

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA



TRABAJO DE GRADUACION  
TEMA:

“ESTADO DEL ARTE DE LAS EMULSIONES  
ASFALTICAS EN EL SALVADOR”

---

**PARA OPTAR AL GRADO DE:**

INGENIERO CIVIL

**PRESENTADO POR:**

ORTEGA SANTOS, HÉCTOR ARMANDO  
SALAZAR COLOCHO, RUBÉN ADOLFO  
SILVA ASENCIO, DARBIN ARNOLDO

**DOCENTE DIRECTOR:** CARLOS OBDULIO GOCHEZ RUIZ.

**OCTUBRE 2011**

**SANTA ANA, EL SALVADOR, CENTRO AMERICA**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

ING. Y MSC. RUFINO ANTONIO QUEZADA SANCHEZ

VICE-RECTOR ACADEMICO

ARQ. Y MASTER MIGUEL ÁNGEL PÉREZ RAMOS

VICE RECTOR ADMINISTRATIVO

LICDO. Y MASTER OSCAR NOE NAVARRETE

SECRETARIO GENERAL

LICDO. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHAVEZ

FISCAL GENERAL

DR. RENÉ MADECADEL PERLA JIMENEZ

FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE

DECANO

LICDO. JORGE MAURICIO RIVERA

VICE-DECANO

LICDO. Y MASTER ELADIO EFRAÍN ZACARÍAS ORTEZ

SECRETARIO DE FACULTAD

LICDO. VICTOR HUGO MERINO QUEZADA

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ING. RAÚL ERNESTO MARTÍNEZ BERMUDEZ

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

COORDINADOR GENERAL:

ING. RAÚL ERNESTO MARTÍNEZ BERMUDEZ

DOCENTE DIRECTOR:

ING. CARLOS OBDULIO GOCHEZ

ASESOR EXTERNO:

ING. CARLOS MATA TRIGUEROS

PRESIDENTE DE ASFALTOS DE CENTROAMERICA (ASFALCA)

## **AGRADECIMIENTOS GENERALES**

Como grupo damos gracias a todas las instituciones y profesionales que de alguna u otra forma colaboraron e hicieron posible que nuestro trabajo de graduación llegara a un feliz término.

Agradecemos a:

La **UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FMOcc.** Que con la ayuda del personal docente colaboró en nuestra formación profesional y permitiendo además realizar nuestro trabajo de investigación para poder optar al título de ingeniero civil.

El Personal de **ASFALCA**, que con su ayuda incondicional orientaron de buena manera nuestro trabajo de graduación, agradecemos de manera particular al personal de laboratorio: Ing. Alfredo Torres, Ing. Franklin Barrera, Ing. Erick Calidonio e Ing. Raúl Peñate, por todo su aporte profesional y técnico.

**ING. CARLOS MATA TRIGUEROS**, por haber permitido que realizáramos nuestro trabajo de graduación en ASFALCA, por haber asesorado nuestra investigación y por toda la ayuda que nos brindo facilitándonos todas las herramientas necesarias para lograr concluir con éxito nuestro trabajo de graduación, no tenemos como pagarle todo su apoyo; **MUCHAS GRACIAS.**

**ING. CARLOS OBDULIO GOCHEZ**, por haber aceptado ser nuestro docente director, por toda la ayuda que nos brindo, por sus recomendaciones y consejos para que concluyéramos nuestro trabajo.

## **DEDICATORIA**

A Dios todopoderoso porque sin Él nada soy, todo lo que tengo le pertenece, inclusive mi vida, gracias Bendito Dios por cumplir mi sueño de ser Ingeniero Civil y estar siempre ahí cuando más te necesite.

A nuestra Madre Santísima María por guiarme de su mano por el buen camino y darme su amor incondicional como toda madre lo da por sus hijos, “Bendita seas María y Bendito el fruto de tu vientre, Jesús”.

A mis padres Oscar Armando Ortega y Marina Santos de Ortega, por su apoyo, por confiar en mí, por darme el don de la vida y mostrarme que todo lo que uno se proponga lo puede lograr.

A mis hermanos William E. Ortega, Gema Ortega, Nuria Ortega, Oscar Ortega, que mas que mis hermanos son mis amigos, gracias por sus consejos, que a pesar de que las circunstancias parecían adversas me dieron ánimos para seguir adelante, mostrando confianza y fe en el todopoderoso.

A mi novia Iliana por estar a mi lado y comprenderme tanto en este camino difícil, y ser uno de los pilares de mi vida.

A mis familiares y amigos, por sus palabras tan alentadoras, por comprender mi ausencia en momentos de felicidad y dificultad, por creer en mí y ya ven si se pudo.

A mis compañeros de tesis, Darbin Silva y Rubén Salazar, porque a pesar de cualquier contrariedad de pensamientos, siempre salimos adelante con la ayuda divina, tantas historias que vivirán en nuestros recuerdos.

**HÉCTOR ARMANDO ORTEGA SANTOS**

A DIOS todopoderoso por iluminarme, darme fortaleza, permitirme concluir mis estudios y obtener este gran logro bendiciéndome de esta forma.

A mis padres especialmente a mi madre Gladys de la Cruz Colocho por todo su esfuerzo y sacrificio realizado para mi formación, por su apoyo incondicional y la confianza puesta en mi.

A mis hermanos Velinda Salazar y Lic. Adalberto Salazar por todo el apoyo y ánimo que me han dado durante este tiempo. A mi hermana especialmente gracias por todo su sacrificio.

A la persona más linda que la vida me ha dado mi niña Kelly Stephanie por ser junto a mi mamá mi razón para llegar aquí y seguir adelante.

A mis tíos y primos que me brindaron su apoyo y por enseñarme el valor y la importancia del trabajo.

A mis amigos y compañeros de la universidad Héctor Ortega y Darbin Silva por ofrecerme amistad, apoyo y comprensión en forma incondicional durante nuestros años de estudio. Lo logramos!!

A mi amigo José Arturo Francia (Q.E.P.D.) por toda su amistad durante el tiempo que pude compartir con él.

RUBÉN ADOLFO SALAZAR COLOCHO.

Primeramente a DIOS por haberme dado la inteligencia, sabiduría y la fortaleza para poder cumplir mi sueño de ser Ingeniero Civil. A mi madre del cielo la Virgen María por estar conmigo siempre y por interceder por mi cuando necesitaba su ayuda.

A mis padres: Juan Francisco Silva y Celia Isabel Asencio, por su apoyo incondicional a lo largo de toda mi carrera, por todo el sacrificio que hicieron para que yo terminara mis estudios, por su motivación en los momentos difíciles y por la confianza que depositaron en mí.

A mi abuela: María Bersabe Fajardo, por sus sabios consejos y por haber estado siempre pendiente de mí, ayudándome y apoyándome. A mi tía: Blanca Olimpia Silva, por su motivación y atención cuando más lo necesitaba.

A mis hermanos y hermanas por haberme tendido la mano y por haber sido esa motivación para echarle más ganas a mis estudios, especialmente por mi hermana Iris con quien compartí todos estos años de estudio.

A mis hermanos en Cristo, especialmente los jóvenes del grupo juvenil porque compartiendo con ellos siempre encontraba consuelo, alegría y esperanza aun en medio de las pesadas cargas académicas.

A todos mis compañeros de clases con quienes compartí en más de alguna ocasión, especialmente a mis compañeros de tesis Héctor Armando Ortega y Rubén Adolfo Salazar con quienes compartí la mayor parte de mis estudios, por todos los desvelos que pasamos, por su ayuda, por los éxitos y fracasos que pasamos juntos y por haber sido esos colegas de estudio en los que se puede confiar.

DARBIN ARNOLDO SILVA ASENCIO



## ÍNDICE GENERAL

### CAPITULO I

#### GENERALIDADES

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁG.</b>
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	23
1.2 OBJETIVOS.....	24
1.3 ALCANCES.....	25
1.4 LIMITACIONES.....	27
1.5 JUSTIFICACIÓN.....	28

### CAPITULO II

#### REFERENCIA TEÓRICA

2.0 REFERENCIA TEÓRICA.....	30
2.1 EMULSIONES.....	30
2.1.1 Las áreas de aplicación de las emulsiones son.....	31
2.1.2 Clasificación y tipo de emulsión según el medio.....	31
2.1.3 Clasificación General de una Emulsión.....	31
2.2 EMULSIONES ASFÁLTICAS.....	33
2.2.1 Componentes de una Emulsión Asfáltica.....	33
2.2.2 Clasificación de las Emulsiones Asfálticas.....	38
2.2.3 Fabricación de Emulsiones Asfálticas.....	44
2.2.3.1 Equipo de Emulsificación.....	45
2.2.3.2 Proceso de Emulsificación.....	46
2.2.4 Rompimiento y Curado de las Emulsiones Asfálticas.....	47

2.2.4.1 Rotura de las Emulsiones Asfálticas .....	47
2.2.4.2 Curado de las Emulsiones Asfálticas .....	50
2.2.4.3 Factores que Afectan la Rotura y el Curado .....	50
2.2.5 Requisitos de calidad para Emulsiones Asfálticas .....	52
2.2.5.1 Requisitos para Emulsiones Aniónicas .....	52
2.2.5.2 Requisitos para Emulsiones Catiónicas .....	54
2.2.6 Clasificación del Material Pétreo .....	55
2.2.7 Ventajas de las Emulsiones Asfálticas.....	56
2.2.8 Recomendaciones para el uso de Emulsiones Asfálticas .....	58
2.2.9 Uso de las Emulsiones Asfálticas de tipo catiónico .....	59

### **CAPITULO III**

#### **ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LA CARACTERIZAR EMULSIONES**

3.0 INTRODUCCIÓN .....	62
3.1 ENSAYOS SOBRE EMULSIONES.....	63
3.1.1 Viscosidad Saybolt de Emulsiones Asfálticas .....	63
3.1.2 Ensayo de Tamiz .....	68
3.1.3 Ensayos de Sedimentacion y Estabilidad para Almacenamiento.....	70
3.1.4 Residuo de Asfalto por Destilación .....	75
3.1.5 Residuo de Asfalto por Evaporación.....	82
3.2 ENSAYOS AL RESIDUO .....	85
3.2.1 Punto de Ablandamiento (anillo y esfera) .....	85
3.2.2 Ensayo de Penetración .....	93
3.2.3 Peso de la Unidad de Volumen de la Emulsión Esfáltica.....	100
3.2.4 Ductibilidad 25°C, 5mm/min.....	107
3.2.5 Solubilidad en Tricloroetileno.....	112

## **CAPITULO IV**

### **SELECCIÓN DEL TIPO Y GRADO DE EMULSIÓN SEGÚN SU APLICACIÓN**

4.0 Selección del tipo y grado de Emulsión según su Aplicación.....	119
4.1 Usos Generales de las Emulsiones .....	120
4.1.1 Emulsión de Rotura Rápida .....	120
4.1.2 Emulsión de Rotura Media.....	126
4.1.3 Emulsión de Rotura Lenta.....	130
4.1.4 Emulsión de Rotura Rápida QS y para Micro-aglomerado .....	135
4.2 Pautas para un desempeño exitoso.....	136

## **CAPITULO V**

### **APLICACIONES EN EL SALVADOR**

5.0 INTRODUCCIÓN .....	139
5.1 MICROPAVIMENTO .....	140
5.1.1 Ventajas de la Aplicación del Micro-pavimento.....	140
5.1.2 Diseño de mezclas de Micro-pavimentos.....	141
5.1.2.1 Selección y prueba de materiales .....	141
5.1.2.1.1 Agregados.....	141
5.1.2.1.2 Finos minerales.....	143
5.1.2.1.3 Emulsión Asfáltica.....	144
5.1.2.1.4 Agua.....	145
5.1.2.1.5 Polímeros.....	146
5.1.2.1.6 Aditivo de control de rotura en campo.....	147
5.1.3 Ensayos para el diseño de mezclas.....	148
5.1.4 Determinación del contenido optimo de emulsión asfáltica.....	150

5.1.4.1 Prueba de desgaste por abrasión por vía húmeda (ISSA TB 100) .....	152
5.1.4.2 Prueba de rueda cargada (ISSA TB 109) .....	154
5.1.5 Especificaciones técnicas .....	157
5.1.6 Condiciones previas ante la aplicación de un Micro-pavimento.....	159
5.1.6.1 Preparación de la superficie.....	159
5.1.6.2 Corrección de situaciones que alteran el desempeño del Micro-pavimento .....	160
5.1.7 Construcción .....	162
5.1.8 Equipo.....	162
5.1.9 Condiciones del clima .....	165
5.1.10 Procedimiento de trabajo .....	165
5.1.11 Control de ejecución .....	167
5.2 ACTUALIDAD DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS. ....	168
5.2.1 Reciclado de Pavimentos.....	169
5.2.1.1 Tipos de Reciclado .....	169
5.2.1.2 Pavimentos Indicados para Reciclado .....	171
5.3 Inventario de Proyectos Utilizando Emulsiones ASFálticas en El Salvador	175
5.3.1 Programa de Mantenimiento Periódico .....	175
5.3.2 Programa de Mantenimiento Rutinario .....	176
5.3.2.1 Mantenimiento Rutinario de Vías Pavimentadas .....	176
5.3.2.2 Mantenimiento Rutinario de Vías No Pavimentadas .....	178

## **CAPITULO VI**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

6.1 EMULSIONES ASFÁLTICAS.....	184
6.1.1 Determinación de las propiedades para la clasificación .....	184
6.1.2 Cálculos para la determinación de requerimientos de calidad .....	184
6.1.2.1 Pruebas de Consistencia .....	184
6.1.2.2 Pruebas de Composición .....	185
6.1.2.3 Pruebas de Estabilidad .....	187
6.1.2.4 Examinación del Residuo.....	190
6.1.2.5 Ensayos Adicionales .....	193
6.1.3 Resultados de los Ensayos.....	194
6.2 APLICACIÓN PRÁCTICA .....	200
6.2.1 Descripción del Proyecto .....	200
6.2.2 Localización del Proyecto .....	200
6.2.3 Objetivo.....	201
6.2.4 Resultados de Ensayos .....	201
6.2.4.1 Interpretación de resultados para análisis de micro pavimento .....	202

## **CAPITULO VII**

### **ELEMENTOS FINALES**

7.1 CONCLUSIONES .....	216
7.2 RECOMENDACIONES.....	218
7.3 BIBLIOGRAFÍA.....	219
7.4 ANEXOS .....	220

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPITULO II

FIG. 2.1 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UNA EMULSIÓN .....	30
FIG. 2.2 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE EMULSIONES ANIÓNICA Y CATIÓNICA .....	40
FIG. 2.3 DIAGRAMA BÁSICO DE FABRICACIÓN DE EMULSIONES ASFÁLTICAS .....	44
FIG. 2.4 MOLINO COLOIDAL.....	45
FIG. 2.5 FOTOGRAFÍA MICROSCÓPICA DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA .	47
FIG. 2.6 RUPTURA DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA SOBRE UN MATERIAL PÉTREO .....	49

### CAPITULO III

FIG. 3.1 VISCOSIMETRO SAYBOLT Y BOQUILLAS .....	64
FIG. 3.2 SOPORTE PARA EL TERMÓMETRO.....	66
FIG. 3.3 MATRAZ RECIBIDOR .....	66
FIG. 3.4 RETORTA DE ALEACIÓN DE ALUMINIO.....	78
FIG. 3.5 APARATO DE DESTILACIÓN .....	79
FIG. 3.6 ANILLO SOPORTADOR, SUJETADOR DE ANILLO, GUIA PARA CENTRAR ESFERA Y MONTAJE QUE MUESTRA DOS ANILLOS DEL APARATO.....	86
FIG. 3.7 AGUJA DE PENETRACIÓN .....	94
FIG. 3.8 PICNÓMETRO HUBBARD .....	101
FIG. 3.9 MOLDE Y PLACA PARA DUCTILÓMETRO .....	108
FIG. 3.10 ARATO FILTRANTE .....	113

## CAPITULO V

FIG. 5.1 EMULSIÓN ASFÁLTICA.....	144
FIG. 5.2 LATEX LÍQUIDO.....	147
FIG. 5.3 ADITIVO DE CONTROL DE ROTURA.....	147
FIG. 5.4 DISEÑO DE MORTEROS ASFÁLTICOS Y MICROPAVIMENTOS ISSA A 105 E ISSA A 143.....	151
FIG. 5.5 LIMPIEZA DE SUPERFICIE PREVIO A APLICACIÓN.....	159
FIG. 5.6 PREPACIÓN DE SUPERFICIE .....	160
FIG. 5.7 MEDIDAS CORRECTIVAS PREVIO A APLICACIÓN DE MICRO-PAVIMENTO.....	161
FIG. 5.8 GRIETAS EN LA SUPERFICIE .....	161
FIG. 5.9 MAQUINARIA PAVIMENTADORA DE MICRO-PAVIMENTO .....	164
FIG. 5.10 ESQUEMA DE APLICACIÓN DE MICRO-PAVIMENTO .....	166
FIG. 5.11 CAMBIO DE COLORACIÓN POR RUPTURA.....	167
FIG. 5.12 BACHES EN VÍAS PRINCIPALES .....	174

## CAPITULO VI

FIG. 6.1 ENSAYO DE VISCOSIDAD SAYBOLT.....	184
FIG. 6.2 ENSAYO DE RESIDUO POR DESTILACIÓN .....	185
FIG. 6.3 ENSAYO DE RESIDUO POR EVAPORACIÓN.....	186
FIG. 6.4 ENSAYO DE ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO 24hrs .....	188
FIG. 6.5 ENSAYO DE TAMIZ O MALLA.....	189
FIG. 6.6 PENETRACIÓN DE AGUJA .....	191
FIG. 6.7 ENSAYO DE PENETRACIÓN .....	191
FIG. 6.8 PUNTO DE ABLANDAMIENTO ANILLO ESFERA.....	192
FIG. 6.9 ENSAYO DE PESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE EMULSIÓN .....	194
FIG. 6.10 TRAMO EL JABALÍ EJE 09, EJE 42 Y RN07W DEPTO. DE LA LIBERTAD .....	201
FIG. 6.11 CURVA GRANULOMÉTRICA DE BANCO DE ACOPIO EN PROYECTO.....	210
FIG. 6.12 CURVA GRANULOMÉTRICA DE COMPROBACIÓN POR EXTRACCIÓN DE ASFALTO .....	212

## ÍNDICE DE CUADROS

### CAPITULO II

CUADRO 2.1 CLASIFICACIÓN GENERAL DE UNA EMULSIÓN.....	32
CUADRO 2.2 ESPECIFICACIONES PARA CEMENTOS ASFÁLTICOS CLASIFICADOS POR SU VISCOSIDAD A 60°C.....	35
CUADRO 2.3 CLASIFICACIÓN DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS .....	42
CUADRO 2.4 CLASIFICACIÓN SEGÚN EL TAMAÑO DE LA PARTÍCULA. ...	43
CUADRO 2.5 REQUISITOS DE CALIDAD PARA EMULSIONES ASFÁLTICAS ANIÓNICAS (ASTM D244 Y AASHTO T59) .....	53
CUADRO 2.6 REQUISITOS DE CALIDAD PARA EMULSIONES ASFÁLTICAS CATIÓNICAS (ASTM D244 Y AASHTO T59).....	54
CUADRO 2.7 CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL PÉTREO POR SU CONTENIDO DE SÍLICE .....	55

### CAPITULO III

CUADRO 3.1 TERMÓMETROS CON REFERENCIAS ASTM 17C .....	64
CUADRO 3.2 CARACTERÍSTICAS DEL TERMÓMETRO .....	77
CUADRO 3.3 TIPOS DE TERMÓMETROS ASTM E1 .....	87
CUADRO 3.4 DIMENSIONES DE RECIPIENTES PARA LA MUESTRA .....	94
CUADRO 3.5 TIPOS DE TERMÓMETROS SEGÚN ASTM E1.....	96
CUADRO 3.6 VALORES MÁXIMOS PROMEDIOS DE PENETRACIONES SEGÚN GRADO.....	99
CUADRO 3.7 PESOS UNITARIOS PARA EL AGUA .....	106



## **CAPITULO IV**

CUADRO 4.1 USOS GENERALES DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS. ..	137
--	-----

## **CAPITULO V**

CUADRO 5.1 RECOMENDACIONES ESTABLECIDAS POR LA ISSA A- 143 PARA EL AGREGADO PÉTREO. ....	142
CUADRO 5.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS PARA LECHADAS ASFÁLTICAS Y MICROPAVIMENTOS .....	157
CUADRO 5.3 TASA DE APLICACIÓN PARA UN MICRO PAVIMENTO.....	158
CUADRO 5.4 PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN DE MATERIALES- RECICLADO EN FRIO Y RECUPERACIÓN FULL-DEPTH .....	173
CUADRO 5.5 INVENTARIO RECOPILO DE PROYECTOS UTILIZANDO EMULSIONES ASFALTICAS EN EL SALVADOR.....	179

## **CAPITULO VI**

CUADRO 6.1 DATOS OBTENIDOS EN LABORATORIO PARA PRUEBA DE ESTABILIDAD.....	187
CUADRO 6.2 DATOS DE LABOTARIO DEL ENSAYO DE TAMIZ .....	189
CUADRO 6.3 DATOS DE LABORATORIO PARA ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL RESIDUO .....	190
CUADRO 6.4 DATOS DE LABORATORIO PARA ENSAYO DE PESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE LA EMULSIÓN.....	193
CUADRO 6.5 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE MICRO- PAVIMENTO.....	207

## ÍNDICE DE FORMATOS

### CAPITULO VI

FORMATO 6.1 RESULTADOS DE EMULSIÓN CATIONICA DE ROMPIMIENTO LENTO (CSS-1H).....	195
FORMATO 6.2 RESULTADOS DE EMULSIÓN CATIONICA DE ROMPIMIENTO MEDIO (CI-IMPRIMACIÓN). ....	196
FORMATO 6.3 RESULTADOS DE EMULSIÓN CATIONICA DE ROMPIMIENTO ACELERADO (CQS-1HP).....	197
FORMATO 6.4 RESULTADOS DE EMULSIÓN CATIONICA DE ROMPIMIENTO RÁPIDO (CRS-1). ....	198
FORMATO 6.5 RESULTADOS A EMULSIÓN CATIONICA DE ROMPIMIENTO RÁPIDO (CRS-2).....	199
FORMATO 6.6 CONTENIDO DE ARCILLA EN AGREGADO FINO (VALOR DE EQUIVALENTE DE ARENA) (ASTM D-2419 Y AASHTO T-176).....	208
FORMATO 6.7 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO (AASHTO T27 Y ASTM C-136) Y FINO (AASHTO T-11 Y FLH T-512).....	209
FORMATO 6.8 ANÁLISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADO GRUESO (AASHTO T27 Y ASTM C-136) Y FINO (AASHTO T-11 Y FLH T-512).....	211
FORMATO 6.9 MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DE BITUMEN DE MEZCLAS BITUMINOSAS PARA PAVIMENTOS ``MÉTODO A`` (ASTM-D2172).....	213
FORMATO 6.10 ISSA TB -100 (WTAT) E ISSA TB-109 (LWT).....	214

## INTRODUCCIÓN

Las emulsiones asfálticas han venido a simplificar significativamente el procedimiento de asfaltado de carreteras, debido a que se aplican en frío, lo cual presenta un ahorro considerable en comparación con las mezclas calientes, no solo por la energía requerida para obtener manejabilidad deseada del asfalto, sino en la maquinaria que se requiere para hacer el fundido in situ. Además las emulsiones asfálticas pueden aplicarse en condiciones adversas de tiempo y clima, ya que el medio en el cual viene el asfalto es precisamente agua. Este es un factor importante, ya que elimina los posibles retrasos en la construcción de carreteras por mal tiempo. Actualmente a nivel mundial, las emulsiones asfálticas están siendo ampliamente usadas, ya que mediante el uso de emulsificantes apropiados, se puede controlar el tiempo de ruptura de las emulsiones para los diferentes tipos de aplicación.

En El Salvador el uso de las emulsiones asfálticas ha cobrado gran interés, no solo por las bondades que ofrece, si no por la versatilidad que tiene el producto al permitir usar el tipo de emulsión que mejor se adapte a las condiciones específicas de un proyecto; pero lamentablemente este conocimiento ha sido escasamente difundido, por esta razón no se ha logrado explotar el gran potencial que ofrece el uso de las emulsiones asfálticas, pues a menudo se piensa que solo existe un tipo de emulsión aplicado a cualquier proyecto, restando mérito a la variedad de aplicaciones que tienen las emulsiones asfálticas.

Por lo consiguiente el presente trabajo de investigación contiene una revisión del estado de las emulsiones asfálticas en El Salvador, amparándonos en resultados de ensayos y aplicaciones prácticas que permitan recomendar donde, cómo y cuando las emulsiones asfálticas pueden ser utilizadas. Generando un documento basado en un estudio técnico que permita que en El Salvador se tenga una mejor comprensión y ayude a conocer los potenciales

usos y aplicaciones de las emulsiones asfálticas como alternativa de solución ante la fabricación y mantenimientos de carpetas asfálticas.

El punto de partida del presente documento que involucra los objetivos, alcances, planteamiento del problema, justificación y limitaciones se describen en el capítulo I, dando apertura a la investigación.

El capítulo II está dedicado a familiarizar al lector con la teoría fundamental para la comprensión de las emulsiones asfálticas, comenzando básicamente con el concepto de una emulsión en general, hasta llegar específicamente a la definición amplia de emulsión asfáltica, conocer sus componentes, su respectiva clasificación tomando como parámetros el tipo de rompimiento y su polaridad. Por último, en este capítulo se presentara un información acerca de elaboración de emulsiones asfálticas, el equipo utilizado para realizar la emulsificación y algunas recomendaciones en cuanto a un adecuado almacenamiento, manipulación y muestreo a fin de orientar sobre su correcto uso y así lograr un adecuado desempeño en sus aplicaciones; además se enumeraran las ventajas que ofrecen las emulsiones asfálticas.

La correcta interpretación de los resultados de los ensayos de laboratorio pueden ayudar en gran medida en la determinación de las características de una emulsión asfáltica; es por ello que en el capítulo III está dedicado exclusivamente a revisar, por medio de una guía de laboratorio los ensayos necesarios para poder medir cualidades relacionadas con la composición, consistencia y estabilidad del material. Los ensayos que se presentaran en este capítulo han sido diseñados para medir de una manera más precisa las diversas propiedades de cementos asfálticos, emulsiones, residuos de emulsiones y sistemas modificados, todos estos bajo métodos correspondientes a las normativas ASTM 244 y AASHTO T 59.

En la actualidad existen variedad de tipos y grados de emulsiones asfálticas, estas deben de elegirse correctamente para satisfacer la función buscada ante una necesidad vial; es por ello que en el capítulo IV se presentaran algunas consideraciones para elegir el tipo y grado correctos, dependiendo de la aplicación que se realizara. Es decir, que según la aplicación que se pretende realizar, así se utilizara una emulsión ya sea de rotura rápida, media o lenta. También se describirá brevemente en que consiste cada aplicación, sin profundizar en cada una de ellas; pues no es esto el objeto de esta investigación. Sin embargo en el capítulo V se abordan aplicaciones que están siendo muy utilizada en El Salvador, específicamente la lechada asfáltica y más detenidamente el micro-pavimento todo esto para enriquecer el trabajo investigativo.

Además se presentara un apartado en donde se conocerá la actualidad en El Salvador en cuanto a aplicaciones de emulsiones, específicamente el tema de reciclado de pavimentos, concluyendo con un inventario de aplicaciones sobre el uso de emulsiones, que se han realizado en nuestro país en los últimos años.

En el capítulo VI se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio tanto para las Emulsiones así como para la aplicación de un Micro-pavimento de un Proyecto en específico.

Los resultados de las Emulsiones se muestran en las correspondientes certificaciones para el calidad y clasificación de las mismas, Formatos 6.1-6.5, mostrando el proceso de obtención de los mismos en la sección 6.1.2, para su posterior interpretación. El Micro-pavimento en cuestión es el correspondiente a un proyecto efectuado por ASFALCA, cuyos requisitos de calidad se muestran en el reporte técnico, compuesto por las pruebas de laboratorio exigidas por FOVIAL y mostradas en la sección 6.2.4 en los formatos correspondientes.

Los elementos finales de la Investigación compuestos por conclusiones, recomendaciones, Bibliografías y anexos se muestran en el capítulo VII, cumpliendo con los objetivos y alcances de la Investigación planteados.

## **ABREVIATURAS EMPLEADAS**

**ASFALCA:** Asfaltos de Centro América S.A de C.V

**AASHTO:** American Association of State Highway and Transportation Officials.

**ASTM:** American Society of Testing and Materials.

**AEMA:** Asphalt Emulsion Manufactures Association.

**FOVIAL:** Fondo de Conservación Vial de El Salvador.

**ISSA:** International Slurry Surfacing Association.

**MOP:** Ministerio de Obras Públicas.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**ADITIVOS:** (Asfaltos Modificados): Productos, normalmente poliméricos, que se agregan a un cemento asfáltico, resultando un ligante de características reológicas mejoradas.

**AGREGADO:** Un material inerte y duro, tal como grava, roca triturada, escoria o arena.

**AGREGADO FINO:** Agregado pasante el tamiz de 2.36 mm (N<sup>o</sup> 8)

**AGREGADO GRUESO:** Agregado retenido en el tamiz de 2.36mm (N<sup>o</sup> 8)

**AHUELLAMIENTO:** Surcos o huellas que se presentan en la superficie de rodadura de una carretera pavimentada o no pavimentada y que son el resultado de la consolidación o movimiento lateral de los materiales por efectos del tránsito.

**ARENA:** Agregado fino resultante de la natural desintegración y abrasión de roca o del procesamiento de areniscas completamente friable.

**ASFÁLTO:** Material cementante, de color marrón oscuro a negro, constituido principalmente por betunes de origen natural u obtenidos por refinación del crudo.

**ASFÁLTO DILUIDO:** Cemento asfáltico que, en disolución en solventes de petróleo, adquiere una consistencia líquida.

**ASFÁLTO DE IMPRIMACIÓN:** Un asfalto fluido de baja viscosidad (muy líquido) que por aplicación penetra en una superficie no bituminosa.



**AGENTE EMULSIVO:** Sustancia química, agregada al agua y al asfalto, que mantiene al asfalto en suspensión estable en el agua. El agente emulsivo determina la carga de la emulsión y controla la velocidad de rotura de la emulsión.

**AGENTE TENSO-ACTIVO:** Los tensoactivos o tensioactivos son sustancias que influyen por medio de la tensión superficial en la superficie de contacto entre dos fases (p.ej., dos líquidos insolubles uno en otro).

**APLICACIÓN ASFÁLTICA:** La aplicación de capas de riego con material asfáltico (sin agregado).

**APLICACIÓN ASFÁLTO-AGREGADO:** La aplicación de material asfáltico a una base de agregados preparada o a una superficie de pavimento seguida de la aplicación de agregados.

**CEMENTO ASFÁLTICO:** Asfalto que ha sido refinado para cumplir las especificaciones para pavimentación, techado, aplicaciones industriales y usos especiales. Se requiere calor para darle fluidez.

**CURADO:** El desarrollo de las propiedades mecánicas del ligante asfáltico. Esto sucede luego de que la emulsión rompe y las partículas de la emulsión coalescen y se unen al agregado.

**DESTILACIÓN:** Operación destinada a separar por medio de calor, en alambiques u otros vasos, una sustancia volátil de otras menos volátiles, basada en sus diferentes temperaturas de ebullición.

**EMULSIÓN ASFÁLTICA:** Una emulsión de cemento asfáltico y agua que contiene una pequeña cantidad de agente emulsivo. Las pequeñas gotitas de asfalto emulsificado pueden ser aniónicas (carga negativa) o catiónicas (carga positiva).

**FILLER:** Polvo mineral fino que podrá ser cemento hidráulico, cal u otro material inerte, libre de materia orgánica y partículas de arcilla. Debe cumplir con la siguiente granulometría: Para tamices de 0.630, 0.315 y 0.080 el porcentaje que pasa en peso es de 100, 95 a 100 y 70 a 100% respectivamente.

**GRANULOMETRÍA ABIERTA:** Granulometría conteniendo poco o nada de filler, o para la cual los vacios en el agregado compactado son relativamente grandes e interconectados.

**GRANULOMETRÍA CERRADA:** Granulometría graduada desde el máximo tamaño hasta el filler, con el objeto de obtener una mezcla asfáltica con un porcentaje de vacios controlado y alta estabilidad.

**HIDROPLANEEO:** Es la situación en la que un vehículo atraviesa en la carretera a cierta velocidad una superficie cubierta de agua en unas circunstancias que provocan la pérdida de control del vehículo por el conductor.

**MÁQUINA DE FRESADO:** Unidad auto-propulsada con una cabeza de corte equipada con piezas recubiertas de carburo para la pulverización y remoción de capas de materiales asfálticos de pavimentos.

**PAVIMENTO ASFÁLTICO RECICLADO:** Mezcla asfáltica existente que ha sido pulverizada, usualmente por medio de fresado, y es usado como agregado en el reciclado de pavimentos asfálticos.

**RIEGO ASFÁLTICO DE IMPRIMACIÓN:** Una aplicación de asfalto de imprimación a una superficie absorbente. Se emplea para preparar una base sin tratar sobre la que se colocara una carpeta asfáltica. La imprimación penetra o es mezclada en la superficie de la base y cierra los vacios, endurece la superficie y colabora con la ligazón con la carpeta asfáltica a colocar.

**RIEGO ASFÁLTICO DE LIGA:** Una muy ligera aplicación de emulsión asfáltica diluida con agua. Se emplea para asegurar una buena unión entre la superficie y la nueva capa asfáltica.

**RESIDUO:** Cemento asfáltico que queda luego de la rotura y del curado de la emulsión.

**ROTURA:** El fenómeno de separación del agua y el asfalto, comenzando el proceso de curado. La velocidad de rotura está controlada principalmente por el agente emulsivo.

**SUELO ARENOSO:** Un material que consiste esencialmente de partículas de agregado fino (menores de 2.36 mm, tamiz N<sup>o</sup>8) y usualmente conteniendo material que pasa el tamiz de 75 mm (N<sup>o</sup> 200). Este material usualmente tiene algunas características de plasticidad.

# CAPITULO I

## GENERALIDADES

## **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En El Salvador la construcción de carreteras asfaltadas ha cobrado un importante auge aumentando con el paso de los años impulsado a la vez por el mejoramiento de los mecanismos y sistemas de fabricación, colocación y la diversidad de insumos utilizados entre los cuales se pueden mencionar las emulsiones asfálticas. Sin embargo existe un desconocimiento del proceso de utilización mas eficiente de estos productos para lograr explotar al máximo sus aplicaciones y ventajas.

Por tanto la problemática a la cual se orientara el proceso de investigación es la falta de información técnica respaldada por resultados de pruebas de laboratorio de los diferentes tipos de emulsiones asfálticas y las aplicaciones que se les da a cada una de estas en relación a las condiciones específicas de El Salvador.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- ✓ Realizar un estudio técnico sobre las Emulsiones asfálticas basado en resultados de ensayos y aplicaciones prácticas, que permita recomendar las condiciones óptimas en las que pueden ser utilizadas para dar solución a problemas que se generan en proyectos en donde estas se emplean.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Identificar las propiedades de los tipos de emulsiones mas usados en El Salvador en base a pruebas de laboratorio contempladas en normativas internacionales para su respectiva clasificación
- ✓ Determinar los usos que en la actualidad se dan a las emulsiones en El Salvador, su conveniencia y otras potenciales alternativas de aplicación en la solución de problemas.
- ✓ Recopilar la historia de la aplicación y evolución del uso de las emulsiones en El Salvador.
- ✓ Crear un sistema de información que recopile las pruebas de laboratorio de mayor relevancia que son realizadas a las emulsiones asfálticas en El Salvador.

### 1.3 ALCANCES

- Generar un documento que recopile la información necesaria para conocer el uso que a través de la historia que han tenido las emulsiones en El Salvador.
  
- Realizar y documentar los ensayos a las emulsiones asfálticas, tales como:
  - ✓ Emulsión Catiónica de Rompimiento Lento (CSS-1h)
  - ✓ Rompimiento Medio (CI-IMPRIMACION)
  - ✓ Emulsión Catiónica de Rompimiento Acelerado (CQS-1hp)
  - ✓ Emulsión Catiónica de Rompimiento Rápido (CRS-1)
  - ✓ Emulsión Catiónica de Rompimiento Rápido (CRS-2)

Así como al residuo asfáltico de las mismas, basado en normas de requerimiento y métodos de ensayos ASTM D 244 y AASHTO T 59; limitándonos únicamente a ensayar emulsiones catiónicas. Algunos de estos ensayos a realizar siguiendo la experiencia de ASFALCA son los siguientes:

### ENSAYOS SOBRE EMULSIONES

- ✓ Viscosidad de la emulsión.
- ✓ Ensayo de Tamiz.
- ✓ Ensayos de Sedimentación y de Estabilidad para Almacenamiento.
- ✓ Residuo de Asfalto por Destilación.
- ✓ Residuo de Asfalto por Evaporación.

## ENSAYOS AL RESIDUO

- ✓ Punto de Ablandamiento (Anillo y Esfera).
- ✓ Ensayo de Penetración.
- ✓ Peso de la Unidad de Volumen de la Emulsión Asfáltica.
- ✓ Ductilidad 25°C, 5mm/min
- ✓ Solubilidad en Tricoroetileno.

Todos estos ensayos al residuo son descritos y sustentados por las normativas ASTM D 70, D 2042, D 5, D 113 y D 139 (AASHTO T 228, T 44, T 49, T 51 y T 50) respectivamente.

- Efectuar un análisis comparativo de los resultados obtenidos de las pruebas con los parámetros de clasificación y verificar su cumplimiento.
- Documentar las diferentes experiencias de campo efectuados en coordinación con la empresa colaboradora (ASFALCA), con el propósito de generar un inventario que pueda ser de utilidad para estudios posteriores relativos al tema.
- Realizar un registro detallado de los diferentes procedimientos de análisis efectuados durante ensayos, experiencias de campo y de profesionales inmersos en la aplicación de emulsiones asfálticas, así como recopilación bibliográfica para generar una guía de laboratorio que pueda ser utilizada con fines académicos.
- Evaluar el comportamiento y eficiencia del uso de las emulsiones asfálticas a través de una aplicación utilizada en El Salvador, determinando así el uso más conveniente de cada una de las emulsiones en estudio, satisfaciendo las necesidades en el sistema vial de El Salvador.



## 1.4 LIMITACIONES

Para la realización del trabajo de investigación denominado "Estado del arte de las emulsiones asfálticas en El Salvador" se han identificado condiciones que pueden llegar a restringir la consecución plena de los alcances pretendidos los cuales se presentan a continuación:

- ✚ Inexistencia o escasez de un sistema lógico y ordenado a nivel nacional que recopile las diferentes experiencias previas sobre el uso de emulsiones asfálticas a nivel local así como la dificultad de acceso a resultados colectados por empresas dedicadas a este rubro.
- ✚ Disponibilidad en tiempo, espacio de las instalaciones y equipo utilizado en el análisis y pruebas de laboratorio sujeto a las actividades propias de la empresa condicionando la continuidad y cantidad de estudios a efectuar.
- ✚ Las pruebas a realizar se verán limitadas a las establecidas en los alcances, esto debido a la falta de equipo y a políticas de la Empresa que apoya la investigación, ya que los resultados de algunas pruebas redundan entre si, por lo cual hay que priorizar los ensayos.
- ✚ Se pretende abordar una aplicación de las emulsiones asfálticas en El Salvador, debido al corto tiempo que se tiene para la elaboración del trabajo de grado; ya que el abordar la diversidad de aplicaciones que se basan en emulsiones asfálticas, sería un tema de estudio bastante complejo, que a la vez representa una mayor duración en lo que a tiempo se refiere, para la obtención de resultados con mayor precisión y mayor veracidad.

## **1.5 JUSTIFICACIÓN**

La realización del estudio técnico obedece a la necesidad de generar una base de conocimientos sobre los tipos de emulsiones asfálticas, sus aplicaciones en la actualidad y las potenciales utilidades para una determinada aplicación según las características de un proyecto en particular a partir de experiencias prácticas y de información previamente acumulada por otros autores a través del tiempo.

Al efectuar la investigación se pretende llenar un vacío de conocimientos sobre la mejor forma en que se usaran las emulsiones asfálticas de acuerdo a las condiciones propias de El Salvador pudiendo a la vez establecer en un futuro una normativa local que guíe tanto ensayos como la aplicación de los diversos tipos de emulsiones asfálticas apegado a la realidad nacional. Generando de esta forma un documento basado en la experiencia práctica que se ha adquirido con el desarrollo de proyectos y a la vez respaldarlos con análisis técnicos normados con la finalidad de ser un precedente para futuros proyectos desarrollados a nivel local, además de crear sólidos vínculos de cooperación institucional con empresas que buscan el desarrollo del país aplicado en su ámbito de trabajo en particular para solventar necesidades existentes.

# CAPITULO II

## REFERENCIA TEÓRICA

## 2.0 REFERENCIA TEÓRICA

### 2.1 EMULSIONES

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 unidos por un emulsificante, emulsionante o emulgente. Una emulsión puede estar compuesta de dos o más líquidos inmiscibles entre sí, uno de los cuales está disperso en el otro en forma de finas gotas.

*“Las emulsiones son sistemas heterogéneos inestables 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)<sup>1</sup>.”* Esta última, **fase dispersa**, discontinua o interna es el líquido desintegrado en glóbulos. El líquido circundante es la **fase continua** o externa, esto puede apreciarse más claramente en la Figura 2.1 en donde se muestra un dibujo esquemático de una emulsión.

Algunos ejemplos existentes de emulsiones de uso cotidiano que se pueden mencionar están: pintura al látex, crema helada e inclusive de consumo entre las que encontramos la mayonesa. En cada uno de estos casos se requiere de procesos mecánicos y químicos para poder combinar dos o más materiales que no se mezclan en condiciones normales.

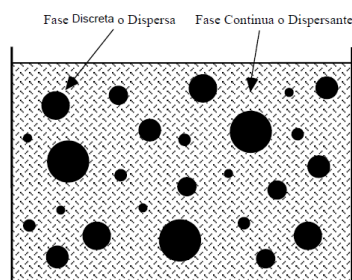


FIG. 2 1 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UNA EMULSIÓN

<sup>1</sup> Instituto Mexicano del Transporte, Emulsiones Asfálticas, Documento Técnico N° 23, Sanfandila, Qro 2001

### **2.1.1 Las áreas de aplicación de las emulsiones son:**

**En Física:** Metalurgia, aleaciones, cerámicas, cementos, polímeros, filtros, aerosoles, espumas, electroforesis, tratamiento de aguas, purificación de agua, recuperación de petróleo, etc.

**En Química:** Fenómenos de absorción, intercambio iónico, cromatografía GPC, nefelometría, ósmosis, catálisis, detergentes y jabones, pinturas, adhesivos, tintas, emulsificantes, colorantes, papel, lubricantes, recubrimientos, pigmentos, espesantes, etc.

**En Biología:** Micro-encapsulación, virus, proteínas, ácidos nucleicos, hematología, alimentos, cosméticos, saborizantes, etc.

La investigación esta orientada en áreas de aplicación físicas y químicas, debido a que se describen características externas e internas de las emulsiones las cuales son de interés para cumplir con los objetivos de la investigación.

### **2.1.2 Clasificación y tipo de emulsión según el medio**

**Podemos mencionar que existen dos tipos de emulsiones:**

- Emulsiones formadas por materia finamente dividida (sistema de 2 o más fases)

### **2.1.3 Clasificación General de una Emulsión**

En el cuadro 2.1 se muestra una clasificación general de una Emulsión.

**CUADRO 2.1 CLASIFICACIÓN GENERAL DE UNA EMULSIÓN**

<b>Por la carga del glóbulo.</b>	<b>Por el tamaño de la partícula</b>	<b>Por su tipo</b>
Aniónicas	<b>Emulsión</b>	<b>Aceite / Agua</b>
Catiónicas	<b>Micro emulsión</b>	<b>Agua / Aceite</b>
No iónicas	---	<b>Agua / Aceite / Agua</b>

La explicación de las clasificaciones de una emulsión que se muestran en la CUADRO 2.1 se definen en la sección 2.2.2.

## **2.2 EMULSIONES ASFÁLTICAS**

En el caso de emulsiones asfálticas, las sustancias no miscibles son el agua y el asfalto. Adicionalmente se tiene el emulgente el cual se deposita en la interfaz agua-asfalto y estabiliza la emulsión; éste depende del tipo de emulsión requerida, por lo que es determinante para poder clasificar la emulsión. En resumen una Emulsión Asfáltica consiste de tres componentes básicos: asfalto, agua y un agente emulsivo. En pocas palabras la Emulsión Asfáltica es una dispersión de asfalto en agua, algunas veces con la presencia de fluidificantes (aditivos), la cual se mantiene estable por la presencia de agentes tensos activos especiales, llamados Emulsificantes.

Cuando el asfalto es mecánicamente separado en partículas microscópicas y dispersadas en agua con un agente emulsivo, se convierte en una emulsión asfáltica. Las pequeñísimas gotas de asfalto se mantienen uniformemente dispersas en la emulsión hasta el momento en que esta es utilizada. En el estado de emulsión, las moléculas del agente emulsivo se orientan rodeando a las gotitas de asfalto. La naturaleza química del sistema emulsivo/asfalto/agua determina las características de la dispersión y la estabilidad de la suspensión.

En general y de manera más técnica se puede definir una emulsión como la dispersión de pequeñas partículas de asfalto ( $0,1 \mu\text{m}$ ,  $\mu\text{m} = \text{micrómetro} = 10^{-6} \text{m}$ ) en una solución de agua y aditivos, que hacen posible su manipulación y colocación en obra, a temperatura relativamente cercana a la ambiente.

### **2.2.1 Componentes de una Emulsión Asfáltica**

Para poder conocer el funcionamiento de las emulsiones asfálticas es esencial examinar el papel de cada uno de los constituyentes:

- a) Asfalto
- b) Agua

c) Agente emulsivo (emulsificante)

d) Aditivo

Es bien sabido que el agua y el asfalto no se mezclan, excepto en condiciones cuidadosamente controladas, utilizando equipos de alta especialización y aditivos químicos. Algunos de los mismos principios físicos y químicos se aplican a la formulación, producción y uso de emulsiones asfálticas. El objetivo es lograr una dispersión estable del asfalto en el agua, suficientemente estable para ser bombeada, almacenada durante tiempo prolongado y mezclada con otros materiales para su utilización.

A continuación se describe cada componente de una emulsión asfáltica:

#### **a) ASFALTO**

El cemento asfáltico es un material aglomerante sólido de color negro que se licua fácilmente al calentarse, cuyos constituyentes predominantes son betunes, que se encuentran en la Naturaleza en forma semisólida y se obtienen a partir de la refinación del Petróleo.

*El cemento asfáltico es el elemento básico de la emulsión asfáltica y, en la mayoría de los casos, constituye entre un 50 y un 75% de la emulsión.*<sup>2</sup>

En cualquier caso, la compatibilidad química entre el agente emulsivo y el cemento asfáltico es esencial para la producción de una emulsión estable.

Los Cementos asfálticos se clasificarán en los siguientes tipos:

- Tipo 1 Cementos asfálticos según viscosidad (CUADRO 2.2)

---

<sup>2</sup> AEMA, Manual Básico de Emulsiones Asfálticas MS 19, pág. 7.



## CUADRO 2.2

### Especificaciones para Cementos Asfálticos Clasificados por su Viscosidad a 60°C

(Clasificación en base al asfalto original)

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	MÉTODO O ASTM	Grado de viscosidad					
			AC- 2.5	AC- 5	AC- 10	AC- 20	AC- 30	AC- 40
Viscosidad, 60°C	N.s/m <sup>2</sup>	D-2171	250 ±50	500 ±10 0	1000 ±200	2000 ±400	3000 ±600	4000 ±800
Viscosidad, 135°C, mínimo	mm <sup>2</sup> /s	D-2170	125	175	250	300	350	400
Penetración, 25°C, 100 g, 5 s, mínimo	1/10 mm	D-5	220	140	80	60	50	40
Punto de inflamación, Cleveland Copa Abierta, Mínimo	°C	D-92	163	177	219	232	232	232
Solubilidad en tricloroetileno, mínimo	%	D-2042	99	99	99	99	99	99
Pruebas sobre residuo del ensayo de horno sobre película delgada	---	D-1754	---	---	---	---	---	---
Viscosidad, 60°C, máximo	N.s/m <sup>2</sup>	D-2171	1250	250 0	5000	10000	15000	20000
Ductilidad, 25°C, 5 cm /min, mínimo	Cm	D-113	100	100	75	50	40	25

Fuente Tabla No.2 ASTM D 3381-92, pág. 2

## **b) AGUA**

*“El agua puede contener minerales u otros elementos que afecten la producción de emulsiones asfálticas estables. Consecuentemente, el agua potable puede no ser adecuada para las emulsiones asfálticas<sup>3</sup>”.* Frecuente se adiciona cloruro de calcio a las emulsiones catiónicas, con el objeto de aumentar la estabilidad durante el almacenamiento. Estos mismos iones pueden ser perjudiciales para emulsiones aniónicas, cosa que en El Salvador no tiene mayor efecto; ya que debido a las características de las materiales pétreos se utilizan en un cien por ciento emulsiones catiónicas.

Cuando se utilizan las emulsiones en obra, el agua se evapora hacia la atmósfera, quedando el agente emulsivo retenido en el asfalto. El uso de aguas impuras puede resultar en un desequilibrio en los componentes de la emulsión, lo que puede afectar en forma adversa su estabilidad.

Dentro de las condiciones que debe cumplir el agua tenemos que debe ser:

- Sin olor
- Sin color
- Sin partículas suspendidas

El agua es de gran importancia en una emulsión asfáltica, debido a que establece:

- El % de asfalto útil.
- La viscosidad de la emulsión
- La estabilidad al almacenamiento
- La velocidad de rompimiento
- La aptitud para recubrir materiales, y en particular los fino.

---

<sup>3</sup> AEMA, Manual Básico de Emulsiones Asfálticas MS 19, pág. 8.

### **c) AGENTES EMULSIVOS (EMULSIFICANTE)**

*El emulsivo es un agente tenso-activo o surfactante. El agente emulsivo mantiene las gotitas de asfalto en suspensión estable y controla el tiempo de rotura<sup>4</sup>. Este es un producto químico cuya unidad elemental, molécula, consta de dos partes, una hidrofóbica insoluble en agua y otra hidrofílica soluble en agua.*

Es también el factor determinante en la clasificación de las emulsiones según la polaridad eléctrica de la partícula de asfalto que este confiere a la suspensión como se establece en CUADRO 2.1.

Los emulsificantes son los que, producida la emulsión, se ubican en su mayoría en la interfaz. Su parte hidrofóbica se dirige hacia el asfalto y su parte polar hacia el agua otorgando así cargas eléctricas del mismo signo, repeliéndose entre sí y estabilizando el sistema.

### **d) ADITIVOS <sup>5</sup>**

*“En algunas ocasiones, la emulsión puede contener otros aditivos, como estabilizantes, mejoradores de recubrimiento, mejoradores de adherencia, o agentes de control de rotura<sup>6</sup>”; pero básicamente una emulsión se compone de los primeros tres constituyentes mencionados al inicio de este apartado. Algunos aditivos utilizados comúnmente son:*

1. Alquitranes
2. Látex Poliméricos
3. Polímeros

---

<sup>4</sup> AEMA, Manual Básico de Emulsiones Asfálticas MS 19, pág. 8.

<sup>5</sup> Instituto Mexicano del Transporte, Emulsiones Asfálticas, Documento Técnico N° 23, Sanfandila, Qro 2001

<sup>6</sup> AEMA, Manual Básico de Emulsiones Asfálticas MS 19, pág. 5.

**1.0 Los alquitranes:** Buscan aumentar la adhesividad del asfalto añadiendo alquitrán y disminuir la susceptibilidad térmica y el rápido envejecimiento. Son productos bituminosos semisólidos o líquidos que resultan de la reconstrucción del residuo que se obtiene de la destilación del carbón de la hulla. Dan buenos resultados en tratamientos superficiales y anti carburantes, por su resistencia a los disolventes derivados del petróleo.

**2.0 Látex Poliméricos:** Son elastómeros que se comercializan en forma de emulsiones ya sea catiónicas o aniónicas; son fácilmente miscibles con emulsiones de ambos tipos. La mezcla de látex y emulsión produce, al romperse la emulsión, un asfalto-caucho. Se han empleado con éxito en la fabricación de mezclas asfálticas densas o drenantes, lechadas asfálticas, tratamientos superficiales y micro-pavimentos como se ve en el capítulo V.

**3.0 Los materiales poliméricos:** Mejoran las propiedades mecánicas y reológicas, disminuyendo la susceptibilidad térmica y los tiempos de aplicación de carga, aumentando la resistencia a la deformación permanente y a la rotura en un campo más amplio de temperaturas, tensiones y tiempos de carga, mejoran la adhesividad de los agregados. Los tipos utilizados son los termo-fijos (resinas epóxicas, poliuretanos, poliésteres) y los termoplásticos como el cloruro de polivinilo (PVC), polietileno y poli-isobutilenos, SBR (hule estireno-butadieno), EVA (etileno-acetato de vinilo) y SBS (estireno-butadieno-estireno), hule natural y artificial.

### **2.2.2 Clasificación de las Emulsiones Asfálticas**

**Las emulsiones las podemos dividir en:**

- **Liofílicas:** si la partícula de asfalto posee características de compatibilidad con el solvente.
- **Liofóbicas;** si la partícula de asfalto no presenta características de compatibilidad con el solvente.

Si el medio es agua, entonces:

- Liofílico = Hidrofílico y Liofóbico = Hidrofóbico.

Las emulsiones asfálticas pueden ser clasificadas como se mencionó anteriormente de acuerdo al tipo de emulgente usado. En este caso se pueden hablar de dos tipos refiriéndose a las cargas eléctricas que rodean las partículas de asfalto: A) Emulsiones aniónicas y B) Emulsiones catiónicas: Fig. 2.2

### **A) Emulsiones Aniónicas:<sup>7</sup>**

En este tipo de emulsiones el agente emulsificante le confiere una polaridad negativa a las partículas de asfalto, o sea que éstas adquieren una carga negativa.

Más claramente cuando una corriente eléctrica atraviesa un líquido en el que están sumergidos dos polos (un ánodo y un cátodo), el ánodo se carga positivamente y el cátodo negativamente. Si una corriente eléctrica circula a través de una emulsión que contiene partículas de asfalto cargadas negativamente, éstas migrarán al ánodo. De aquí el nombre de emulsión aniónica.

### **B) Emulsiones Catiónicas:<sup>8</sup>**

En este tipo de emulsiones el agente emulsificante le confiere una polaridad positiva a las partículas de asfalto, o sea que éstas adquieren una carga positiva.

En el caso de emulsiones con partículas de asfalto cargadas positivamente, dichas partículas migrarán al cátodo, se trata de una emulsión catiónica.

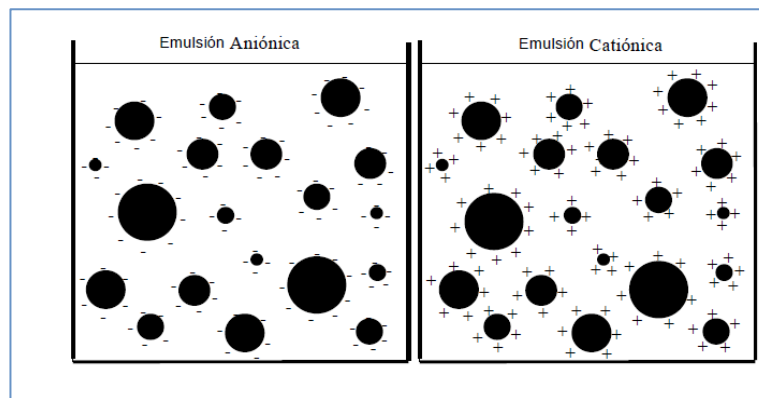
---

<sup>7</sup> AEMA, Manual Básico de Emulsiones Asfálticas MS 19, pág. 5.

<sup>8</sup> AEMA, Manual Básico de Emulsiones Asfálticas MS 19, pág. 5.

Este sistema de identificación tanto para emulsiones catiónicas o aniónicas, según sea el caso, se basa en una de las leyes básicas de electricidad que dice “las cargas iguales se repelen y las cargas opuestas se atraen”.

Existe una tercera clasificación según la polaridad en la que las partículas de asfalto son eléctricamente neutrales, y no emigran a polo alguno, conocidas como **emulsiones asfálticas no iónicas**.



**FIG. 2 2 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE EMULSIONES ANIÓNICA Y CATIÓNICA**

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

**1) De Rompimiento Rápido:**

Estas se utilizan para riegos de liga y carpetas por el sistema de riegos.

**2) De Rompimiento Medio:**

Estas normalmente se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta, especialmente cuando el contenido de finos es menor o igual al 2%, así como en trabajos de conservación tales como bacheos, re nivelaciones y sobre carpetas.

### **3) De Rompimiento Lento:**

Estas se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta y para estabilizaciones asfálticas.

### **4) Para Impregnación:**

Estas se utilizan para impregnaciones de sub-bases y/o bases hidráulicas.

### **5) Súper Estables:**

Estas se emplean en la estabilización de materiales y en la recuperación de pavimentos.

Las tres primeras clasificaciones incluyendo un rompimiento controlado, también se conocen como una clasificación de acuerdo a la ruptura de la emulsión, siendo esta última la separación completa de las fases que componen la emulsión.

Al juntar las diferentes clasificaciones tomando como parámetros el tipo de rompimiento y la polaridad, las emulsiones asfálticas se clasifican como lo muestra el cuadro 2.3. Según las especificaciones de ASTM D977-D2397 y AASHTO M140-M208 la letra "C", encabezando el tipo de emulsión, identifica a una emulsión catiónica. La ausencia de la letra "C" identifica a las emulsiones aniónicas; por ejemplo, RS-1 (RR-1, rotura rápida) es una emulsión aniónica y CRS-1 (CRR-1) es una emulsión catiónica. Los números en la clasificación indican la viscosidad relativa de la emulsión. Por ejemplo, una emulsión MS-2 (RM-2, rotura media) es más viscosa que una emulsión MS-1. La "h" incluida en algunos grados significa simplemente que la base asfáltica es más consistente o dura. La "s" significa que la base asfáltica es más blanda. Las letras "HF" que preceden a algunos de los grados de emulsiones aniónicas indican alta flotación, medida con el ensayo de flotación.

### CUADRO 2.3 CLASIFICACIÓN DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS

CLASIFICACION	TIPO DE ROMPIMIENTO	POLARIDAD
RS-1 (RR-1)	Rápido	Aniónica
RS-2	Rápido	Aniónica
HFRS-2	Rápido	Aniónica
MS-1 (RM-1)	Medio	Aniónica
MS-2	Medio	Aniónica
MS-2h	Medio	Aniónica
HFMS-1	Medio	Aniónica
HFMS-2	Medio	Aniónica
HFMS-2h	Medio	Aniónica
HFMS-2s	Medio	Aniónica
SS-1 (RL-1)	Lento	Aniónica
SS-1h	Lento	Aniónica
CRS-1 (CRR-1)	Rápido	Catiónica
CRS-2	Rápido	Catiónica
CMS-2 (CRM-2)	Medio	Catiónica
CMS-2h	Medio	Catiónica
CSS-1 (CRL-1)	Lento	Catiónica
CSS-1h	Lento	Catiónica

Considerando el tamaño de la partícula según se mencionaba en el CUADRO 2.1, podemos clasificar la emulsión como se presenta en el CUADRO 2.4



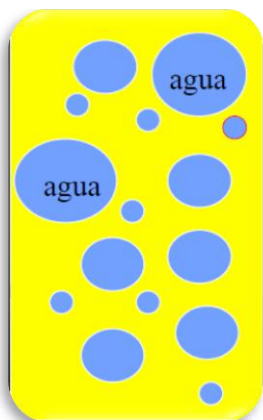
**CUADRO 2.4 CLASIFICACIÓN SEGÚN EL TAMAÑO DE LA PARTÍCULA.**

EMULSIÓN:	MICROEMULSIÓN:
• 1 a 20 micras	• 0.01 a 0.05 micras
• Opacas	• Translucidas
• Alta viscosidad	• Baja viscosidad
• INESTABLES	• ESTABLES
• a 10% de emulsificante	• 15 a 20% de emulsificante
• Mucha energía Emulsión	• Poca energía

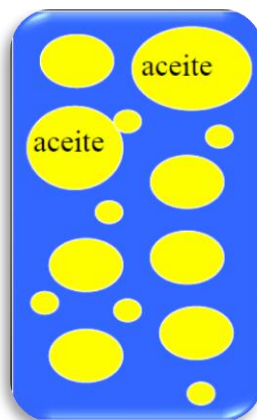
**Clasificación de la Emulsión Asfáltica según la fase dispersa:**

Según la clasificación por su tipo como se menciona en la CUADRO 2.1 las emulsiones con el aceite como fase dispersa se conocen como emulsiones de aceite en agua como lo muestra la fig. A (aceite/agua “oil-in-water”, o/w). Las emulsiones con agua como fase dispersa se conocen como emulsiones de agua en aceite (agua/aceite “water-in-oil”, w/o) como la muestra la fig. B, de la misma forma la fig. C muestra una combinación de ambos casos y es conocida como Agua/Aceite/Agua teniendo como medio o fase dispersa el agua.

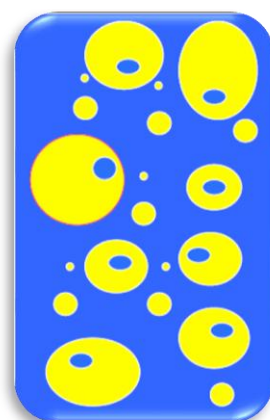
**FIG. A ACEITE/AGUA**



**FIG. B AGUA/ACEITE**



**FIG. C AGUA/ACEITE/AGUA**



En conclusión considerando la clasificación general de una emulsión CUADRO 2.1 podemos definir una emulsión asfáltica con características tales como:

- Son emulsiones directas.
- La fase dispersa es asfalto y la dispersante es agua (Liofilico).
- Para fabricar una emulsión asfáltica utilizamos dos tipos de energía :
  - ✓ Energía Mecánica: Aportada por un Molino de alto corte. (molino coloidal).
  - ✓ Energía Físico-Química = Tenso activo (Emulsificante)

### 2.2.3 FABRICACIÓN DE EMULSIONES ASFÁLTICAS

El equipo y producción para la fabricación de emulsiones es muy simple y fácil de conseguir en el mercado. El problema está en la formulación de las emulsiones que deben adaptarse a los materiales pétreos. Los requerimientos para la fabricación de las emulsiones asfálticas son sencillos, como se muestra en la Figura 2.3.

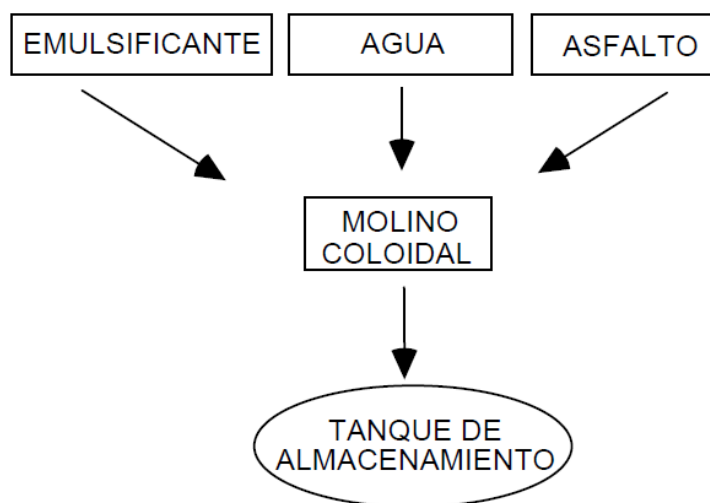


FIG. 2 3 DIAGRAMA BÁSICO DE FABRICACIÓN DE EMULSIONES ASFÁLTICAS

### 2.2.3.1 Equipo de Emulsificación

El equipo básico para preparar emulsiones incluye un dispositivo mecánico de alta velocidad, de altas tensiones de corte (usualmente un molino coloidal), para dividir el asfalto en pequeñísimas gotas, requiriendo a su vez de un tanque para la solución de emulsivo, un tanque para el asfalto caliente, bombas, y medidores de caudal. (fig. 2.4).



FIG. 2 4 MOLINO COLOIDAL

Para poder fabricar una emulsión asfáltica se necesita:

- Al menos dos sustancias *inmiscibles* (*asfalto-agua*)
- Energía Mecánica: Molino  
Muele, rompe, mezcla o desmenuza
- Energía Química: Emulsificante  
Mantiene las partículas en el mayor equilibrio químico posible

### **2.2.3.2 Proceso de Emulsificación<sup>9</sup>**

Durante el proceso de Emulsificación, se alimenta el molino coloidal con asfalto caliente, el cual es dividido en pequeñísimas gotitas. Al mismo tiempo, ingresa en el molino coloidal el agua conteniendo el agente emulsivo. El asfalto que ingresa en el molino coloidal se calienta para alcanzar una baja viscosidad; la temperatura del agua se ajusta para optimizar el proceso de emulsificación. Estas temperaturas varían, dependiendo de las características de emulsificación del cemento asfáltico y de la compatibilidad entre el asfalto y el agente emulsivo.

Debido a que la temperatura de la emulsión al abandonar el molino debe ser inferior al punto de ebullición del agua, el asfalto no se lleva a temperaturas extremadamente altas, a menos que se emplee un enfriador. Luego, la emulsión es usualmente bombeada a tanques de almacenamiento los cuales pueden ser equipados con agitadores mecánicos para mantener la uniformidad de la emulsión.

El método de incorporación del emulsivo al agua varía de acuerdo con el procedimiento empleado por el fabricante.

Las proporciones de asfalto y de solución emulsificante deben medirse con exactitud. Esto se hace normalmente con medidores de caudal; pero también pueden controlarse las proporciones verificando la temperatura de cada fase y la descarga del molino. Si se utiliza el método de regulación de la temperatura a partir de los componentes se calcula la temperatura deseada de salida de la emulsión ya elaborada, así se controla el porcentaje de contenido de asfalto.

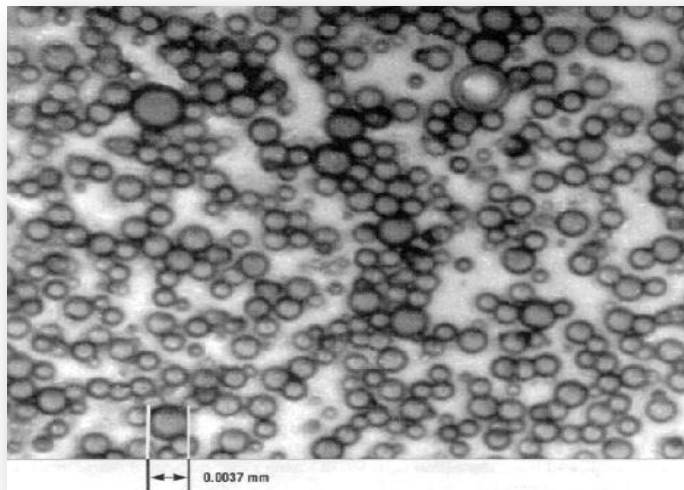
El tamaño de las partículas de asfalto es un factor vital en la elaboración de una emulsión estable. Una fotografía a nivel microscópica de una emulsión (figura 2.5), pone en evidencia estos promedios de tamaños de partículas.

---

<sup>9</sup> AEMA, Manual Básico de Emulsiones Asfálticas MS 19, pág. 10.

Menor de 0.001mm (1µm) -----	28%
0.001 – 0.005mm (1-5µm) -----	57%
0.005 – 0.010mm (5-10µm) -----	15%

Estas gotitas de asfalto de tamaño microscópico se dispersan en el agua en presencia del emulsivo tenso-activo (surfactante). El surfactante produce un cambio en la tensión superficial en el área de contacto entre las gotitas de asfalto y el agua, permitiendo así que el asfalto permanezca en suspensión. Las partículas de asfalto, todas con similares cargas eléctricas, se repelen entre si lo que ayuda a mantenerlas suspendidas.



**FIG. 2 5 FOTOGRAFÍA MICROSCÓPICA DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA**

## **2.2.4 Rompimiento y Curado de las Emulsiones Asfálticas**

### **2.2.4.1 Rotura de las Emulsiones Asfálticas**

Cuando se hace uso de emulsiones asfálticas, es necesario tener control sobre la estabilidad de la emulsión, o sea, se tiene que poder controlar el rompimiento de la misma. Pasado un tiempo determinado, el cual depende de la situación en

particular que se esté trabajando, las emulsiones tienen que desestabilizarse para que el asfalto se deposite como una capa sobre el material pétreo.

*Este fenómeno de rompimiento o ruptura de la emulsión ocurre debido a la carga eléctrica que tiene el material pétreo<sup>10</sup>. La carga que este posee neutraliza la carga de las partículas de asfalto en la emulsión, permitiendo que se acerquen unas a otras para formar agregados de gran tamaño; estos agregados son los que se depositan sobre el material pétreo formando una capa asfáltica.*

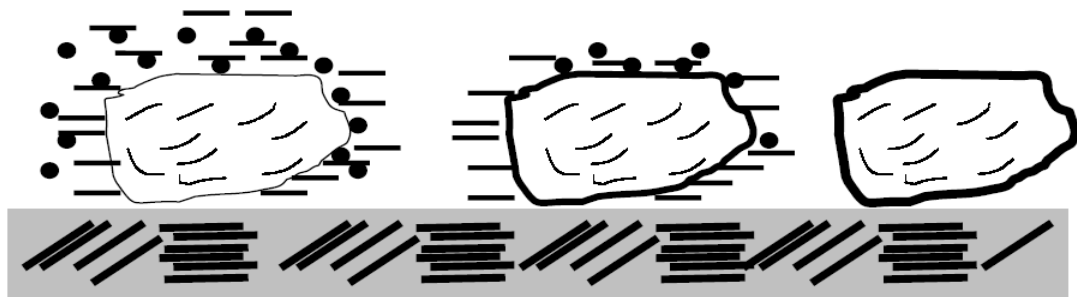
Durante este proceso el agua es eliminada del sistema asfalto-pétreo. En el proceso de desestabilización, la emulsión va perdiendo agua, pasa por una emulsión inversa en donde el asfalto forma la fase continua y el agua la fase discreta, o sea que se forman pequeñas gotas de agua en el interior del asfalto, las cuales posteriormente, cuando se deposita la capa de asfalto, son eliminadas.

En general, los factores que influyen en la ruptura de la emulsión aniónica son: la evaporación de la fase acuosa, la difusión del agua de la emulsión y la absorción superficial de una parte del emulsificante en el material pétreo. La ruptura de la emulsión catiónica se produce por la absorción de la parte polar del emulgente por los agregados, provocando la ruptura de la emulsión y haciendo que las partículas del asfalto se adhieran inmediatamente a las partículas del material pétreo, aun en presencia de humedad. En la figura 2.6 podemos observar el proceso de ruptura de una emulsión en tres pasos: primero se observa la emulsión, enseguida cuando se inicia el rompimiento y después cuando se produce la ruptura completa y queda el material pétreo cubierto por el asfalto.

---

<sup>10</sup> Instituto Mexicano del Transporte, Emulsiones Asfálticas, Documento Técnico N° 23, Sanfandila, Qro 2001

La forma de rompimiento de las emulsiones asfálticas catiónicas, en la mayoría de los casos, mejora la adherencia y permite una mejor distribución de la mezcla dentro de la masa del agregado pétreo; adicionalmente permite proseguir los trabajos de asfaltado en regiones con climas húmedos o durante una temporada de lluvias, garantizando la apertura de caminos al tránsito en un corto período de tiempo.



**FIG. 2 6 RUPTURA DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA SOBRE UN MATERIAL PÉTREO**

En el caso de emulsiones catiónicas y aniónicas de roturas rápida y media, la disposición inicial de las gotitas de emulsión asfáltica sobre el agregado tiene lugar por medio de fenómenos electroquímicos.

Para emulsiones de rotura lenta, el mecanismo es la evaporación de agua. Para el caso de mezclas densas, se requiere más tiempo para permitir el mezclado y la compactación. Consecuentemente, las emulsiones utilizadas en mezclas se diseñan para una rotura retardada. Una emulsión de rotura rápida tendrá un corto tiempo de rotura (entre uno y cinco minutos luego de aplicada), mientras que emulsiones de rotura media o rotura lenta pueden necesitar un tiempo considerablemente mayor. La velocidad de rotura está controlada básicamente por el tipo específico y concentración del agente emulsivo.

#### **2.2.4.2 Curado de las Emulsiones Asfálticas<sup>11</sup>**

El curado involucra el desarrollo de las propiedades mecánicas del cemento asfáltico. El resultado final es una película cohesiva continua que mantiene a los agregados con una fuerte unión de carácter adhesivo. Para que esto suceda, el agua debe evaporarse completamente, y las partículas de la emulsión asfáltica tienen que coalescer (romper), por absorción por el agregado. La evaporación del agua puede ser bastante rápida bajo condiciones climáticas favorables, pero excesiva humedad, bajas temperaturas, o lluvias inmediatamente después de la aplicación pueden demorar un curado apropiado.

Cuando se usan emulsiones de roturas lentas y media en mezclas de pavimentación, el empleo de agregados ligeramente húmedos facilita el proceso de mezclado y recubrimiento. En las emulsiones de rotura lenta, el desarrollo de la resistencia depende principalmente de la evaporación y a la absorción.

Las emulsiones para mezcla usualmente contienen algún solvente de petróleo para facilitar el proceso de mezclado y recubrimiento. Durante el curado, parte de este solvente se evapora. Recientemente, se ha puesto énfasis en el desarrollo de emulsiones para mezclado sin solventes. Por ejemplo, el curado de micro-aglomerado (micro-surfacing) es lo suficientemente rápido para liberar el camino al tráfico en el lapso de una hora.

#### **2.2.4.3 Factores que Afectan la Rotura y el Curado**

Algunos de los factores que afectan las velocidades de rotura y curado de las emulsiones asfálticas son:

- Absorción de agua: Un agregado de textura áspera, poroso, acelera el tiempo de rotura al absorber agua de la emulsión.

---

<sup>11</sup> AEMA, Manual Básico de Emulsiones Asfálticas MS 19, pág. 12.



- Contenido de humedad de los agregados: Si bien los agregados húmedos pueden facilitar el recubrimiento, tienden a hacer más lento el proceso de curado al incrementar el tiempo necesario para la evaporación.
- Condiciones climáticas: La temperatura, la humedad, y la velocidad del viento tienen influencia en la velocidad de evaporación del agua, en la migración del emulsivo y en las características de liberación del agua. Usualmente, pero no siempre, la rotura ocurre de manera más rápida en tiempos cálidos. Las altas temperaturas pueden originar la formación de "piel" en tratamientos superficiales, atrapando el agua y retardando el curado. Recientemente se han desarrollado formulaciones químicas para romper rápidamente a bajas temperaturas.
- Fuerzas mecánicas: La presión de los rodillos y, hasta cierto punto, el tráfico a baja velocidad, desalojan al agua de la mezcla y ayudan a lograr a cohesión, el curado y la estabilidad de la mezcla.
- Química de superficies: La intensidad de la carga de la superficie del agregado, en combinación con la intensidad de la carga del agente emulsivo, puede influir en la velocidad de rotura, en particular en el caso de emulsiones catiónicas.
- Temperatura de la emulsión y del agregado: La rotura se demora cuando las temperaturas de la emulsión y del agregado son bajas. Esto es particularmente evidente en el caso de micro-aglomerados.
- Tipo y cantidad de emulsivo: El surfactante empleado en la elaboración de la emulsión determina las características de rotura de los grados de emulsiones para sellados y para mezclas.

*Estos factores deben ser considerados en la determinación del tiempo de trabajo luego de que la emulsión ha sido distribuida o ha sido mezclada con el agregado en la obra. La mejor fuente de información es el proveedor de la emulsión.*<sup>12</sup>

## **2.2.5 Requisitos de calidad para Emulsiones Asfálticas**

Las emulsiones asfálticas deben de satisfacer los requisitos de calidad que se indican a continuación:

### **2.2.5.1 Requisitos para Emulsiones Aniónicas**

Las emulsiones asfálticas aniónicas, según su clasificación, deben de cumplir con todos los requisitos establecidos en la Cuadro 2.5. En El Salvador aun no se trabajan con emulsiones aniónicas; pero no se descarta que en un futuro, con el creciente avance de la tecnología puedan utilizarse.

---

<sup>12</sup> AEMA, Manual Básico de Emulsiones Asfálticas MS 19, pág. 13.

### CUADRO 2.5

#### Requisitos de Calidad para Emulsiones Asfálticas Aniónicas (ASTM D244 Y AASHTO T59)

Características	RS-1	RS-2	MS-1	MS-2	SS-1	SS-1
<b>Contenido Asfalto</b>	55	60	60	65	55	60
<b>Viscosidad S-F (25°C)</b>	5	--	--	--	20	20
<b>Viscosidad S-F (50°C)</b>	--	40	50	25	--	--
<b>Sedimentación (5 días)</b>	5	5	5	5	5	5
<b>Retenido en Malla 20</b>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
<b>Pasa 20, Retiene 60</b>	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
<b>Cubre Agregado Seco</b>	--	--	90	90	90	90
<b>Cubre Agregado Húmedo</b>	--	--	75	75	75	75
<b>Miscible Cemento Portland</b>	--	--	--	--	2	2
<b>Carga de las Partículas</b>	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
<b>Demulsibilidad</b>	60 min	50 min	30 máx.	30 máx.	--	--

Fuente Instituto Mexicano del Transporte, Emulsiones Asfálticas, Documento Técnico N° 23, Sanfandila, Qro 2001

### 2.2.5.2 Requisitos para Emulsiones Catiónicas

Las emulsiones asfálticas catiónicas, según su clasificación, deben de cumplir con todos los requisitos establecidos en la Cuadro 2.6.

**CUADRO 2.6**

**Requisitos de Calidad para Emulsiones Asfálticas Catiónicas (ASTM D244 Y AASHTO T59)**

<b>Características</b>	<b>CRS-1</b>	<b>CRS-2</b>	<b>CMS-2</b>	<b>MS-2h</b>	<b>CSS-1</b>	<b>CSS-1h</b>
<b>Contenido Asfalto</b>	60	65	68	65	65	60
<b>Viscosidad S-F (25°C)</b>	--	--	--	--	25	5
<b>Viscosidad S-F (50°C)</b>	5	40	50	25	--	--
<b>Sedimentación (5 días)</b>	5	5	5	5	5	10
<b>Retenido en Malla 20</b>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
<b>Pasa 20, Retiene 60</b>	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
<b>Cubre Agregado Seco</b>	--	--	--	90	90	--
<b>Cubre Agregado Húmedo</b>	--	--	--	75	75	--
<b>Carga de las Partículas</b>	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
<b>Disolvente (vol.)</b>	--	3	3	5	--	15
<b>Índice de Ruptura</b>	< 100	< 100	< 100	80-140	>120	--

Fuente Instituto Mexicano del Transporte, Emulsiones Asfálticas, Documento Técnico N° 23, Sanfandila, Qro 2001

### 2.2.6 Clasificación del Material Pétreo

Debido a que el rompimiento de la emulsión asfáltica se lleva a cabo por la interacción química de ésta con el material pétreo, es necesario conocer el tipo de material pétreo que se tiene, para determinar el tipo de emulsión asfáltica más apropiada.

La clasificación de las rocas tiene en cuenta la proporción en sílice que contienen: ácidas, son las que tienen más del 66 por ciento de dióxido de silicio ( $\text{Si O}_2$ ); intermedias, las que contienen entre 52 y 66 por ciento del mismo mineral y básicas, las que contienen menos del 52 por ciento. En la cuadro 2.7 se muestran rocas representativas de estos grupos.

**CUADRO 2.7**

#### **CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL PÉTREO POR SU CONTENIDO DE SÍLICE**

ROCAS ACIDAS	ROCAS INTERMEDIAS	ROCAS BASICAS
Granitos	<b>Sienita</b>	<b>Gabro</b>
Granodiorita	<b>Traquita</b>	<b>Basalto</b>
Granito pórfido	<b>Traquiandesita</b>	<b>Peridotita</b>
Riolita	<b>Diorita</b>	<b>Piroxenita</b>
Diacita	<b>andesita</b>	<b>Diabasa</b>
	<b>fonolita</b>	<b>dolerita</b>

Fuente TABLA V Instituto Mexicano del Transporte, Emulsiones Asfálticas, Documento Técnico N° 23, Sanfandila, Qro 2001, pág. 29.

Durante muchos años se tuvo la idea que los materiales silíceos ácidos tenían cargas eléctricas negativas y que los materiales silíceos básicos o alcalinos, cargas positivas. *Sin embargo, en trabajos de investigación recientes, ha quedado establecido que todos los agregados pétreos tienen cargas eléctricas negativas, incluyendo granitos, calizas, dolomitas, areniscas, basalto y cuarzo*<sup>13</sup>.

En El Salvador los agregados pétreos utilizados en la elaboración de mezclas asfálticas provienen de la trituración de andesitas y basaltos, que como ya se menciono anteriormente tienen cargas eléctricas negativas, razón por la cual se origina la necesidad de usar emulsiones de tipo catiónico en la elaboración de mezclas garantizando así una adecuada interacción de los componentes.

Por las características de las emulsiones catiónicas ya mencionadas, se prefieren éstas para la realización de trabajos en ingeniería, con todas las ventajas que las mismas presentan sobre los asfaltos rebajados y mezclas asfálticas en caliente.

### **2.2.7 Ventajas de las Emulsiones Asfálticas<sup>14</sup>**

En esta sección se mencionan las ventajas que presenta la utilización de las emulsiones asfálticas sobre los asfaltos rebajados y las mezclas asfálticas en fundido (en caliente) debido a factores técnicos como económicos.

1) Es un ligante asfáltico no contaminante para el medio ambiente ni peligroso para las personas que lo manipulan, ya que contiene del 35 al 40% de agua como solvente reduciendo sustancialmente la emisión de gases y el peligro de trabajar con temperaturas elevadas.

---

<sup>13</sup> Instituto Mexicano del Transporte, Emulsiones Asfálticas, Documento Técnico N° 23, Sanfandila, Qro 2001

<sup>14</sup> Instituto Mexicano del Transporte, Emulsiones Asfálticas, Documento Técnico N° 23, Sanfandila, Qro 2001, pág. 29.

- 2) Su manejo es sencillo y seguro, gracias a su baja viscosidad a temperatura ambiente facilitando así el proceso de aplicación y mezclado.
- 3) Tiene un límite de almacenamiento muy amplio, ya que puede ser almacenado por semanas o meses, debido entre otras cosas a la igualdad de las densidades de sus componentes permitiendo así su utilización en forma directa a la que se empleara.
- 4) Tiene una gran capacidad de adhesión con cualquier agregado pétreo, a pesar de condiciones de humedad adversas debido a la enorme dispersión de las partículas de asfalto de tamaño muy pequeño y al uso de agentes emulsificantes de tipo catiónico ampliando las condiciones en las que se puede utilizar.
- 5) Se aplica en un lapso muy corto de tiempo, lo que permite la pronta funcionalidad de la obra en que se esté usando disminuyendo el periodo de cierre de las vías de transporte.
- 6) Presenta un bajo costo de la fase dispersante, que es el agua minimizando los costos en que se incurre para la ejecución de las obras.
- 7) Se emplean materiales pétreos locales, lo que elimina la transportación de este tipo de materiales por grandes distancias.
- 8) El equipo de aplicación es mucho más sencillo debido a que todos sus componentes se aplican a temperatura ambiente al no requerir el secado y calentamiento previo de los materiales que se utilizaran.
- 9) Por su aplicación en frío, ayuda a no alterar el medio ambiente y queda suprimida la emisión de humos o gases con altos contenidos de carbono.

10) El empleo del agua como solvente no crea problema de su desperdicio, ya que es recuperable además de ser un elemento que el medio ambiente puede asimilar sin alterarlo en forma significativa.

### **2.2.8 Recomendaciones para el uso de Emulsiones Asfálticas**

Las recomendaciones más generales para el uso de las emulsiones asfálticas son las que se describen a continuación con la finalidad de dar a conocer sugerencias durante el proceso de selección, almacenamiento y utilización de estas maximizando de esta forma las ventajas mencionadas en la sección anterior:

1) Si el depósito se usó para almacenar emulsiones aniónicas y se van a almacenar emulsiones catiónicas, es necesario neutralizar la acción de aquella lavando el tanque, primero con agua y posteriormente con ácido clorhídrico diluido al uno por ciento con la finalidad de no modificar las propiedades de la dispersión y afectar el desempeño de estas.

2) Por el contrario, si el depósito se usó para almacenar emulsiones catiónicas y se quiere almacenar emulsiones aniónicas, se tendrá que lavar con agua y neutralizarlo con soda cáustica al 0.3 por ciento.

3) Cuando el sitio de almacenamiento de las emulsiones se ubica en regiones de climas extremos se debe procurar proveer sistemas que evitan un posible congelamiento o evaporación de la fase dispersante alterando su composición óptima.

4) Antes de recibir una emulsión en obra y hacer uso de esta, se sugiere comprobar su calidad y el tipo de emulsión de que se trate, haciendo con este fin las pruebas de identificación que se recomiendan en cada caso garantizando con ello el cumplimiento de los requerimientos técnicos de las obras.



5) Los tanques de almacenamiento deberán tener un sistema de recirculación, con el objeto de evitar el asentamiento del asfalto contenido en la emulsión y la concentración inadecuada y focalizada en el momento de su utilización.

6) La temperatura ambiente al aplicarse la emulsión, deberá ser de 10 °C mínimos y en ascenso y nunca debe de hacerse cuando baje la temperatura durante la noche con el fin de no afectar en el tiempo de ruptura o propiciar condiciones en las que el agua quede atrapada en la capa asfáltica ya consolidada.

7) La emulsión, una vez que es desestabilizada (o sea que ya se produjo el rompimiento), no debe de re-emulsificarse aún en presencia de agua y del paso de los vehículos; por este motivo es muy importante que el emulsificante sea el adecuado para generar la emulsión que cumpla con las características solicitadas.

### **2.2.9 Uso de las Emulsiones Asfálticas de tipo catiónico<sup>15</sup>**

El asfalto es un importante material termoplástico que es ampliamente usado en la construcción debido a la amplia gama de virtudes que este ofrece a diversos tipos de obras y sus usos se hacen extensivos a las emulsiones asfálticas catiónicas, entre los que destacan:

- Usos generales.
- Juntas para pavimentos hidráulicos.
- Adhesivos.
- Selladores.
- Impermeabilizantes.

---

<sup>15</sup> Instituto Mexicano del Transporte, Emulsiones Asfálticas, Documento Técnico N° 23, Sanfandila, Qro 2001, pág. 31.

- Recubrimiento de tubería especial.
- Para tratamientos superficiales, para pavimentos asfálticos, en carreteras y aeropistas:
  - Riegos de impregnación.
  - Riegos de imprimación o penetración.
  - Riegos negros con emulsión diluida.
  - Riegos de liga.
  - Riegos de sello con arena o gravilla seleccionada.
    - Morteros asfálticos o slurry seal (sólo con emulsiones asfálticas).
    - Bacheo.
    - Mezcla cerrada y mezcla abierta.
    - Grava - emulsión y arena – emulsión.
    - Penetración.
    - Impregnación

# CAPITULO III

## ENSAYOS DE LABORATORIO PARA CARACTERIZAR EMULSIONES

### **3.0 INTRODUCCIÓN**

En el presente capítulo se muestran los procesos de los ensayos de laboratorio empleados en el estudio del comportamiento de los diferentes tipos de emulsiones sujetas a análisis y que se presentan en el capítulo VI del presente estudio técnico, cabe aclarar que estos procesos están limitados a los ensayos comúnmente realizados en El Salvador. Estos métodos estándares están amparados en las Normas ASTM y AASHTO específicamente en la D 244 y en T-59 respectivamente, siendo estas sujetas a revisión y actualización continua, por lo que es responsabilidad del usuario establecer las medidas de seguridad y salubridad a seguir durante la ejecución del proceso operativo descrito en las mismas.

Haciendo un análisis de características importantes, tanto en la emulsión como en el residuo asfáltico de la misma, teniendo como parte fundamental de la investigación la experiencia de ASFALCA, los ensayos a realizar son:

#### **ENSAYOS SOBRE EMULSIONES**

- ✓ Viscosidad de la emulsión.
- ✓ Ensayo de Tamiz.
- ✓ Ensayos de Sedimentación y de Estabilidad para Almacenamiento.
- ✓ Residuo de Asfalto por Destilación.
- ✓ Residuo de Asfalto por Evaporación.

#### **ENSAYOS AL RESIDUO**

- ✓ Punto de Ablandamiento (Anillo y Esfera).
- ✓ Ensayo de Penetración.
- ✓ Peso de la Unidad de Volumen de la Emulsión Asfáltica.
- ✓ Ductilidad 25°C, 5mm/min
- ✓ Solubilidad en Tricloroetileno.

## 3.1 ENSAYOS SOBRE EMULSIONES

### 3.1.1 VISCOSIDAD SAYBOLT DE EMULSIONES ASFÁLTICAS

#### 3.1.1.1 FUNDAMENTO

La viscosidad tiene importancia en el empleo de las emulsiones porque esta propiedad afecta a su utilización en obra<sup>16</sup>. Cuando se aplica como riego por ejemplo, el material debe presentar suficiente fluidez para que se pueda extender uniformemente a través de la barra de distribución o de riego de la maquina de distribución de asfalto, y suficiente viscosidad para que no fluya desde el centro de la calle a los bordes.

#### 3.1.1.2 OBJETIVO

- 1) Describe el procedimiento que debe seguirse para determinar la viscosidad o consistencia de las emulsiones asfálticas por medio del viscosímetro Saybolt Furol.
- 2) **Las determinaciones se realizan a 25 °C o 50 °C (77 o 122 °F)**, pudiendo emplearse el viscosímetro, aún en el caso en que el tiempo empleado para fluir, sea menor de 20 segundos.

#### 3.1.1.3 APARATOS

**VISCOSIMETRO SAYBOLT:** con orificios calibrados de salida Universal (ver fig. 3.1)

**TAMIZ:** Un tamiz de tamaño adecuado con abertura de 850 mm (No.

20).**BAÑO DE AGUA:** Que permita mantener la temperatura a  $25\text{ °C} \pm 0.1\text{ °C}$  ( $77 \pm 0.2\text{ °F}$ ) y a  $71 \pm 2.5\text{ °C}$  ( $160 \pm 4.5\text{ °F}$ )

**CRONOMETRO:** Para medir la duración del ensayo, graduado en 0.1 s y con exactitud del 0.1% en 60 s.

---

<sup>16</sup> Norma NLT Españolas, NLT 138/99, basada en ASTM D244, pág. 7, Viscosidad Saybolt Furol.

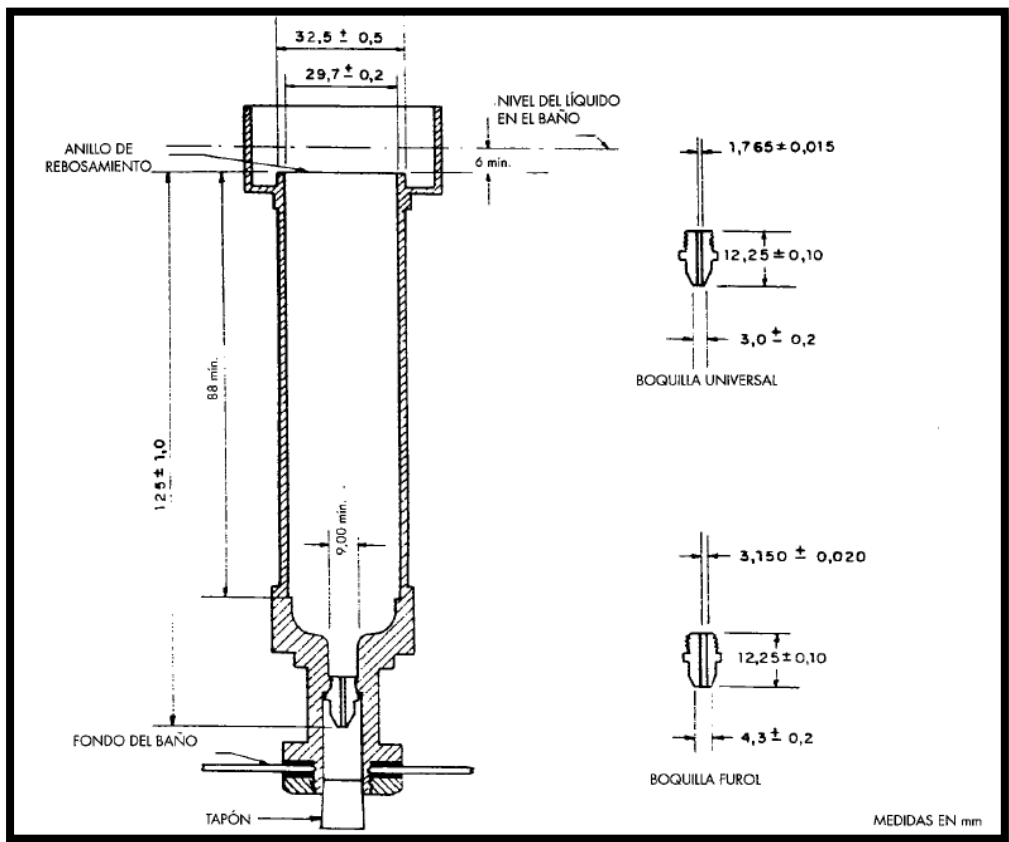


FIG. 3.1 VISCOSIMETRO SAYBOLT Y BOQUILLAS

**TERMÓMETROS:** Termómetros con referencias ASTM 17C para los ensayos a 25°C y para los ensayos a 50°C, según el Cuadro 3.1.

**CUADRO 3.1 Termómetros con referencias ASTM 17C**

REFERENCIA ASTM	ESCALA °C	GRADUACIÓN °C	LONG. TOTAL mm	ERROR MAX. °C
17 C	19 a 27	0.1	275	0.1
18 C	34 a 42	0.1	275	0.1
19 C	49 a 57	0.1	275	0.1
20C	57 a 65	0.1	275	0.1
21 C	79 a 87	0.1	275	0.1
22 C	95 a 103	0.1	275	0.1

### **3.1.1.4 PROCEDIMIENTO**

#### **ENSAYO A 25 °C (77 °F)**

##### **PARA EMULSIONES CON PORCENTAJE DE AGUA MAYOR A 35%**

- Se agita bien la muestra para que no se formen burbujas y viértala en un frasco de 100 cm<sup>3</sup>, el cual se coloca en un baño de agua a la temperatura de 25 °C ± 0.1 °C (77 ± 0.2 °F) durante 30 min., mezclando al final la muestra, para lo cual se invierte el frasco varias veces, pero lentamente para evitar que se forme espuma.
- Vierta la muestra dentro del viscosímetro a 25 °C y habiéndola agitado, se echa en el viscosímetro bien limpio, una pequeña cantidad a través del tamiz de 850 mm (No. 20), dejando que fluya por el tubo de salida para el desperdicio.
- Coloque el tapón, el cual debe estar unido a un cordel que facilite su remoción, en la cámara de aire del viscosímetro; se vierte la muestra a través del tamiz de 850 mm (No. 20) directamente en el tubo del viscosímetro hasta que sobrepase el borde de rebose del tubo.
- Se agita la muestra con un termómetro de viscosidad equipado con soporte (fig. 3.2), mediante un movimiento circular de 30 a 50 rpm en el plano horizontal, hasta que la temperatura de la emulsión alcance la del ensayo y permanezca durante un minuto dentro de ± 0.05 °C de la misma.
- Se saca el termómetro de la muestra y se retira la emulsión de la galería utilizando la pipeta extractora, hasta que quede por debajo del borde de rebose, teniendo especial cuidado para que la punta de la pipeta no lo toque.
- Se coloca el frasco receptor de tal manera que la emulsión que cae del viscosímetro golpee el cuello del mismo.

→ Se retira rápidamente el tapón del fondo del viscosímetro y en el mismo instante se pone en funcionamiento el cronómetro, el cual se detiene en el momento en que el fondo del menisco alcance la marca de graduación del frasco receptor (fig. 3.3), anotándose la lectura del cronómetro.

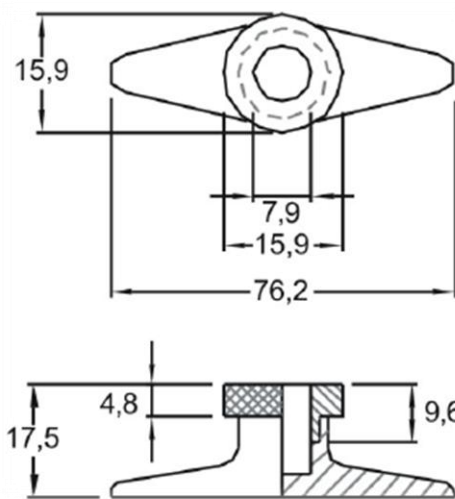


FIG. 3.2 SOPORTE PARA EL TERMÓMETRO

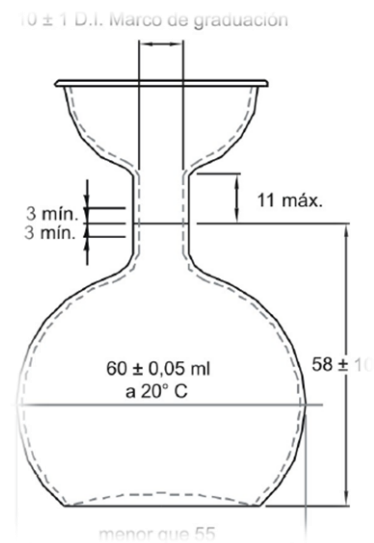


FIG. 3.3 MATRAZ RECIBIDOR

### ENSAYO A 50°C (122°F)

#### PARA EMULSIONES CON PORCENTAJE DE AGUA IGUAL O MENOR A 35%

→ Se agita bien la muestra sin incorporar burbujas y se echan unos 100 cm<sup>3</sup> en un vaso de vidrio de 400 cm<sup>3</sup>. El vaso con la emulsión se sumerge en un baño de agua, de manera que el fondo quede a 50 mm de la superficie y se mantiene en posición vertical. La temperatura del baño debe ser de 71 ± 2.5 °C (160 ± 4.5 °F).



- Con objeto de obtener una distribución uniforme de la temperatura, se agita la emulsión con el termómetro del viscosímetro mediante un movimiento circular de 60 vueltas por minuto (el termómetro deberá ir tocando las paredes y el fondo del vaso). Se tendrá cuidado para no producir burbujas.
- La emulsión que se va a ensayar se calentará, dentro del baño, mantenido a la temperatura de  $71 \pm 2.5$  °C, hasta que alcance  $51.5 \pm 0.3$  °C.
- Se coloca el tapón conforme se indica en el procedimiento a 25 °C. Una vez que la emulsión alcance la temperatura indicada, se vierte inmediatamente a través del tamiz de 850 mm (No. 20), en el tubo del viscosímetro, hasta que rebose en la galería del aparato.
- La emulsión se sigue agitando con el termómetro, con las mismas revoluciones hasta alcanzar la temperatura del ensayo. Se tendrá cuidado para no producir burbujas durante la agitación. La temperatura del baño se regula para lograr que la emulsión se mantenga, por lo menos durante 1 minuto, a  $50 \pm 0.05$  °C ( $122 \pm 0.09$  °F).
- Se saca entonces el termómetro y se determina la viscosidad como se indica en los tres últimos párrafos del procedimiento a 25 °C.

### **3.1.1.5 CÁLCULOS Y RESULTADOS**

#### **CÁLCULOS**

El tiempo, en segundos, que demora el flujo de los 60 cm<sup>3</sup> de emulsión, conforme se describe en este método, corregidos por el factor de calibración, si lo hubiere, es la viscosidad Saybolt Furol o Saybolt Universal de la muestra según el orificio utilizado en el viscosímetro, a la temperatura de ensayo.

Los resultados se expresarán con una aproximación de 1 segundo.

## 3.1.2 ENSAYO DE TAMIZ

### 3.1.2.1 FUNDAMENTO

Mediante este ensayo se determina la cantidad de producto asfáltico mal emulsionado que hay en la muestra<sup>17</sup>. Los grumos o barro, así como la película que se forma a veces en la superficie, pueden ser debidas a la rotura de la emulsión, defectos de fabricación, contaminaciones, etc.

### 3.1.2.2 OBJETO

1) Se describe el procedimiento a seguir mediante la utilización del tamiz No. 20 para determinar la cantidad de producto asfáltico mal emulsionado.

### 3.1.2.3 APARATOS Y MATERIALES

**TAMIZ:** Un tamiz de abertura 850  $\mu\text{m}$  (No. 20), montado sobre un bastidor de unos 80 mm de diámetro, provisto de un aro que sirva de soporte para mantenerlo sobre un vaso o recipiente apropiado.

**FONDO O CULATA:** De tamaño apropiado para acoplarse a la parte inferior del tamiz.

**SOLUCIÓN DE OLEATO SÓDICO (2%):** Disolver 2 g de oleato de sodio pero en agua destilada y completar a 100 ml.

**SOLUCIÓN DE EMULSIONANTE CATIONICO:** Una solución de emulsionante catiónico al 2% en agua destilada.

**BALANZA:** Con capacidad de 2000g con precisión de  $\pm 1$  gr. y 500 g con precisión de  $\pm 0.1$  g y 500 g con precisión de  $\pm 0.1$ g.

---

<sup>17</sup> Norma NLT Españolas, NLT 142/99, basada en ASTM D244, pág. 10, Ensayo de Tamiz.

#### **3.1.2.4 PROCEDIMIENTO**

La temperatura a la cual la prueba de tamiz debe ser efectuada esta relacionada con la viscosidad de la emulsión. Para aquellos materiales cuya viscosidad es 100 s ó más a 25°C el ensayo se realiza a temperatura ambiente y aquellos cuya viscosidad es mas de 100 s a 50°C (122° F), use una temperatura de ensayo a 50°C si es necesario calentar, la muestra, puede ser colocada en un horno a baño de agua, agitando para alcanzar su homogeneidad.

Se taran el tamiz y el fondo. Después de tarados se moja la malla del tamiz con solución de oleato sódico o de emulsionante catiónico, según el tipo de emulsión que se ensaya. Se pesan 1.000 g de la emulsión en un recipiente y se hacen pasar a través del tamiz. El recipiente y el residuo que queden en el tamiz se lavan perfectamente con la misma solución, hasta que el líquido de lavado salga de color claro. Se coloca entonces el fondo debajo del tamiz y se calienta durante 2 horas en un horno regulado a 105 °C (221° F). Se deja enfriar en un desecador y se pesa.

#### **3.1.2.5 CÁLCULOS Y RESULTADOS**

##### **CÁLCULOS**

Se calcula el porcentaje de muestra retenido en el tamiz de la manera siguiente:

$$\text{Muestra retenida} = \frac{\% B-A}{100}$$

A = Peso del tamiz y el fondo, en gramos.

B = Peso del tamiz, el fondo y residuo, en gramos.

## **RESULTADOS**

Los resultados se expresarán en porcentaje en peso de residuo retenido en el tamiz, respecto a la muestra total, con aproximación del 0.01%: Si el residuo es menor de 0.1 %, informar el resultado como "menor de 0.1%"

### **3.1.3 ENSAYOS DE SEDIMENTACION Y ESTABILIDAD PARA ALMACENAMIENTO**

#### **A3.1.3 ENSAYO DE SEDIMENTACION**

##### **A3.1.3.1 FUNDAMENTO**

El ensayo sirve para valorar la estabilidad al almacenamiento de estas emulsiones, midiendo la diferente concentración de asfalto que se produce al cabo de cierto tiempo entre las partes superior e inferior de la emulsión.<sup>18</sup>

##### **A3.1.3.2 OBJETO**

- 1) Describe el procedimiento que debe seguirse para realizar el ensayo de sedimentación de las emulsiones asfálticas.
- 2) Mediante este ensayo se valora la sedimentación que se produce durante el almacenamiento de las emulsiones asfálticas.

##### **A3.1.3.3 APARATOS**

**PROBETAS:** Dos probetas de vidrio, con base y tapón, de 500 cm<sup>3</sup> de capacidad, con diámetro exterior de  $5.0 \pm 0.5$  cm<sup>3</sup> y graduadas cada 5 cm hasta la capacidad total. Esta puede estar provista de dos salidas laterales a los niveles adecuados para la toma de muestras.

---

<sup>18</sup> Manual Chileno de Carreteras, Especificaciones y Métodos de Muestro, Ensayo y control, Volumen 8, pág. 397, basado en ASTM D 244.

**PIPETA:** Una pipeta de vidrio, de 60 cm<sup>3</sup> de capacidad o un sifón de la forma más conveniente.

**VASOS:** Cuatro vasos de vidrio de boca ancha (beaker), resistentes al calor y de 600 cm<sup>3</sup> de capacidad.

**ESTUFA:** Un horno igual al que se describe en la norma de pérdidas por calentamiento de aceites y compuestos asfálticos.

**BALANZA:** con capacidad de 500 g y precisión de  $\pm 0.1$  g.

#### **A3.1.3.4 PROCEDIMIENTO**

- Colocar una muestra representativa de 500 ml en cada una de las probetas, se tapan herméticamente y se dejan en un lugar del laboratorio en completo reposo. Al final del tiempo especificado, cinco (5) días, se sacan, por medio de la pipeta o el sifón, 55 cm<sup>3</sup> de la parte superior de cada beta, procurando no alterar el resto de la muestra. Después de homogenizar independientemente las dos muestras tomadas, se pesan. Exactamente 50 g de cada una de ellas en dos vasos de vidrio de boca ancha, de 600 cm<sup>3</sup>, previamente tarados y se someten durante dos (2) horas a la temperatura de 163 °C (352 °F) en el horno.
- Se dejan enfriar las muestras y se pesan con precisión de 0.1 g para determinar el residuo por evaporación.
- Después de sacar las muestras de la parte superior, se extraen cuidadosamente, con sifón o pipeta aproximadamente 390 cm<sup>3</sup> de cada una de las dos probetas. El resto de material que queda en ellas se homogeniza y se pesan exactamente 50 g de cada una de ellas en vasos de vidrio de 600 cm<sup>3</sup>, determinándose los residuos por evaporación en la misma forma que se indico anteriormente en el primer paso.

### **A3.1.3.5 CÁLCULOS Y RESULTADOS**

#### **CÁLCULOS**

Se calcula el residuo por evaporación en porcentaje respecto a la muestra total, para cada una de las cuatro determinaciones realizadas.

Se hace el promedio de las determinaciones, correspondientes a las muestras tomadas de la parte superior de las probetas y de las correspondientes a las muestras tomadas de la parte inferior de las mismas.

La diferencia en valor absoluto entre los dos promedios antes determinados, según la expresión que aparece adelante, es el resultado del ensayo de sedimentación.

$$\text{sedimentación \%}(5 \text{ días}) = (Pi1 + Pi2) - (Ps1 + Ps2)$$

Siendo:

Pi = Pesos del residuo parte inferior

Ps = Pesos del residuo parte superior

#### **RESULTADOS**

Los resultados se expresarán con aproximación al porcentaje entero más próximo.

### **B3.1.3 ENSAYO DE ESTABILIDAD PARA EL ALMACENAMIENTO**

#### **B3.1.3.1 FUNDAMENTO**

El método determina la diferencia del contenido asfáltico de muestras tomadas de la parte superior e inferior del material almacenado sin perturbar por 24 horas<sup>19</sup>. El resultado se expresa como la diferencia entre el porcentaje promedio de la muestra tomada en la parte superior e inferior de dos cilindros almacenados.

Se usa para determinar, en corto tiempo, comparativamente, la estabilidad de almacenaje de la emulsión asfáltica. Esta es una medida de permanencia de la dispersión en relación al tiempo, pero esto no puede ser interpretado como una medida significativa si se tienen otros aspectos de la estabilidad involucrados en el uso.

#### **B3.1.3.2 OBJETO**

1) El Método describe la capacidad de una emulsión asfáltica para permanecer como una dispersión uniforme durante el almacenaje. Es aplicable a emulsiones asfálticas compuestas principalmente de una base líquida o semisólida, agua y un agente emulsificante.

#### **B3.1.3.3 APARATOS**

**CILINDROS DE VIDRIO:** Deben ser dos con capacidad de 500 ml y con base ajustada o moldeada de vidrio, tapones de corcho o de vidrio u otro medio adecuado que los selle herméticamente. Deben tener un diámetro exterior de  $50 \pm 5$  mm y graduación de 5 ml.

**SIFÓN Y PIPETA:** De 60 ml de forma opcional.

---

<sup>19</sup> Manual Chileno de Carreteras, Especificaciones y Métodos de Muestro, Ensayo y control, Volumen 8, pág. 402, basado en ASTM D 244, pág. 14.

**BALANZA:** Con capacidad de 1.000 g, y con precisión de 0,01 g.

**HORNO:** termostáticamente controlado capaz de mantener una temperatura de  $163 \pm 3^{\circ}\text{C}$ .

#### **B3.1.3.4 PROCEDIMIENTO**

- Lleve la emulsión asfáltica a temperatura de la sala ( $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ). Coloque 500 ml de una muestra representativa en cada uno de los cilindros de vidrio. Tape el cilindro y deje la muestra sin perturbar en el laboratorio a la temperatura de la sala por 24 h. Después de este período de reposo, saque aproximadamente 55 ml de la parte superior por medio de una pipeta o sifón, sin perturbar la muestra. Mezcle completamente cada porción.
  
- Pese  $50 \pm 0,1$  g de cada muestra dentro de un vaso de vidrio o aluminio de 600 ó 1.000 ml; cada vaso debe ser previamente tarado con una varilla de vidrio de 6 mm de diámetro por 180 mm de longitud. Ajuste la temperatura del horno a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Luego coloque el vaso conteniendo la varilla y la muestra en el horno por 2 h. Al final de este período, saque los vasos y revuelva completamente el residuo. Vuelva a colocar al horno por 1 h; luego saque los vasos del horno y deje enfriar a temperatura ambiente y pese con la varilla incluida. Repita hasta lograr masa constante.
  
- Después de quitar la muestra de la parte superior, saque con el sifón aproximadamente los próximos 390 ml de cada cilindro; mezcle completamente la emulsión remanente en el cilindro y pese 50 g en un vaso de aluminio o vidrio de 600 ó 1.000 ml, previamente tarado. Determine el residuo asfáltico de estas muestras de acuerdo al paso anterior.



### **B3.1.3.5 CÁLCULOS Y RESULTADOS**

#### **CÁLCULOS**

Calcule la capacidad de almacenaje como la diferencia numérica entre el promedio de los porcentajes de residuo asfáltico encontrados en las dos muestras de la parte inferior y las dos muestras de la parte superior. Los resultados se expresan con aproximación al porcentaje entero más próximo.

### **3.1.4 RESIDUO DE ASFALTO POR DESTILACIÓN**

#### **3.1.4.1 FUNDAMENTO**

El método de ensayo se utiliza para determinar cuantitativamente el residuo y los destilados oleosos de las emulsiones asfálticas con fines de aceptación, evaluación, control o investigación. Sobre el residuo se pueden realizar los ensayos normalizados que se precisen para identificar o caracterizar el material bituminoso o asfáltico empleado.

#### **3.1.4.2 OBJETO**

**1)** Describe el procedimiento que debe seguirse para efectuar el ensayo de destilación de las emulsiones asfálticas.

**2)** En este ensayo se destila una muestra de 200 g de la emulsión hasta una temperatura de 260 °C (500 °F). Se determina la proporción del residuo y a este material se le pueden realizar los ensayos de penetración, solubilidad, ductilidad, peso específico y cenizas para caracterizar el material asfáltico empleado.

### **3.1.4.3 APARATOS**

#### **APARATO DE DESTILACIÓN COMPUESTO POR:**

##### **→ RETORTA DE ALEACIÓN DE ALUMINIO**

Una retorta cilíndrica, tal como se detalla en la Figura 3.4, de aproximadamente 241 mm (9 ½") de altura y 95 mm (3 ¾") de diámetro interior, provista de un mechero anular con orificios en su superficie interior para fijarlo alrededor de la parte exterior de la retorta. Las superficies de contacto entre la retorta y su tapa deben tener un acabado que proporcione un cierre lo más hermético posible.

##### **→ TUBO DE DESPRENDIMIENTO**

Un tubo de desprendimiento de vidrio, de la forma y dimensiones indicadas en la Figura 3.5, sirve de conexión entre el condensador y la retorta.

##### **→ CONDENSADOR**

Un elemento refrigerante recto, con camisa metálica, de la forma y dimensiones que se indican en la Figura 3.5.

##### **→ PROBETA**

Una probeta con graduaciones cada 0.1 cm<sup>3</sup>, de 100 cm<sup>3</sup> de capacidad.

##### **→ PROTECTOR DE ZINC**

Un protector de zinc para cubrir el tubo de desprendimiento, con la forma y dimensiones que se indican en la Figura 3.5.

**TERMÓMETROS:** Dos termómetros para destilación a baja temperatura de acuerdo con las características mostradas en el cuadro 3.2.

**CUADRO 3.2**

**CARACTERISTICAS DEL TERMÓMETRO**

<b>REFERENCIA ASTM</b>	<b>ESCALA °C</b>	<b>GRADUACION °C</b>	<b>LONGITUD TOTAL mm</b>	<b>ERROR MAX °C</b>
<b>7C</b>	-2 a 300	1.0	386	0.5

**TAMIZ:** Un tamiz con abertura de 300 mm (No. 50).

**BALANZA:** capaz de pesar 3 500 g con una precisión de  $\pm 0.1$  g.

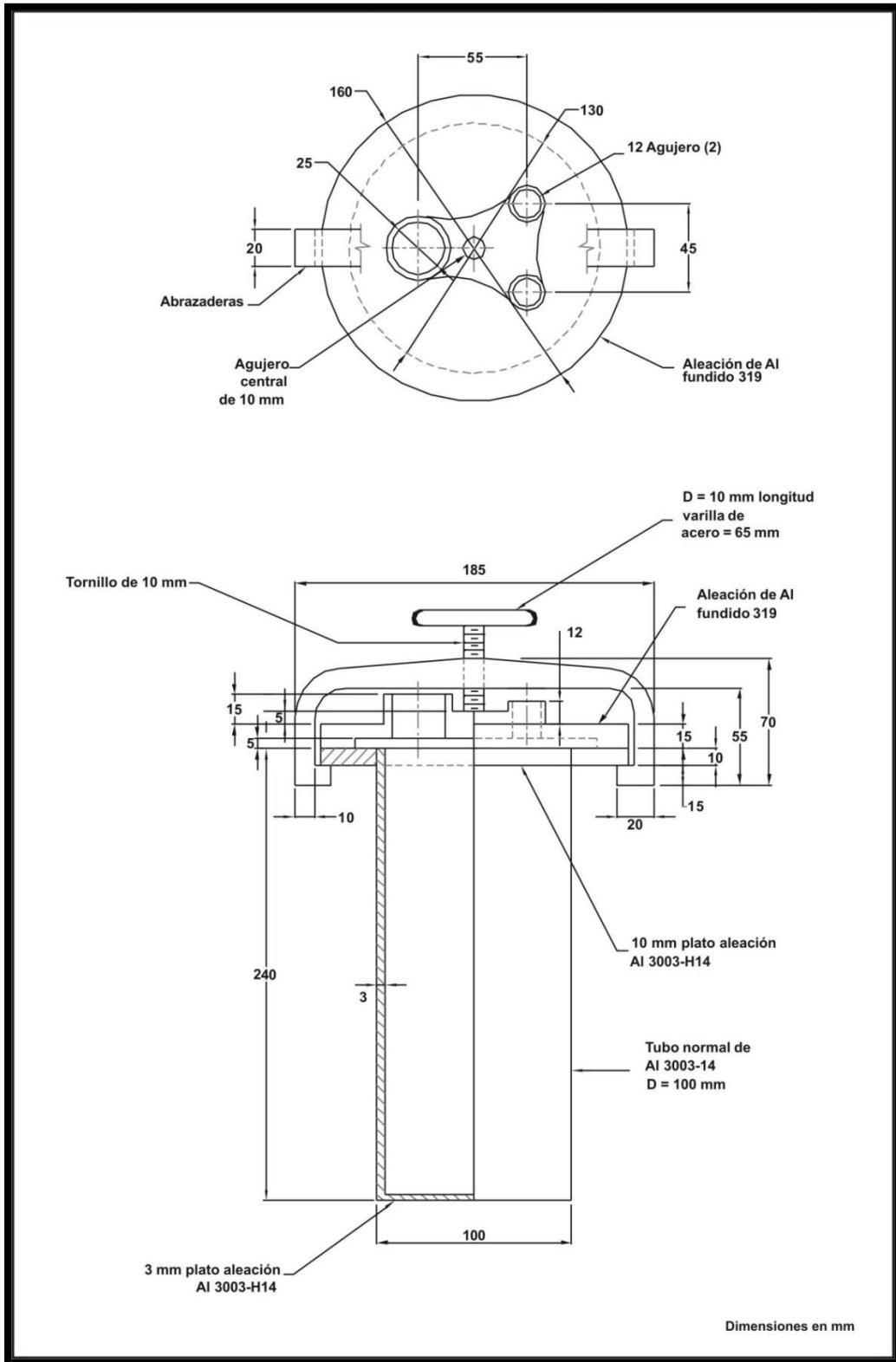


FIG. 3.4 RETORTA DE ALEACIÓN DE ALUMINIO

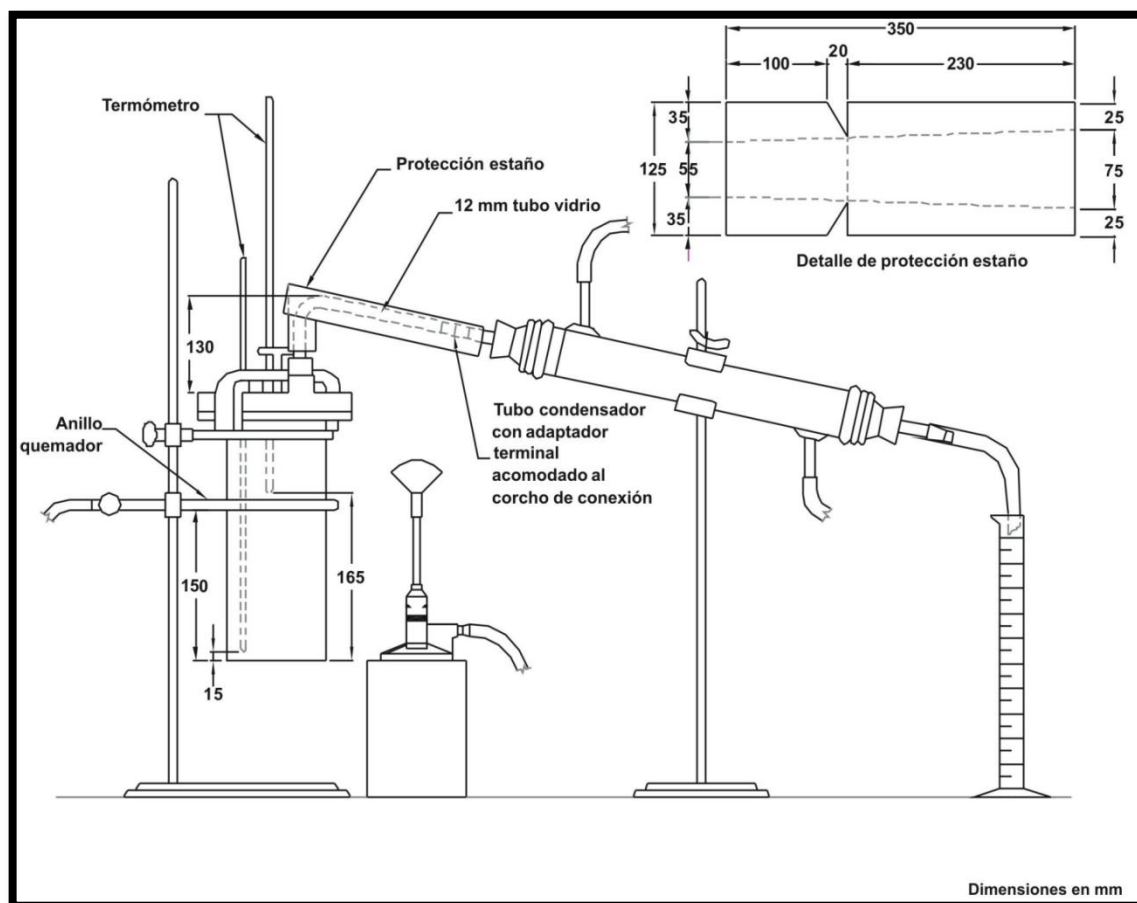


FIG. 3.5 APARATO DE DESTILACIÓN

### 3.1.4.4 PROCEDIMIENTO

- Se monta el aparato conforme se indica en la Figura 3.5, teniendo cuidado de que todas las conexiones queden bien ajustadas.
- Se pesan  $200 \pm 0.1$  g de la emulsión en la retorta previamente tarada. En el tarado se incluyen la retorta, la tapa, la abrazadera, los termómetros y la junta de papel impregnada (empaquetadura) si se emplea.
- Una junta de papel impregnada (empaquetadura) en aceite mineral puede emplearse entre la retorta y su tapa o también puede conseguirse el cierre por un acabado adecuado de las superficies de contacto. La tapa se aprieta firmemente sobre la retorta.

- Los termómetros se acoplan en los agujeros más pequeños de la tapa por medio de tapones perforados, de manera que la parte inferior del bulbo de uno de ellos quede a una distancia de 6.4 mm (1/4") del fondo de la retorta y el bulbo del otro esté, aproximadamente, a una distancia de 165 mm (6 ½ ") del fondo de la retorta..
- Se coloca el mechero anular alrededor de la retorta, aproximadamente a 152 mm (6") de su fondo. Se enciende este mechero y se ajusta de manera que se obtenga una llama pequeña.
- También se calienta el tubo de desprendimiento por medio de un mechero Bunsen, provisto de mariposa, para evitar que el agua se condense en él. La colocación de este mechero en los comienzos del ensayo puede variarse según el desarrollo del mismo. Puede subirse para disminuir el riesgo de formación de espuma o bajarse hasta la mitad de la retorta, cuando se ensayen emulsiones que no contengan disolventes. Un cambio súbito en la lectura del termómetro superior indica la presencia de espuma a la altura de su bulbo, debiendo en este caso disminuir o incluso detener el calentamiento, hasta que cese la formación de espuma.
- Cuando pueda leerse la temperatura en el termómetro mas bajo, aproximadamente a 215 °C (420 °F), se baja el mechero anular hasta una posición a nivel del fondo de la retorta. Se eleva la temperatura hasta  $260 \pm 5$  °C ( $500 \pm 10$  °F) y se mantiene ésta durante 15 minutos. La destilación sé llevará a cabo en un tiempo de  $60 \pm 15$  minutos desde el comienzo de la aplicación de calor.
- Inmediatamente después de terminado el período de calentamiento se pesa la retorta y accesorios, tal como se describió al principio y se anota el volumen de aceite destilado, con aproximación de 0.5 cm, conservándolo si se necesita su identificación. Cabe aclarar que la retorta de aluminio debió al empuje del aire a la temperatura del ensayo,

pesa 1.5 g menos que a temperatura ambiente. Para corregir esto se añaden 1.5 g al peso obtenido al final del ensayo, antes de calcular el porcentaje de residuo por destilación.

→ Se quita la tapa de la retorta, se agita el residuo e inmediatamente se pasa este a través del tamiz de 300 μm (No. 50) a los moldes y recipientes adecuados para realizar los ensayos necesarios, dejando enfriar el residuo en éstos, sin cubrirlos, a la temperatura ambiente.

### 3.1.4.5 CÁLCULOS Y RESULTADOS

#### CÁLCULOS

Se calcula el porcentaje de residuo por destilación, así como el de aceite destilado, referidos al total de la emulsión, de acuerdo con las siguientes expresiones:

$$\text{Residuo por destilación \%} = \left( \frac{(Pf - Pt) + 1.5}{Pi - Pt} \right) * 100$$

Siendo:

Pt = Peso retorta y accesorios.

Pi = Peso retorta y accesorios + emulsión.

Pf = Peso retorta y accesorios + residuo.

El % de aceite destilado se calcula con base en el volumen recogido en probeta, con la siguiente expresión:

$$\text{Aceite destilado \%} = \left( \frac{\text{volumen aceite destila en c.c}}{2} \right)$$

**RESULTADOS:** se expresan con aproximación del 1%.

### 3.1.5 RESIDUO DE ASFALTO POR EVAPORACIÓN

#### 3.1.5.1 FUNDAMENTO

Mediante este ensayo se determina el porcentaje de asfalto que contiene una emulsión, evaporando el agua y pesando el residuo.

#### 3.1.5.2 OBJETO

- 1) Describe el procedimiento para la determinación del residuo por evaporación a 163 °C (325 °F), de las emulsiones asfálticas.
- 2) Se describen dos procedimientos según sea o no necesario realizar ensayos sobre dicho residuo.

#### 3.1.5.3 APARATOS Y MATERIALES

**VASOS DE VIDRIO:** Vasos de vidrio resistentes al calor, de boca ancha, con capacidad de 600 cm<sup>3</sup>. Tres o cuatro según el procedimiento utilizado.

**VARILLAS DE VIDRIO:** Varillas de vidrio de 6 mm (1/4") de diámetro y 180 mm (7") de longitud, con extremos redondeados.

**BALANZA:** Una balanza de 500 g de capacidad y con una precisión de 0.1 g.

**ESTUFA:** Con control termostático capaz de mantener una temperatura de 163 ± 3°C (325° ± 6 °F).

**Tamiz:** Un tamiz con aberturas de 300 mm (No. 50).



### **3.1.5.4 PROCEDIMIENTO**

#### **PROCESO A**

Este procedimiento se empleará cuando se necesite únicamente determinar el porcentaje de residuo de la emulsión.

- Después de haber mezclado bien la emulsión, se pesan  $50 \pm 0.1$  g de muestra en cada uno de los tres vasos, previamente tarado cada conjunto de vasos y varillas. Se colocan los vasos en el horno, cuya temperatura se ha regulado a  $163 \pm 3$  °C ( $325$  °F  $\pm 6$  °F), y se dejan durante 2 horas.
- Seguidamente, se retiran del horno y se remueve cuidadosamente y se deja en el horno durante 1 hora, sacándolos a continuación y dejándolos enfriar a la temperatura ambiente antes de pesarlos bien el residuo.

#### **PROCESO B**

Este procedimiento se emplea cuando es necesario realizar, con el residuo obtenido, ensayos adicionales.

El procedimiento es similar al proceso A descrito anteriormente; pero utilizando cuatro muestras de  $50 \pm 0.1$  g.

- Después de determinar el porcentaje de residuo, se introducen de nuevo los vasos en el horno hasta que el residuo asfáltico esté lo suficientemente fluido, para pasar a través del tamiz de  $300 \mu\text{m}$  (No. 50), lo cual lleva normalmente de 15 a 30 minutos.
- El material que pasa el tamiz se vierte directamente en los recipientes o moldes que se vayan a emplear en los ensayos sobre el residuo, dejándolos enfriar a la temperatura ambiente, sin cubrirlos, antes de proceder a su ensayo.

Los valores de la penetración y de la ductilidad del residuo obtenido, siguiendo este método, suelen ser inferiores a los que se obtienen cuando el residuo ensayado es el obtenido en el ensayo de destilación de emulsiones asfálticas descrito en 3.1.4. Si los resultados obtenidos al ensayar el residuo cumplen esos requisitos, el material puede aceptarse. En el caso de no cumplir los resultados, no puede rechazarse el material, sino que hay que volver a determinar sus características sobre el residuo obtenido del ensayo de destilación de emulsiones asfálticas.

### **3.1.5.5 CÁLCULOS Y RESULTADOS**

#### **CÁLCULOS**

Tanto en el caso del proceso A como el B se calcula el porcentaje de residuo en cada vaso con la siguiente expresión:

$$\text{Residuo \%} = 2(A - B)$$

Donde:

A = Peso del vaso + varilla + residuo

B = Peso del vaso + varilla

#### **RESULTADOS**

El resultado será el promedio de las determinaciones, expresándolo con aproximación del 0.1%.

## **3.2 ENSAYOS AL RESIDUO**

### **3.2.1 PUNTO DE ABLANDAMIENTO (ANILLO Y ESFERA)**

#### **3.2.1.1 FUNDAMENTO**

Los productos asfálticos o bituminosos son materiales visco elásticos y no cambian del estado sólido al estado líquido a una temperatura definida, sino que gradualmente se tornan más blandos y menos viscosos cuando la temperatura va en aumento. Por esta razón, el punto de ablandamiento debe determinarse por medio de un método arbitrario fijo pero definido, que produzca resultados reproducibles y comparables.

El punto de ablandamiento es útil para clasificar productos asfálticos o bituminosos y es un valor índice de la tendencia del material a fluir cuando está sometido a temperaturas elevadas, durante su vida de servicio. También puede servir para establecer la uniformidad de los embarques o fuentes de abastecimiento.

#### **3.2.1.2 OBJETO**

La determinación del punto de ablandamiento de productos bituminosos en el intervalo de 30 a 157 °C (86 a 315 °F), utilizando el aparato de anillo y bola (esfera) , sumergido en agua destilada (30 a 80 °C), glicerina USP (encima de 80 a 157 °C), o glicol etileno (30 a 110 °C).

#### **3.2.1.3 APARATOS Y MATERIALES**

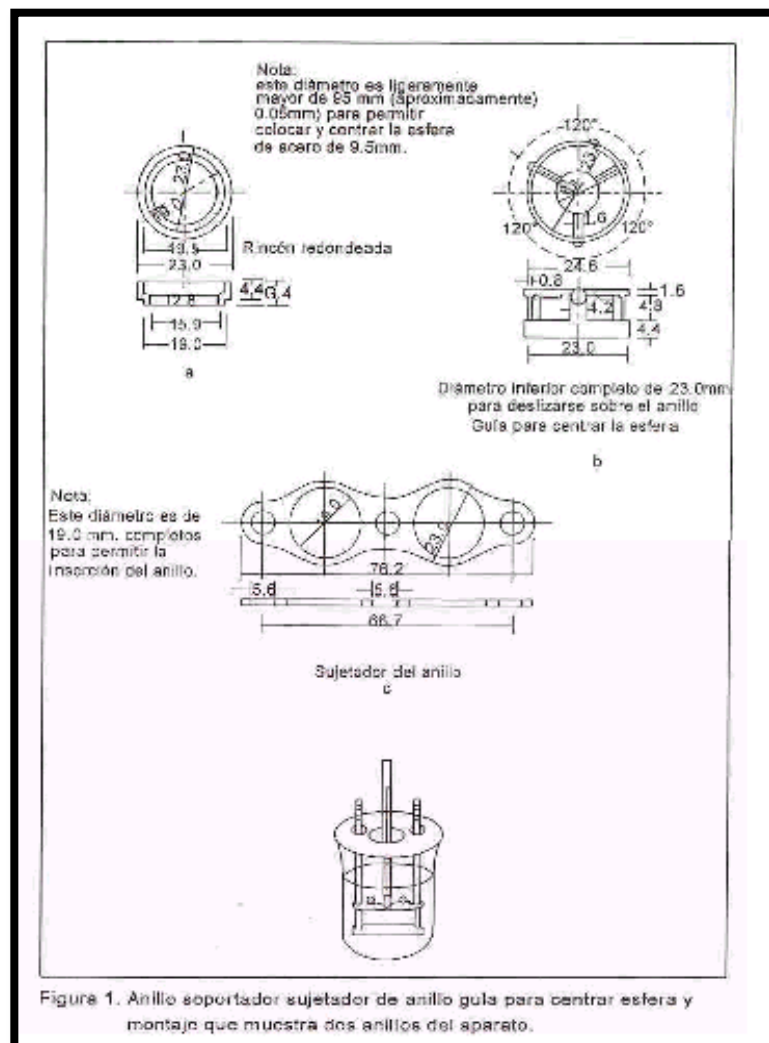
**ANILLOS DE BRONCE:** de bordes cuadrados, conforme con las dimensiones mostradas en la Figura 3.6 a.

**PLATOS DE BASE:** hechos de material no absorbente, con espesor suficiente para prevenir la deformación y de tamaño adecuado para mantener dos o más anillos. Los platos serán planos.

**BOLAS DE ACERO:** de 9.5 mm de diámetro (3/8"), pesando cada una  $3.5 \pm 0.05$  g.

**GUÍAS DE CONTACTO DE LAS BOLAS:** De bronce, con la forma, apariencia y dimensiones de la Figura 3.6 b.

**BAÑO:** recipiente de vidrio que se pueda calentar, con un diámetro interno no menor de 85 mm, y altura entre la base y el borde de 120 mm como mínimo, con capacidad de 800 ml.



**FIG. 3.6 ANILLO SOPORTADOR, SUJETADOR DE ANILLO, GUIA PARA CENTRAR ESFERA Y MONTAJE QUE MUESTRA DOS ANILLOS DEL APARATO**

**SOPORTE DE ANILLOS Y MONTAJE COMPLETO:** un soporte de bronce diseñado, para sostener los anillos en posición horizontal con la forma y dimensiones mostradas en la Figura 3.6 c.

El montaje completo está indicado en la Figura 3.6 d, con la base de los anillos colocada  $25 \pm 0.8$  mm ( $1 \pm 0.03$ " ) por encima de la superficie superior del plato de base. La superficie inferior de este último deberá estar  $16 \pm 3$  mm ( $5/8 \pm 1/8$ " ) por encima del fondo del baño.

**TERMÓMETROS:** serán de tres tipos, con las características definidas en la Especificación ASTM E1 que se muestran en el cuadro 3.3

**CUADRO 3.3**

**Tipos de Termómetros ASTM E1**

TERMÓMETRO	INTERVALO DE TEMPERATURAS
<b>15 C o 15 F</b>	-2 a + 80 °C (30 a 180 °F)
<b>16 C o 16 F</b>	30 a 200 °C (85 a 392 °F)
<b>113 C o 113 F</b>	-1 a + 175 °C (31 a 350 °F)

**LÍQUIDO PARA EL BAÑO:**

- **Agua destilada** recién hervida, para evitar la formación de burbujas sobre la superficie del espécimen.
- **Glicerina USP;** se debe tener mucho cuidado porque su punto de ignición es de 160 °C (320 °F)
- **Glicol etileno, con** punto de ebullición entre 195 y 197 °C (383 y 387 °F).

Deben tomarse precauciones porque esta sustancia es tóxica cuando se ingiere o sus vapores son inhalados. Su contacto prolongado con la piel es dañino. Su punto de inflamación es de 115°C (239 °F). Cuando se usa este líquido en el baño, el ensayo deberá efectuarse en un laboratorio ventilado y

con campana extractora de vapores, con capacidad para asegurar la remoción de los gases tóxicos.

**AGENTES AISLANTES:** consisten en aceites o grasas con siliconas que se usan para evitar la adherencia del producto bituminoso sobre el plato de base, cuando se hacen los discos. Se coloca en una ligera capa sobre la superficie que se quiere proteger. También se pueden usar mezclas de glicerina con talco, dextrin o arcilla china. Cuando se usen siliconas, se debe evitar la contaminación de otros elementos del equipo de ensayo, pues puede producir errores en las determinaciones de penetración o punto de ignición. En estos casos, se deben emplear guantes desechables de caucho.

#### **3.2.1.4 PROCEDIMIENTO**

##### **PREPARACIÓN DE ESPECÍMENES**

- Antes de iniciar labores debe verificarse que todo haya sido planeado (equipos, materiales, etc.) para terminar el ensayo dentro de 6 horas. Calientese la muestra de material bituminoso en forma cuidadosa, agitándola frecuentemente para evitar sobrecalentamientos localizados, hasta asegurar que esté suficientemente fluida para poderla verter. Al agitarse, deberá evitarse la formación de burbujas.
- El calentamiento de la muestra no debe tomar más de 2 horas; y, en ningún caso, la temperatura será mayor que 110 °C (230 °F) por encima del punto de ablandamiento esperado. Si el ensayo debe repetirse, no se recalentará la muestra sino que deberá utilizarse una muestra fresca.
- Calientense los dos anillos de bronce sin el plato de base, aproximadamente a la misma temperatura del producto asfáltico, y colóquense sobre el plato de base, tratado con un agente aislante.

- Viértase, con un ligero exceso, el producto bituminoso dentro de los anillos y déjese enfriar a temperatura ambiente durante 30 minutos.
- Para materiales que estén blandos a la temperatura ambiente, enfríense los especímenes, al menos durante 30 minutos a una temperatura inferior 10 °C (18 °F) por debajo del punto de ablandamiento esperado. Desde el momento en que se forman los discos, no deberán transcurrir más de 240 minutos hasta la terminación del ensayo.
- Cuando los especímenes estén fríos, córtese el exceso de material de la parte superior, con un cuchillo o espátula precalentada, para que la superficie del disco coincida con el nivel superior del anillo.

## **PROCESO DE ENSAYO**

- Seleccione, dependiendo del punto de ablandamiento esperado, el baño líquido y el termómetro adecuado, entre los siguientes casos:

**Baño con agua destilada recién hervida**, para ablandamiento esperado entre 30 y 80 °C (86 y 176 °F); úsese un termómetro 15 C (o 15F) o 113 C (o 113 F). La temperatura al comenzar el baño deberá ser de  $5 \pm 1$  °C ( $41 \pm 2$  °F).

**Baño con glicerina USP**, para obtener ablandamientos por encima de 80 °C (176 °F) y hasta 157 °C (315 °F); úsese un termómetro 16 C (o 16 F) o 113 C (o 113 F). La temperatura de iniciación del baño deberá ser de  $30 \pm 1$  °C ( $86 \pm 2$  °F).

**Baño con glicol etileno** para ablandamiento entre 30 °C (86 °F) y 110 °C (230 °F); úsese un termómetro 113 C (o 113 F). La temperatura de iniciación del baño deberá ser de  $5 \pm 1$  °C ( $41 \pm 2$  °F).

- Ensamblar los aparatos en un laboratorio ventilado; colocando los anillos, con los especímenes, las guías para las bolas y los termómetros en posición, y llénese el baño con el líquido apropiado hasta una altura de  $105 \pm 3$  mm. Si se usa glicol etileno, asegúrese que el ventilador de la campana extractora esté funcionando antes de depositar el líquido.
- Usando unas tenazas apropiadas, colóquense las dos bolas en el fondo del baño para que adquieran la misma temperatura de iniciación que el resto del montaje.
- Colóquese todo el conjunto del baño en agua con hielo o caliéntese muy suavemente, para alcanzar y mantener durante 15 minutos la temperatura de iniciación apropiada. Cuídese de no contaminar el líquido del baño.
- Usando otra vez las tenazas, colóquese cada una de las bolas en la guía para su centrado.
- Caliéntese el baño en forma pausada para asegurar que la velocidad de elevación de la temperatura sea constante a  $5^{\circ}\text{C}$  ( $9^{\circ}\text{F}$ )/minuto. Protéjase el baño de corrientes de aire usando pantallas, si es necesario. No promedie la velocidad de elevación de temperatura durante el periodo del ensayo.
- La máxima variación permitida para un período de 1 minuto, después de transcurridos los 3 primeros minutos, será de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 1^{\circ}\text{F}$ ). Repítase cualquier ensayo en el cual la velocidad de elevación de la temperatura no caiga dentro de estos límites.
- Anótese para cada anillo y bola, la temperatura indicada por el termómetro en el momento en que el producto bituminoso rodeando la bola, toca el fondo del baño. No se debe hacer corrección por la parte emergente del termómetro. Si la diferencia entre las dos temperaturas excede de  $1^{\circ}\text{C}$  ( $2^{\circ}\text{F}$ ), repítase el ensayo.



### 3.2.1.5 CÁLCULOS Y RESULTADOS

#### CÁLCULOS

Para un espécimen de un producto bituminoso dado, el punto de ablandamiento determinado en un baño con agua, será inferior que el determinado con glicerina. Ya que la determinación del punto de ablandamiento es necesariamente arbitraria, esta diferencia es importante solamente para puntos de ablandamiento ligeramente por encima de los 80 °C (176 °F).

El cambio de agua por glicerina para puntos de ablandamiento por encima de 80 °C, crea una discontinuidad. Los más bajos puntos de ablandamiento que es posible obtener con baños de glicerina, son del orden de 84.5 °C (184 °F). En estos casos, la corrección será de -4.2 °C (-7.6 °F). Si se necesita resolver una discrepancia, se repetirá el ensayo.

Bajo cualquier circunstancia, si el valor medio de las dos temperaturas determinadas en glicerina es de 80.0 °C (176 °F), o más bajo, repítase el ensayo utilizando baño de agua.

Para convertir puntos de ablandamiento ligeramente por encima de 80 °C (176° F) determinados en agua, en aquellos determinados en glicerina, la corrección es de  $\pm 4.2$  °C ( $\pm 6$  °F). Para dilucidar discrepancias, repítase el ensayo en glicerina.

Bajo cualquier circunstancia, si el valor medio de las dos temperaturas determinadas en agua es de 85 °C (185.0 °F) o más alto, repítase el ensayo en glicerina.

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos usando glicol etileno, variarán de los obtenidos usando agua y glicerina, en cantidades calculadas con las siguientes fórmulas:

Por asfalto:

$$PAg = 1.026583 X PAge - 1.334968 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$PAa = 0.974118 X PAe - 1.444590 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Donde:

PAg = Punto de ablandamiento en glicerina

PA.1 = Punto de ablandamiento en agua

PAge = Punto de ablandamiento en glicol etileno.

Cuando se utilicen termómetros 15 C (o 15 F), repórtense las temperaturas con aproximación de 0.2 °C (0.5 °F).

Cuando se utilicen los termómetros 16C (o 16 F) o 113 C (o 113 F), repórtense las temperaturas con aproximación de 0.5 °C (1.0 °F). Además debe informarse la clase de líquido que fue utilizado para el baño durante el ensayo.

## **3.2.2 ENSAYO DE PENETRACIÓN**

### **3.2.2.1 FUNDAMENTO**

La penetración se define como la distancia, expresada en décimas de milímetro, que penetra verticalmente en el material una aguja normalizada, en condiciones definidas de carga, tiempo y temperatura. Normalmente, el ensayo se realiza a 25°C, durante un tiempo de 5 s y con una carga móvil total, incluida la aguja, de 100 g, aunque pueden emplearse otras condiciones previamente definidas.

### **3.2.2.2 OBJETO**

En este apartado se describe el procedimiento que debe seguirse para determinar la consistencia de los materiales asfálticos de naturaleza sólida o semisólida utilizados en construcción de carreteras.

### **3.2.2.3 APARATOS Y MATERIALES**

**PENETRÓMETRO:** El aparato para la medida de las penetraciones se denomina penetrómetro y, en esencia, estará constituido por un mecanismo que permita el movimiento vertical sin rozamiento apreciable, de un vástago o soporte móvil al que se pueda fijar firmemente por su parte inferior la aguja de penetración y que permita, además, la colocación sobre el mismo de diferentes cargas suplementarias; el aparato deberá estar calibrado para dar directamente la lectura en unidades de penetración. La masa del vástago o soporte móvil será de  $(47.5 \pm 0.05)$ g y la masa total del conjunto móvil formado por el vástago juntamente con la aguja, de  $(50 \pm 0.05)$ g. Este penetrómetro debe incluir una base de apoyo para la colocación del recipiente con la muestra, de forma plana y que forme un ángulo de 90° con el sistema móvil, así como de un nivel de burbuja y tornillos de nivelación.

**AGUJA DE PENETRACIÓN (fig. 3.7):** la aguja debe ser de acero inoxidable endurecido y templado, tipo A-1b. según la norma ISO 683/XIII (ASTM Grado

440 o similar), con dureza Rockwell C54 a C60, medida por el ensayo ISO R/80; tendrá unos 50 mm de longitud y entre 1.00 y 1.02 mm de diámetro.

Será simétricamente afilada en forma cónica, con un ángulo entre 8,7 y 9, 7° con respecto al largo total del cono, el que debe ser coaxial con el cuerpo recto de la aguja. La variación total axial de la intersección del cono y la superficie recta no debe exceder de 0,2 mm. La punta truncada del cono debe tener un diámetro entre 0,14 y 0,16 mm y en ángulo recto al eje de la aguja con una tolerancia de 2°

**RECIPIENTE PARA LA MUESTRA:** los recipientes para el ensayo de las muestras deben ser de metal o vidrio, de forma cilíndrica y fondo plano, y con las dimensiones interiores mostradas en el cuadro 3.4.

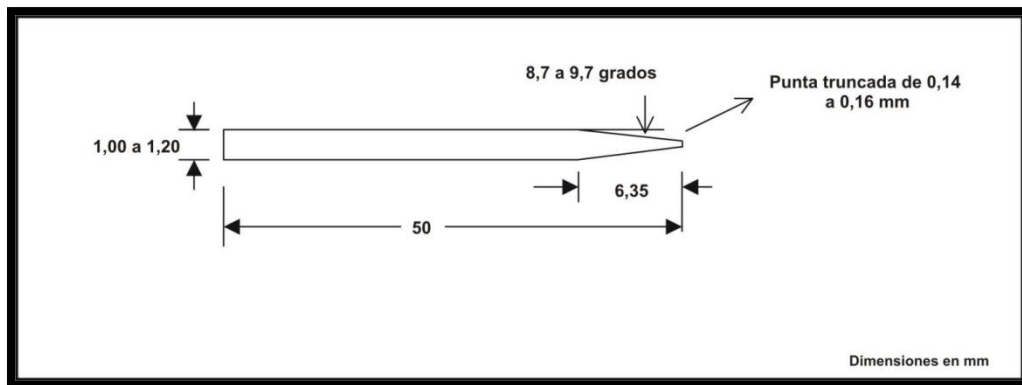


FIG. 3.7 AGUJA DE PENETRACIÓN

### CUADRO 3.4

#### Dimensiones de Recipientes para la Muestra

	DIAMETRO mm (pulg)	PROFUNDIDAD mm (pulg)
<b>PENETRACIÓN HASTA 200</b>	55 (2.17)	35 (1.38)
<b>PENETRACIÓN ENTRE 200 Y 350</b>	55 (2.17)	70 (2.76)

## **CÁPSULAS**

Las cápsulas deben ser de metal o vidrio, de forma cilíndrica y con fondo plano. Sus dimensiones son las siguientes:

-Para penetraciones bajo 200. Diámetro (mm) 55 Profundidad (mm) 35

-Para penetraciones entre 200 y 350: Diámetro (mm) 55 Profundidad (mm) 70

## **BAÑO DE AGUA**

Tendrá una capacidad mínima de 10Lt y un sistema apto para mantenerla temperatura a 25° C, o cualquiera de ensaye, con una tolerancia de  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ ; tendrá, además, una bandeja perforada ubicada a no menos de 50 mm del fondo, ni menos de 100 mm bajo el nivel del líquido en el baño.

Si el ensaye de penetración se realiza en el mismo baño, éste debe estar provisto de una bandeja que soporte el peso del penetrómetro. Para determinaciones a bajas temperaturas se puede utilizar una solución salina. En especial se recomienda usar agua destilada en el baño. Se debe evitar la contaminación del baño de agua por agentes superficiales activos, agentes residuales u otros agentes químicos, pues su presencia puede afectar los valores de penetración.

## **TRANSPORTADOR DE CÁPSULA**

Debe tener una capacidad mínima de 350 ml y una profundidad suficiente de agua que permita cubrir la altura del contenedor de la muestra. Debe estar provisto de algún medio que asegure firmemente la cápsula y evite el balanceo; para lo que tendrá tres brazos que permitan a lo menos tres puntos de contacto para sostener la cápsula.

## APARATO MEDIDOR DE TIEMPO

Para operar un penetrómetro manual, utilice cualquier aparato que mida el tiempo, tal como un medidor de tiempo eléctrico, un cronómetro o cualquier dispositivo a cuerda, que esté graduado en 0,1 s o menos y cuya precisión esté dentro de  $\pm 0,1$  s para un intervalo de 60 s.

También se puede utilizar un contador de segundos audible, ajustado para proporcionar un pulso cada 0,5 s. El tiempo para un intervalo de cuenta de 11 pulsos debe ser de  $5 \pm 0,1$  s.

Cualquier dispositivo automático que se vaya a conectar al penetrómetro debe ser cuidadosamente calibrado para proporcionar el intervalo de ensayo deseado dentro de  $\pm 0,1$  s.

## TERMÓMETROS

Se pueden usar termómetros de vidrio de rango adecuado, con subdivisiones y escala máxima de error de  $0,1^{\circ}\text{C}$ , o cualquier otro aparato que mida temperaturas con igual exactitud, precisión y sensibilidad. Los termómetros deben cumplir los requisitos de la Especificación ASTM E1. Los termómetros comúnmente utilizados son los que se indican en el cuadro 3.5.

**CUADRO 3.5**

**Tipos de Termómetros según ASTM E1**

ASTM N°	RANGO	TEMPERATURA DE ENSAYO
17C	19 a 27 °C	25°C
63C	-8 a +32°C	0 a 4°C
64C	25 a 55°C	46°C

El termómetro para el baño de agua se debe calibrar periódicamente de acuerdo con el método de ensaye ASTM E 77.

### **3.2.2.4 PROCEDIMIENTO**

#### **PREPARACIÓN DE LA MUESTRA**

- ✓ Caliente la muestra cuidadosamente, agitando para prevenir sobrecalentamientos locales, hasta que esté lo suficientemente fluida para vaciar. En ningún caso la temperatura debe elevarse más allá de 60°C sobre el punto de ablandamiento esperado para los alquitranes, de acuerdo con el método de ensaye ASTM D 36, o no más allá de 90°C sobre el punto de ablandamiento para el caso de los asfaltos. No caliente la muestra por más de 30 min. y evite la incorporación de burbujas en la muestra.
  
- ✓ Vierta la muestra en la cápsula a una profundidad tal que cuando se enfríe a la temperatura de ensaye, la profundidad de la muestra sea a lo menos 10 mm mayor que la profundidad a la cual se espera que la aguja penetre. Vierta dos porciones separadas para cada variación de las condiciones de ensaye.
  
- ✓ Proteja la cápsula contra el polvo, cubriéndola con un vaso y déjela enfriar al aire a una temperatura entre 15 y 30°C, entre 1 y 1,5 h para una cápsula pequeña (90 ml) y 1,5 y 2 h, para el más gran (175 ml). Cuando utilice el transportador de cápsula, coloque las muestras junto con éste en el baño de agua, manteniéndolas a la temperatura de ensaye. Las muestras en cápsulas pequeñas deben permanecer entre 1 y 1,5 h y en las más grandes, entre 1,5 y 2 h.

## PROCESO DE ENSAYO

- Examine la aguja y guía para comprobar que esté perfectamente seca y libre de otros materiales extraños. Si la penetración esperada excede 350 use una aguja larga; en otros casos, utilice una aguja corta. Limpie la aguja de penetración con tolueno u otro solvente adecuado, seque con un paño limpio e inserte la aguja en el penetrómetro. A menos que se especifique otra cosa, coloque el peso de 50 g sobre la aguja, obteniendo una masa total de  $100 \pm 0,1$  g.
- Si el ensaye se hace con el penetrómetro en el baño, coloque la cápsula con muestra directamente sumergida sobre la superficie de éste, y deje la cápsula con la muestra en el baño, completamente cubierta con agua. Si el ensaye se realiza con el penetrómetro fuera del baño, coloque la muestra en el transportador de cápsula, cúbrala completamente con agua a la temperatura del baño (constante) y ubique el transportador sobre la superficie del penetrómetro.
- Posicione la aguja descendiendo lentamente hasta que la punta haga contacto con la superficie de la muestra; realice esto con la punta de la aguja haciendo contacto real con su imagen reflejada sobre la superficie de la muestra, para lo cual empleé una fuente luminosa, esto puede realizarse con un tubo de iluminación de polimetil metacrilato.
- Haga un mínimo de tres penetraciones en la superficie de la muestra en puntos distanciados al menos 10 mm de la pared de la cápsula y a no menos de 10 mm entre uno y otro. Si se usa el transportador de cápsula, retorne la muestra y el transportador al baño de agua entre determinaciones; use una aguja limpia para cada determinación.
- Si la penetración es mayor que 200, use un mínimo de tres agujas, dejándolas en la muestra hasta completar las tres penetraciones.



### 3.2.2.5 CÁLCULOS Y RESULTADOS

Informe el promedio de tres determinaciones o penetraciones, aproximando a la unidad. Los valores no deben diferir más allá de las magnitudes que se indican en el cuadro 3.6 para cada grado de penetración.

**CUADRO 3.6**

**Valores máximos promedios de penetraciones según grado**

<b>PENETRACIÓN</b>	<b>0 a 49</b>	<b>50 a 149</b>	<b>150 a 249</b>	<b>250 a 500</b>
<b>Máxima diferencia entre la mayor y la menor determinación</b>	2	4	12	20

### **3.2.3 PESO DE LA UNIDAD DE VOLUMEN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA**

#### **3.2.3.1 FUNDAMENTO**

El Peso específico es la relación entre el peso de un volumen dado del material a 25 °C (77 °F) o a 15.6 °C (60 °F) y el peso de un volumen igual de agua a la misma temperatura y se expresa en la siguiente forma:

Peso específico, 25/25 °C (77/77 °F) o 15.6/15.6 °C (60/60 °F)

En cuanto al Peso unitario se tiene que es el peso por unidad de volumen y se expresa así:

Peso unitario, 25 °C (77 °F) g/cm<sup>3</sup>, o 15.6 °C (60 °F) g/cm<sup>3</sup>

#### **3.2.3.2 OBJETO**

En este apartado se describen los procedimientos que deben seguirse para la determinación del peso específico y del peso unitario de materiales asfálticos sólidos y semisólidos, de alquitranes blandos y también para emulsiones, mediante el empleo de un picnómetro.

#### **3.2.3.3 APARATOS Y MATERIALES**

**PICNÓMETRO:** Recipiente de vidrio de forma cilíndrica o cónica, con boca esmerilada en la cual debe ajustar exactamente y sin fugas, con un tapón de vidrio de 22 a 26 mm de diámetro, en el centro del cual llevará un orificio de 1.0 a 2.0 mm de diámetro. La superficie superior del tapón será plana y pulida, y la inferior tendrá forma cóncava para facilitar la expulsión del aire del picnómetro, el cual tendrá una capacidad de 24 a 30 ml y un peso, incluido el tapón, no superior a 40 g. La altura de la sección cóncava deberá ser de 4.0 mm a 6.0 mm en el centro. En la Figura 3.8 se incluyen algunos modelos de picnómetros adecuados.

La Figura 3.8 a) detalla la forma y dimensiones del picnómetro de Gay-Lussac, apropiado para líquidos no volátiles, excepto los de alta viscosidad, su capacidad será de 10 a 25 ml.

Las figuras 3.8 b) y c) detallan la forma y dimensiones de los picnómetros de boca ancha denominados de Hubbard, adecuados para líquidos viscosos y materiales semisólidos y sólidos; su capacidad es de 24 a 30 ml.

**BAÑO DE AGUA:** Un baño de agua provisto de termostato que pueda regular la temperatura del ensayo con una precisión de  $\pm 0.1$  °C (0.2 °F)

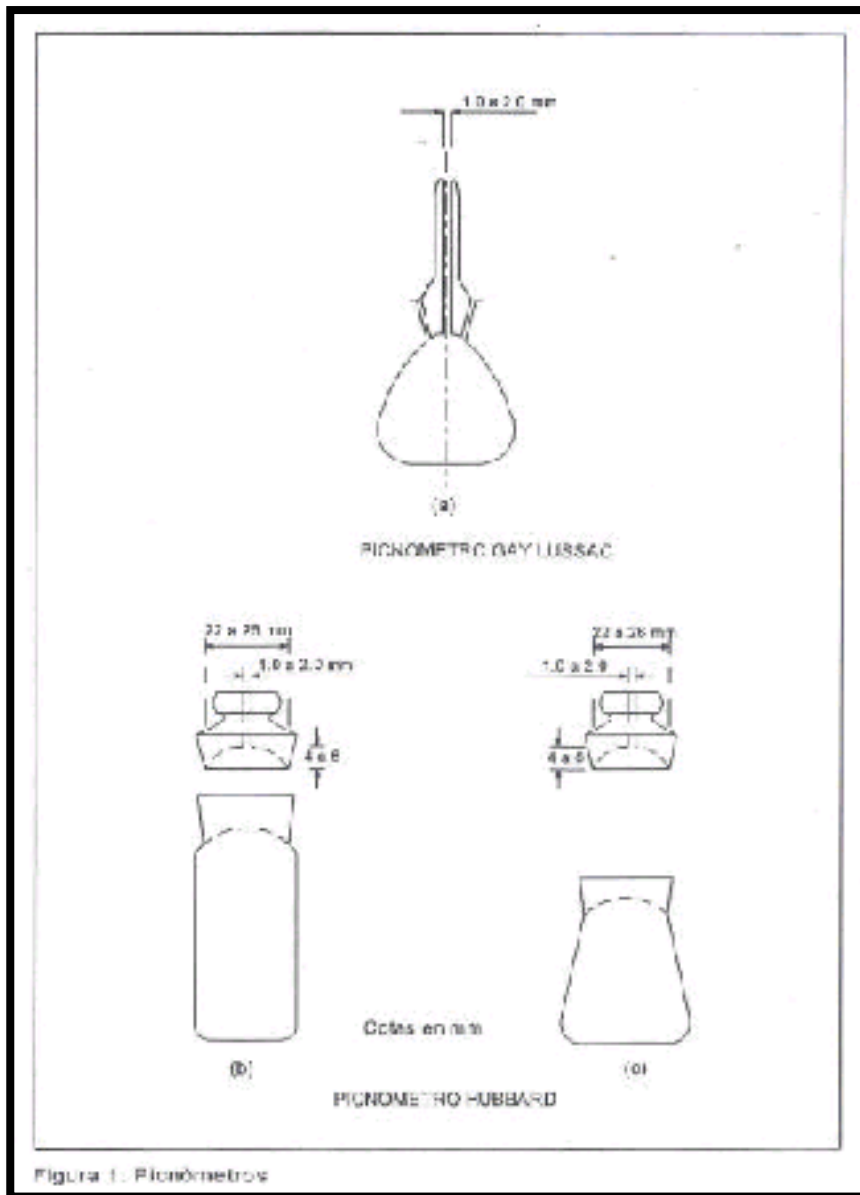


FIG. 3.8 PICNÓMETRO HUBBARD

**TERMÓMETROS:** Calibrados y con líquido de vidrio transparente de inmersión total, del rango -8 a 32 °C con gradaciones de por lo menos cada 0.1 °C (0.2 °F) y un error máximo de escala de 0.1 °C (0.2 °F) de acuerdo con la especificación E1 de la ASTM. Los termómetros generalmente utilizados son de acuerdo a los requerimientos como se describe en la especificación ASTM E -1 (63 °C) pero puede emplearse cualquier otro termómetro con precisión igual y calibrado.

**RECIPIENTE O VASO DE VIDRIO:** De forma baja y de boca ancha de 600 ml de capacidad.

**BALANZA:** Con capacidad mínima de 150 g y precisión de  $\pm 0.1$ mg.

**SOPORTE DEL PICNÓMETRO:** Es conveniente disponer de soportes adecuados que mantengan los picnómetros verticales y a la profundidad correcta.

**ACETONA LÍQUIDA DE LIMPIEZA:** Para la limpieza completa de los picnómetros, se deberá utilizar cualquier producto detergente, no recomendándose el empleo de mezcla crómica, por los riesgos que implica su utilización.

### **3.2.3.4 PROCEDIMIENTO**

#### **PREPARACIÓN DEL EQUIPO Y PICNÓMETRO**

- ✓ Llénese parcialmente el vaso de vidrio de boca ancha de 600 ml con agua destilada recién hervida y enfriarla preparada hasta un nivel tal, que cuando se sumerja el picnómetro, la parte superior de este diste más de 40 mm de la superficie.
- ✓ Una vez ajustada la temperatura del baño a la del ensayo con la precisión de  $\pm 0.1$  °C (0.2 °F), se sumerge parcialmente el vaso en el baño, debiendo quedar su boca por encima de la superficie y su fondo a

una profundidad no menor de 100 mm, sujetándolo firmemente en esta posición.

- ✓ Se limpia perfectamente el picnómetro y su tapón con el líquido de limpieza, enjuagándolo a continuación con agua destilada, después con acetona y secándolo finalmente, utilizando si fuera preciso, una corriente filtrada de aire. Esta operación de limpieza debe realizarse antes de cada calibración, o bien cuando se observe cualquier falla en el escurrimiento uniforme de los líquidos, en las paredes interiores del picnómetro o en el capilar del tapón. Normalmente, basta limpiar bien el picnómetro entre cada determinación con algún disolvente adecuado, como éter de petróleo, seguido de un secado al vacío.
- ✓ Después de secado, se deja que el picnómetro alcance la temperatura ambiente y se pesa con aproximación de 1mg. El peso del picnómetro vacío, se designa por A.
- ✓ Se seca el vaso del baño y se llena el picnómetro con agua destilada. Colocando suavemente el tapón, sin apretarlo. Se sumerge completamente el picnómetro en el vaso y se aprieta entonces el tapón, no debiendo quedar burbujas de aire ocluidas en el picnómetro en esta operación. El vaso con el picnómetro se vuelve a colocar en el baño de agua.
- ✓ Es recomendable que el agua o la muestra en el picnómetro tenga una temperatura ligeramente inferior a la de ensayo antes de sumergir el picnómetro en el vaso. Si la temperatura de ensayo es inferior al ambiente, utilícese un baño auxiliar a menor temperatura. Es importante que no queden burbujas de aire en el líquido, y será necesario esperar hasta cuando éstas alcancen la superficie, para colocar el tapón.
- ✓ Se deja el picnómetro en el interior del vaso por un mínimo de 30 minutos, se saca del agua e inmediatamente se seca la superficie superior del tapón pasando suavemente y una sola vez un paño seco

por la misma; a continuación, se seca rápidamente el resto del picnómetro y se pesa con aproximación de 0.1mg. El peso del picnómetro lleno de agua, se designa por B.

- ✓ En ningún caso se volverá a secar la parte superior del tapón aunque se forme una pequeña gota de agua a través del orificio, debido a la expansión. Si durante la pesada se condensase humedad en el picnómetro, séquese su parte exterior rápidamente excluyendo el tapón, antes de pesarlo. Si la temperatura de ensayo es más alta que la ambiente, deberá esperarse hasta cuando el picnómetro alcance ésta antes de ser pesado.
- ✓ Si se va a determinar el peso específico referido al agua, a una temperatura distinta de 25 °C (77 °F), o si se desea el peso unitario a una temperatura que no sea la de 25 °C (77 °F), deberá volverse a calibrar el picnómetro a dicha temperatura.

## **PROCESO DEL ENSAYO**

- Preparación de la muestra. Caliéntese con cuidado la muestra, agitándola para evitar sobrecalentamientos locales hasta que llegue a ser suficientemente fluida para que pueda ser vertida. No subir en más de 111 °C (200 °F) sobre el punto esperado de ablandamiento para asfaltos. No debe calentarse por mas de 30 minutos y debe evitar incorporación de burbujas de aire dentro de la muestra. La muestra deberá ser homogénea y no estar contaminada.
- Viértase una cantidad de muestra suficiente dentro del picnómetro limpio y seco previamente calentado, llenándolo hasta tres cuartos de su capacidad. Tómense precauciones para evitar que el material se ponga en contacto con las paredes del picnómetro por encima del nivel final y para evitar la inclusión de burbujas de aire. Déjese enfriar el

picnómetro con su contenido hasta la temperatura ambiente durante un período no menor de 40 minutos y pésese con el tapón, con aproximación a 1mg. El peso del picnómetro con la muestra, se designa como C.

- Si inadvertidamente quedaron burbujas incluidas, remuévalas calentando la superficie de asfalto en el picnómetro con una llama "suave" de un mechero Bunsen. Para evitar sobrecalentamiento, no debe permitirse que permanezca la llama en contacto con el asfalto en ningún momento durante más de algunos segundos.
- Retirar el vaso del baño de agua, según ítem 4.1. Llénese el picnómetro que contiene el asfalto con agua destilada fresca hervida, colocando firmemente el tapón en el picnómetro. No deben permitirse burbujas de aire en el picnómetro. Colóquese el picnómetro en el vaso y apriétese firmemente el tapón. Retórnese luego el vaso al baño de agua.
- Manténgase el picnómetro dentro del baño de agua durante un período no menor de 30 minutos. Sáquese el picnómetro del baño. Este peso del picnómetro con la muestra y con agua, se designa como D.

### **3.2.3.5 CÁLCULOS Y RESULTADOS**

#### **CÁLCULO DEL PESO ESPECÍFICO**

El peso específico debe calcularse con aproximación a 0.001 así:

$$PESO\ ESPECIFICO = \frac{C - A}{(B - A) - (D - C)}$$

Donde:

A = Peso del picnómetro (incluido el tapón)

B = Peso del picnómetro con agua

C = Peso del picnómetro parcialmente lleno con asfalto

D = Peso del picnómetro con asfalto y más agua.

### CÁLCULO DEL PESO UNITARIO

El peso unitario debe calcularse con aproximación a 0.001 en la siguiente forma:

$$PESO\ UNITARIO = (PESO\ ESPECIFICO)(WT)$$

Donde:

WT = peso unitario del agua a la temperatura de ensayo en las unidades deseadas.

Pueden emplearse para el agua los pesos unitarios mostrados en el cuadro 3.7.

#### CUADRO 3.7

##### Pesos Unitarios para el agua

TEMPERATURA DE ENSAYO °C (°F)	PESO UNITARIO DEL AGUA, g/cm <sup>3</sup> (Lbs/gal)
15.6 (60°)	<b>0.9990 (8.337)</b>
25 (77°)	<b>0.9971 (8.321)</b>

### RESULTADOS

Infórmese el peso específico y el peso unitario con aproximación a tres decimales, así como la temperatura del ensayo de 25/25 °C (77/77 °F) o de 15.6/15.6 °C (60/60 °F).



### 3.2.4 DUCTIBILIDAD 25°C, 5mm/min

#### 3.2.4.1 FUNDAMENTO

Consiste en someter una probeta del material asfáltico a un ensayo de tracción, en condiciones determinadas de velocidad y temperatura, en un baño de agua de igual densidad, siendo la ductilidad la distancia máxima en cm, que se estira la probeta hasta el instante de la rotura.

#### 3.2.4.2 OBJETO

Método de ensayo para determinar la ductilidad de los materiales asfálticos, de consistencia sólida y semisólida. Normalmente, el ensayo se realiza con una velocidad de tracción de 5 cm/min  $\pm$  5.0% y la temperatura de 25  $\pm$  0.5 °C (77  $\pm$  1.0 °F); aunque puede realizarse en otras condiciones de temperatura y velocidad de acuerdo a especificaciones.

#### 3.2.4.3 APARATOS Y MATERIALES

**MOLDES:** Un molde correctamente montado, proporcionará especímenes para ensayo con las siguientes dimensiones: (Fig. 3.9). Material: bronce.

Longitud total.....	75.5 $\pm$ 0.5 mm
Distancia entre pinzas (mordazas).....	30.0 $\pm$ 0.3 mm
Ancho de boca de las pinzas.....	20.0 $\pm$ 0.2 mm
Ancho de la sección mínima (equidistante entre pinzas).....	10.0 $\pm$ 0.1 mm
Espesor uniforme.....	10.0 $\pm$ 0.1 mm

**PLACA:** Para el llenado de los moldes, se dispondrá de una placa de bronce plana, provista de un tornillo lateral de sujeción y con la forma y dimensiones que se detallan en la Figura 3.9.

**BAÑO DE AGUA:** Un baño de agua que pueda mantener la temperatura de ensayo con una variación máxima de  $0.1^{\circ}\text{C}$  ( $0.2^{\circ}\text{F}$ ). Su volumen no será inferior a 10 litros y estará equipado con una placa perforada para la colocación de los especímenes, situada a una distancia mínima de 50 mm del fondo y 100 mm de la superficie.

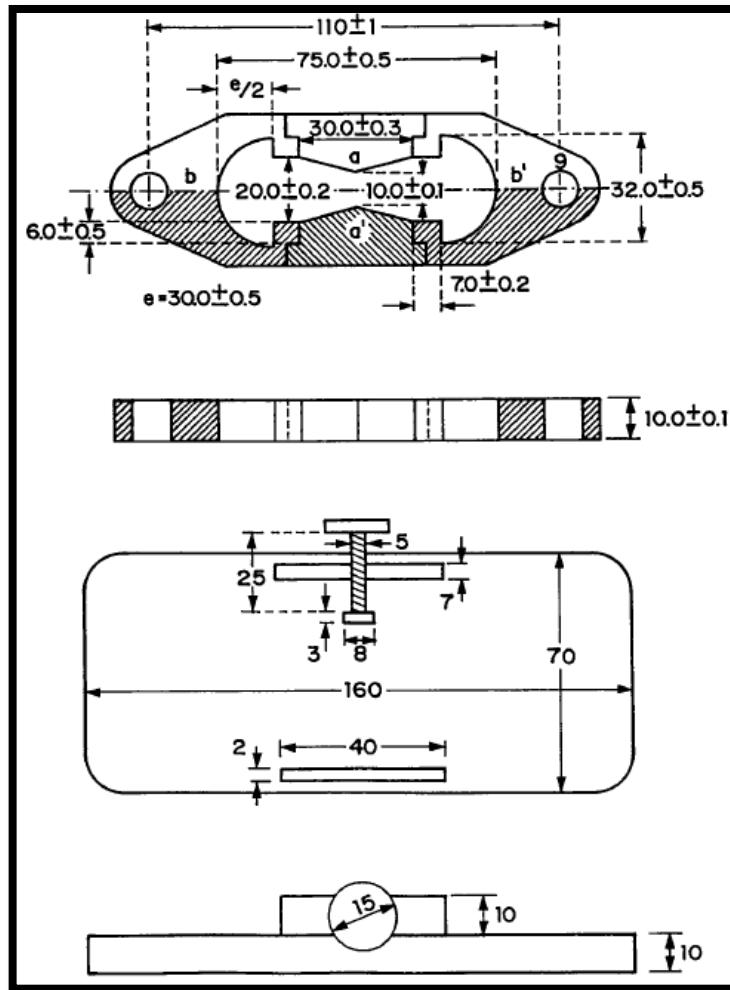


FIG. 3.9 MOLDE Y PLACA PARA DUCTILÓMETRO

**DUCTILÓMETRO:** El aparato se denomina ductilómetro y en esencia, consta de un tanque de agua en el que se sumergen los especímenes, provisto de un mecanismo de arrastre que no produzca vibraciones, capaz de separar a la

velocidad especificada un extremo de la probeta del otro, que permanece fijo. La tolerancia máxima admitida en la velocidad especificada será del 5%.

**TERMÓMETROS:** Para su empleo durante la inmersión en el baño de agua, se empleará un termómetro de inmersión total con las siguientes características:

Referencia.....ASTM 63C

Escala..... -8 °C a 32 °C

Graduación..... 0.1 °C

Longitud total..... 379 ± 5 mm

Error máximo..... 0.1 °C

Si la ductilidad se realiza a 25°C (77 °F), puede utilizarse el termómetro con referencia ASTM D 5 utilizado en el ensayo de penetración.

#### **3.2.4.4 PROCEDIMIENTO**

##### **PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS**

- ✓ Para evitar la adherencia del material a la placa y partes interiores del molde, cubrir previamente, mediante una pasta de glicerina y talco (Caolín o Dextrina), así mismo cubrir la superficie interna del y de los lados. Ensamblándose el molde conforme se indica en la Figura 3.9, sujetándolo sobre la placa mediante el tornillo lateral. La placa con el molde se coloca sobre una superficie horizontal, debiendo comprobarse que todas las piezas del molde se apoyen completamente sobre la placa. Calentar la muestra uniformemente a fin de evitar el

sobrecalentamiento local aproximadamente de 90 a 110 °C (212 a 230 °F). Se pasa entonces a través del tamiz de 0.297 mm (No. 50), se homogeniza completamente y se procede al llenado de los moldes.

- ✓ El llenado se hará con cuidado, procurando no distorsionar el correcto montaje de sus piezas, vertiendo el material en forma de chorro fino en un recorrido alternativo de extremo a extremo, hasta que se llene completamente y con un ligero exceso, evitando la inclusión de burbujas de aire.
- ✓ La probeta, dentro del molde y protegida del polvo, se deja enfriar a temperatura ambiente durante 30 a 40 minutos, sumergiéndola a continuación en el baño de agua a la temperatura de ensayo durante otros 30 minutos. Seguidamente se quita el exceso de material del molde con una espátula recta caliente, hasta dejar la probeta perfectamente enrasada.
- ✓ El conjunto de la placa, molde y probeta se introduce de nuevo en el baño de agua, manteniéndolo a la temperatura de ensayo con una variación máxima de 0.1 °C (0.2 °F), durante un tiempo comprendido entre 85 y 95 minutos. A continuación, se retira la placa del molde, se quitan las piezas laterales y se da comienzo al ensayo.

## **PROCESO DE ENSAYO**

- El espécimen se monta en el ductilómetro, introduciendo cada pareja de clavijas de los sistemas fijo y móvil en los correspondientes orificios de cada pinza, poniendo a continuación en marcha el mecanismo de arrastre del ensayo a la velocidad especificada hasta que se produzca la rotura, midiéndose la distancia en cm que se hayan separado hasta este instante.

- Durante la realización del ensayo, el espécimen, al irse estirando, deberá permanecer en todo momento sumergida en el agua del ductilómetro, sin aproximarse a la superficie o al fondo una distancia menor de 25 mm. La temperatura del agua será la normalizada, con una tolerancia de  $\pm 0.5$  °C ( $\pm 1$  °F).
- En un ensayo normal, el material asfáltico se va paulatinamente estirando hasta formar un hilo, produciéndose la rotura en un punto en el que el hilo no tiene apenas sección transversal. Si durante el ensayo, el material bituminoso al estirarse tiene tendencia a subir hasta la superficie del agua o tocar la placa de fondo del ductilómetro, deberá ajustarse la densidad relativa del agua a la del material ensayado, añadiendo alcohol metílico o cloruro de sodio según el caso, hasta conseguir que el hilo quede lo más recto posible, sin elevarse o descender.

#### **3.2.4.5 CÁLCULOS Y RESULTADOS**

La distancia en cm que se han separado desde su posición inicial hasta que se produce la rotura en un ensayo normal, es del valor de la ductilidad de una probeta.

Se ensayarán tres especímenes por muestra, y el valor medio obtenido en un ensayo normal se expresará como el resultado de la ductilidad, especificando las condiciones de velocidad y temperatura a las que se haya realizado el ensayo.

Si no puede conseguirse que un ensayo se desarrolle en las condiciones normales anteriores, se informará que la ductilidad no se puede realizar en esas condiciones.

## 3.2.5 SOLUBILIDAD EN TRICOROETILENO

### 3.2.5.1 FUNDAMENTO

Este método es una medida de la solubilidad del asfalto en tricloroetileno y la parte que sea soluble representa los constituyentes cementantes activos.

La muestra se disuelve en tricloroetileno y se pasa a través de un filtro de papel. El material insoluble es lavado, secado y pesado.

### 3.2.5.2 OBJETO

Determinar el grado de solubilidad en tricloroetileno de materiales asfálticos que tengan poco material mineral o que carezcan de él.

### 3.2.5.3 APARATOS Y MATERIALES

**APARATO FILTRANTE:** ilustrado en la Figura 3.10, tiene las siguientes partes componentes:

- ✓ **Crisol Gooch:** vidriado interior y exteriormente con excepción de la parte inferior de la superficie externa. Sus dimensiones aproximadas deberán ser: diámetro de 44 mm en la boca superior, ahusado hasta un diámetro de 36 mm en el fondo y profundidad de 28 mm.
- ✓ **Almohadillas de fibra de vidrio:** de 3.2 cm<sup>2</sup>
- ✓ **Frasco de vidrio:** de pared gruesa con tubo lateral, de 250 ml de capacidad o mayor.
- ✓ **Tubo filtrante:** de 40 a 42 mm de diámetro interior.
- ✓ **Adaptador de caucho:** para el tubo, para mantener el crisol sobre el tubo filtrante.
- ✓ Pueden emplearse otros dispositivos que permitan, filtración en vacío utilizando el crisol Gooch.
- ✓ **Frasco Erlenmeyer:** de 125 ml y otro recipiente adecuado.

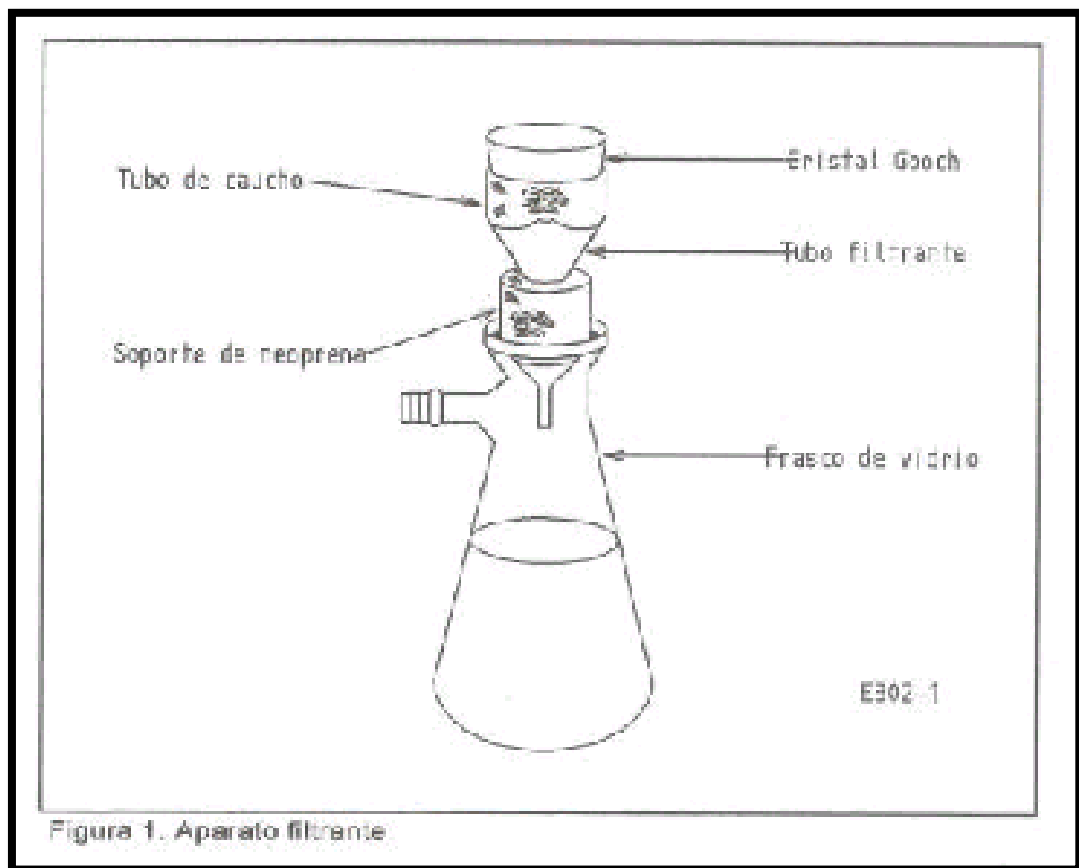
**ESTUFA:** que pueda mantener temperatura de  $100 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 10 \text{ }^\circ\text{F}$ ).

**DESECADOR:** de tamaño adecuado cargado con un desecante efectivo.

**ASBESTO:** en fibras medianas o largas, lavado con ácido, especial para crisoles Gooch

**BALANZA ANALÍTICA:** con una capacidad de 200 g y una sensibilidad de 0.0001g.

**MUFLA:** que pueda obtener una temperatura de  $650^\circ\text{C}$  ( $1200 \text{ }^\circ\text{F}$ ). No se requiere cuando se usan filtros de fibra de vidrio en lugar de los de asbestos.



**FIG. 3.10 ARATO FILTRANTE**

**DISOLVENTE:** Tricloroetileno de grado térmico.

### **PRECAUCIONES DE SEGURIDAD**

El Tricloroetileno es tóxico requiriendo buena ventilación, el ambiente de trabajo. Es más inflamable que el Tetracloruro de carbono. El Tricloroetileno en presencia del calor y de la humedad puede formar ácidos que son extremadamente corrosivos.

### **PREPARACIÓN DEL CRISOL**

- ✓ Preparar una fina suspensión de asbesto en agua destilada de modo que las fibras de asbesto estén regularmente dispersas.
  
- ✓ Ensámblase el aparato filtrante como se muestra en la Figura 3.11. Llénese el crisol con parte de la suspensión de fibras de asbesto en agua y déjesela asentar parcialmente en el crisol. Aplíquese una ligera succión para sacar el agua, dejando una capa firme de asbesto en el crisol. Agréguese más suspensión de fibras de asbesto y repítase el proceso hasta que se forme una capa que después de la ignición pese alrededor de  $0.5 \pm 0.1$  g. Lávese completamente la capa de asbesto con agua, séquese en un horno y quémese en la mufla entre 600 y 650 °C (1 100 a 1 200 °F). Enfríese el crisol en un desecador y pésese con aproximación a 0.1 miligramos. Repítase la ignición y el enfriamiento hasta que se obtenga peso constante ( $\pm 3$  mg). Almacénese en un desecador hasta que llegue el momento de ser empleado.
  
- ✓ Las fibras de asbesto absorben en forma irreversible una pequeña cantidad de betún soluble (generalmente de 1 a 5 mg por gramo de asbesto). Los pesos de la capa de asbesto empleado deberán, por lo



tanto, mantenerse dentro de los límites especificados para asegurar un resultado exacto.

- ✓ Cuando se empleen discos de fibra de vidrio, no se tendrán en cuenta los apartados mencionados con anterioridad.
  
- ✓ Ármese el aparato filtrante, colóquese un disco filtrante en el crisol Gooch, humedézcase el disco con solvente y asiéntese firmemente en el fondo del crisol. Colóquese en un homo a  $110 \pm 5$  °C ( $230 \pm 10$  °F) por un mínimo de 20 minutos, enfríese en el desecador y pésese. Repítase el secamiento y pesaje hasta que se obtenga peso constante ( $\pm 0.3$  mg). Almacénese en un desecador, hasta que llegue el momento de ser empleado.

#### **3.2.5.4 PROCEDIMIENTO**

##### **PREPARACIÓN DE LA MUESTRA**

Si la muestra no es líquida, caliéntese a cualquier temperatura conveniente pero en ningún caso mayor de 37.8 a 100 °C (100 a 212 °F) por encima del punto de ablandamiento.

##### **PROCESO DE ENSAYO**

- Adóptense las precauciones de seguridad expuestas anteriormente. Transfiéranse aproximadamente dos gramos de la muestra a un frasco Erlenmeyer tarado de 125 ml o a otro recipiente adecuado. Pésese exactamente con aproximación a un miligramo.
  
- Agréguese 100 ml de Tricloroetileno al recipiente en pequeñas porciones con agitación continua hasta que desaparezcan todos los terrones y no se adhiera muestra no disuelta al recipiente. Tápese o cúbrase el recipiente y dejar reposar por lo menos 15 minutos.

- Normalmente, la temperatura a la cual se realiza este ensayo no es crítica y puede realizarse a la temperatura ambiente del laboratorio. Para ensayos de referencia, sin embargo, el frasco y la muestra en solución deberán colocarse en un baño de agua mantenido a  $37.8 \pm 0.25$  °C ( $100 \pm 0.5$  °F) por una hora antes de la filtración.
- Colóquese el crisol Gooch previamente preparado y pesado en el tubo filtrante, humidézcase la capa de asbesto con una pequeña porción de solvente limpio y decántese la solución a través de la capa de asbesto del crisol con succión ligera. Cuando sea apreciable la materia insoluble, reténgase tanta cuanto sea posible en el recipiente, hasta que la solución haya drenado a través de la capa de asbesto.
- Lávese el erlenmeyer con una pequeña cantidad de disolvente y empleando una corriente de solvente de una botella de lavado, transfírase todo el material insoluble al crisol. Usar una bagueta de vidrio, para remover la materia insoluble que se adhiera al erlenmeyer, enjuáguese el agitador y el recipiente, lávese completamente la materia insoluble en el crisol con solvente hasta que lo filtrado sea esencialmente incoloro, aplíquese luego succión fuerte para remover el solvente restante.
- Remuévase el crisol del tubo, lávese del fondo libre cualquier materia disuelta y colóquese el crisol sobre un horno o sobre un baño de vapor hasta que sea removido todo olor de solventes, para esto debe tenerse en cuenta las medidas de seguridad mencionadas anteriormente. Colóquese en una estufa a  $110 \pm 5$  °C ( $230 \pm 10$  °F) por un mínimo de 20 minutos. Enfríese en un desecador y pésese. Repítase el secamiento y pesaje hasta que se obtenga peso constante ( $\pm 0.3$  miligramos).

→ En el caso de fibra de vidrio estas deberán emplearse solamente una vez.

### **3.2.5.5 CÁLCULOS Y RESULTADOS**

#### **CÁLCULOS**

Calcúlese el porcentaje total de material insoluble o el porcentaje de la muestra soluble en el solvente empleado en la siguiente forma:

$$PORCENTAJE\ INSOLUBLE = \left(\frac{A}{B}\right)(100)$$

$$PORCENTAJE\ SOLUBLE = 100 - \left(\left(\frac{A}{B}\right)(100)\right)$$

Donde:

A = Peso total insoluble

B = Peso total de la muestra

#### **RESULTADOS**

Para porcentajes de materia insoluble menores de 1.0 reportar al 0.01%, y para porcentajes de materiales insolubles 1.0 o mayores, reportar al 0.1%.

## CAPITULO IV

### SELECCIÓN DEL TIPO Y GRADO DE EMULSIÓN SEGÚN SU APLICACIÓN

#### **4.0 SELECCIÓN DEL TIPO Y GRADO DE EMULSIÓN SEGÚN SU APLICACIÓN<sup>20</sup>**

Para un exitoso comportamiento de las emulsiones asfálticas, debe elegirse el tipo y grado adecuados para la función buscada. En El Salvador comúnmente se desconoce la variedad de tipos y grados de emulsiones asfálticas que existen, lo cual conduce a una errónea utilización de la emulsión provocando que el proyecto no cumpla para las condiciones a las cuales está expuesto. Este problema radica en el desconocimiento por parte de los que trabajan con el producto de que cualquier necesidad vial puede ser abordada con emulsiones, teniendo disponible para ello una amplia gama de emulsiones que pueden utilizarse bajo condiciones específicas de determinado proyecto. Por tanto en este capítulo se presentan lineamientos a ser considerados en el momento de seleccionar el tipo y grado de emulsión a utilizar.

La primera consideración al elegir el tipo y grado correctos es qué aplicación se dará a la emulsión. ¿Se trata de un riego de sellado, de una mezcla en planta, una mezcla reciclada o una imprimación?, ¿Es para una aplicación de superficie, como tratamiento superficial, riego pulverizado, lechada asfáltica o micro-aglomerado?, ¿Es para una mezcla de mantenimiento?. Una vez tomada esa decisión, otras variables del proyecto deben entonces ser consideradas. Algunos otros factores que afectan la elección de la emulsión son:

- Las condiciones climáticas previstas en el área y periodo de duración de la etapa constructiva. Las condiciones durante dicha etapa deberían imponer la elección del grado, el diseño de la mezcla o tratamiento y la selección de la maquinaria de construcción; pues estas pueden favorecer o estar en detrimento de su adecuada ejecución y desempeño de la obra finalizada.

---

<sup>20</sup> AEMA, Manual Básico de Emulsiones Asfálticas MS 19, pág. 29.

- Tipo de agregado, granulometría y disponibilidad.
- Disponibilidad de los equipos que permitan adecuados procesos de aplicación.
- Ubicación geográfica. Las distancias de transporte y, en algunos casos, la disponibilidad de agua son consideraciones de importancia.
- Control de tráfico en el área de trabajo.
- Consideraciones ambientales.

Si bien se pueden ofrecer pautas generales para la selección de emulsiones, es recomendable tener presente los ensayos de laboratorio. No hay nada que reemplace a la evaluación en laboratorio de la emulsión y del agregado a ser empleados. Deberían probarse diferentes tipos y porcentajes de emulsión con el agregado, para hallar la mejor combinación para el uso buscado. Un técnico experimentado puede determinar el tipo y cantidad de emulsión a utilizar.

#### **4.1 Usos Generales de las Emulsiones**

Cada grado de emulsión asfáltica ha sido diseñado para usos específicos considerando la utilidad y desempeño que de estas se demande. A continuación son descritos cada uno de ellos; en el cuadro 4.1 se muestra los usos generales de tipos y grados normalizados de emulsión asfáltica que son utilizadas en El Salvador.

##### **4.1.1 Emulsión de Rotura Rápida<sup>21</sup>**

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, como tratamientos superficiales,

---

<sup>21</sup> AEMA, Manual Básico de Emulsiones Asfálticas MS 19, pág. 29.

sellados con arena y tratamientos de superficie. El grado CRS-2 (de rotura rápida) es de alta viscosidad para evitar el escurrimiento. Versiones de esta emulsión 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.

Atendiendo a lo citado anteriormente podemos enumerar una serie de aplicaciones, donde es conveniente usar emulsiones de rotura rápida para satisfacer la necesidad presentada; dentro de las aplicaciones más comunes están:

- a) Tratamiento superficial.
- b) Sellado con arena.
- c) Sellado doble.
- d) Cape Seal.

Para una mejor comprensión de las aplicaciones mencionadas, a continuación se detallan cada una de ellas de manera general:

#### **a) Tratamiento Superficial.**

Consiste en la aplicación de una o sucesivas capas de emulsión y árido para impermeabilizar y dotar de una textura superficial que garantice una rodadura segura. Tratamiento asfáltico de superficie es un término amplio que engloba varios tipos de aplicaciones con asfalto y asfalto-agregado, usualmente de menos de 25mm (1 pulgada) de espesor y aplicado a cualquier tipo de superficie de camino. La superficie del camino puede ser una base granular imprimada, un asfalto existente o un pavimento de hormigón de cemento portland. Los tratamientos de superficie aplicados a un pavimento existente son a menudo llamados riegos de sellados.

Existen diversos tipos de tratamientos de superficie, pero las dos principales son las que se mencionan a continuación:

- 1) Tratamiento Superficial Simple,
- 2) Tratamiento Superficial Múltiple.

### **1) Tratamiento Superficial Simple.**

Es una técnica que implica el riego con la emulsión asfáltica y el inmediato extendido y rodillado de una fina capa de agregado.

Un tratamiento superficial simple puede ser empleado obedeciendo alguna de las razones que a continuación se presentan:

- Como una medida provisoria, a la espera de una aplicación de mezcla asfáltica.
- Para corregir desprendimientos de material granular en la superficie debido a la fatiga y la oxidación de los pavimentos.
- Dotar a la superficie de características de impermeabilidad y resistencia al deslizamiento en pavimentos ya existentes.

Un tratamiento simple es particularmente adecuado para tráfico liviano y medio y como un mantenimiento preventivo o de carácter provisional. Para caminos de tráfico mas intenso, debería considerarse una emulsión modificada con polímeros y un agregado de alta calidad. Los tratamientos simples pueden también ser aplicados a continuación de un sellado de fisuras. El tratamiento de superficie se aplica para resistir la acción abrasiva del tráfico.



## **2) Tratamiento Superficial Múltiple**

Para tratamientos superficiales múltiples, el proceso es similar al anterior con la única diferencia de que el riego con la emulsión asfáltica se repite para una segunda e inclusive una tercera vez, con el tamaño de agregado decreciendo en cada aplicación.

Con un tratamiento superficial múltiple se puede alcanzar un espesor de entre 12 y 20 mm (1/2 y 3/4 de pulgadas). Si han sido correctamente diseñados y construidos, los tratamientos superficiales dobles aproximadamente triplican la vida de servicio de un tratamiento simple con un costo constructivo mayor en alrededor de un 50%. Debido a que el agregado de la segunda capa es de menor tamaño, se minimiza, en gran medida, la pérdida de partículas del tratamiento superficial.

En los tratamientos dobles y triples, el mayor tamaño de la piedra de la primera capa define el espesor del tratamiento. Las capas siguientes sirven para llenar los vacíos en la matriz de la primera capa de agregado. El grado en que dichos vacíos son llenados determina la textura y la calidad de rodamiento del tratamiento superficial múltiple.

Podemos lograr un buen pavimento, de larga vida útil, incrementando su espesor con tratamientos superficiales adicionales, sean simples o múltiples, en la medida en que las condiciones de tráfico lo exijan.

### **b) Sellado de Arena.**

Un sellado de arena es una aplicación de riego de emulsión asfáltica seguida de una ligera cubierta de agregado fino, tal como arena limpia. Aunque es una operación más bien simple, puede ser útil para corregir varios problemas en

pavimento. En algunos lugares, los sellados de arena son empleados cuando no hay disponibles buenas fuentes de agregados para tratamientos simples.

El sellado de arena se utiliza principalmente para:

- Enriquecer un pavimento seco, intemperizado u oxidado. Impidiendo la pérdida de material de la superficie debido a la abrasión del tráfico.
- Impedir el ingreso de humedad y aire que puede llegar a penetrar la estructura subyacente afectando su capacidad portante.
- Desarrolla una textura rugosa resistente a deslizamiento mediante la selección de agregado fino que tenga condiciones propicias de angularidad.

### **c) Sellado de Doble**

Este se construye extendiendo en la superficie una capa de agregados de gran tamaño que estarán entre los 15 a 20 mm. (5/8- 3/4pulg.). Para luego ser regado con emulsión asfáltica y finalmente se aplica una capa de agregado de menor tamaño que puede variar de los 5 a los 13 mm. (1/4- 1/2pulg.).

Normalmente el tipo de emulsión usada es rotura rápida modificada con polímeros CRS-2 y es aplicada usualmente en una cantidad mayor a la utilizada en un tratamiento superficial simple pero inferior a la de un tratamiento superficial doble. El agregado de mayor tamaño tiene por función contribuir a superar problemas de exudación en la superficie tratada, mientras el agregado de tamaño inferior persigue llenar los espacios vacíos dejados por los agregados mayores y así proveer una condición de acomodamiento óptimo que origine una estructura más resistente.

### **d) Cape Seal**

Este consiste en la aplicación de una lechada asfáltica o un micro-pavimento posterior a la aplicación de un tratamiento superficial simple de construcción

reciente. Su finalidad es llenar los vacíos entre los agregados pétreos usados en la configuración del tratamiento superficial para así proveer una mayor durabilidad a este por medio del sellado de vacíos evitando posibles filtraciones.

La lechada ligera los agregados gruesos para prevenir pérdidas debido a la interacción con el tráfico y los agregados gruesos impiden la excesiva abrasión del tráfico y la erosión de la lechada.

Para que el Cape Seal tenga un desempeño exitoso, es importante que el tratamiento superficial simple tenga un contenido de asfalto menor que el correspondiente a un tratamiento convencional. Es indispensable además evitar un exceso de lechada pues se dejaría de obtener la textura superficial rugosa que se necesitaría. En la aplicación de un Cape Seal es recomendable permitir un periodo de curado de cuatro a diez días después de la aplicación del tratamiento superficial simple para no intervenir en forma desfavorable en el curado de este además de limpiar la superficie de material suelto de la cubierta u otro material extraño que pueda impedir la adherencia.

### **¿Por qué utilizar este grado de Emulsión (de rotura rápida)?**

En las aplicaciones anteriormente citadas se sugiere el uso de emulsiones de corte rápido debido que sus propiedades propician condiciones que favorecen dichas actividades como:

- Reducción del tiempo de curado de la superficie.
- Permite la apertura de las vías en forma significativamente rápida disminuyendo los periodos de inhabilitación.
- Por su acelerada coalescencia reduce la posibilidad que el material asfáltico se mezcle con el suelo y los agregados en forma no deseada.

#### **4.1.2 Emulsión de Rotura Media<sup>22</sup>**

Las emulsiones de rotura media se diseñan para ser mezcladas 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 desde 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.

Ejemplos de emulsiones de rotura media son CMS-2 y CMS-2h. La nomenclatura de las emulsiones de rotura media puede variar. En todo caso se sugiere consultar con el productor de emulsiones, que puede dar recomendaciones al respecto.

Versiones modificadas con polímeros de la emulsión de rotura media pueden emplearse cuando se requieren estabilidad adicional o mayor durabilidad o cuando es importante una mayor resistencia a la humedad.

Dadas las condiciones expuestas anteriormente y atendiendo los tipos de emulsiones de rotura media, podemos mencionar algunas aplicaciones comúnmente utilizadas para satisfacer necesidades viales; dentro de estas podemos destacar las siguientes:

- a) Mezclas de granulometría abierta
- b) Reciclado en Frío
- c) Mezclas para uso inmediato

---

<sup>22</sup> AEMA, Manual Básico de Emulsiones Asfálticas MS 19, pág. 29.

Para una mejor comprensión de las aplicaciones mencionadas, a continuación se detallan cada una de ellas de manera general:

#### **a) Mezclas de granulometría abierta**

Las mezclas son la combinación en proporciones definidas de agregados pétreos producto de la trituración de rocas y emulsiones asfálticas generalmente utilizadas como capas de rodamiento, de base o sub-base.

Las mezclas pueden ser elaboradas en plantas o en el sitio donde se ejecutan las obras, y de acuerdo con el porcentaje de vacíos final, estas se clasifican en densas, semi-densas y abiertas. Conteniendo ciertos límites los cuales están dados por:

- \* Mezclas cerradas (densas): 3 a 6% de vacíos.
- \* Mezclas semi-cerradas (semi-densas): 6 a 12% de vacíos.
- \* Mezclas abiertas: superior a 12%.

Las mezclas con granulometría abiertas se elaboran para obtener un alto contenido de vacíos, a través de los cuales se drena el agua. Para su fabricación se emplean emulsiones de rotura media CMS-2 y CMS-2h con fluidificantes que permiten, si se desea, el almacenamiento de las mismas. Estas mezclas han sido utilizadas muy exitosamente tanto para bases como para carpetas de rodamiento. Debido a la relativa sencillez del equipo de planta necesario y los volúmenes altos de producción estas son económicamente atractivas.

En algunos casos su desempeño a largo plazo ha sido comparado con el de las mezclas en caliente en forma satisfactoria y estas mezclas han evidenciado buena resistencia a la fatiga, a la fisuración, a la reflexión, al ahuecamiento, y a los desplazamientos.

Estas mezclas se suelen emplear en capas de rodadura en carreteras de tráfico medio y donde la flexibilidad que las caracteriza frente a otras mezclas, las hacen especialmente recomendables.

### **b) Reciclado en Frio**

Se define como reciclado a la reutilización luego de cierto grado de procesamiento, de un material que ya ha servido su propósito original. Para este procedimiento el pavimento viejo es pulverizado y el material se mezcla con emulsión asfáltica generalmente de rotura media del tipo CMS o agente de reciclado emulsionado luego se extiende y compacta construyendo así una base que requiere de una nueva carpeta asfáltica.

El proceso de reciclaje en frio de pavimentos puede ser realizado en plantas fijas o in situ.

Es una de las técnicas que más están evolucionando, ya que, “in situ” y con relativamente bajos contenidos de emulsión, permite rejuvenecer y homogeneizar varios centímetros de pavimento para que funcione a la perfección como base para recibir nuevas capas, o como rodadura con un simple tratamiento superficial. En el siguiente capítulo se abordará en forma detallada esta metodología que en la actualidad es de amplia utilización en El Salvador.

### **c) Mezclas de mantenimiento**

Las mezclas de mantenimiento pueden ser de dos tipos; pero en nuestro medio la más usada es la siguiente debido a las condiciones y materiales existentes:

**Mezclas para uso inmediato:** En estas el agregado y la emulsión asfáltica son mezclados y transportados a la zona donde se usaran. Para este fin las emulsiones recomendadas son CMS-2 y CMS-2h. Los agregados deberán

satisfacer los requerimientos de calidad exigidos para mezclas de agregados y asfalto.

Uno de las principales utilidades de este tipo de mezcla es en tareas de bacheo. En donde los métodos de reparación de baches utilizando emulsiones asfálticas implican la colocación de mezcla en frío dentro del bache y su posterior compactación ya sea mediante el uso de rodos o placas vibratorias pudiendo variar según la magnitud del problema desde un pequeño espesor hasta la restitución completa de este en toda su profundidad. En esta actividad es recomendable el uso de emulsiones de rotura rápida en la elaboración de mezcla.

Las tareas de bacheo son fundamentales para extender la vida útil del pavimento. Es necesario proceder inmediatamente al cierre de un bache para evitar que el daño prosiga con el resto de la carpeta y la base. Se puede efectuar un bacheo provisorio o uno profundo y perdurable. Con el primero se busca detener inmediatamente el ingreso del agua para impedir la acción destructiva de esta hasta encarar una solución definitiva (el origen del bache). Con el bacheo profundo se realiza una tarea más completa incorporando el material de bacheo al pavimento

El proceso de reparación de baches consiste de los siguientes pasos:

- Retiro del pavimento dañado en el área del bache mediante la remoción manual o el fresado con maquinaria.
- Remoción por soplado del material fino suelto
- Riego de liga con material asfáltico sobre los lados y el fondo del bache para garantizar la adherencia de la mezcla a colocar.
- Colocación y compactación de la mezcla asfáltica procurando proveer un espesor adicional que varía entre 1/8 y 1/4 de pulgada para la posterior compactación debido al tráfico vehicular.

### **¿Por qué utilizar este grado de Emulsión (de rotura media)?**

En las aplicaciones anteriormente citadas se sugiere el uso de emulsiones de rotura media debido que sus propiedades propician condiciones que favorecen dichas actividades como:

- Poseen un grado de manejabilidad permitiendo la elaboración de mezclas para usos diversos.
- Por su tiempo de fraguado posibilita una fácil colocación y conformación de las superficies.

#### **4.1.3 Emulsión de Rotura Lenta<sup>23</sup>**

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 periodos 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 aun 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.

La rotura de las partículas de asfalto de las emulsiones de rotura lenta depende básicamente de la evaporación del agua. Las emulsiones de rotura lenta en aplicaciones de mezcla son empleadas en general para bases de granulometría cerrada, estabilización de suelos, carpetas asfálticas y algunos reciclados y sellados con lechadas asfálticas.

---

<sup>23</sup> AEMA, Manual Básico de Emulsiones Asfálticas MS 19, pág. 31.



Las emulsiones de rotura lenta modificadas con polímeros pueden ser utilizadas cuando se requieren una estabilidad adicional de la mezcla o una mayor ligazón, esto último en el caso de riegos de liga o riego pulverizado.

A continuación se mencionan algunas aplicaciones que comúnmente son utilizadas teniendo como base emulsiones de rotura media, dentro de las cuales podemos destacar:

- a) Riego de liga
- b) Riego de imprimación
- c) Paliativo de polvo
- d) Sellado de fisuras

Para una mejor comprensión de las aplicaciones mencionadas, a continuación se detallan cada una de ellas de manera general:

#### **a) Riego de Liga**

Es la aplicación muy ligera de la emulsión asfáltica diluida, sobre un pavimento ya existente esta se utiliza para obtener una buena adherencia de la superficie antigua con la nueva capa asfáltica. El riego de liga se recomienda para todas las capas de refuerzo.

La emulsión comúnmente usada en El Salvador para la aplicación de riegos de liga es la emulsión catiónica de rotura lenta CSS-1 y CSS-1h diluidas. La emulsión es diluida agregando a esta una cantidad igual de agua para lo cual es conveniente realizar una dilución de prueba y de esta forma comprobar la compatibilidad de los elementos. El agua debe ser agregada a la emulsión y no al contrario pues esto podría causar el rompimiento prematuro de esta y además preferentemente caliente.

Permite consolidar suelos como base de tratamientos posteriores aprovechando generalmente materiales locales y, por lo tanto, de bajo coste. Las emulsiones que se emplean son igualmente de rotura muy lenta y betún puro. En función de la calidad del suelo tratado, la acción de la emulsión se complementa con fílleres tipo cal, cemento, etc. Es recomendable solo aplicar el riego de liga en áreas que se tendrá la capacidad de ser pavimentadas en el mismo día.

#### **b) Riego de Imprimación (impregnación)**

Son aplicaciones de riego de emulsión asfáltica de viscosidad baja sobre una capa granular o un pavimento no bituminoso preparado para recibir posteriormente una mezcla asfáltica. Las emulsiones que se utilizan son catiónicas de rotura lenta y ligeramente fluidificada CSS-1 y CSS-1h para conseguir impregnar la base en los milímetros finales y que cumpla las siguientes funciones:

- Proporcionar recubrimiento y ligar las partículas de agregado sueltas en la superficie de la base.
- Endurecer y reforzar la superficie de la base.
- Impermeabilizar la superficie sellando los vacíos capilares y evitando su interconexión.
- Proveer las condiciones óptimas de compatibilidad que permitan la adherencia entre la base y la mezcla asfáltica.

Los riegos de liga son especialmente necesarios si el espesor total de la capa asfáltica es menor a los 100 mm. (4 pulg.). Con espesores mayores es menor la posibilidad de penetración de agua en la base y que haya un deslizamiento del pavimento. Sin embargo un riego debe considerarse cuando la base estará abierta por un tiempo prolongado durante el invierno o será expuesta a daño por abrasión previo a la colocación de la capa asfáltica.

La selección del grado de emulsión además dependerá del porcentaje y profundidad de los vacíos en el material de la base pues esto influirá en su penetración. Si la base está constituida por materiales finos pasantes del tamiz N° 200 esta impide la penetración de la emulsión lo cual puede solucionarse escarificando y mezclando el material con la emulsión hasta una profundidad determinada.

Las emulsiones para imprimación generalmente requieren ser diluidas variando la proporción agua- emulsión de 1:1 a 10:1 dependiendo de las características propias del material de base.

#### **c) Paliativo de polvo**

Este es sugerido para caminos que no poseen una capa asfáltica y que su bajo volumen de tránsito no justifica su colocación. La utilización de emulsión asfáltica puede ser una solución práctica y con bajos costos de ejecución. Como agente de control de polvo se usan emulsiones catiónicas diluidas de rotura lenta CSS-1 y CSS-1h con la que se riega directamente el camino.

La dilución de agua – emulsión para esta aplicación será de 5:1 o más partes en volumen. Su aplicación es de forma ligera y repetida según se requiera.

#### **d) Sellado de Fisuras**

El correcto sellado de fisuras consiste en ruteado y la posterior aplicación de una banda angosta y delgada de selladores altamente aditivos, de propiedades específicas, aplicados en caliente, estos selladores están compuestos en su mayoría de material asfáltico modificado con polímeros.

La fisuración tiene lugar de muchas formas, desde fisuras pequeñas del ancho de un cabello hasta fisuras del ancho de 25mm (una pulgada o más). Fisuras de mayor tamaño o áreas más severamente fisuradas pueden no siempre ser corregibles con este procedimiento. Es a menudo necesaria la restitución

completa del material fisurado y reparar el área en toda su profundidad con asfalto. El conocimiento sobre los más comunes tipos de fisuras ayuda a determinar el procedimiento de conservación apropiado. En general, las fisuras están comprendidas en alguna de estas categorías:

- a) Fisuras piel de cocodrilo,
- b) Fisuras de borde,
- c) Fisuras de contracción,
- d) Fisuras de deslizamiento,
- e) Fisuras lineales, etc.

Si la fisuración es consecuencia de una falla en las capas inferiores de la estructura de pavimento, no es seguro que el sellado de las fisuras ofrezca una solución de largo plazo. En muchos casos, la corrección del defecto en el pavimento subyacente es necesaria para resolver el problema de fisuración.

El mejor momento para sellar es tan pronto como sea posible luego de que la fisura se ha desarrollado. La fisura puede continuar ensanchándose, por lo que el sellado de fisuras, para que sea efectivo, no debe discontinuarse. El fracaso en un adecuado sellado de las fisuras puede llevar a un severo daño en el pavimento por ingreso de agua en capas inferiores. El sellado de fisuras con emulsión asfáltica es relativamente simple y económico, y puede demorar o posponer las tareas de mantenimiento principal al ser correctamente empleado.

Antes de que las fisuras sean selladas, el material suelto presente en las fisuras debería ser removido utilizando aire comprimido. El material extraño que no puede ser removido con aire comprimido, debería ser removido con un cepillo de alambre de acero o con un contorneador.

Una vez que las fisuras han sido correctamente preparadas, el sellado puede comenzar. Las fisuras pequeñas, de menos de 6mm (1/4 de pulgada) de ancho, son difíciles de sellar correctamente. Para fisuras de mayor tamaño, una lechada de emulsión asfáltica, o una emulsión mezclada con arena, debería ser forzada dentro de la fisura hasta una profundidad, con respecto a la superficie, de entre 3 y 6 mm (1/8 y 1/4 pulg.). Luego del curado, se completa el sellado rellenando lo que resta de la fisura con emulsión asfáltica. La superficie de la fisura sellada debería cubrirse con una ligera aplicación de arena, con el objeto de evitar el levantamiento del material por el tráfico. Los grados de emulsiones empleadas en El Salvador para sellado de fisuras son CSS-1 y CSS-1h de rotura lenta.

#### **¿Por qué utilizar este grado de Emulsión (de rotura lenta)?**

En las aplicaciones anteriormente citadas se sugiere el uso de emulsiones de corte lento debido que sus propiedades propician condiciones que favorecen dichas actividades como:

- Amplia el tiempo del que se dispone para el mezclado con agregados.
- Aumenta la gama de agregados con la que puede ser empleada.

#### **4.1.4 Emulsión de Rotura Rápida QS y para Micro-aglomerado<sup>24</sup>**

Las emulsiones de rotura rápida QS y para micro-aglomerados no están actualmente especificadas por ASTM o AASTHO. Sin embargo son usadas ampliamente en El Salvador.

---

<sup>24</sup> AEMA, Manual Básico de Emulsiones Asfálticas MS 19, pág. 31.

Los grados QS se diseñan específicamente para aplicaciones de lechadas asfálticas en las que se necesita un rápido tiempo de curado. Esto permite una más rápida liberación al tránsito que en el caso de emulsiones de rotura lenta para lechadas asfálticas. Las lechadas asfálticas con emulsiones de rotura lenta se diseñan para ser colocadas en un espesor igual al del agregado de máximo tamaño. Las emulsiones para micro-aglomerados están modificadas con polímeros y permiten colocar mezclas en espesores mayores que los de las lechadas asfálticas. Un pavimento de micro-aglomerado puede ser normalmente abierto al tránsito antes de que se cumpla una hora de colocado. Este tipo de aplicación se aborda en el capítulo V para su mejor comprensión.

#### **4.2 Pautas para un desempeño exitoso<sup>25</sup>**

El éxito con cualquier tipo y grado de emulsión se garantiza mejor siguiendo estrictamente los siguientes paso:

- Realice una exhaustiva evaluación en laboratorio, empleando el agregado y la emulsión que se utilizara en el proyecto.
- Seleccione los grados de acuerdo con la tabla 4.1 y la información previa disponible,
- Cumpla las especificaciones y las guías de uso.
- Manipule cuidadosamente la emulsión para prevenir la contaminación, la sedimentación de gotitas de asfalto o la rotura prematura.
- Cuando surgen problemas inusuales o singulares, contacte al representante del fabricante de la emulsión.

---

<sup>25</sup> AEMA, Manual Básico de Emulsiones Asfálticas MS 19, pág. 31.

**CUADRO 4. 1 Usos generales de las emulsiones asfálticas.**

Tipo de construcción	ASTM D2397, AASHTO M 140					
	CRS-1	CRS-2	CMS-2	CMS-2h	CSS-1	CSS-1h
<b>Mezcla de asfalto y agregados</b>						
Mezclas en planta (en frío)						
Granulometría abierta			X	X		
Granulometría cerrada					X	X
Arena					X	X
Mezclado in-situ						
Granulometría abierta			X	X		
Agregado bien graduado					X	X
Arena					X	X
<b>Aplicaciones de asfalto y agregado</b>						
Tratamiento superficial	X	X				
Sellado con arena	X	X				
Lechada asfáltica	X	X				
Sellado doble		X				
Cape seal		X				
<b>Aplicaciones asfálticas</b>						
Imprimación					X	X
Riego de liga					X	X
Paliativo de polvo					X	X
Sellado de fisuras					X	X
<b>Mezclas de mantenimiento</b>						
Uso inmediato			X	X		

# CAPITULO V

## APLICACIONES EN EL SALVADOR



## 5.0 INTRODUCCIÓN

En cuanto a conservación del pavimento en lo que a El Salvador se refiere, el Micro-pavimento en frío o conocido en el mundo como Micro-surfacing, es uno de los principales referentes, conjuntamente con las lechadas asfálticas y reciclados.

La ISSA (International Slurry Surfacing Association) define los Micro-pavimentos como un tipo más avanzado o superior de lechada asfáltica, de mayor estabilidad, capaz de ser distribuida en espesores variables de hasta 50 mm.

Los Micro-pavimentos pueden corregir un mayor número de irregularidades superficiales presentes en un pavimento en comparación por ejemplo con una lechada asfáltica, considerando esta última según la ISSA como una mezcla de agregado (incluyendo el filler), emulsión asfáltica de rompimiento rápido, agua y aditivo, la que es distribuida uniformemente sobre la superficie de un pavimento existente, en espesores que pueden variar desde los 3 a 10 mm.

En muchas ocasiones en El Salvador se ha confundido el término de Lechada asfáltica con un Micro-pavimento, un aspecto propio de un Micro-pavimento es que se utiliza una emulsión asfáltica modificada es decir se hace necesario la incorporación de polímeros, por lo que el asfalto residual presenta mejor comportamiento reológico (capacidad de la materia para fluir).

En El Salvador como se ha mencionado a lo largo del presente trabajo, el tipo de Emulsión que obedece a las características de los materiales pétreos utilizados en la construcción de carreteras con la capa de rodadura asfáltica es de tipo catiónica, por tanto el micro-pavimento se convierte en una de las principales alternativas ante la conservación de este tipo de pavimentos, incluyendo las lechadas asfálticas, y recientemente el reciclado de pavimentos, que obedece a la creciente sensibilización social acerca de la necesidad de

preservar el medio ambiente, basado en la reutilización de los materiales del pavimento defectuoso, tema actual para El Salvador.

En el presente capítulo se abordará especialmente el Micro-pavimento, incluyendo una aplicación práctica del mismo, razón por la cual será el objeto de estudio, sin dejar de lado el mortero asfáltico (Slurry Seal) o comúnmente conocida en nuestro medio como lechada Asfáltica, ya que como se dijo es una de las aplicaciones de las emulsiones de más renombre en El Salvador y que sirve como parámetro comparativo con el micro-pavimento, finalizando con la actualidad sobre el uso de emulsiones en El Salvador, haciendo referencia al reciclado de pavimentos, involucrando un inventario acerca de las aplicaciones de las emulsiones en El Salvador, para enriquecer el tema en estudio.

## **5.1 MICROPAVIMENTO**

El micro-pavimento se define como una mezcla asfáltica de alto rendimiento para pavimentación, compuesta de agregados 100% triturados con granulometría bien definida, emulsión asfáltica modificada con polímeros CQS, cemento Portland, agua y aditivos para controlar la ruptura en campo.

Se aplica de manera efectiva como sello de pavimentos envejecidos, sello de grietas superficiales, detienen la desintegración y dotan de propiedades anti-derrapantes, también cuenta con propiedades impermeabilizantes. Además se aplica para mantenimiento preventivo o correctivo con espesores desde 6 – 15 mm.

### **5.1.1 VENTAJAS DE LA APLICACIÓN DE MICRO-PAVIMENTO**

Comparando con respecto a una lechada asfáltica convencional (Slurry Seal) el micro-pavimento (Micro-surfacing) ofrece las siguientes ventajas:

- Incrementa la durabilidad del pavimento en zonas de altura (reducción del envejecimiento por fatiga térmica).

- Rápida apertura al tránsito (se puede abrir a la hora de ser aplicada la mezcla)
- Permite rellenar ahuellamiento, seguido de una segunda capa provee un apropiado drenaje al agua, reduciendo la posibilidad de hidroneo en la superficie.
- Mejora las propiedades antiderrapantes (en zonas de curvas y pendientes pronunciadas) y provee mejor impermeabilidad.

### **5.1.2 DISEÑO DE MEZCLAS DE MICRO-PAVIMENTOS.**

La metodología de diseño para los micro-pavimentos han sido desarrolladas por la ISSA en el Manual ISSA A-143 (International Slurry Seal Association), asimismo ASTM D 6372- 99<sup>a</sup> “Estándar Practice for Design, Testing and Construction of Microsurfacing” considera un procedimiento para el diseño, ensayos y construcción de micro pavimentos.

En este documento se recoge la metodología ISSA A-143, ya que es la utilizada en El Salvador.

#### **5.1.2.1 Selección y prueba de materiales**

##### **5.1.2.1.1 Agregados.**

Los agregados (excluyendo los finos minerales) constituyen entre el 82 y el 90 % del peso de Micro-pavimentos, estos deben estar triturados, limpios, duros y libres de químicos, u arcillas y otras materias que puedan afectar su adherencia mezclado y colocación.

**CUADRO 5. 1****Recomendaciones establecidas por la ISSA A- 143 para el agregado pétreo.**

<b>TIPO DE GRADUACION</b>	<b>TIPO II</b>	<b>TIPO III</b>
<b>Medida de Tamiz</b>	% pasante	% pasante
<b>#3/8 (9.5 mm.)</b>	100	100
<b>#4 (4.75 mm.)</b>	90 -100	70 - 90
<b>#8 (2.36 mm.)</b>	65 - 90	45 - 70
<b>#16 ( 1.18 mm)</b>	45 - 70	28 - 50
<b>#30 ( 600 µm )</b>	30 - 50	19 - 34
<b>#50 ( 330 µm )</b>	18 - 30	12 - 25
<b>#100 (150 µm)</b>	10 - 21	7 - 18
<b>#200 ( 75 µm)</b>	5 - 15	5 - 15
<b>Asfalto residual con base al % del peso seco del agregado</b>	5.5-9.5	5.5-9.5
<b>Tasa de aplicación (Kg/m2), Base peso seco agregado</b>	5.4-9.1	8.2-13.6

El agregado debe ser limpio, anguloso, durable, bien graduado, y uniforme. Debe emplearse material de trituración en un 100%.

Los requisitos mínimos normados para un agregado o mezcla de agregados son:

- **Equivalente de arena**, ASTM D 24198 (AASHTO T 176) > 65

- **Durabilidad** ASTM C88 (AASHTO T 104)

= 15 % (utilizando sulfato de sodio, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), o

= 25 % (utilizando sulfato de magnesio, MgSO<sub>4</sub>)

- **Perdida en la Prueba los Ángeles** ASTM C 131 (AASHTO T 96)

= 30 % máximo

- **Azul de Metileno** ISSA TB 145 < 10

Este ensayo a través de los valores de reactividad de los finos del agregado nos determina las características del emulsificante químico a utilizar en el diseño de la emulsión asfáltica y porcentaje de aditivo retardador.

#### **5.1.2.1.2 Finos minerales**

De acuerdo a la norma ASTM D 546 – AASHTO T37, se pueden utilizar indistintamente como relleno mineral: cemento Portland Tipo I, cal hidratada, polvo de piedra caliza o ceniza volcánica, con un porcentaje máximo del 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.**

### 5.1.2.1.3 Emulsión Asfáltica

Las emulsiones asfálticas (fig. 5.1) como ya se menciona en el capítulo II son la dispersión de pequeñas micro-partículas de asfalto dentro de una matriz acuosa. Las emulsiones típicamente contienen entre un 40% al 75% de asfalto, son líquidas de consistencia que van desde lechosas hasta espesas. El tamaño de la partícula está en un rango desde 0.01 a 20 micrones de diámetro.

Para los micro – pavimentos (micro – surfacing) se utilizan emulsiones asfálticas modificadas con polímeros tipo CQS-1P, en El Salvador la más utilizada es la Emulsión Catiónica de Rompimiento Acelerado (CQS-1hp).

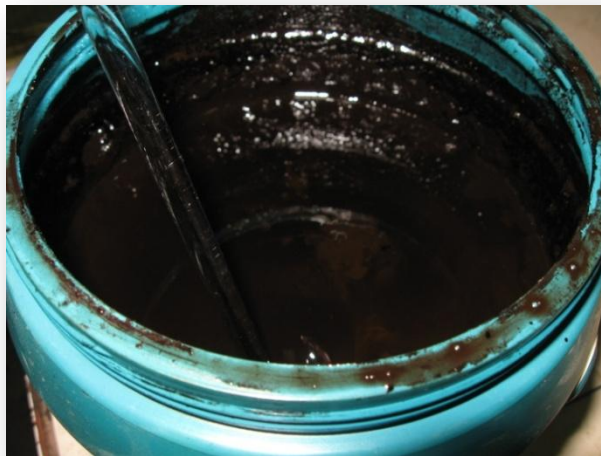


FIG. 5 1 EMULSIÓN ASFÁLTICA

### Pruebas a las emulsiones asfálticas

Pruebas de control de calidad en la producción:

1. Contenido de asfalto residual en la emulsión asfáltica: determina el contenido de asfalto de acuerdo a norma ASTM D 244 – AASHTO T 59.

2. Penetración del residuo de la emulsión: define la dureza del asfalto como se especifica en normas ASTM D-2397 – AASHTO T 49.

Pruebas generales de emulsiones asfálticas:

1. Viscosidad ASTM D-244.- Determina la manejabilidad de la emulsión en el campo.
2. Asentamiento ASTM D-244.- Determina la estabilidad al almacenamiento.
3. Tamizado ASTM D-244.- Determina la estabilidad al manejo y al almacenamiento prolongado.

#### **5.1.2.1.4 Agua**

El agua es el principal factor en la determinación de la consistencia del mortero asfáltico durante su producción y aplicación, formando parte importante en la estabilidad de la mezcla.

Dependiendo del porcentaje de humedad que contienen los agregados se determinará la adición de agua como recubrimiento en la mezcla. Generalmente la cantidad de agua a añadirse es de aproximadamente 10% respecto al peso del agregado seco.

#### **Ensayos para el agua.**

Si el agua es potable no es necesario practicar ensayos, sin embargo si el agua es excesivamente alta en minerales (magnesio, hierro, calcio, etc.) se deberá reducir estos elementos usando químicos ablandadores, además es recomendable un pH neutro.

### **5.1.2.1.5 Polímeros**

El objetivo de la utilización de polímeros en mezclas de micro-pavimentos es reducir la susceptibilidad del ligante a los cambios térmicos en la vía, mejorando las propiedades de cohesión y adhesión, incrementa la rigidez, permitiendo mayor durabilidad que los morteros asfálticos (slurry seal) por lo que se utilizan en proyectos de recuperación de ahuellamientos en climas cálidos y repavimentación de vías de alto tráfico o vías ubicadas en zonas de altura.

Pueden ser mezclados con el cemento asfáltico en la planta de emulsión, antes del proceso de Emulsificación. La cantidad mínima y el tipo del polímero modificador deberá ser determinada por el laboratorio responsable del diseño de mezcla. La cantidad de polímeros sólidos deberá basarse en el contenido del residuo asfáltico en peso; para mezclas de micro-pavimentos se especifica esta cantidad en un porcentaje del 3 al 4%.

Los polímeros utilizados en morteros asfálticos son los mismos que se aplican en otras mezclas asfálticas. El látex natural como se vio en capítulo II generalmente es el más común, el estado de este especialmente El Salvador es líquido (fig. 5.2), pudiéndose utilizar también otros como: SBR (Styrene-Butadiene-Rubber), SBS (Styrene-Butadiene- Styrene) y EVA (Ethylene-Vinil-Acetate).





**FIG. 5.2 LATEX LÍQUIDO**

#### **5.1.2.1.6 Aditivo de control de rotura en campo**

La alta temperatura y reactividad de los agregados condicionan al rompimiento y curado del mortero asfáltico. Para ajustar este proceso en el campo es necesario adicionar aditivos químicamente similares a los emulsificantes (fig. 5.3), se añaden en porcentajes del 0,1 - 0,5 % de la mezcla.



**FIG. 5.3 ADITIVO DE CONTROL DE ROTURA**

### 5.1.3 Ensayos para el diseño de mezclas

- **Ensayo de Consistencia con el Cono (ISSA TB 106)**

Este ensayo se utiliza para determinar la cantidad de agua requerida para lograr estabilidad y trabajabilidad en la mezcla, El ensayo utiliza el cono del ensayo de absorción de arena ASTM C-128 o AASTHO T-84, y una base de escala de flujo, también se utiliza para el control de campo.

- **Prueba de mezclado manual (ISSA TB 113)**

Esta prueba es el primer paso en el diseño de mezclas de Slurry Seal, se elaboran pequeñas mezclas de 100 a 200 gr en vasos que se tengan disponibles, la mezcla en el vaso también es útil para entrenar a los operadores de la maquina en familiarizarse con la apariencia visual y las propiedades mecánicas de la mezcla (cohesión).

- **Prueba de cubrimiento bajo agua (ISSA TB 114)**

El propósito de esta prueba es ayudar a los diseñadores en la selección de un sistema de Slurry Seal compatible con un agregado específico. La formulación de la emulsión, el filler mineral y los aditivos pueden ser evaluados rápidamente en su habilidad de mantener el cubrimiento del árido bajo la condición de la prueba.

Consiste en tomar una muestra curada de 10 gr. De una mezcla representativa, esta puede ser obtenida del ensayo de consistencia ISSATB 106 o de ISSA TB 113, esta se coloca en un vaso de 600 ml con 400 ml de agua destilada que se coloca sobre una hornilla caliente y se deja hervir durante 3 minutos, después que se deja enfriar se escurre el agua y se retira la muestra y se deja caer agua hasta que salga agua clara, finalmente la muestra se coloca en un papel absorbente y se estima el área de agregado cubierto con asfalto haciendo un reporte del porcentaje de área cubierta en relación con la superficie del agregado:

- 90 % de cubrimiento retenido es satisfactorio
- 75% a 90% es juzgado marginal
- Menos de 75 % no es satisfactorio (Se tendrá que reformular la emulsión asfáltica)

- **Prueba de cohesión en húmedo (ASTM D 3910)**

Este ensayo nos muestra la evolución de la consistencia de la mezcla en función al tiempo de curado, nos permite determinar las características de rompimiento de la mezcla y grado de cohesión entre el agregado y la emulsión, así como los tiempos de apertura al tráfico dependiendo de las condiciones del clima en el área de aplicación.

El procedimiento tiene como base la preparación de varios especímenes a diferentes porcentajes de emulsión asfáltica, los que son vaciados en anillos metálicos de 60 mm de diámetro con espesores de 6 y 10 mm. Una vez producida la ruptura de la emulsión se retira el anillo y se someten los especímenes al ensayo de cohesión propiamente realizando el siguiente procedimiento:

- Se posiciona el espécimen bajo el brazo de un cilindro neumático cuyo vástago metálico tiene en una pieza de neopreno de una pulgada de diámetro. Los especímenes son probados a 15, 30 y 60 minutos después de su preparación.
- Se aplica una presión en el cilindro neumático de 25 PSI (200 KPA) al mismo tiempo que se gira un torquímetro y se mide el valor obtenido al giro.

Resultados:

- Si el valor obtenido llega a 20 kg/cm<sup>2</sup> la mezcla ofrecerá una apertura rápida al tráfico además de tener buena cohesión para resistir cargas de tráfico sin daños a la mezcla, este valor se indica como el valor mínimo para la apertura al tráfico.
- Si el valor llega a 12 Kg-cm la mezcla ha logrado su ruptura.

Para determinar el contenido óptimo de emulsión se consideran los mismos ensayos que para el diseño de morteros asfálticos como:

- **Prueba de desgaste por abrasión en húmedo (ISSA TB 100)**

Proceso se describe en 5.1.4.1

- **Prueba de rueda cargada (ISSA TB 109)**

Proceso se describe en 5.1.4.2

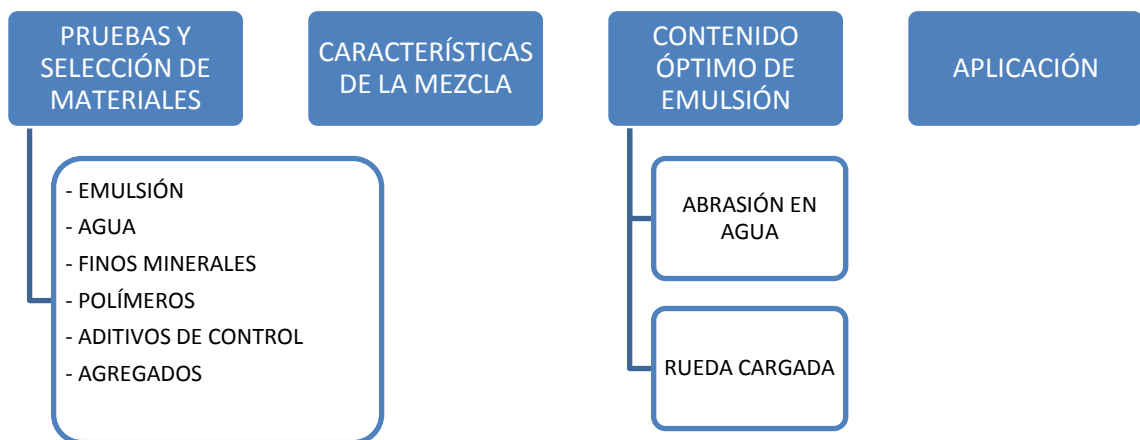
En El Salvador los ensayos más comunes y con mayor utilidad para obtener un diseño de mezcla para micro-pavimento de una manera rápida son: ISSA TB-100, ISSA TB – 109, mediante los cuales podemos obtener el contenido óptimo de emulsión asfáltica, e ISSA TB- 139, este último siempre contemplado en los procedimientos para Micro-aglomerados ISSA A 143, referente a la cohesión húmeda y curada basado en la norma ASTM D 3910.

#### **5.1.4 Determinación del contenido óptimo de emulsión asfáltica**

Se considera la metodología desarrollada por la ISSA A 105 (International Slurry Surfacing Association) en lo referente a morteros asfálticos, ya que es el mismo procedimiento para obtener el contenido óptimo de emulsión asfáltica que para micro-aglomerados detallado en ISSA A 143, este procedimiento se muestra más detalladamente en la figura 5.4.

En esta se muestra a la vez la esencia del presente capítulo, debido a que involucra todo lo referente a un diseño de mezcla específicamente para el caso, de un micro pavimento, hasta llegar a su aplicación.

**FIG. 5 4 METODOLOGÍA DE DISEÑO DE MORTEROS ASFÁLTICOS Y MICROPAVIMENTOS ISSA A 105 E ISSA A 143.**



Ya se mencionó lo referente a materiales, características de mezcla y las pruebas o ensayos requeridos de cada uno de estos. Para poder hablar del contenido de óptimo de emulsión es necesario poder determinar el procedimiento que involucra a dos pruebas esenciales, como lo son la abrasión en agua y la rueda cargada, ISSA TB-100 y 109 respectivamente. Las cuales se describen a continuación:

#### 5.1.4.1 Prueba de desgaste por abrasión por vía húmeda WTAT (ISSA TB 100)

Este ensayo determina la resistencia al desgaste por abrasión de una mezcla de mortero asfáltico simulando una superficie del pavimento saturada por agua. Mediante esta prueba se definen los valores mínimos de emulsión asfáltica necesarios para obtener una mezcla con suficiente cohesión como para resistir la acción abrasiva del tráfico.

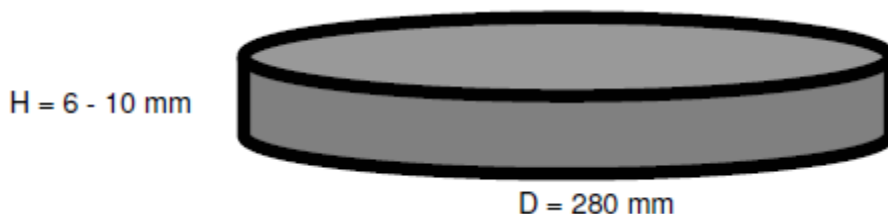
Consiste en someter un espécimen de mortero asfáltico (slurry seal) previamente curado en estufa a una temperatura determinada y sumergida en agua a la acción abrasiva de un cilindro de goma duro que gira con un movimiento planetario sobre su superficie durante 5 minutos.

Se define como abrasión a la pérdida de material por unidad de superficie que presenta el espécimen ensayado en las condiciones señaladas

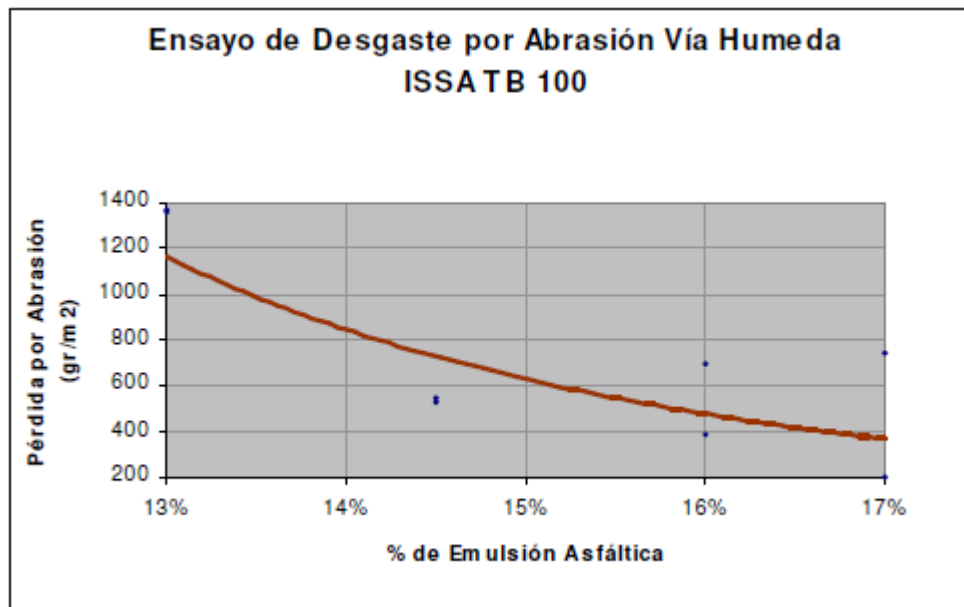
La máxima abrasión será de 538 a 807 gr/m<sup>2</sup> de acuerdo a la categoría de tráfico.

Un resumen del procedimiento se describe:

- Se preparan especímenes a diferentes contenidos de emulsión con las siguientes dimensiones:



- Se dejan curar en estufa a 60°C y se pesan junto con la base de cartón asfáltico
- Se sumergen en agua de 1 hora a 25°C.
- Se sujeta en el cabezal de abrasión un trozo de manguera y se apoya sobre la superficie de la muestra
- Se pone en marcha la maquina de abrasión a una velocidad indicada por un tiempo de 5 minutos
- Se seca a 60°C y se pesa, la perdida máx.
  - Para 1 Hora. 0.540 Kg/m<sup>2</sup>. Max.
  - Para 6 días 0.807 Kg/m<sup>2</sup>. Max. Solo para Micro-pavimentos.



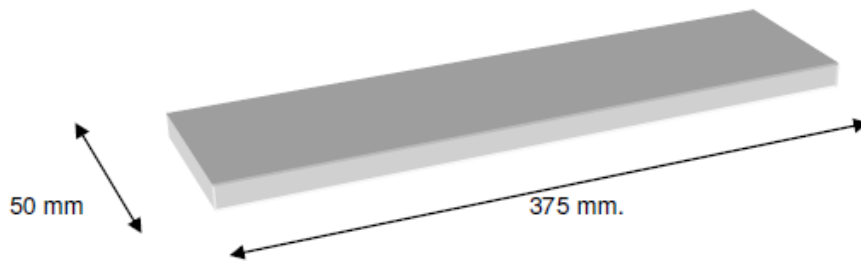
**GRAFICO ENSAYO WTAT ISSA TB 100**

#### 5.1.4.2 Prueba de rueda cargada (ISSA TB 109)

Determina el contenido máximo de asfalto en mezclas para morteros asfálticos y micro-pavimentos por la medición de adhesión de arena en especímenes sujetos a la simulación de cargas pesadas bajo la acción de una rueda, además de medir desplazamientos laterales por el mismo efecto. Los límites máximos son 538 grs por metro cuadrado de adhesión de arena.

Resumen del procedimiento de ensayo:

- Se fabrican especímenes para diferentes contenidos de emulsión con las siguientes dimensiones:



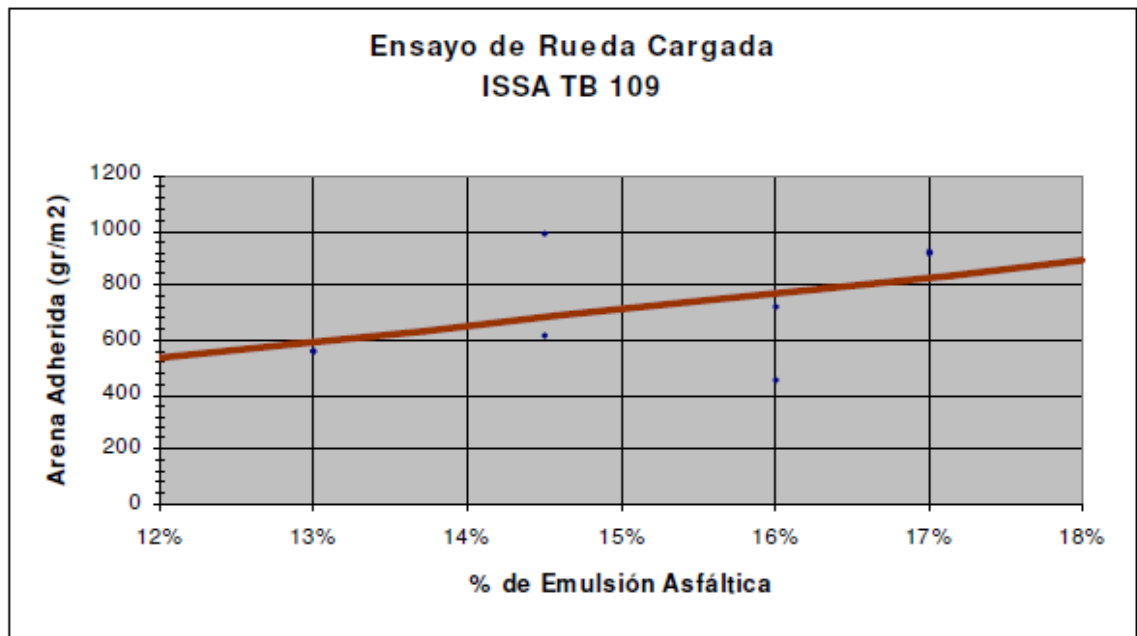
#### ESPECÍMENES PARA ENSAYO LWT ISSA TB-109

- Se dejan curar en estufa a 60°C min 15 horas
- La muestra se coloca en la máquina y se fija
- La muestra se coloca en la máquina y se compactan con la rueda de goma de 3" de diámetro con una carga de 57 Kg. por 1000 ciclos a 25 °C.
- La muestra se retira de la máquina y se pesa.
- Se calienta arena de Ottawa a 82°C y se vierte sobre la muestra con la ayuda de un marco para contenerla, y se coloca la rueda y se somete a



100 ciclos, cabe recalcar que en base a experiencia de laboratorio en El Salvador se someten los especímenes a 44 ciclos.

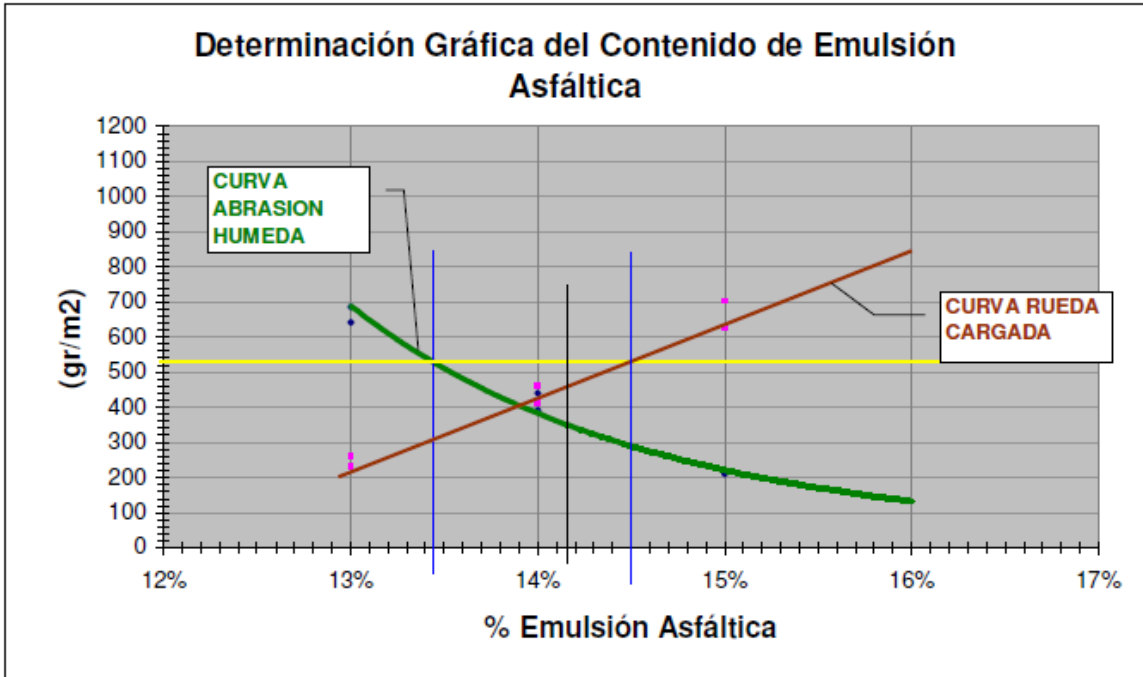
- Luego se retira la muestra y se limpian con cuidado las partículas sueltas con un cepillo suave y luego se pesa.
- Se calcula la diferencia de pesos y obtenemos la cantidad de gramos de arena adheridos a la muestra



**GRÁFICO ENSAYO DE LWT ISSA TB-109**

### 5.1.4.3 Determinación Gráfica del contenido de emulsión asfáltica

Después de haber descrito los procedimientos para los ensayos necesarios para la obtención de el contenido óptimo de emulsión, como lo son los correspondientes a ISSA TB 100 y 109, Se superponen los gráficos de los mismos y se traza una horizontal en valor de peso según la especificación se interceptan con las dos curvas y se proyectan verticales, finalmente el resultado será el promedio de los dos valores mas el 3% de la diferencia, como lo muestra la figura.



% MINIMO DE EMULSION:	13.4
% MAXIMO DE EMULSION:	14.5

<b>PORCENTAJE OPTIMO DE EMULSION :</b>	<b>14.00</b>
--	--------------

NOTA: Porcentaje de emulsión asfáltica con respecto al peso seco del agregado

### 5.1.5 Especificaciones técnicas

El cuadro 5.2 muestra las Especificaciones Técnicas para el diseño de mezclas lechadas asfálticas (slurry seal) y micro-pavimento, todo esto para establecer un comparativo de ambas aplicaciones y deducir conclusiones sobre el uso de las mismas:

**CUADRO 5. 2**

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS PARA LECHADAS ASFÁLTICAS Y MICROPAVIMENTOS**

<b>PRUEBA</b>	<b>LECHADA ASFÁLTICA</b>	<b>MICRO-PAVIMENTO</b>
<b>Tiempo de mezcla seg.</b>	180 Minutos	120 minutos
<b>Tiempo de ruptura hr.</b>	12 máx.	0.5 máx.
<b>Tiempo de apertura al trafico hr.</b>	24 máx.	1.0 máx.
<b>WTAT perdida por abrasión</b>		
- 1 hora en agua	807 máx.	538 máx.
- 6 días en agua	NO	807 máx.
<b>LWT Rueda cargada</b>		
- Desplazamiento lateral	NO	5 % máx.
- Adhesión de arena	807	538 máx.

Recomendaciones de la International Slurry Surfacing Association ISSA. A-105 y A-143

Cuando se trata de micro-pavimento es necesario hablar acerca del tipo de mezcla la cual debe ser de consistencia adecuada en todo momento, a manera de proveer la tasa de aplicación requerida por las condiciones de superficie. La ISSA nos habla que esta tasa de aplicación sugerida esta de acuerdo al tipo de proyecto a ejecutar y ligada al agregado pétreo de la mezcla (cuadro 5.1), en resumen se obtiene el cuadro 5.3.

**CUADRO 5. 3**  
**TASA DE APLICACIÓN PARA UN MICRO PAVIMENTO**

<b>La Tasa de aplicación sugerida</b>		
<b>TIPO II</b>	Calles urbanas y residenciales Pistas de aterrizaje.	5.4 - 18.6 Kg./m <sup>2</sup>
<b>TIPO III</b>	Rutas primarias e interestatales Bacheo	8.1 - 16.2 Kg./m <sup>2</sup>

Recomendaciones de la International Slurry Surfacing Association ISSA. A-105 y A-143.

Las tasas de aplicación son afectadas por el peso unitario del agregado.

El Micro-pavimento es generalmente extendido en dos pasadas completas en el lugar de relleno cuando el bacheo o deformación no es severa. Cuando dos pasadas son usadas, la primera es hecha usando un material para imprimir y aplicando rodo, lo que la superficie demande para nivelarse. La segunda pasada es aplicada a 8.1-16.2 Kg. /m<sup>2</sup>.

## **5.1.6 Condiciones previas ante la aplicación de un Micro-pavimento**

### **5.1.6.1 Preparación de la superficie**

Inmediatamente antes de aplicar el Micro-pavimento, la superficie debe ser limpiada de todo material suelto, manchas de sedimento, vegetación, y otros materiales objetables (FIG. 5.5).

Cualquier método estándar de limpieza será aceptado. Si es usada agua, se deberá permitir que las grietas sequen antes de aplicar el Micro-pavimento. Alcantarillas, cajas de válvulas, desagües y otras entradas de servicio deberán ser protegidas del Micro-pavimento mediante un método adecuado.

Cuando sea requerido por condiciones locales, la superficie deberá ser pre-mojada mediante rociado delante de la caja aplicadora (FIG 5.6).



**FIG. 5 5 LIMPIEZA DE SUPERFICIE PREVIO A APLICACIÓN**



**FIG. 5 6 PREPACI3N DE SUPERFICIE**

### **5.1.6.2 Correcci3n de situaciones que alteran el desempe1o del Micro-pavimento**

#### **Riego de Liga**

Normalmente un riego de liga no es requerido a menos que la superficie a ser cubierta est3 extremadamente seca y desecha o es concreto o ladrillo. Si es requerido el riego de liga consistir3 de una parte de asfalto emulsionado y 3 partes de agua. El asfalto emulsionado deber3a ser de un grado SS o CSS. El distribuidor debe ser capaz de aplicar la diluci3n igualmente a una tasa de 0.16 a 0.32 litros por m<sup>2</sup>. El riego de liga debe dejarse curar antes de la aplicaci3n del Micro-pavimento (FIG 5.7).



**FIG. 5 7 MEDIDAS CORRECTIVAS PREVIO A APLICACIÓN DE MICRO-PAVIMENTO**

### **Grietas**

Es aconsejable pre-tratar las grietas en la superficie con un sellador aceptable antes de la aplicación de la Micro-pavimento (FIG.5.8)



**FIG. 5 8 GRIETAS EN LA SUPERFICIE**

### **5.1.7 Construcción**

El procedimiento de construcción o aplicación en obra para el micro-pavimento y morteros asfálticos es similar y se muestra a continuación

### **5.1.8 Equipo**

El equipo mínimo indicado y señalado por las especificaciones ISSA A105, que deberá disponer el Contratista para la preparación, distribución y aplicación de la capa de micro-pavimento esta constituido por:

- a) Una maquina pavimentadora de Micro-pavimentos y lechadas Asfálticas.
- b) Una barredora mecánica para la limpieza de la vía.
- c) Un sistema de mallas para el tamizado de los agregados en el banco de materiales.
- d) Una máquina cargadora frontal para alimentar el agregado tamizado.

### **Pavimentadora de Micro-pavimento**

La máquina pavimentadora de lechadas asfálticas y/o micro pavimentos (fig. 5.9 Y 5.10) debe estar montada sobre un camión o sobre una unidad auto-propulsada y estar equipada con:

**Sistema de Agregados** – Compuesto por tolva almacenadora de agregados, banda transportadora de neopreno tipo continuo sobre rodillos para alimentación al mezclador, vibrador de frecuencia variable, compuerta de apertura variable con contador digital para su calibración.

**Sistema de Emulsión** – Compuesto por tanque de almacenamiento con indicador de nivel, bomba de desplazamiento positivo encamisada térmicamente para alimentación y recirculación.



**Sistema de Agua** – Compuesto por tanque para almacenamiento con indicador de nivel, bomba centrífuga, barra rociadora de agua, tuberías de conexión, medidor de flujo y válvula solenoide electro-neumática de apertura y cierre.

**Sistema Alimentador del Relleno Mineral** – Compuesto por tolva almacenadora, alimentador tipo gusano sin fin de acción reversible y velocidad variable.

**Sistema de Aditivo** – Compuesto por tanque de almacenamiento anti-corrosivo, bomba alimentadora de desplazamiento positivo con velocidad variable y medidor de flujo.

**Sistema de Mezclado** – Equipado con mezclador de ejes gemelos con paletas de giro reversible (tipo “pugmill”). El espacio comprendido entre las paletas y la cámara de mezclado está de acuerdo a la granulometría máxima del mortero asfáltico (Tipo III).

**Caja Terminadora/Esparcidora** – De expansión hidráulica inclusive en movimiento, equipada con gusanos sin fin de control hidráulico reversible y velocidad variable para esparcir la mezcla, controles de espesor de mezcla, barra secundaria con dispositivos de neopreno o uretano para el terminado final de la aplicación. El objetivo de esta barra es ajustar el terminado de la superficie de rodadura con las características de rugosidad requeridas.

**Dispositivos de Dosificación** – La máquina estará equipada con controles individuales de alimentación en volumen o peso, para la dosificación exacta de todos los materiales que se suministren al mezclador. Las cantidades de emulsión, agregados y relleno mineral son fijadas antes de la aplicación, solamente el agua y el aditivo especificados en el diseño, deberán de ser controlados durante el tendido en obra en función de las condiciones climáticas.



**FIG. 5 9 MAQUINARIA PAVIMENTADORA DE MICRO-PAVIMENTO**

### **Calibración de la máquina aplicadora de Micro-pavimentos**

La calibración de una máquina aplicadora y sus dispositivos de dosificación es obligatoria, para obtener las proporciones adecuadas de todos los componentes de la mezcla diseñada. Cada máquina a ser usada en la ejecución de un contrato deberá ser calibrada previamente en presencia del Supervisor.

Previo a la calibración, los documentos que amparan el suministro exacto de materiales a ser usados deben ser aceptados y aprobados igualmente por el Supervisor.

La documentación de calibración deberá incluir calibraciones individuales para cada material, a varios porcentajes de acuerdo a los dispositivos de dosificación de la máquina.

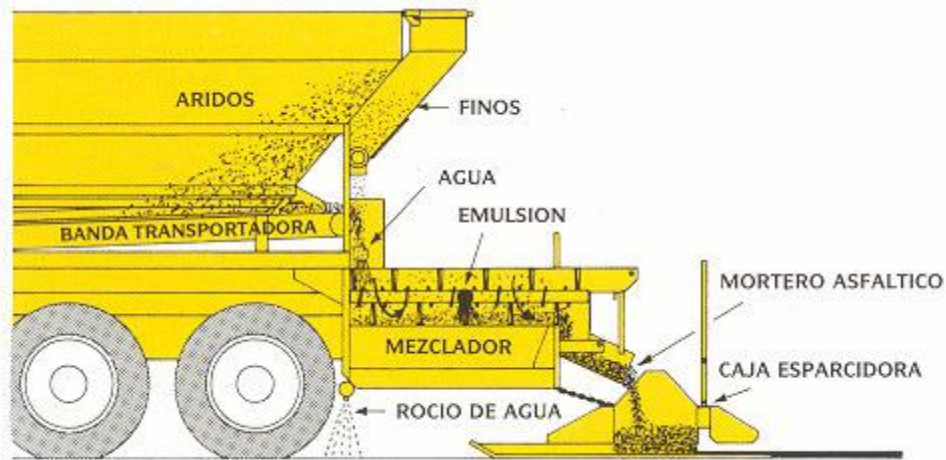
La Supervisión no aceptará la utilización de una máquina sin que ésta no haya sido calibrada previamente. El proceso de calibración se realiza mediante la obtención de datos en peso de los materiales, los mismos que se grafican considerando la variación de los dispositivos de control de suministro de materiales en la máquina. En el eje de las abscisas se anota el peso y en las ordenadas la apertura de compuertas o válvulas de control de los sistemas a calibrar.

#### **5.1.9 Condiciones del clima**

El micro-pavimento no debe ser colocado si la temperatura del pavimento o la temperatura ambiente son menores a 10°C, si esta lloviendo o si hay un pronóstico de temperaturas por debajo de 0° C durante las 24 horas de su colocación.

#### **5.1.10 Procedimiento de trabajo**

La superficie a pavimentarse con Mortero Asfáltico deberá ser preparada cuidadosamente, recuperando el perfil longitudinal y transversal con sistemas de bacheo y sellado de grietas utilizando el equipo, métodos y procedimientos adecuados tal como se establece en 5.1.6.



**FIG. 5 10 ESQUEMA DE APLICACIÓN DE MICRO-PAVIEMNTO**

Se deberá utilizar el barrido como método de limpieza, para eliminar la mayor cantidad de polvos y materiales nocivos al micro-pavimento (FIG. 5.5), el uso de aire comprimido es una buena alternativa para las labores de limpieza. El riego de agua previo a la aplicación del mortero se recomienda como control de ruptura prematura de la mezcla y mejorador de adherencia a la superficie existente. Dependiendo de las condiciones climáticas, se aplicará el riego de liga con agua incluido en la máquina aplicadora (FIG.5.7)

Una vez que los componentes del Mortero Asfáltico o Micro - Pavimento son mezclados se inicia el proceso de ruptura de la mezcla. El tiempo de este proceso depende de la química de los agregados y finos, formulación de la emulsión, tipo y concentración de aditivos así como la temperatura ambiental.

Para permitir el tendido del mortero asfáltico sobre la vía, se requiere un tiempo mínimo de mezclado de 120 a 300 segundos, durante el cual el mortero asfáltico permanece fluido y puede ser distribuido sobre la superficie. Una vez colocado sobre la vía el mortero asfáltico continúa con el proceso de ruptura y agua clara es liberada.

La terminación del proceso químico de ruptura del mortero asfáltico se logra cuando la coloración de la mezcla cambia de café a negro en pocos minutos (FIG. 5.11).

El tiempo de apertura al tráfico para micro-pavimentos se establece en 60 minutos o menos.



**FIG. 5 11 CAMBIO DE COLORACIÓN POR RUPTURA**

#### **5.1.11 Control de ejecución**

Para el control de campo serán las recomendadas en la Norma ISSA TB 107 (A Method for Unit Field Control of Slurry Seal Quantities).

En lo que se refiere al control de las características superficiales se tomarán las recomendaciones de la Norma ISSA TB-112 (Method to Estimate Slurry Seal Spread Rates and to Measure Pavement Macrotexture).

## **5.2 ACTUALIDAD DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS.**

Las principales aplicaciones que actualmente se dan en El Salvador a las emulsiones asfálticas, son la elaboración de bases negras con emulsiones asfálticas, sellos de Micro-pavimento (micro-surfacing) para ampliar el tiempo de vida de las carreteras que se ya se abordó en 5.1 y el reciclado de pavimentos en la rehabilitación de carreteras, estabilización de suelos, construcción y mantenimiento de carreteras, aeropuertos, caminos rurales, parqueos, calles y todo lo relacionado con la aplicación de asfaltos. Este último es de mayor interés ya que ambientalmente es favorable la cual es una temática de interés mundial. Por lo que en esta sección se desarrollara esta aplicación incorporando casos prácticos de la misma a través de la experiencia de ASFALCA.

Para la realización de las actividades antes identificadas que se aplican localmente en la actualidad se han desarrollado productos entre los cuales se encuentran:

- Impermeabilización con sistemas asfálticos polimerizados.
- Sellos Slurry y Micro-pavimentos.
- Elaboración de mezclas asfálticas en frío para la construcción y mantenimiento de calles, caminos y carreteras.
- Selladores asfálticos para juntas y grietas.
- Asfaltos modificados y soplados.
- Asfalto Multigrado.

### 5.2.1 RECICLADO DE PAVIMENTOS.

Se define el termino "reciclado" como "la reutilización, usualmente luego de cierto grado de procesamiento, de una parte de material que ya ha servido su propósito original y se ha retirado de una vía". En lo relativo al reciclado de pavimentos asfálticos, existen varias metodologías disponibles en la actualidad. Consecuentemente, para cada proyecto en consideración para aplicar un sistema de reciclado debemos evaluar cuidadosamente el método mas apropiado. Entre los factores deberíamos incluir previo a su aplicación están:

1. Condición del pavimento existente,
2. Espesores y tipos de los materiales que constituyen el pavimento existente,
3. Requerimientos estructurales del pavimento reciclado y
4. Disponibilidad local de aditivos para ser usados durante el proceso de reciclado.

#### 5.2.1.1 TIPOS DE RECICLADO

La Asociación de Reciclado y Recuperación de Asfalto (ARRA), reconoce cinco tipos de reciclados de pavimentos:

- **Fresado en frío:** En este se remueve el pavimento asfáltico envejecido hasta una profundidad especificada y se procede a la restauración de la superficie, con las pendientes longitudinales y transversales deseadas, y libre de lomos, huellas y otras imperfecciones superficiales. La remoción del pavimento o fresado se completa con la maquina de tambor giratorio autopropulsada para cepillado en frio. El pavimento asfáltico recuperado (reclaimed asphal pavement, RAP), del área de trabajo y que cumpla con las condiciones para ser reutilizado es cargado en camiones y acopiado para ser reciclado en caliente o en frio.

- **Reciclado en caliente:** Se combina la mezcla asfáltica reciclada (RAP) con agregado nuevo y cemento asfáltico y/o agente de reciclado, para producir una mezcla asfáltica en caliente. Si bien se usan plantas en caliente por pastones, comúnmente las plantas empleadas para producir la mezcla reciclada son las de tambor. El RAP en su mayor parte es producido por fresado en frío pero también puede elaborarse a partir de la remoción del pavimento y trituración. Los equipos y procedimientos para colocación y compactación de la mezcla son aquellos típicos de la mezcla asfáltica en caliente.
  
- **Reciclado en caliente in-situ:** Este proceso ofrece la ventaja que las actividades de reciclado se llevan a cabo en el lugar de aplicación y el pavimento típicamente se procesa hasta una profundidad de 20-40mm (3/4-1½ pulgadas). El pavimento asfáltico es calentado, ablandado y escarificado hasta la profundidad especificada posteriormente se agrega a este una emulsión asfáltica u otro agente de reciclado, y empleando uno de los procesos antes mencionados, se incorpora nueva mezcla asfáltica en caliente en la medida necesaria. Los tres métodos de reciclado en caliente in-situ son termo-escarificación, repavimentación y remezclado.
  
- **Reciclado en frío:** Si bien el reciclado en frío se realiza también empleando la planta central o fija, el método más comúnmente utilizado es el reciclado en frío in-situ (Cold in-place recycling, CIR). En el CIR, habitualmente el pavimento asfáltico existente es procesado hasta una profundidad de 50-100 mm (2-4 pulgadas). El pavimento es pulverizado y el material recuperado se mezcla con la emulsión asfáltica o el agente de reciclado emulsionado; luego, se extiende y compacta,



construyéndose así una base que será utilizada para la colocación de una nueva carpeta asfáltica debido a que las bases recicladas en frío requieren una nueva superficie asfáltica. Para pavimento de bajo tráfico, puede aplicarse un tratamiento de superficie con una emulsión. Para tráfico intenso, puede aplicarse un tratamiento de superficie con emulsión modificada o una carpeta de rodamiento con una mezcla asfáltica.

- **Recuperación full-depth:** En este método, toda la sección de pavimento, y algunos casos un volumen predeterminado del material subyacente, se mezcla con emulsión asfáltica para construir una base estabilizada. Con este proceso constructivo, los problemas en la base pueden ser corregidos. La recuperación full-depth consiste en seis etapas básicas: pulverización, incorporación de aditivos y/o de emulsión, extendido, compactación, perfilado y colocación de la nueva superficie asfáltica. El reciclado full-depth y reciclado en frío son los dos métodos en los que las emulsiones asfálticas se utilizan con mayor frecuencia y por ende los más aplicados en El Salvador.

#### **5.2.1.2 PAVIMENTOS INDICADOS PARA RECICLADO**

Usualmente son viejos pavimentos asfálticos, desde una mezcla asfáltica en caliente a una base granular con tratamiento de superficie. Dichos pavimentos adolecerán de fisuración y desintegración severa, tales como baches (figura 5.12).

Frecuentemente, la pobre condición del pavimento se debe a que este es, para el tráfico actuante, demasiado débil o de insuficiente espesor, y así es sobreesforzado al no poseer condiciones que satisfagan la demanda estructural a la que será sometido. Un pobre drenaje puede también acelerar la velocidad

y gravedad del deterioro del pavimento. Todos los tipos de pavimentos asfálticos pueden ser reciclados: carreteras de bajo, medio y alto volúmenes de tráfico, calles urbanas, pistas de aeropuertos, etc. Muchos pavimentos asfálticos tienen bases granulares y algunos suelos arenosos en la sub-rasante, pudiéndose en ambos casos lograr un mejoramiento y un aumento en la resistencia mediante la estabilización con emulsiones asfálticas.

Determinada la condición del pavimento existente, siendo una parte esencial en la selección de cualquier método de rehabilitación de pavimentos asfálticos. Se necesita evaluar el tipo y cantidad de defectos del pavimento. Necesita determinarse la resistencia de la estructura del pavimento actual y sus materiales.

Un adecuado muestreo y la correcta realización de los ensayos de materiales son esenciales en el éxito del reciclado de pavimentos. Especímenes extraídos de pavimentos y/o perforaciones se emplean para determinar el tipo, el espesor y la condición de las varias capas de pavimento y obtener muestras representativas para ensayos en laboratorio. Para materiales asfálticos, los ensayos típicamente incluyen la extracción convencional de asfalto, tanto para determinar el contenido de asfalto como para calcular, por tamizado, la granulometría de los agregados. En el cuadro 5.4 se enumeran los ensayos comúnmente realizados a los métodos de reciclado en frío y recuperación full-depth.

**CUADRO 5. 4**  
**Procedimientos de Evaluación de Materiales-  
 Reciclado en Frio y Recuperación Full-Depth**

Características	Método de ensayo	
	ASTM	AASHTO
Contenido de asfalto de una mezcla asfáltica vial.	D 2172	T 164
Asfalto recuperado de una mezcla asfáltica vial.	D 1856	T 170
Tamizado de agregados finos y gruesos.	C 136	T 27
% de material menor de 75 mm (tamiz No 20) mediante tamizado vía húmeda	C 117	T 11
Limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad del suelo.	D 4318	T 89/90
Equivalente de arena de suelo o agregado.	D 2419	T 176
Penetración de materiales bituminosos.	D 5	T 49

Fuente Manual Básico de Emulsiones Asfálticas MS 19.

**VENTAJAS:** El reciclado en frío y la recuperación full-depth de pavimentos asfálticos ofrecen muchas ventajas, entre ellas de carácter ecológico:

- Hay una preservación de los recursos naturales gracias a la reutilización/recuperación de los agregados y del asfalto de los pavimentos existentes.
- La disposición, como desecho, de los materiales del pavimento es reducida en gran parte o eliminada.
- Conservación de energía al construirse en el lugar y no requerirse combustible para calentamiento de materiales.
- La fisuración refleja puede ser controlada, ya que es normalmente reducida o demorada con el reciclado frío in-situ y eliminada con lo recuperación full-depth.

- El bombeo y pendiente transversal pueden ser mejorados o restaurados.
- La pérdida de la altura del cordón puede ser reducida o eliminada.
- Los costos de mantenimiento.



**FIG. 5 12 BACHES EN VÍAS PRINCIPALES**

### **5.3 INVENTARIO DE PROYECTOS UTILIZANDO EMULSIONES ASFÁLTICAS EN EL SALVADOR**

En este apartado se ha incorporado un listado de proyectos que se han logrado documentar sobre el uso de Emulsiones Asfálticas (CUADRO 5.5), con la ayuda de Asfaltos de Centroamérica (ASFALCA), como se menciona en 5.0. Estos proyectos datan desde 1994 hasta el presente año, los mismos van desde lechadas asfálticas, Micro-pavimentos (Micro-surfacing), Rehabilitaciones de Pavimentos asfálticos, etc., incorporados en la actualidad según el Fondo de Conservación Vial de El Salvador (FOVIAL) dentro de los mantenimientos periódicos y Rutinarios, los cuales para su comprensión se hace necesario describir:

#### **5.3.1 Programa de Mantenimiento Periódico**

Es una serie de actividades que deben ejecutarse cada cierto número de años, dependiendo de la clasificación y condiciones de la carretera, para evitar perder las condiciones originales de la misma, por deterioros ocasionados por las acciones de la naturaleza y por los usuarios.

##### Actividades Principales

- Tratamiento de superficie
  - Sellos
  - Riego de lechadas asfálticas, micro-surfacing
  - Otros tipos de tratamientos
- Renovación de la superficie
  - Fresado
  - Reciclado
  - Colocación de carpetas asfálticas
  - Colocación de asfalto sobre capas de concreto hidráulico.
- Estabilización de bases

- Renovación de hombros
- Construcción de drenaje longitudinal
- Construcción de drenaje transversal
- Colocación de señalización horizontal
- Colocación de señalización Vertical
- Colocación de Flex Beam
- Limpieza de drenaje longitudinal
- Limpieza de drenaje transversal

### **5.3.2 Programa de Mantenimiento Rutinario**

Es una serie de actividades que deben ejecutarse, obligadamente, todos los años para preservar las condiciones de camino y asegurar así la vida de diseño. Este se da permanentemente sobre todos los elementos y estructuras del pavimento. Se lleva a cabo tanto en vías pavimentadas e incluso no pavimentadas.

#### **5.3.2.1 Mantenimiento Rutinario de Vías Pavimentadas**

Es una serie de actividades que deben ejecutarse, obligadamente, todos los años para preservar las condiciones del camino y asegurar así la vida de diseño o más. Este se da permanentemente sobre todos los elementos y estructuras dentro del derecho de vía.

##### Actividades Principales

- Limpieza y chapeo en derecho de vía
- Limpieza de cunetas y bajadas (sistema de drenaje longitudinal)
- Limpieza de tuberías (sistema de drenaje transversal)
- Mantenimiento de señalización existente
- Pintura de árboles y cunetas
- Sello de grietas y fisuras

- Carpeta asfáltica
- Riego de imprimación asfáltica
- Bacheo superficial
- Bacheo profundo
- Sello de pavimento
- Reconstrucción de hombros
- Estabilización de hombros con suelo-cemento
- Construcción de canaletas revestidas
- Remoción y desalojo de derrumbes
- Señalización horizontal
- Señalización vertical
- Postes
- Paneles de señal
- Marcador reflectorizado de pavimento (violetas u ojos de gato)
- Señalización y seguridad
- Suministro y colocación de Flex – Beam
- Pintura en puentes
- Mampostería de piedra para estructuras
- Reparaciones de deterioros puntuales en obras de drenaje menor
- Reparación de deterioros puntuales en estructuras
- Excavación para estructuras varias
- Relleno para estructuras varias

### **5.3.2.2 Mantenimiento Rutinario de Vías No Pavimentadas**

#### Definición

Es una serie de actividades que deben ejecutarse, obligadamente, todos los años para preservar las condiciones del camino. Este se proporciona 2 o 3 veces al año sobre la superficie de rodamiento.

#### Actividades Principales

- Limpieza y chapeo del derecho de vía
- Limpieza de cunetas y bajadas (Sistema de drenaje longitudinal)
- Mantenimiento de señalización existente
- Reposición parcial de capa de balastado
- Conformación de Calzada
- Construcción de canaletas revestidas
- Remoción y desalojo de derrumbes
- Señalización Vertical
- Postes
- Paneles de Señal
- Señalización y seguridad vial
- Suministro y colocación de Flex – Beam
- Pintura en puentes
- Mampostería de piedra para estructuras
- Reparación de deterioros puntuales en obras de drenaje menor
- Reparación de deterioros puntuales en estructuras
- Relleno para estructuras varias
- Construcción y Conservación de badenes
- Pavimento de Concreto fraguado con superficie repellada



**CUADRO 5. 5  
INVENTARIO RECOPIADO DE PROYECTOS UTILIZANDO EMULSIONES  
ASFALTICAS EN EL SALVADOR**

NOMBRE DE PROYECTO	EJECUTADO POR	DURACIÓN	
Colocación de un Micro-surfacing tipo III, EN "Mantenimiento Periódico: EJE 09, EJE 42 Y RN 07W, TRAMO: DV. SAL37N-RETORNO EL JABALI"	Asfalca, S.A. de C.V.	8/4/2011	En proceso
Colocación de Micro-surfacing tipo III, en "Mantenimiento Periódico de la Ruta CA02E; RN05-ZACATECOLUCA"	Asfalca, S.A. de C.V.	23/2/2011	En proceso
Mantenimiento Rutinario del Grupo 8 de Vías Pavimentadas, Ubicadas en la Zona 3 de El Salvador 2011	Impersal, S.A. de C.V.	11/1/2011	En proceso
Mantenimiento Rutinario del Grupo 6 de Vías Pavimentadas, Ubicadas en la Zona Central Sur de El Salvador 2010	Asocio Impersal, S.A. de C.V. – Asfalca, S.A. de C.V.	1/4/2010	30/10/2010
Mantenimiento Rutinario del Grupo 2 de Vías Pavimentadas, Ubicadas en la Zona Occidental de El Salvador 2010	Asocio Impersal, S.A. de C.V. – Asfalca, S.A. de C.V.	1/4/2010	31/8/2010
Rehabilitación del Pavimento Asfáltico frente al Estacionamiento de Camiones SEI del Aeropuerto Internacional El Salvador	Asocio Impersal, S.A. de C.V. – Serdi, S.A. de C.V.	Enero 2010	Abril 2010
Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos, Fase II, para la Embajada Americana en El Salvador, Boulevard Santa Elena, Antiguo Cuscatlán.	Asfalca, S.A. de C.V.	Febrero 2010	Marzo 2010
Mantenimiento Rutinario del Grupo 2 de Vías Pavimentadas, Ubicadas en la Zona Occidental de El Salvador 2009	Asocio Impersal, S.A. de C.V. – Asfalca, S.A. de C.V.	Enero 2009	Diciembre 2009
Rehabilitación del Pavimento Asfáltico de la Plataforma de Mantenimiento de Aviones, ubicada al Costado Poniente de la Terminal de Carga del Aeropuerto	Asocio Impersal, S.A. de C.V. – Serdi, S.A. de C.V.	Enero 2009	Abril 2009

Rehabilitación de aproximadamente 19,000 metros cuadrados de Pavimento Asfáltico en el Interior del Recinto Portuario de Acajutla	Asocio Impersal, S.A. de C.V. – Serdi, S.A. de C.V.	Noviembre 2008	Mayo 2009
Colocación de Micro-pavimento en la Conexión Carretera Panamericana - Litoral - Redondel Shell - desvío a Comasagua	Rodio Swissboring El Salvador, S.A. de C.V. - MOP	Mayo 2008	Mayo 2008
Mantenimiento Rutinario del Grupo 2 de Vías Pavimentadas, Ubicadas en la Zona Occidental de El Salvador 2008	Asocio Impersal, S.A. de C.V. – Asfalca, S.A. de C.V.	Marzo 2008	Diciembre 2008
Colocación de Micro-pavimento en la Conexión Carretera Panamericana - Litoral - Redondel Shell - desvío a Comasagua	Rodio Swissboring El Salvador, S.A. de C.V. - MOP	Marzo 2008	Marzo 2008
Mantenimiento de Vías Urbanas Ubicadas en la Zona Occidental de El Salvador 2007	Asocio Impersal, S.A. de C.V. – Asfalca, S.A. de C.V.	Noviembre 2007	Julio 2008
Colocación de Micro-pavimento en la Localidad de Nueva Granada, Usulután, Grupo Fovial 12 de Vías Pavimentadas 2007	Asfalca, S.A. de C.V.	Noviembre 2007	Noviembre 2007
Colocación de Micro-pavimento en la Localidad de Tierra Blanca, Usulután, Grupo Fovial 12 de Vías Pavimentadas 2007	Asfalca, S.A. de C.V.	Septiembre 2007	Septiembre 2007
Rehabilitación de los Pavimentos Asfálticos de la Plataforma Internacional de la Terminal de Pasajeros del Aeropuerto Internacional de El Salvador	Asocio Impersal, S.A. de C. V. – Terra Tracto, S.A. de C.V.	Julio 2007	Abril 2008
Colocación de Micro-pavimento en Avenida Masferrer Norte y Masferrer Sur, Grupo Fovial 4 de Vías Pavimentadas 2007	Asfalca, S.A. de C.V.	Junio 2007	Junio 2007
Mantenimiento Rutinario del Grupo 2 de Vías Pavimentadas, Ubicadas en la Zona Occidental de El Salvador 2007	Asocio Impersal, S.A. de C. V. – Terra Tracto, S.A. de C.V.	Marzo 2007	Febrero 2008

Rehabilitación del Pavimento Asfáltico Existente entre el Acceso 5 y el Edificio Administrativo del Puerto de Acajutla	Impersal, S.A. DE C.V	Enero 2007	Abril 2007
Aplicación de Micro-surfacing en las calles de rodaje del aeropuerto Internacional El Salvador	Asocio Impersal, S.A. de C. V. – Terra Tracto, S.A. de C.V.	Noviembre 2005	Enero 2006
Aplicación de Micro-surfacing en Calles de Rodaje del Jocotillo	Asfalca, S.A. de C.V	10 de Oct. 2005	28 de Oct. 2005
Colocación de Lechada Asfáltica tipo Slurry Seal en la Autopista Palin – Escuintla, Guatemala	Impersal, S.A. DE C.V	Mayo 2005	Septiembre 2005
Mantenimiento Rutinario del Grupo 3 de Vías Pavimentadas, Ubicadas en la Zona Occidental de El Salvador, 2005	Asocio Impersal, S.A. de C. V. – Terra Tracto, S.A. de C.V.	Mayo 2005	Marzo 2006
Mantenimiento Rutinario del Grupo 3 de Vías Pavimentadas, Ubicadas en la Zona Occidental de El Salvador 2004	Asocio Impersal, S.A. de C. V. – Terra Tracto, S.A. de C.V.	Abril 2004	Marzo 2005
Mantenimiento Rutinario del Grupo 2 de Vías Pavimentadas, Ubicadas en la Zona Occidental de El Salvador 2004	Asocio Impersal, S.A. de C. V. – Terra Tracto, S.A. de C.V.	Abril 2004	Marzo 2005
Colocación de Micro pavimento en los Corredores principales del Área Metropolitana de San Salvador, Segunda Etapa.	Asocio Impersal, S.A. de C. V. – Terra Tracto, S.A. de C.V.	Noviembre 2002	Mayo 2003
Colocación de Micro pavimento en el Blvd. Venezuela	Asocio Impersal, S.A. de C. V. – Terra Tracto, S.A. de C.V.	Septiembre 2003	Octubre 2003
Construcción de Calles de Circulación y Construcción de Drenaje Auxiliar en el Patio de Vehículos del Puerto de Acajutla	Asocio Impersal, S.A. de C. V. – Terra Tracto, S.A. de C.V.	Febrero 2003	Junio 2003

Reparación de 17,000 mts <sup>2</sup> . de Pavimento Asfáltico en la Pista Principal del AIES.	Impersal, S.A. DE C.V	Agosto 2002	Febrero 2003
Apertura Avenida Olímpica y Calle El Progreso y Pasos a Desnivel sobre Blvd. de Los Héroe	Mezclas Asfálticas, S.A.	Nov. 1998	Diciembre 1998
Construcción de Caminos Terciarios Chapeltique – Ciudad Barrios	Mezclas Asfálticas, S.A.	Abril 1997	Septiembre 1998
DGC-5 Bvd. Del Ejercito San Martín y Juayúa, Sonsonate	Mezclas Asfálticas, S.A.	Dic. 1996	Octubre 1997
Programa de Mantenimiento Preventivo (Sellos Asfálticos) en el Área Metropolitana de San Salvador	Mezclas Asfálticas, S.A./ BASS INC.	Octubre 1995	Diciembre 1995
DUA 2 Autopista Sur Reciclado de Pavimento y Micro-pavimento	Mezclas Asfálticas, S.A.	Enero 1996	Febrero de 1996
Plan de Emergencia para Bacheo en la República de El Salvador 1994	Mezclas Asfálticas, S.A.	Enero 1994	Marzo 1994
Plan de Bacheo en el Área Metropolitana de San Salvador	Impersal, S.A. DE C.V	Nov. 1994	Diciembre 1994

Datos proporcionados por ASFALCA S.A de C.V.

# CAPITULO VI

## ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

## **6.1 EMULSIONES ASFÁLTICAS**

### **6.1.1 Determinación de las propiedades para la clasificación**

En esta sección se muestra el proceso de determinación de las propiedades básicas necesarias para la clasificación de las emulsiones asfálticas a partir de los datos obtenidos luego de la realización de los ensayos de laboratorio descritos en el capítulo III establecidos por las normas ASTM D-2397 y AASHTO M-208 para la clasificación de las emulsiones asfálticas. Dividiendo los mismos en pruebas de Consistencia, Composición y de Estabilidad hechas a la emulsión directamente y la examinación del Residuo Asfáltico.

### **6.1.2 Cálculos para la determinación de requerimientos de calidad**

#### **6.1.2.1 Pruebas de Consistencia**

##### **Viscosidad Saybolt de emulsiones asfálticas**

La emulsión que se ha tomado para realizar estos cálculos es una CSS-1h, teniendo como base para este ensayo la normativa ASTM D-244 a una temperatura de 50°C. El tiempo que tardo la muestra de 60 cm<sup>3</sup> en fluir a través del viscosímetro fue de 37 segundos siendo esta una medida directa de la viscosidad Saybolt Furol de la emulsión (fig.6.1).



**FIG. 6 1 ENSAYO DE VISCOSIDAD SAYBOLT**

### 6.1.2.2 Pruebas de Composición:

#### Residuo de asfalto por destilación

Una vez efectuado el proceso de destilación de la muestra de emulsión (fig.6.2) se calcula el contenido de asfalto

$$\text{Residuo por destilación \%} = \left( \frac{P_f - P_t}{P_i - P_t} \right) * 100$$

Siendo:

$P_t$  = Peso de alambique = 2283.7 g

$P_i$  = Peso de alambique + emulsión=2484.8 g

$P_f$  = Peso de alambique + residuo=2408.3 g

$$\text{Residuo por destilación \%} = \left( \frac{2408.3 - 2283.7}{2484.8 - 2283.7} \right) * 100$$

Residuo por destilación = 62%



FIG. 6 2 ENSAYO DE RESIDUO POR DESTILACIÓN

### Residuo de asfalto por evaporación (fig.6.3)

$$\text{Residuo por evaporación \%} = \left( \frac{(P_f - P_t)}{P_i - P_t} \right) * 100$$

Siendo:

Pt = Peso de recipiente=198.8 g

Pi = Peso de recipiente + emulsión=244.6 g

Pf = Peso de recipiente + residuo=227.3 g

$$\text{Residuo por evaporación \%} = \left( \frac{(227.3 - 198.8)}{244.6 - 198.8} \right) * 100$$

*Residuo por evaporación = 62%*



**FIG. 6 3 ENSAYO DE RESIDUO POR EVAPORACIÓN**



### 6.1.2.3 Pruebas de Estabilidad

#### Estabilidad para almacenamiento a 24hrs

Después de mantener en reposo la emulsión a analizar durante 24 horas (fig.6.4) se extraen dos muestras una de la parte superior de la probeta y otra del fondo de esta y se determina los pesos (CUADRO 6.1) que se utilizaran en la determinación del porcentaje de sedimentación:

**CUADRO 6. 1 DATOS OBTENIDOS EN LABORATORIO PARA PRUEBA DE ESTABILIDAD**

	Superficie (g)	Fondo (g)
<b>Peso de Beaker + Agitador de Vidrio (A)</b>	122.9	90.4
<b>Peso de Beaker + Agitador + Emulsión (B)</b>	174.4	145.5
<b>Peso de Beaker + Agitador + Residuo (C)</b>	154.8	124.7

Posteriormente se calcula el Porcentaje de Estabilidad al Almacenamiento a través de la siguiente fórmula:

$$\%R.A = 1 - \left( \frac{B - C}{B - A} \right)$$

Sustituyendo los valores obtenidos de pesos de la parte superior y fondo tenemos:

$$\%R.A (superficie) = 1 - \left( \frac{174.4 - 154.8}{174.4 - 122.9} \right)$$

$$\%R.A (superficie) = 61.94$$

$$\%R.A (fondo) = 1 - \left( \frac{145.5 - 124.5}{145.5 - 90.4} \right)$$

$$\%R.A (fondo) = 62.25$$

$$\% DE ESTABILIDAD A 24 HRAS = ((\% R.A FONDO) - (\% R.A SUPERCIE))$$

$$\% DE SEDIMENTACIÓN A 24 HRAS = ((62.25) - (61.94))$$

$$\% DE ESTABILIDAD A 24 HRAS = 0.31$$



**FIG. 6 4 ENSAYO DE ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO  
24hrs**

#### **Prueba de sedimentación (fig. 6.4)**

El proceso para su determinación es igual al realizado en la prueba de estabilidad de Almacenamiento, efectuando una diferencia de pesos, variando el tiempo de reposo de la muestra de 24 hrs a 5 días, para encontrar la concentración de residuo asfáltico obtenido por medio de un proceso de evaporación del material extraído de la parte superior y el fondo del depósito para posteriormente promediar estos resultados.

El resultado obtenido fue el siguiente:

$$\text{Prueba de sedimentacion, 5 dias (\%)} = 1.99$$

### Ensayo de tamiz o malla

Por medio de este ensayo determinamos la cantidad de producto asfáltico mal emulsionado (fig. 6.5). Para ello es necesario utilizar la malla No 20 en donde se deposita la emulsión y se verifica el asfalto retenido en dicha malla. Los datos obtenidos del ensayo se muestran en el CUADRO 6.2.

**CUADRO 6. 2 DATOS DE LABOTARIO DEL ENSAYO DE TAMIZ**

<b>Peso de Tapadera + Tamiz (MT)</b>	<b>154.9 g</b>
<b>Peso de Recipiente + Emulsión (MR)</b>	1300 g
<b>Peso de Recipiente Vacío (MV)</b>	300 g
<b>Peso de Tapadera + Tamiz + Residuo (MS)</b>	154.91 g

$$\% T = (MS - MT)(MR - MV) * 100$$

$$\% T = (154.91 - 154.9)(1300 - 300) * 100$$

$$\% T = 0.01$$



**FIG. 6 5 ENSAYO DE TAMIZ O MALLA**

#### 6.1.2.4 Examinación del Residuo

##### Gravedad específica del residuo asfáltico

El cálculo para obtener la gravedad específica del cemento asfáltico (C.A) obtenido por destilación, se muestra a continuación (CUADRO 6.3), la temperatura de ensayo utilizada fue de 25°C:

**CUADRO 6. 3 DATOS DE LABORATORIO PARA ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL RESIDUO**

<b>Picnómetro Seco y Limpio (A)</b>	<b>43.2388 g</b>
<b>Picnómetro Aforado con Agua (B)</b>	<b>80.4006 g</b>
<b>Picnómetro con C.A (C)</b>	<b>66.5118 g</b>
<b>Picnómetro con y C.A Aforado a 25°C(D)</b>	<b>80.6843 g</b>

$$PESO ESPECIFICO = \frac{C - A}{(B - A) - (D - C)}$$

$$PESO ESPECIFICO = \frac{(66.5118 - 43.2388)}{(80.4006 - 43.2388) - (80.6843 - 66.5118)}$$

$$PESO ESPECIFICO = 1.0118$$

Este valor debe ser afectado por la densidad del agua a la temperatura a la que se realizo la prueba. Para este caso el peso específico del agua a 25°C es de 0.9971 entonces:

$$PESO ESPECIFICO = 1.0118 * 0.9971$$

$$PESO ESPECIFICO = 1.009 \frac{g}{cm^3}$$

### Ensayo de penetración (fig. 6.6)

El dato obtenido en este ensayo es de forma directa (fig. 6.7) y se realizo siguiendo el proceso y bajo las condiciones descritas en el apartado 3.2.2.

El resultado obtenido al realizar en ensayo fue de: 51 dmm de penetración.



FIG. 6 7 ENSAYO DE PENETRACIÓN

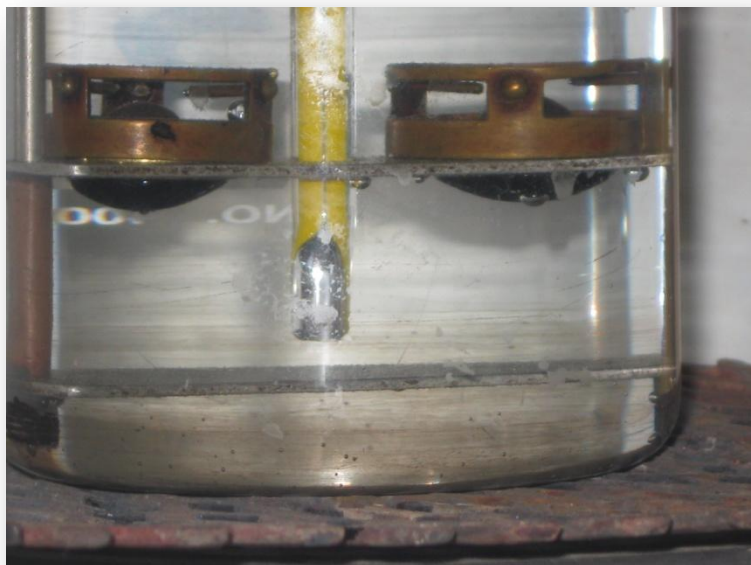


FIG. 6 6 PENETRACIÓN DE AGUJA

### Punto de ablandamiento (fig. 6.8)

En este ensayo al igual que el anterior el resultado obtenido es de forma directa y mide la temperatura a la cual el material tiende a fluir, el proceso de este ensayo se describe en el apartado 3.2.1.

El resultado obtenido al realizar el ensayo fue de: 52<sup>0</sup>C



**FIG. 6 8 PUNTO DE ABLANDAMIENTO ANILLO ESFERA**

#### **Ductilidad 25°C, 5cm/min, (cm)**

El resultado es directo en el que se mide la elongación del espécimen ensayado, el procedimiento de ensayo esta descrito en capítulo III, específicamente en el apartado 3.2.4.

El resultado obtenido al realizar el ensayo fue de: 67 cm

#### **Solubilidad en Tricloroetileno**

El resultado es directo y es una medida de la solubilidad del asfalto en tricloroetileno en donde la parte que sea soluble representa los constituyentes cementantes activos, los resultados son expresados en porcentaje de solubilidad, el procedimiento de ensayo esta descrito en capítulo III, específicamente en el apartado 3.2.5.

El resultado obtenido en al realizar el ensayo fue de: 99.3%

### 6.1.2.5 Ensayos Adicionales

#### Peso por unidad de volumen de la emulsión (fig. 6.9)

El procedimiento de cálculo es similar al de la gravedad específica, con la única diferencia es que el análisis efectuado es para la emulsión y no para el cemento asfáltico como el caso anterior. Los cálculos y datos de laboratorio (CUADRO 6.) se muestran a continuación:

**CUADRO 6. 4**

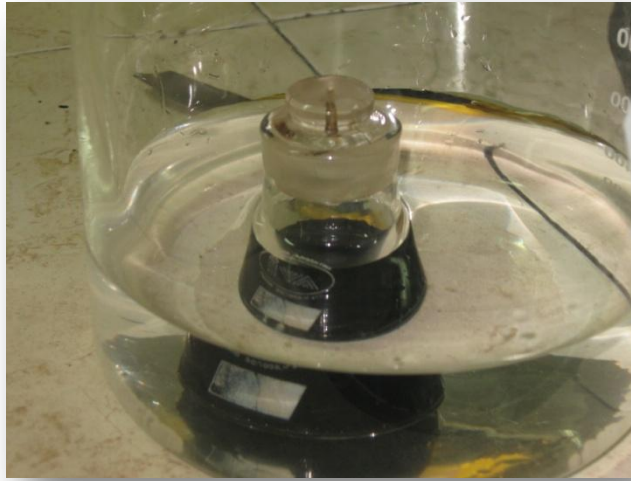
**DATOS DE LABORATORIO PARA ENSAYO DE PESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE LA EMULSIÓN**

<b>Peso de Recipiente (A)</b>	<b>45.5233 g</b>
<b>Peso Recipiente + Agua (B)</b>	<b>79.3118 g</b>
<b>Peso Recipiente + Emulsión (C)</b>	<b>74.8842 g</b>

$$DENSIDAD = \frac{C - A}{B - A}$$

$$DENSIDAD = \frac{79.8842 - 45.5233}{79.3118 - 45.5233}$$

$$DENSIDAD = 1.017 \frac{g}{cm^3}$$




**FIG. 6 9 ENSAYO DE PESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE EMULSIÓN**

### **6.1.3 Resultados de los Ensayos**


A continuación se presentan los certificados de calidad y clasificación de emulsiones asfálticas mostrando en ellos los parámetros requeridos por las normativas internacionales ASTM y AASHTO. Estos certificados incluyen los resultados obtenidos durante los ensayos de laboratorio, descritos en capítulo III, cuyo proceso de cálculo se muestra en sección 6.1.2, siendo el mismo para los diferentes tipos de emulsión en análisis.




## FORMATO 6.1 RESULTADOS DE EMULSIÓN CATIONICA DE ROMPIMIENTO LENTO (CSS-1h).

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR				
	FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE				
	RESULTADOS DE PRUEBAS DE LABORATORIO REALIZADAS A EMULSIONES Y RESIDUO				
	TESIS: "ESTADO DEL ARTE DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS EN EL SALVADOR"				
<b>CERTIFICADO DE CONTROL DE CALIDAD Y CLASIFICACION DE EMULSIONES ASFALTICAS</b>					
<b>DATOS GENERALES DE IDENTIFICACION DEL PRODUCTO</b>					
CLASIFICACION Y TIPO DE EMULSIÓN ASFÁLTICA:					EMULSIÓN CATIONICA DE ROMPIMIENTO LENTO (CSS-1h)
FECHA DE ELABORACIÓN DEL CERTIFICADO:					
FECHA DE PRODUCCIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA:					
ORDEN DE PRODUCCIÓN:					
TANQUE DE ALMACENAMIENTO:					
ASFALTO BASE UTILIZADO:					AC-30 CUADRO 2.2
<b>ESPECIFICACION ESTANDAR PARA EMULSIONES ASFALTICAS CATIONICAS (ASTM D-2397) (AASHTO M-208)</b>					
<b>REQUERIMIENTO</b>	<b>ESPECIFICACION DE ENSAYO</b>	<b>MIN</b>	<b>MAX</b>	<b>RESULTADO</b>	
<b>CONSISTENCIA</b>					
Viscosidad Salybolt Furol a 25°C (Seg)	ASTM D 244 (AASHTO-T59)	20	100	<b>31</b>	
<b>COMPOSICION</b>					
Carga de Partículas	ASTM D 244 (AASHTO-T59)	***	***	<b>POSITIVA</b>	
Residuo por evaporación (%)	ASTM D 244 (AASHTO-T59)	57	***	<b>62.03</b>	
Residuo por Destilación (%)	ASTM D 244 (AASHTO-T59)	57	***	<b>62.03</b>	
<b>ESTABILIDAD</b>					
Prueba de Malla, (%)	ASTM D 244 (AASHTO-T59)	***	0.1	<b>0.02</b>	
Prueba de Estabilidad al Almacenamiento a 24h. (%)	ASTM D 244 (AASHTO-T59)	***	1	<b>0.51</b>	
Prueba de sedimentación, 5 días, (%)	ASTM D 244 (AASHTO-T59)	***	***	<b>1.99</b>	
<b>EXAMINACION DEL RESIDUO</b>					
Gravedad Especifica	ASTM D-70) (AASHTO T-228)	***	***	<b>1.018</b>	
Penetración, 25°C, 100g, 5s (dmm)(*)	(ASTM D-5) (AASHTO T-49)	40	90	<b>51</b>	
Ductibilidad 25°C, 5cm/min, (cm)	ASTM D-113) (AASHTO T-51)	40	***	<b>67</b>	
Punto de Ablandamiento, (°C)	(ASTM D-36) (AASHTO T-53)	***	***	<b>52</b>	
Solubilidad en Tricloroetileno, (%)	ASTM D-2042) (AASHTO T-44)	97.5	***	<b>99.3</b>	

## FORMATO 6.2 RESULTADOS DE EMULSIÓN CATIONICA DE ROMPIMIENTO MEDIO (CI-IMPRIMACIÓN).

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR				
	FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE				
	RESULTADOS DE PRUEBAS DE LABORATORIO REALIZADAS A EMULSIONES Y RESIDUO				
	TESIS: "ESTADO DEL ARTE DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS EN EL SALVADOR"				
<b>CERTIFICADO DE CONTROL DE CALIDAD Y CLASIFICACION DE EMULSIONES ASFALTICAS</b>					
<b>DATOS GENERALES DE IDENTIFICACION DEL PRODUCTO</b>					
CLASIFICACION Y TIPO DE EMULSIÓN ASFÁLTICA:					ROMPIMIENTO MEDIO (CI-IMPRIMACION)
FECHA DE ELABORACIÓN DEL CERTIFICADO:					
FECHA DE PRODUCCIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA:					
ORDEN DE PRODUCCIÓN:					
TANQUE DE ALMACENAMIENTO:					
ASFALTO BASE UTILIZADO:					AC-20 CUADRO 2.2
<b>ESPECIFICACIÓN ESTANDAR PARA EMULSIONES ASFALTICAS CATIONICAS (ASTM D-2397) (AASHTO M-208)</b>					
<b>REQUERIMIENTO</b>	<b>ESPECIFICACION DE ENSAYO</b>	MIN	MAX	RESULTADO	
<b>CONSISTENCIA</b>					
Viscosidad Salybolt Furol a 25°C (Seg)	ASTM D 244 (AASHTO-T59)	20	100	<b>41</b>	
<b>COMPOSICION</b>					
Carga de Partículas	ASTM D 244 (AASHTO-T59)	***	***	<b>POSITIVA</b>	
Residuo por evaporación (%)	ASTM D 244 (AASHTO-T59)	57	***	<b>62.24</b>	
Residuo por Destilación (%)	ASTM D 244 (AASHTO-T59)	57	***	<b>62.27</b>	
<b>ESTABILIDAD</b>					
Prueba de Malla, (%)	ASTM D 244 (AASHTO-T59)	***	0.1	<b>0.03</b>	
Prueba de Estabilidad al Almacenamiento a 24h. (%)	ASTM D 244 (AASHTO-T59)	***	1	<b>0.32</b>	
Prueba de sedimentación, 5 días, (%)	ASTM D 244 (AASHTO-T59)	***	***	<b>0.85</b>	
<b>EXAMINACION DEL RESIDUO</b>					
Gravedad Especifica	ASTM D-70) (AASHTO T-228)	***	***	<b>1.014</b>	
Penetración, 25°C, 100g, 5s (dmm)(*)	(ASTM D-5) (AASHTO T-49)	40	90	<b>69</b>	
Ductibilidad 25°C, 5cm/min, (cm)	ASTM D-113) (AASHTO T-51)	40	***	<b>83</b>	
Punto de Ablandamiento, (°C)	(ASTM D-36) (AASHTO T-53)	***	***	<b>51</b>	
Solubilidad en Tricloroetileno, (%)	ASTM D-2042) (AASHTO T-44)	97.5	***	<b>99.73</b>	


## FORMATO 6.3 RESULTADOS DE EMULSIÓN CATIONICA DE ROMPIMIENTO ACELERADO (CQS-1hp).

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR				
	FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE				
	RESULTADOS DE PRUEBAS DE LABORATORIO REALIZADAS A EMULSIONES Y RESIDUO				
	TESIS: "ESTADO DEL ARTE DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS EN EL SALVADOR"				
CERTIFICADO DE CONTROL DE CALIDAD Y CLASIFICACION DE EMULSIONES ASFALTICAS					
DATOS GENERALES DE IDENTIFICACION DEL PRODUCTO					
CLASIFICACION Y TIPO DE EMULSIÓN ASFÁLTICA:					EMULSIÓN CATIONICA DE ROMPIMIENTO ACELERADO (CQS-1hp)
FECHA DE ELABORACIÓN DEL CERTIFICADO:					
FECHA DE PRODUCCIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA:					
ORDEN DE PRODUCCIÓN:					
TANQUE DE ALMACENAMIENTO:					
ASFALTO BASE UTILIZADO:					AC-20 CUADRO 2.2
ESPECIFICACIÓN ESTANDAR PARA EMULSIONES ASFALTICAS CATIONICAS (ASTM D-2397) (AASHTO M-208)					
REQUERIMIENTO	ESPECIFICACION DE ENSAYO	MIN	MAX	RESULTADO	
CONSISTENCIA					
Viscosidad Salybolt Furol a 25°C (Seg)	ASTM D 244 (AASHTO-T59)	20	100	24	
COMPOSICION					
Carga de Partículas	ASTM D 244 (AASHTO-T59)	***	***	POSITIVA	
Residuo por evaporación (%)	ASTM D 244 (AASHTO-T59)	62	***	62.82	
Residuo por Destilación (%)	ASTM D 244 (AASHTO-T59)	62	***	63.31	
ESTABILIDAD					
Prueba de Malla, (%)	ASTM D 244 (AASHTO-T59)	***	0.1	0.003	
Prueba de Estabilidad al Almacenamiento a 24h. (%)	ASTM D 244 (AASHTO-T59)	***	1	0.38	
Prueba de sedimentación, 5 días, (%)	ASTM D 244 (AASHTO-T59)	***	***	1.84	
EXAMINACION DEL RESIDUO					
Gravedad Específica	ASTM D-70) (AASHTO T-228)	***	***	1.022	
Penetración, 25°C, 100g, 5s (dmm)(*)	(ASTM D-5) (AASHTO T-49)	40	90	57	
Ductibilidad 25°C, 5cm/min, (cm)	ASTM D-113) (AASHTO T-51)	40	***	89	
Punto de Ablandamiento, (°C)	(ASTM D-36) (AASHTO T-53)	***	***	57	
Solubilidad en Tricoroetileno, (%)	ASTM D-2042) (AASHTO T-44)	97.5	***	98.5	

## FORMATO 6.4 RESULTADOS DE EMULSIÓN CATIONICA DE ROMPIMIENTO RÁPIDO (CRS-1).

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR				
	FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE				
	RESULTADOS DE PRUEBAS DE LABORATORIO REALIZADAS A EMULSIONES Y RESIDUO				
	TESIS: "ESTADO DEL ARTE DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS EN EL SALVADOR"				
<b>CERTIFICADO DE CONTROL DE CALIDAD Y CLASIFICACION DE EMULSIONES ASFALTICAS</b>					
<b>DATOS GENERALES DE IDENTIFICACION DEL PRODUCTO</b>					
CLASIFICACION Y TIPO DE EMULSIÓN ASFÁLTICA:					EMULSIÓN CATIONICA DE ROMPIMIENTO RAPIDO (CRS-1)
FECHA DE ELABORACIÓN DEL CERTIFICADO:					
FECHA DE PRODUCCIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA:					
ORDEN DE PRODUCCIÓN:					
TANQUE DE ALMACENAMIENTO:					
ASFALTO BASE UTILIZADO:					AC-20 CUADRO 2.2
<b>ESPECIFICACIÓN ESTANDAR PARA EMULSIONES ASFALTICAS CATIONICAS (ASTM D-2397) (AASHTO M-208)</b>					
<b>REQUERIMIENTO</b>	<b>ESPECIFICACION DE ENSAYO</b>	<b>MIN</b>	<b>MAX</b>	<b>RESULTADO</b>	
<b>CONSISTENCIA</b>					
Viscosidad Salybolt Furol a 50°C (Seg)	ASTM D 244 (AASHTO-T59)	20	100	<b>30</b>	
<b>COMPOSICION</b>					
Carga de Partículas	ASTM D 244 (AASHTO-T59)	***	***	<b>POSITIVA</b>	
Residuo por evaporación (%)	ASTM D 244 (AASHTO-T59)	60	***	<b>62.36</b>	
Residuo por Destilación (%)	ASTM D 244 (AASHTO-T59)	60	***	<b>61.95</b>	
<b>ESTABILIDAD</b>					
Prueba de Malla, (%)	ASTM D 244 (AASHTO-T59)	***	0.1	<b>0.03</b>	
Prueba de Estabilidad al Almacenamiento a 24h. (%)	ASTM D 244 (AASHTO-T59)	***	1	<b>0.25</b>	
Prueba de sedimentación, 5 días, (%)	ASTM D 244 (AASHTO-T59)	***	***	<b>0.60</b>	
<b>EXAMINACION DEL RESIDUO</b>					
Gravedad Especifica	ASTM D-70) (AASHTO T-228)	***	***	<b>1.025</b>	
Penetración, 25°C, 100g, 5s (dmm)(*))	(ASTM D-5) (AASHTO T-49)	40	100	<b>63</b>	
Ductibilidad 25°C, 5cm/min, (cm)	ASTM D-113) (AASHTO T-51)	40	***	<b>52</b>	
Punto de Ablandamiento, (°C)	(ASTM D-36) (AASHTO T-53)	***	***	<b>51</b>	
Solubilidad en Tricoroetileno, (%)	ASTM D-2042) (AASHTO T-44)	97.5	***	<b>99.4</b>	

## FORMATO 6.5 RESULTADOS A EMULSIÓN CATIONICA DE ROMPIMIENTO RÁPIDO (CRS-2).

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR				
	FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE				
	RESULTADOS DE PRUEBAS DE LABORATORIO REALIZADAS A EMULSIONES Y RESIDUO				
	TESIS: "ESTADO DEL ARTE DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS EN EL SALVADOR"				
<b>CERTIFICADO DE CONTROL DE CALIDAD Y CLASIFICACION DE EMULSIONES ASFALTICAS</b>					
<b>DATOS GENERALES DE IDENTIFICACION DEL PRODUCTO</b>					
CLASIFICACION Y TIPO DE EMULSIÓN ASFÁLTICA:					EMULSIÓN CATIONICA DE ROMPIMIENTO RAPIDO (CRS-2)
FECHA DE ELABORACIÓN DEL CERTIFICADO:					
FECHA DE PRODUCCIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA:					
ORDEN DE PRODUCCIÓN:					
TANQUE DE ALMACENAMIENTO:					
ASFALTO BASE UTILIZADO:					AC-20 CUADRO 2.2
<b>ESPECIFICACIÓN ESTANDAR PARA EMULSIONES ASFALTICAS CATIONICAS (ASTM D-2397) (AASHTO M-208)</b>					
<b>REQUERIMIENTO</b>		<b>ESPECIFICACION DE ENSAYO</b>	<b>MIN</b>	<b>MAX</b>	<b>RESULTADO</b>
<b>CONSISTENCIA</b>					
Viscosidad Salybolt Furol a 50°C (Seg)		ASTM D 244 (AASHTO-T59)	100	400	95
<b>COMPOSICION</b>					
Carga de Partículas		ASTM D 244 (AASHTO-T59)	***	***	POSITIVA
Residuo por evaporación (%)		ASTM D 244 (AASHTO-T59)	62	***	65.50
Residuo por Destilación (%)		ASTM D 244 (AASHTO-T59)	62	***	65.38
<b>ESTABILIDAD</b>					
Prueba de Malla, (%)		ASTM D 244 (AASHTO-T59)	***	0.1	0.06
Prueba de Estabilidad al Almacenamiento a 24h. (%)		ASTM D 244 (AASHTO-T59)	***	1	0.98
Prueba de sedimentación, 5 días, (%)		ASTM D 244 (AASHTO-T59)	***	***	3.85
<b>EXAMINACION DEL RESIDUO</b>					
Gravedad Específica		ASTM D-70) (AASHTO T-228)	***	***	1.022
Penetración, 25°C, 100g, 5s (dmm)(*)		(ASTM D-5) (AASHTO T-49)	40	90	71
Ductibilidad 25°C, 5cm/min, (cm)		ASTM D-113) (AASHTO T-51)	40	***	80
Punto de Ablandamiento, (°C)		(ASTM D-36) (AASHTO T-53)	***	***	50
Solubilidad en Tricoroetileno, (%)		ASTM D-2042) (AASHTO T-44)	97.5	***	99.1

## **6.2 APLICACIÓN PRÁCTICA**

Como se mencionó en el capítulo V, en esta sección se abordará como ejemplo práctico sobre la utilización que en la actualidad se da a las emulsiones asfálticas en El Salvador un micro-pavimento en tareas de mantenimiento de la red vial, el cual se encuentra descrito en forma detallada en la sección 5.1 abordando desde su definición básica, las características a considerar en su proceso de diseño obedeciendo a normativas internacionales y las condiciones para ser empleado.

Esta aplicación es utilizada en la actualidad por ASFALCA, por lo que el caso práctico descrito es referente a un proyecto en particular realizado por la empresa antes mencionada.

### **6.2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

El proyecto en cuestión es ejecutado por ASFALCA S.A de C.V, como parte del mantenimiento periódico efectuado por FOVIAL, cuya aplicación es un Micro-pavimento tipo III, con el fin de mejorar las características del pavimento existente, dando solución a problemas derivados del desgaste progresivo que este experimenta debido al tráfico vehicular.

### **6.2.2 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO**

Tramo redondel Integración – El Jabalí Eje 09, Eje 42 y RN07w departamento de La Libertad. (fig. 6.10, anexo 1 y 2)



FIG. 6 10 JABALÍ EJE 09, EJE 42 Y RN07W DEPTO. DE LA LIBERTAD

### 6.2.3 OBJETIVO:

Proporcionar a la superficie de asfalto existente las condiciones que ayuden a mejorar sus propiedades antiderrapantes y de impermeabilidad y a si favorecer el transito.

### 6.2.4 RESULTADOS DE ENSAYOS

A continuación se presentan los resultados de las pruebas exigidas como requerimientos técnicos para proyectos de mantenimiento periódico ejecutados por FOVIAL, específicamente para un micro-pavimento, mediante un reporte de campo compuesto por los ensayos que se mencionan a continuación con su respectiva interpretación.

#### **6.2.4.1 Interpretación de resultados para análisis de micro pavimento**

- **Contenido de Arcilla en Agregado Fino (Valor de Equivalente de Arena) (ASTM D-2419 y AASHTO T-176) (FORMATO 6.6)**

Esta prueba expresa en forma porcentual la relación entre la arena y el material arcilloso contenido en el agregado que será utilizado para la elaboración de la mezcla asfáltica. El agregado fino tiene la función de llenar en conjunto con el material asfáltico los vacíos dejados por el agregado grueso y facilitar las tareas de mezclado razón por la cual se sugiere en la ISSA A- 143 un contenido mínimo del 60% que para el análisis desarrollado en este documento a una muestra de agregado se obtuvo un resultado de 77% satisfaciendo los requerimientos.

- **Análisis granulométrico de agregado grueso (AASHTO T27 Y ASTM C-136) y fino (AASHTO T-11 Y FLH T-512). (FORMATO 6.7-6.8)**

Los resultados de esta prueba pretenden determinar la composición granulométrica de los agregados a ser utilizados para la fabricación de mezclas. Estos son realizados al material en el sitio de acopio para verificar su cumplimiento según los requerimientos establecidos en la ISSA A-143 y el agregado después de la extracción de asfalto para comprobar que los requisitos granulométricos se mantienen después del proceso de elaboración de la mezcla. Estos persiguen que la mezcla tenga una adecuada distribución de partículas y así posean un mejor desempeño originado por un buen acomodamiento de estas, para lo cual sus contenidos deben mantenerse dentro de los límites establecidos en la normativa ya mencionada.



- **Métodos de Prueba Estándar para la Extracción Cuantitativa de Bitumen de Mezclas Bituminosas para pavimentos ``Método A`` (ASTM-D2172). (FORMATO 6.9)**

**Cálculos para la determinación del contenido de asfalto:**

Determinación del volumen del asfalto y finos en lo extraído,  $V_1$ .

ECUACION:

$$V_1 = V_2 - \left( \frac{M_1 - M_2}{G_1} \right)$$

DATOS:

$V_2 = 2067.9 \text{ m}^3$  (Volumen del frasco)

$M_1 = 2693.6 \text{ g}$  (Peso del contenido del frasco)

$M_2 = 140.7 \text{ g}$  (Peso del asfalto y los finos en la extracción)

$G_1 = 1,323$  (Gravedad Especifica del solvente)

$$V_1 = 2067.9 - \frac{(2693.6 - 140.7)}{1323}$$

$$V_1 = 138.3 \text{ cm}^3$$

**Determinación de la masa de finos en lo extraído,  $M_3$ .**

ECUACIÓN:

$$M_3 = K(M_2 - G_3V_1)$$

DATOS:

$$K = 1,676 \quad K = \frac{G_2}{G_2 - G_3}$$

$G_2 = 2.515$  (Gravedad Específica de los finos)

$M_2 = 140.7$  g (Peso del asfalto y los finos en la extracción)

$G_3 = 1,014$  (Gravedad Especifica del asfalto)

$V_1 = 138.3$  cm<sup>3</sup> (Volumen del asfalto y finos en lo extraído)

Peso finos adheridos al filtro = 0.6 g

$$M_3 = 1.676(140.7 - 1.014 * 138.3) + 0.6$$

$$M_3 = 1.3 \text{ g}$$

**Cálculo el contenido de asfalto en la mezcla:**

ECUACIÓN:

$$\text{Contenido de Asfalto} = \left[ \frac{(W_1 - W_2) - (W_3 + W_4)}{W_1 - W_2} \right]$$

DATOS:

$W_1 = 2250.1$  g Peso porción de Ensayo

$W_2 = 0.0$  g. Peso agua en porción de Ensayo

$W_3 = 2109.4$  g Peso del Agregado lavado

$W_4 = 1.3$  g Masa de materia mineral en el extracto

$$\text{Contenido de Asfalto} = \frac{(2250.1 - 0.0) - (2109.4 - 1.3)}{(2250.1 - 0.0)}$$

$$\text{Contenido de Asfalto} = 0.619 * 100$$

$$\text{Contenido de Asfalto} = 6.19 \%$$

Basado en los requerimientos para micro pavimentos según la ISSA A 143 Se necesita un contenido de residuo asfáltico en las mezclas de 5.5% a 9.5% por peso de agregado seco por lo cual se satisface y se presenta en FORMATO 6.9.

- **ISSA TB -100 (WTAT): Método de prueba para la Abrasión en Húmedo de Superficies de Lechada Asfáltica: Calculo del % mínimo de emulsión asfáltica. (FORMATO 6.10)**

Esta prueba tiene como finalidad medir la resistencia que poseerá una superficie elaborada con un micro pavimento ante la acción abrasiva que representa el tráfico, esto en condiciones climáticas adversas como lo es la saturación con agua para lo cual se obtiene un parámetro cuantitativo de la pérdida de material por unidad de superficie que se desprende al someter la muestra a la prueba descrita en la ISSA TB 100 mencionado en la sección 5.1.3 y que persigue determinar el contenido mínimo de emulsión asfáltica que impida la pérdida de agregados.

En la situación practica estudiada en este documento se tomara como parámetro de referencia una pérdida máxima de 538 gr/ m<sup>2</sup> según lo establecido por la ISSA A-143 para un micro pavimento tipo III (CUADRO 5.2).

Para su determinación se hace uso de la determinación de pesos inicial y posterior a la realización de la prueba y la diferencia entre estos indicará la cantidad de material perdido.

- **ISSA TB-109 (LWT): Método de prueba para la medición del Exceso de asfalto en Mezclas Bituminosas por el uso del Probador de Rueda Cargada y Adhesión de Arena: Calculo del % Máximo de Emulsión de Diseño. (FORMATO 6.10)**

Esta prueba persigue determinar el contenido máximo de material asfáltico en mezclas de micro pavimento mediante la determinación de la cantidad de arena adherida a los especímenes originado por la aplicación de la carga de tráfico. La cantidad de arena adherida es un indicativo del posible exceso de material asfáltico en la mezcla y que es sacado a la superficie por la acción constante de aplicación de carga a la estructura de pavimento pudiendo originar así un pavimento con características de rugosidad deficientes y una inadecuada fricción interna de los agregados constituyentes de la mezcla. Para la evaluación de esta prueba se toma como un límite máximo de 538 gr/m<sup>2</sup> de arena adherida expresado en la ISSA TB 109.

Es de mencionar que tanto la prueba de rueda cargada y pérdida por abrasión en húmedo son considerados en la normativa ISSA A -143 para la determinación del contenido óptimo de emulsión asfáltica dentro del proceso de diseño de un micro pavimento pero en el caso que se aborda en este documento estas pruebas fueron realizadas para medir y comprobar el comportamiento de una mezcla de micro pavimento tipo III utilizado en actividades de mantenimiento periódico del sistema vial de El Salvador debido a que el diseño de mezcla previamente realizado y que tuvo un tratamiento

estadístico para así determinar el contenido óptimo de emulsión a ser usado en esta actividad.

Por tanto los datos que se contenidos en el FORMATO 6.10 muestran el cumplimiento de las condiciones de pérdida y adherencia de material para la mezcla de micro pavimento utilizada, los cuales son promedios de una serie de cuatro muestras elaboradas en campo y que evidencian que se encuentra por debajo de los requerimientos límites establecidos en normas ISSA A-143 mostradas en CUADRO 6.5.

**CUADRO 6. 5**

**RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE MICRO-PAVIMENTO**


<b>Valor de referencia</b>	<b>Datos de campo (promedio de 4 muestras)</b>
<b>538 g/m<sup>2</sup> (perdida máxima)</b>	347.92 g/m <sup>2</sup>
<b>538 g/m<sup>2</sup> (adherencia máxima)</b>	203.87 g/m <sup>2</sup>

**FORMATO 6.6 Contenido de Arcilla en Agregado Fino (Valor de Equivalente de Arena) (ASTM D-2419 y AASHTO T-176).**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR				
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE				
TESIS: Estado del Arte de las Emulsiones Asfálticas en El Salvador				
Contenido de Arcilla en Agregado Fino (Valor de Equivalente de Arena) (ASTM D-2419 y AASHTO T-176).				
	<b>FECHA DE REPORTE:</b> PROYECTO: "Mantenimiento Periódico de las Rutas: Eje 09, Eje 42 y RN07w, Tramo: DV.SAL37N- Retorno el Jabalí".			
	<b>TIPO DE MATERIAL:</b> Agregado: Tipo III (Banco de aporte "La cantera San Diego")			
		<b>FECHA DE ENSAYO:</b>		
		<b>MUESTRA PARA:</b> Tratamiento Superficial Bituminoso: Micro-Surfacing Tipo III		
<b>Contenido de Arcilla en Agregado Fino (Valor de Equivalente de Arena)</b>				<b>(ASTM D-2419 y AASHTO T-176).</b>
DETALLE DE ENSAYO	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO
A: LECTURA APARENTE DE ARCILLA, cm	5.3	5.3	5.2	
B. LECTURA DE ARENA, cm	4.1	4.0	4.0	
<b>VALOR DE EQUIVALENTE DE ARENA (%), <math>VEA = (B/A) * 100</math></b>	77.36	75.47	76.92	77

## FORMATO 6.7 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO (AASHTO T27 Y ASTM C-136) Y FINO (AASHTO T-11 Y FLH T-512)

### GRANULOMETRÍA DE BANCO DE ACOPIO EN PROYECTO

	<b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b>						
	<b>FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE</b>						
	<b>TESIS: Estado del Arte de las Emulsiones Asfálticas en El Salvador</b>						
	<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO (AASHTO T27 Y ASTM C-136) Y FINO (AASHTO T-11 Y FLH T-512)</b>						
<b>FECHA:</b>		<b>PROYECTO: "Mantenimiento Periódico de las Rutas: Eje 09, Eje 42 y RN07w, Tramo: DV.SAL37N- Retorno el Jabalí".</b>					
<b>TIPO DE MATERIAL: TIPO III</b>		<b>UBICACIÓN DE TOMA DE MUESTRA:</b>					
<b>LABORATORIS TA:</b>		<b>MUESTRA PARA: GRANULOMETRÍA DE BANCO DE ACOPIO EN PROYECTO</b>					
<b>MATERIAL ANTES DEL LAVADO</b>		<b>MATERIAL LAVADO</b>		Revestimiento de material (menor a 75 µm (Nº200)) adherido al agregado, después de primer tamizado en seco (FLH-512, AASHTO T-11 Y ASTM C-117)			
				<b>UNIDADES</b>	<b>grs.</b>	<b>%</b>	
Peso Bruto Seco (grs.)	1236	Peso de Tara (grs.)	160,9	Calculo del pasante de la Malla 75 µm (Nº 200), por lavado.	53,3	4,96	
Tara (grs.)	160,9	P. Seco lavado + tara (grs.)	1182,7	Pasante de la Malla 75 µm (Nº 200), después de 1er. Tamizado en Seco.	10,9	1,01	
Peso Seco Neto sin Lavar (grs.)	1075,1	Peso Seco Neto lavado (grs.)	1021,8	Revestimiento adherido al agregado.	1,01		
<b>MALLA</b>							
		<b>Peso</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Especificación:</b>	
<b>Pulg.</b>	<b>mm.</b>	<b>Retenido Parcial</b>	<b>Retenido Parcial</b>	<b>Ret. Acumulado</b>	<b>que pasa</b>	<b>ISSA TIPO III</b>	
1"	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00		
3/4"	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00	Min	Max
1/2"	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00	100,0	100,0
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00	100,0	100,0
Nº4	4,76	108,00	10,05	10,05	89,95	70,0	90,0
Nº8	2,36	295,00	27,44	37,48	62,52	45,0	70,0
Nº16	1,18	250,00	23,25	60,74	39,26	28,0	50,0
Nº30	0,60	167,80	15,61	76,35	23,65	19,0	34,0
Nº50	0,30	93,50	8,70	85,04	14,96	12,0	25,0
Nº100	0,15	60,00	5,58	90,62	9,38	7,0	18,0
Nº200	0,075	36,60	3,40	94,03	5,97	5,0	15,0
FONDO		64,20	5,97	100,00	0,00		
<b>TOTALES</b>		1075,10	100,00				
<b>ESTRUCTURA DEL AGREGADO</b>							
						GRAVAS:	10,05 %
						ARENAS:	83,98 %
						FINOS:	5,97 %
						TOTAL:	100,00 %

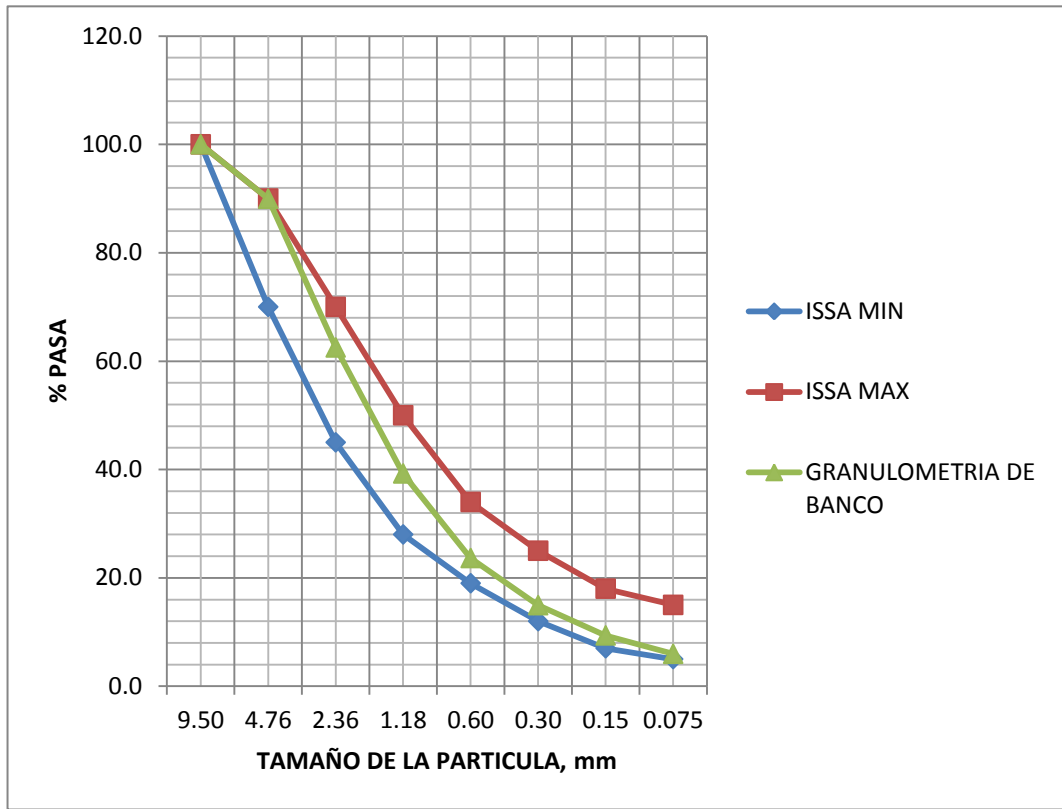



FIG. 6 11 CURVA GRANULOMÉTRICA DE BANCO DE ACOPIO EN PROYECTO



## FORMATO 6. 8 ANÁLISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADO GRUESO (AASHTO T27 Y ASTM C-136) Y FINO (AASHTO T-11 Y FLH T-512)

### GRANULOMETRÍA DE COMPROBACIÓN POR EXTRACCIÓN DE ASFALTO

		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR					
		FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE					
		TESIS: Estado del Arte de las Emulsiones Asfálticas en El Salvador					
		ANÁLISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADO GRUESO (AASHTO T27 Y ASTM C-136) Y FINO (AASHTO T-11 Y FLH T-512)					
FECHA:		PROYECTO: "Mantenimiento Periódico de las Rutas: Eje 09, Eje 42 y RN07w, Tramo: DV.SAL37N- Retorno el Jabalí".					
TIPO DE MATERIAL: TIPO III		UBICACION DE TOMA DE MUESTRA:					
LABORATORIST A:		MUESTRA PARA: GRANULOMETRIA DE COMPROBACIÓN POR EXTRACCIÓN DE ASFALTO					
MATERIAL ANTES DEL LAVADO		MATERIAL LAVADO		Revestimiento de material (menor a 75 µm (Nº200)) adherido al agregado, después de primer tamizado en seco (FLH-512, AASHTO T-11 Y ASTM C-117)			
				<b>UNIDADES</b>		<b>grs.</b>	<b>%</b>
Peso Bruto Seco (grs.)	1660	Peso de Tara (grs.)	226,5	Calculo del pasante de la Malla 75 µm (Nº 200), por lavado.		97,5	6,8
Tara (grs.)	226,5	P. Seco lavado + tara (grs.)	1562,5	Pasante de la Malla 75 µm (Nº 200), después de 1er. Tamizado en Seco.		11,9	0,83
Peso Seco Neto sin Lavar (grs.)	1433,5	Peso Seco Neto lavado (grs.)	1336	Revestimiento adherido al agregado.		0,83	
MALLA		Peso	Porcentaje	Porcentaje	Porcentaje	Especificación:	
Pulg.	mm.	Retenido Parcial	Retenido Parcial	Ret. Acumulado	que pasa	ISSA TIPO III	
1"	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00		
3/4"	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00	Min	Max
1/2"	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00	100,0	100,0
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00	100,0	100,0
Nº4	4,76	146,20	10,20	10,20	89,80	70,0	90,0
Nº8	2,36	400,80	27,96	38,16	61,84	45,0	70,0
Nº16	1,18	333,70	23,28	61,44	38,56	28,0	50,0
Nº30	0,60	208,50	14,54	75,98	24,02	19,0	34,0
Nº50	0,30	115,40	8,05	84,03	15,97	12,0	25,0
Nº100	0,15	74,20	5,18	89,21	10,79	7,0	18,0
Nº200	0,075	45,30	3,16	92,37	7,63	5,0	15,0
FOND O		109,40	7,63	100,00	0,00		
TOTAL ES		1433,50	100,00				
Gravedad Especifica y Absorción de Agregado Grueso (AASHTO T-85 y ASTM C-127)				<b>ESTRUCTURA DEL AGREGADO</b>			
				GRAVAS:	10,20	%	
A. PESO DE LA MUESTRA SECA				1212,6	ARENAS:	82,17	%
B. PESO DE LA MUESTRA SUPERFICIALMENTE SECA (SSS)				1256,9	FINOS:	7,63	%
C. PESO MUESTRA SUMERGIDA				766,8	TOTAL:	100,00	%
Gravedad Especifica BULK				2.474			
Absorción (%)				3,65			

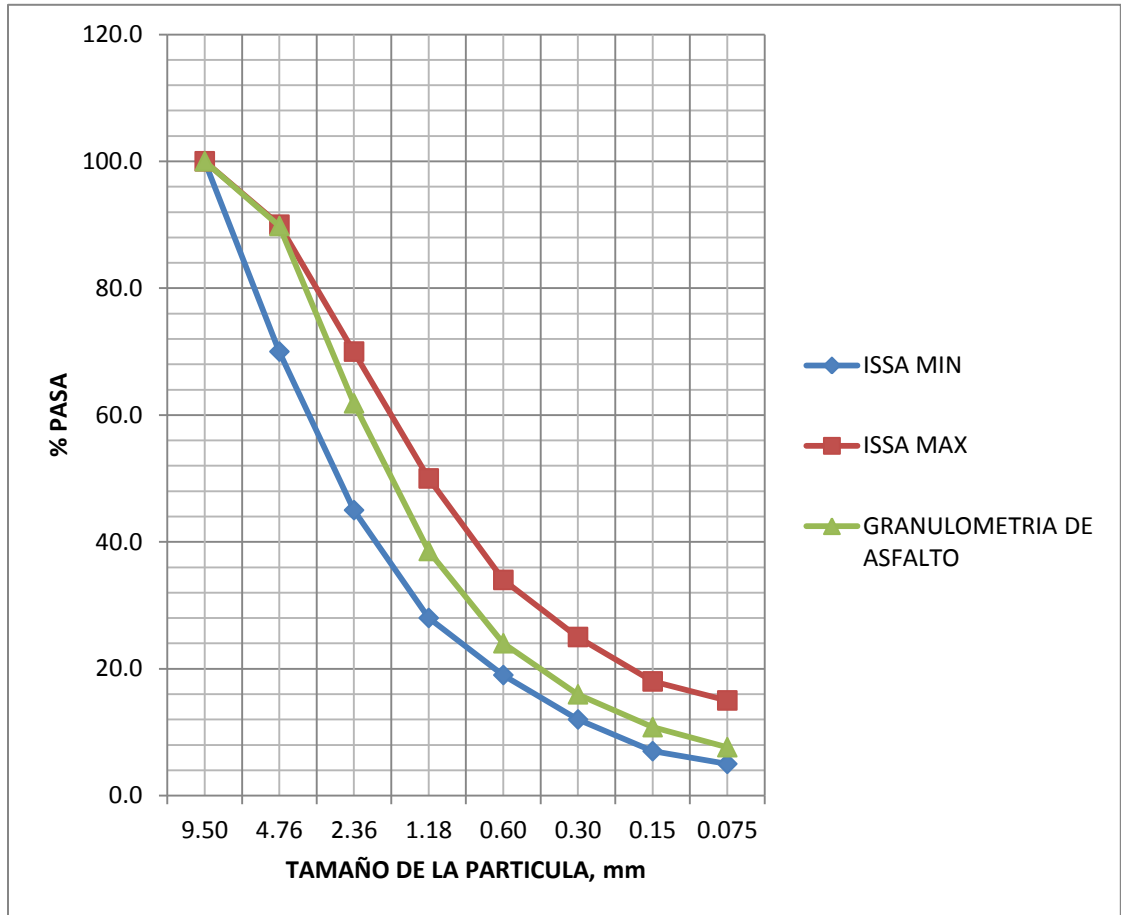


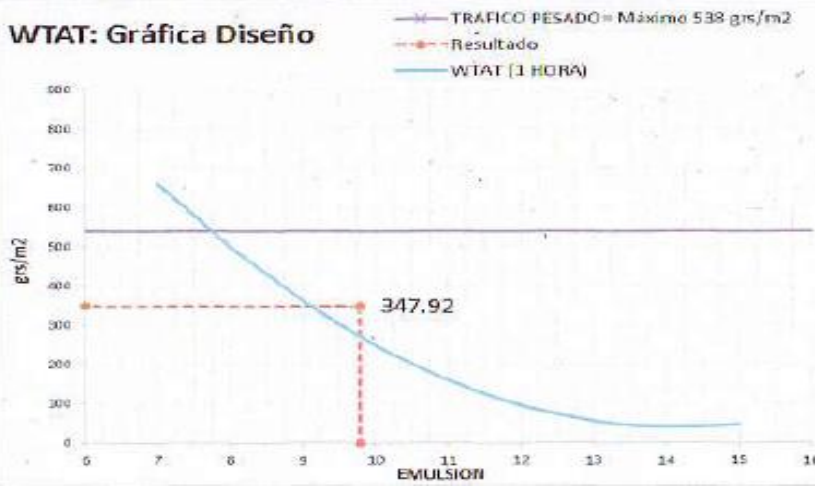



FIG. 6 12 CURVA GRANULOMÉTRICA DE COMPROBACIÓN POR EXTRACCIÓN DE ASFALTO

**FORMATO 6.9 Métodos de prueba estándar para la extracción cuantitativa de bitumen de mezclas bituminosas para pavimentos ``Método A`` (ASTM-D2172)**

		<b>Métodos de Prueba Estándar para la Extracción Cuantitativa de Bitumen de Mezclas Bituminosas para pavimentos ``Método A`` (ASTM-D2172)</b>
<b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FMOcc HOJA DE LABORATORIO</b>		
<b>PROYECTO: "Mantenimiento Periódico de las Rutas: Eje 09, Eje 42 y RN07w, Tramo: DV.SAL37N- Retorno el Jabalí".</b>		
<b>MATERIAL DE MUESTRA: MICROSURFACING TIPO III</b>		
<b>Determinación del Contenido de Asfalto</b> <b>Referencias: ASTM D2172, AASTHO T164</b> <b>Fecha de Muestreo:</b> <b>Fecha de Ensayo:</b>		<b>ECUACIONES</b> $V_1 = V_2 - \frac{(M_1 - M_2)}{(G_1)}$
Peso porción de Ensayo g, W1	2250.1	V 1 = Volumen del asfalto y finos en lo extraído V2 = Volumen del frasco M1 =Peso del contenido del frasco M 2 = Peso del asfalto y los finos en la extracción G1 = Gravedad Especifica del solvente aproximado a 0.001 en concordancia con los métodos de prueba D 2111.
Peso agua en porción de Ensayo (W2), g	0.0	
Peso inicial de filtro, g	20.6	
Peso final de filtro	21.2	
Peso finos adheridos al filtro, g	0.6	
Peso del Agregado lavado (W3), g	2109.4	
<b>DETERMINACION DE W4 (Método Volumétrico)</b>		$M_3 = K(M_2 - G_3 V_1)$
Peso del frasco mas Extraído, g	3125.9	M3 = Masa de finos en el extracto G2 = Gravedad Especifica de los finos de acuerdo con método de prueba C 128 G3 = Gravedad especifica del asfalto de acuerdo con método de prueba D 70 K = G2 / G2 - G3, V1 = Volumen del asfalto y finos en lo extraído M2 = Peso del asfalto y los finos en la extracción
Peso de frasco, g	432.3	
Peso del contenido del frasco, g (M1)	2693.6	
Peso del frasco con agua a 25°C aforado	2494.2	
Peso del Agua, g	2061.9	
Densidad del agua a 25°C	0.997075	
Volumen del frasco, V2, cm3	2067.9	
Volumen del asfalto y finos en lo extraído (V1), cm3	138.3	
Gravedad Especifica del solvente, G1	1,323	
Temperatura de lo extraído, °C	25	
Temperatura de calibración del frasco, °C	25	
Gravedad Especifica de los finos, G2	2,515	
Gravedad Especifica del asfalto G3	1,014	
K	1.676	
Peso del asfalto y los finos en la extracción M2	140.7	
Masa de materia mineral en el extracto (w4), g.	1.3	$\text{Contenido de Asfalto} = \frac{(W_1 - W_2) - (W_3 + W_4)}{W_1 - W_2}$
<b>Contenido de Asfalto %</b>	<b>6.19</b>	<b>OBSERVACION M3= W4</b>

## FORMATO 6. 10 ISSA TB -100 (WTAT) E ISSA TB-109 (LWT)

	<b>ISSA TB -100 (WTAT): Método de prueba para la Abrasión en Húmedo de Superficies de Lechada Asfáltica: Calculo del % mínimo de emulsión asfáltica</b> <b>ISSA TB-109 ( LWT): Método de prueba para la medición del Exceso de asfalto en Mezclas Bituminosas por el uso del Probador de Rueda Cargada y Adhesión de Arena: Calculo del % Máximo de Emulsión de Diseño</b>												
	FECHA DE REPORTE:						Proyecto:" Mantenimiento periódico de las rutas: Eje 09, Eje 42 y RN 07 w, Tramo: DV. SAL37N- Retorno El Jabalí"						
	TIPO DE MATERIAL: Agregado : Tipo III						Fecha de ensayo:						
	Bitumen: Emulsión Asfáltica						MUESTRA: Tratamiento superficial bituminoso: Microsurfacing tipo III						
<b>Calculo % mínimo y máximo de emulsión de diseño</b>													
% DE EMULSION	% DE RESIDUO ASFALTICO	ESPECIMENES WTAT (1 HORA)		ESPECIMENES LWT		PERDIDA (grs.)	ADHESION (grs)	PERDIDA (grs/m2)	ADHESION (grs/m2)	PROMEDIO		FACTOR MULTIPLICADOR	
		PESO INICIAL	PESO FINAL	PESO INICIAL	PESO FINAL	WTAT	LWT	WTAT	LWT	WTAT	LWT	WTAT	LWT
9.8	6.19	2396.00	2385.80	460.40	463.10	10.20	2.70	335.58	199.26	347.92	203.87	32.90	73.80
9.8	6.19	2663.50	2653.30	607.40	609.90	10.20	2.50	335.58	184.50				
9.8	6.19	2400.20	2388.30	595.2	597.95	11.90	2.75	391.51	202.95				
9.8	6.19	2259.60	2249.60	603.20	606.30	10.00	3.10	329.00	228.78				
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p><b>WTAT: Gráfica Diseño</b></p>  </div> <div style="width: 48%;"> <p><b>LWT: Gráfica Diseño</b></p>  </div> </div>													

# CAPITULO VII

## ELEMENTOS FINALES

## 7.1 CONCLUSIONES

- Las emulsiones asfálticas representan una alternativa viable desde el punto de vista ambiental al reducir las emisiones contaminantes y una ventaja económica al disminuir los costos necesarios para la ejecución de actividades debido a que ambos factores se encuentran íntimamente relacionados favoreciendo en gran medida las condiciones con que cuenta El Salvador.
- La descripción de los diferentes procesos para la realización de los ensayos de laboratorio contenidos en el presente documento puede ser utilizada como una guía de laboratorio y son una herramienta que facilita la comprensión de la importancia que estos poseen en la caracterización de los diferentes tipos de emulsiones asfálticas que son requeridos en El Salvador teniendo como base normativas internacionales y la experiencia práctica adquirida mediante su realización.
- En base a los resultados de los ensayos de laboratorio efectuados a los diferentes tipos de emulsiones asfálticas sujetos a estudio y la posterior comparación con los requerimientos internacionales se observa que estos cumplen satisfactoriamente estas condiciones por lo cual pueden ser categorizadas en la forma que estas normas establecen y aplicados a las diferentes actividades que se han estudiado en otros países.
- Mediante la caracterización de los distintos tipos de emulsiones asfálticas utilizadas en El Salvador como resultado de los ensayos realizados a las mismas y tomando de base el tipo de rompimiento, se han propuesto lineamientos que ayudan a seleccionar el tipo de emulsión que mejor se

adapte a la función buscada, aportando una guía para todos aquellos que trabajan con el producto.

Según lo mostrado en las certificaciones de calidad y clasificación de emulsiones asfálticas, presentadas en los formatos 6.1 al 6.5 se puede concluir que:

- La viscosidad Saybolt Furol para una emulsión tiene una relación directamente proporcional con la dureza del cemento asfáltico base utilizado en su elaboración, tal como lo demuestra el ensayo de Penetración del residuo asfáltico.
- La incorporación de Polímero a la emulsión aumenta las características de ductibilidad y Punto de ablandamiento del residuo asfáltico, favoreciendo a su desempeño de micro-pavimentos.
- El crecimiento tecnológico en cuanto a la utilización de emulsiones asfálticas en El Salvador ha ido en aumento, esto se demuestra en los diferentes proyectos que se han ejecutado a partir del año 1994 hasta la fecha en donde se ha dado a conocer el futuro prometedor de las emulsiones asfálticas.
- El micro-pavimento es una aplicación viable tanto para fines preventivos como correctivos en carpetas asfálticas, siendo esta una alternativa muy eficaz no solo por las condiciones que presentan los pavimentos asfálticos ya envejecidos en nuestro país; sino porque los costos en los que se incurren son bajos además de satisfacer varias necesidades viales a la vez.

## 7.2 RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio más profundo sobre las condiciones imperantes en El Salvador para dar solución a las problemáticas que existen mediante el uso de emulsiones asfálticas, tomando en cuentas las múltiples ventajas que éstas ofrecen.
- Generar guías que orienten la realización de ensayos de laboratorio para los materiales utilizados en obras de ingeniería civil en las que se consideren las condiciones y posibilidades tecnológicas con las que se cuentan en la región y son exigidas en la ejecución de obras.
- Mantener una constante evaluación de los requisitos de calidad para las emulsiones asfálticas por parte de las personas e instituciones dedicadas a su elaboración y utilización que garantice su cumplimiento y avance en concordancia con las innovaciones tecnológicas en esta área de aplicación.
- Los lineamientos presentados en este documento sobre la elección de la emulsión que mejor se adapte a una determinada aplicación, se recomienda en todo caso, sean acompañados de los ensayos de laboratorio para la evaluación de la emulsión y del agregado, buscando la mejor combinación sobre el uso buscado y así verificar su adecuación dependiendo de cada necesidad.



### 7.3 BIBLIOGRAFÍA

- ✓ WWW.MOP.GOB.SV
- ✓ WWW.FOVIAL.GOB.SV
- ✓ WWW.ASFALCA.COM.SV
- ✓ SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTE (INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE)  
  
EMULSIONES ASFÁLTICAS  
  
DOCUMENTO TÉCNICO N° 23, SANFANDILA, QRO, 2001
- ✓ ASFHALT EMULSIÓN MANUFACTURERS ASSOCIATION (AEMA)  
  
MANUAL BÁSICO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS, MANUAL SERIES N°19
- ✓ PROCEDIMIENTOS RECOMENDADOS PARA MICRO AGLOMERADOS ISSA - A-143/91 (INTERNATIONAL SLURRY SURFACING ASSOCIATION)
- ✓ REGLAMENTO TÉCNICO CENTROAMERICANO RTCA 75.01.22:04  
PRODUCTOS DE PETRÓLEO  
ASFÁLTOS  
ESPECIFICACIONES
- ✓ NORMAS ASTM 2000
- ✓ NORMAS NLT ESPAÑOLAS
- ✓ NORMAS PERUANAS PARA EMULSIONES MTC 2000

## 7.4 ANEXOS



**ANEXO 1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO, REDONDEL  
INTEGRACIÓN**



**ANEXO 2 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO, RETORNO EL JABALÍ**