (1)-0001c.rsl  
28/02/2015 09:28:36 a.m.

---

#### Analysis

R0.1 - Average percent recovery at 0.100kPa = 61.25

R3.2 - Average percent recovery at 3.200kPa = 44.19

R diff - Percent difference between average recovery at 0.100kPa and 3.200kPa = 27.85

Jnr0.1 - Non-recoverable creep compliance at 0.100kPa = 0.2825

Jnr3.2 - Non-recoverable creep compliance at 3.200kPa = 0.4467

Jnr diff - Percent difference between non-recoverable creep compliance at 0.100kPa and 3.200kPa = 58.12

64°C

## DSR Report

### Multiple Stress Creep & Recovery (MSCR)

#### Sample, Procedure, and Geometry Details

Sample name	MSCR 64°C CQS-1H con latex (2)
Procedure name	Two stress repeated creep procedure
Geometry name	25.0mm steel plate

Test Temperature: 64.00°C

#### Files

C:\TA\Rheology\Results\MSCR 64°C CQS-1H con latex (2)-0001c.rsl  
26/02/2015 11:22:26 a.m.

---

#### Analysis

R0.1 - Average percent recovery at 0.100kPa = 58.02

R3.2 - Average percent recovery at 3.200kPa = 36.11

R diff - Percent difference between average recovery at 0.100kPa and 3.200kPa = 37.77

Jnr0.1 - Non-recoverable creep compliance at 0.100kPa = 0.7318

Jnr3.2 - Non-recoverable creep compliance at 3.200kPa = 1.317

Jnr diff - Percent difference between non-recoverable creep compliance at 0.100kPa and 3.200kPa = 79.93

## 17. Grado de desempeño PG de la Emulsión de Tipo B (método de Película Evaporación)

### DSR Report

#### DSR Specifications

DSR Description: TA Instruments CSAII

Bearing Type: UHP

Temperature Control: UHP

#### Files

C:\TA\Rheology\Results\PG CQS-1H con latex (1)-0001o.rsl  
26/02/2015 10:29:16 a.m.

C:\TA\Rheology\Results\PG CQS-1H con latex (1)-0002o.rsl  
26/02/2015 10:42:32 a.m.

C:\TA\Rheology\Results\PG CQS-1H con latex (1)-0003o.rsl  
26/02/2015 10:55:52 a.m.

#### Sample, Procedure, and Geometry Details

Sample name	PG CQS-1H con latex (1)
Procedure name	Original Binder
Geometry name	25.0mm steel plate

#### 1<sup>st</sup> Temperature

	ang. frequency	temperature	osc. stress	% strain	delta	G*	G* /sin(delta)
	rad/s	°C	Pa		degrees	Pa	kPa
1	10.00	70.0	283.7	11.991	74.18	2395	2.489

#### 2<sup>nd</sup> Temperature

	ang. frequency	temperature	osc. stress	% strain	delta	G*	G* /sin(delta)
	rad/s	°C	Pa		degrees	Pa	kPa
1	10.00	76.0	158.0	12.036	75.31	1337	1.382

#### 3<sup>rd</sup> Temperature

	ang. frequency	temperature	osc. stress	% strain	delta	G*	G* /sin(delta)
	rad/s	°C	Pa		degrees	Pa	kPa
1	10.00	82.0	89.65	12.022	76.38	764.2	0.7863

**Sample, Procedure, and Geometry Details**

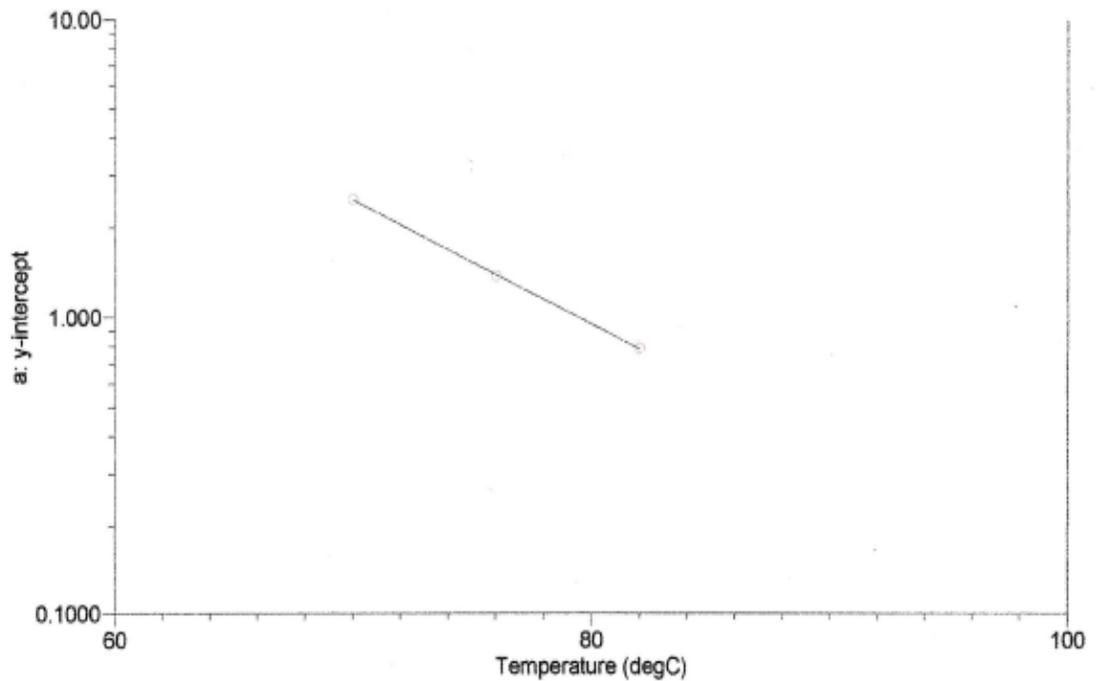
Sample name	PG CQS-1H con latex (1)
Procedure name	Original Binder
Geometry name	25.0mm steel plate

**Analysis Summary**

	filename	QC Pass/Fail	a: y-intercept	Temperature degC
1	PG CQS-1H con latex (1)-0001o.rsl	Pass	2.489	70
2	PG CQS-1H con latex (1)-0002o.rsl	Pass	1.382	76
3	PG CQS-1H con latex (1)-0003o.rsl	Fail	0.7863	82

**Fail Graph**

Fail temperature = 79.45°C



**18. Reportes de MSCR para Emulsión Tipo C (Residuo recuperado con el Método de Película Delgada)**

52°C

## **DSR Report**

### **Multiple Stress Creep & Recovery (MSCR)**

#### **Sample, Procedure, and Geometry Details**

Sample name	MSCR residuo CQS IHP 2% polimero 2% latex pelicula delgada 52°C
Procedure name	Two stress repeated creep procedure
Geometry name	25.0mm steel plate

Test Temperature: 52.00°C

#### **Files**

C:\TA\Rheology\Results\MSCR residuo CQS IHP 2% polimero 2% latex pelicula delgada 52°C-0001c.rsl  
05/03/2015 01:28:43 p.m.

#### **Analysis**

R0.1 - Average percent recovery at 0.100kPa = 57.50

R3.2 - Average percent recovery at 3.200kPa = 49.34

R diff - Percent difference between average recovery at 0.100kPa and 3.200kPa = 14.20

Jnr0.1 - Non-recoverable creep compliance at 0.100kPa = 0.04804

Jnr3.2 - Non-recoverable creep compliance at 3.200kPa = 0.05876

Jnr diff - Percent difference between non-recoverable creep compliance at 0.100kPa and 3.200kPa = 22.30

58°C

## DSR Report

### Multiple Stress Creep & Recovery (MSCR)

#### Sample, Procedure, and Geometry Details

Sample name	MSCR residuo CQS IHP 2% polimero 2% latex pelicula delgada 58°C
Procedure name	Two stress repeated creep procedure
Geometry name	25.0mm steel plate

Test Temperature: 57.97°C

#### Files

C:\TA\Rheology\Results\MSCR residuo CQS IHP 2% polimero 2% latex pelicula delgada 58°C-0001c.rsl  
05/03/2015 03:00:49 p.m.

#### Analysis

R0.1 - Average percent recovery at 0.100kPa = 47.09

R3.2 - Average percent recovery at 3.200kPa = 34.54

R diff - Percent difference between average recovery at 0.100kPa and 3.200kPa = 26.65

Jnr0.1 - Non-recoverable creep compliance at 0.100kPa = 0.1569

Jnr3.2 - Non-recoverable creep compliance at 3.200kPa = 0.1999

Jnr diff - Percent difference between non-recoverable creep compliance at 0.100kPa and 3.200kPa = 27.40

64°C

## DSR Report

### Multiple Stress Creep & Recovery (MSCR)

#### Sample, Procedure, and Geometry Details

Sample name	MSCR residuo CQS IHP 2% polimero 2% latex pelicula delgada a 64°C
Procedure name	Two stress repeated creep procedure
Geometry name	25.0mm steel plate

Test Temperature: 64.00°C

#### Files

C:\TA\Rheology\Results\MSCR residuo CQS IHP 2% polimero 2% latex pelicula delgada a 64°C-0001c.rsl  
06/03/2015 09:10:02 a.m.

#### Analysis

R0.1 - Average percent recovery at 0.100kPa = 40.98

R3.2 - Average percent recovery at 3.200kPa = 22.14

R diff - Percent difference between average recovery at 0.100kPa and 3.200kPa = 45.97

Jnr0.1 - Non-recoverable creep compliance at 0.100kPa = 0.3353

Jnr3.2 - Non-recoverable creep compliance at 3.200kPa = 0.4764

Jnr diff - Percent difference between non-recoverable creep compliance at 0.100kPa and 3.200kPa = 42.09

## 19. Grado de desempeño PG de la Emulsión de Tipo C (método de Película Delgada)

### DSR Report

#### DSR Specifications

DSR Description: TA Instruments CSAII

Bearing Type: UHP

Temperature Control: UHP

#### Files

C:\TA\Rheology\Results\PG residuo CQS IHP 2% polimero 2% latex pelicula delgada-0001o.rsl  
04/03/2015 10:25:11 a.m.

C:\TA\Rheology\Results\PG residuo CQS IHP 2% polimero 2% latex pelicula delgada-0002o.rsl  
04/03/2015 10:38:31 a.m.

C:\TA\Rheology\Results\PG residuo CQS IHP 2% polimero 2% latex pelicula delgada-0003o.rsl  
04/03/2015 10:51:51 a.m.

C:\TA\Rheology\Results\PG residuo CQS IHP 2% polimero 2% latex pelicula delgada-0004o.rsl  
04/03/2015 11:20:40 a.m.

#### Sample, Procedure, and Geometry Details

Sample name	PG residuo CQS IHP 2% polimero 2% latex pelicula delgada
Procedure name	Original Binder
Geometry name	25.0mm steel plate

#### 1<sup>st</sup> Temperature

	ang. frequency	temperature	osc. stress	% strain	delta	G*	G* /sin(delta)
	rad/s	°C	Pa		degrees	Pa	kPa
1	10.00	70.0	561.1	12.044	74.30	4688	4.870

#### 2<sup>nd</sup> Temperature

	ang. frequency	temperature	osc. stress	% strain	delta	G*	G* /sin(delta)
	rad/s	°C	Pa		degrees	Pa	kPa
1	10.00	76.0	317.5	12.118	77.84	2642	2.702

#### 3<sup>rd</sup> Temperature

	ang. frequency	temperature	osc. stress	% strain	delta	G*	G* /sin(delta)
	rad/s	°C	Pa		degrees	Pa	kPa
1	10.00	82.0	177.1	12.035	80.66	1486	1.506

**4<sup>th</sup> Temperature**

	ang. frequency	temperature	osc. stress	% strain	delta	G*	G* /sin(delta)
	rad/s	°C	Pa		degrees	Pa	kPa
1	10.00	88.0	99.26	12.000	82.53	834.2	0.8414

**Sample, Procedure, and Geometry Details**

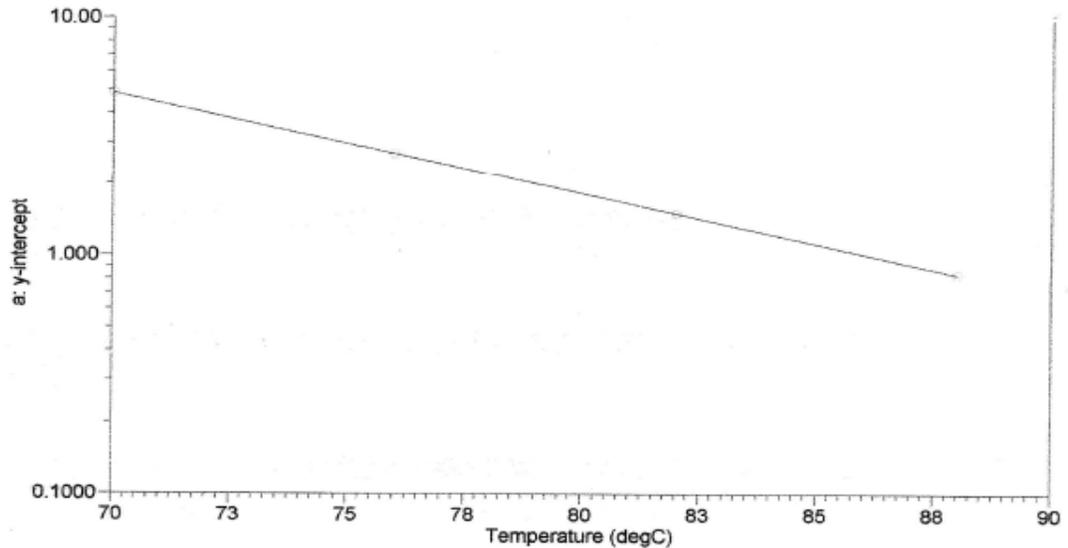
Sample name	PG residuo CQS IHP 2% polimero 2% latex pelicula delgada
Procedure name	Original Binder
Geometry name	25.0mm steel plate

**Analysis Summary**

	filename	QC Pass/Fail	a: y-intercept	Temperature
				degC
1	PG residuo CQS IHP 2% polimero 2% latex pelicula delgada-0001o.rsl	Pass	4.870	70
2	PG residuo CQS IHP 2% polimero 2% latex pelicula delgada-0002o.rsl	Pass	2.702	76
3	PG residuo CQS IHP 2% polimero 2% latex pelicula delgada-0003o.rsl	Pass	1.506	82
4	PG residuo CQS IHP 2% polimero 2% latex pelicula delgada-0004o.rsl	Fail	0.8414	88

**Fail Graph**

Fail temperature = 86.21°C



**20. Reportes de MSCR para Emulsión Tipo C (Residuo recuperado con el Método de Evaporación)**

52°C

## **DSR Report**

### **Multiple Stress Creep & Recovery (MSCR)**

#### **Sample, Procedure, and Geometry Details**

Sample name	MSCR 52°C CQS-1H con latex + polimero (1)
Procedure name	Two stress repeated creep procedure
Geometry name	25.0mm steel plate

Test Temperature: 52.01°C

#### **Files**

C:\ITA\Rheology\Results\MSCR 52°C CQS-1H con latex + polimero (1)-0001c.rsl

26/02/2015 01:37:33 p.m.

#### **Analysis**

R0.1 - Average percent recovery at 0.100kPa = 73.42

R3.2 - Average percent recovery at 3.200kPa = 65.47

R diff - Percent difference between average recovery at 0.100kPa and 3.200kPa = 10.83

Jnr0.1 - Non-recoverable creep compliance at 0.100kPa = 0.02792

Jnr3.2 - Non-recoverable creep compliance at 3.200kPa = 0.03733

Jnr diff - Percent difference between non-recoverable creep compliance at 0.100kPa and 3.200kPa = 33.71

58°C

## DSR Report

### Multiple Stress Creep & Recovery (MSCR)

#### Sample, Procedure, and Geometry Details

Sample name	MSCR 58°C CQS-1H con latex + polimero (1)
Procedure name	Two stress repeated creep procedure
Geometry name	25.0mm steel plate

Test Temperature: 58.00°C

#### Files

C:\TA\Rheology\Results\MSCR 58°C CQS-1H con latex + polimero (1)-0001c.rsl  
26/02/2015 02:12:37 p.m.

---

#### Analysis

R0.1 - Average percent recovery at 0.100kPa = 69.91

R3.2 - Average percent recovery at 3.200kPa = 54.62

R diff - Percent difference between average recovery at 0.100kPa and 3.200kPa = 21.86

Jnr0.1 - Non-recoverable creep compliance at 0.100kPa = 0.07997

Jnr3.2 - Non-recoverable creep compliance at 3.200kPa = 0.1275

Jnr diff - Percent difference between non-recoverable creep compliance at 0.100kPa and 3.200kPa = 59.43

64°

## DSR Report

### Multiple Stress Creep & Recovery (MSCR)

#### Sample, Procedure, and Geometry Details

Sample name	MSCR 64°C CQS-1H con latex + polimero (1)
Procedure name	Two stress repeated creep procedure
Geometry name	25.0mm steel plate

Test Temperature: 64.00°C

#### Files

C:\TA\Rheology\Results\MSCR 64°C CQS-1H con latex + polimero (1)-0001c.rsl  
26/02/2015 02:42:26 p.m.

#### Analysis

R0.1 - Average percent recovery at 0.100kPa = 66.98

R3.2 - Average percent recovery at 3.200kPa = 46.03

R diff - Percent difference between average recovery at 0.100kPa and 3.200kPa = 31.27

Jnr0.1 - Non-recoverable creep compliance at 0.100kPa = 0.1704

Jnr3.2 - Non-recoverable creep compliance at 3.200kPa = 0.3118

Jnr diff - Percent difference between non-recoverable creep compliance at 0.100kPa and 3.200kPa = 83.03

## 21. Grado de desempeño PG de la Emulsión de Tipo C (método de Película Delgada)

### DSR Report

#### DSR Specifications

DSR Description: TA Instruments CSAII

Bearing Type: UHP

Temperature Control: UHP

#### Files

C:\TA\Rheology\Results\PG CQS-1h latex + polimero (1) evaporacion-0001o.rsl  
27/02/2015 09:02:15 a.m.

C:\TA\Rheology\Results\PG CQS-1h latex + polimero (1) evaporacion-0002o.rsl  
27/02/2015 09:15:34 a.m.

C:\TA\Rheology\Results\PG CQS-1h latex + polimero (1) evaporacion-0003o.rsl  
27/02/2015 09:29:03 a.m.

C:\TA\Rheology\Results\PG CQS-1h latex + polimero (1) evaporacion-0004o.rsl  
27/02/2015 09:42:57 a.m.

C:\TA\Rheology\Results\PG CQS-1h latex + polimero (1) evaporacion-0005o.rsl  
27/02/2015 10:00:36 a.m.

#### Sample, Procedure, and Geometry Details

Sample name	PG CQS-1h latex + polimero (1) evaporacion
Procedure name	Original Binder
Geometry name	25.0mm steel plate

#### 1<sup>st</sup> Temperature

	ang. frequency	temperature	osc. stress	% strain	delta	G*	G* /sin(delta)
	rad/s	°C	Pa		degrees	Pa	kPa
1	10.00	70.0	770.3	12.089	66.93	6416	6.974

#### 2<sup>nd</sup> Temperature

	ang. frequency	temperature	osc. stress	% strain	delta	G*	G* /sin(delta)
	rad/s	°C	Pa		degrees	Pa	kPa
1	10.00	76.0	499.9	11.921	70.87	4230	4.477

### 3<sup>rd</sup> Temperature

	ang. frequency	temperature	osc. stress	% strain	delta	G*	G* /sin(delta)
	rad/s	°C	Pa		degrees	Pa	kPa
1	10.00	82.0	298.9	12.028	72.83	2517	2.634

### 4<sup>th</sup> Temperature

	ang. frequency	temperature	osc. stress	% strain	delta	G*	G* /sin(delta)
	rad/s	°C	Pa		degrees	Pa	kPa
1	10.00	88.0	171.5	12.060	74.73	1448	1.501

### 5<sup>th</sup> Temperature

	ang. frequency	temperature	osc. stress	% strain	delta	G*	G* /sin(delta)
	rad/s	°C	Pa		degrees	Pa	kPa
1	10.00	94.0	98.38	12.034	76.45	836.6	0.8605

### Sample, Procedure, and Geometry Details

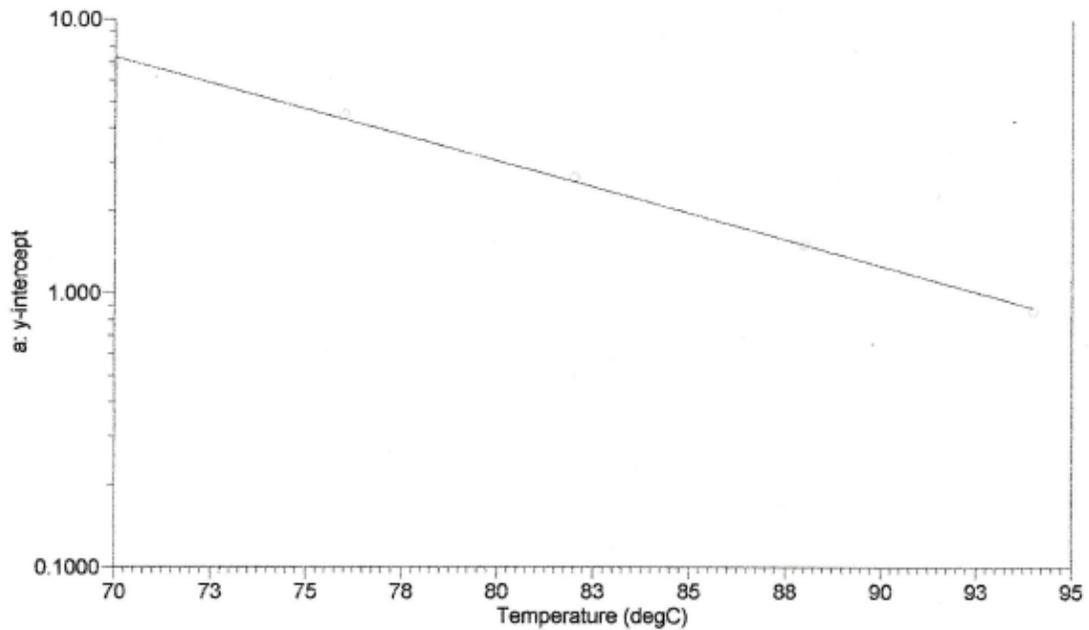
Sample name	PG CQS-1h latex + polimero (1) evaporacion
Procedure name	Original Binder
Geometry name	25.0mm steel plate

### Analysis Summary

	filename	QC Pass/Fail	a: y-intercept	Temperature degC
1	PG CQS-1h latex + polimero (1) evaporacion-0001o.rsl	Pass	6.974	70
2	PG CQS-1h latex + polimero (1) evaporacion-0002o.rsl	Pass	4.477	76
3	PG CQS-1h latex + polimero (1) evaporacion-0003o.rsl	Pass	2.634	82
4	PG CQS-1h latex + polimero (1) evaporacion-0004o.rsl	Pass	1.501	88
5	PG CQS-1h latex + polimero (1) evaporacion-0005o.rsl	Fail	0.8605	94

### Fail Graph

Fail temperature = 92.61°C



**22. Tabla de Especificación para el Grado Desempeño PG de los  
Ligantes Asfálticos AASHTO M 332**

<b>Table 1—Performance-Graded Asphalt Binder Specification<sup>a</sup> (continued)</b>													
Performance Grade	PG 64						PG 70						
	10	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	40	
Average 7-day max pavement design temp, °C <sup>b</sup>	<64						<70						
Min pavement design temp, °C <sup>b</sup>	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	
Original Binder													
Flash point temp, T 48, min °C	230												
Viscosity, T 316: <sup>c</sup> max 3 Pa·s, test temp, °C	135												
Dynamic shear, T 315: <sup>d</sup> G <sup>*</sup> /sinδ, min 1.00 kPa <sup>e</sup> test temp @ 10 rad/s, °C	64						70						
Rolling Thin-Film Oven Residue (T 240)													
Mass change, max, percent <sup>f</sup>	1.00												
MSCR, T 350: Standard Traffic "S" J <sub>0.1s</sub> , max 4.5 kPa <sup>-1</sup> J <sub>0.05s</sub> , max 75% test temp, °C	64						70						
MSCR, T 350: Heavy Traffic "H" J <sub>0.1s</sub> , max 2.0 kPa <sup>-1</sup> J <sub>0.05s</sub> , max 75% test temp, °C	64						70						
MSCR, T 350: Very Heavy Traffic "V" J <sub>0.1s</sub> , max 1.0 kPa <sup>-1</sup> J <sub>0.05s</sub> , max 75% test temp, °C	64						70						
MSCR, T 350: Extremely Heavy Traffic "E" J <sub>0.1s</sub> , max 0.5 kPa <sup>-1</sup> J <sub>0.05s</sub> , max 75% test temp, °C	64						70						
Prolonged Aging Vessel Residue (R 28)													
PAV aging temp, °C <sup>g</sup>	100						100 (110)						
Dynamic shear, T 315: "S" G <sup>*</sup> sinδ, max 5000 kPa <sup>e</sup> test temp @ 10 rad/s, °C	31	28	25	22	19	16	34	31	28	25	22	19	

**23. Recomendación del uso Instituto del Asfalto para la aplicación los valores de Jnr**

**Recomendación del Instituto del Asfalto**

<b>Minimum % Recovery for Measured Jnr values</b>	
Jnr @ 3.2 kPa	Minimum % Recovery
2.0 - 1.01	30%
1.0 - 0.51	35%
0.50 - 0.251	45%
0.25 - 0.125	50%