

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



**“ESTABILIZACIÓN DE MATERIAL RECICLADO DE
CARPETA ASFÁLTICA, UTILIZANDO ASFALTO
ESPUMADO, MEDIANTE METODOLOGÍA WIRTGEN,
PARA SER EMPLEADO COMO BASE EN
PAVIMENTOS”**

PRESENTADO POR:

**GUERRERO ABREGO, OSCAR WILLIAN
MARTÍNEZ RODRÍGUEZ, ORLANDO ERNESTO
PORTILLO REVELO, JESSICA MARÍA**

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, AGOSTO DE 2014

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR :

Ph. D. ING. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

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

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO CIVIL

Título

:

**“ESTABILIZACIÓN DE MATERIAL RECICLADO DE
CARPETA ASFÁLTICA, UTILIZANDO ASFALTO
ESPUMADO, MEDIANTE METODOLOGÍA WIRTGEN,
PARA SER EMPLEADO COMO BASE EN
PAVIMENTOS”**

Presentado por

:

**GUERRERO ABREGO, OSCAR WILLIAN
MARTÍNEZ RODRÍGUEZ, ORLANDO ERNESTO
PORTILLO REVELO, JESSICA MARÍA**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores

:

**ING. DILBER ANTONIO SÁNCHEZ VIDES
ING. LUIS ANTONIO LÓPEZ LEMUS**

San Salvador, Agosto de 2014

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

ING. DILBER ANTONIO SÁNCHEZ VIDES

ING. LUIS ANTONIO LÓPEZ LEMUS

AGRADECIMIENTOS

A **DIOS TODOPODEROSO** por permitirnos finalizar nuestro trabajo de graduación con éxito y derramar múltiples bendiciones a lo largo de nuestros estudios, a pesar de todos los obstáculos que se presentaron, nos diste la serenidad y sabiduría para encontrar las soluciones y así lograr cumplir la meta que nos trazamos.

A nuestra **Alma Mater Universidad de El Salvador** por la formación superior que nos brindó, preparándonos para ejercer con ética y profesionalismo los conocimientos adquiridos y de esta manera aportando al país ingenieros competentes para el desarrollo del mismo.

A **los Docentes de la Escuela de Ingeniería Civil** por transmitir los conocimientos necesarios para nuestra formación profesional.

A **Constructora DISA S.A de C.V**, por permitirnos desarrollar los laboratorios de nuestro trabajo de graduación en las instalaciones de su planta asfáltica de igual forma por proporcionarnos de materiales y equipo necesarios en nuestra investigación, además de la asesoría técnica por parte de sus profesionales.

A los diferentes Profesionales de la Universidad de El Salvador y de la empresa Constructora DISA S.A de C.V que amablemente colaboraron con este trabajo de graduación, especialmente a:

Ing. Dilber Sánchez (UES)

Ing. Luis López (DISA)

Ing. Evelio López (UES)

Tec. Carmen Ramos (DISA)

Tec. Salvador Murcia (DISA)
Tec. Ricardo Méndez (DISA)
Tec. Mario Gutiérrez (DISA)
Ing. Ranulfo Cárcamo (UES)
Ing. Jorge Flores (UES)
Ing. Roberto Berganza (UES)
Ing. Mauricio Valencia (UES)
Dr. Edgar Peña (UES)
Tec. Carlos Morataya (UES)

Agradecemos de manera especial a nuestros compañeros y futuros colegas, por su amistad, su apoyo y su colaboración de manera desinteresada en este trabajo de graduación:

Josué Hernández
Jhony Gamez
Jorge Valdez
Ananías Hernández
Milagro Castañeda
Ledy Esquivel
Michelle Macias
Francisco Ferrer
Eliezar Díaz

“No nos cansemos de hacer el bien, porque a su debido tiempo cosecharemos si no nos damos por vencidos”. Gálatas 6:9

LOS AUTORES

DEDICATORIA

Un proyecto más de mi vida ha sido terminado satisfactoriamente, gracias a la bondad de nuestro Señor Jesucristo, que ha sido mi ayudador en todo tiempo. Desde el momento que opte por estudiar esta carrera supe de los obstáculos a los que me enfrentaría, pero sabía que esto ayudaría a forjar mi carácter y a desarrollar muchas cualidades en mí, que hicieron de mí una mejor persona. La pasión de aprender y el ánimo de muchos seres queridos que Dios uso para darme una palabra de bendición, serían una fortaleza en mi vida para poder superar cada dificultad y llegar a la meta trazada, es por ello que dedico este triunfo a todas las personas que creyeron y soñaron conmigo, en que un día llegaría ser ingeniero civil y gracias a Dios puedo decir lo LOGRE.

A DIOS TODOPODEROSO, por derramar la suficiente sabiduría e inteligencia en mí, para poder terminar con satisfacción mi carrera profesional, además de guardar y proteger mi vida siendo siempre mi refugio y mi pronto auxilio. Con este triunfo veo una vez más tu misericordia y fidelidad, toda la gloria y honra sea para ti mi Dios.

A MIS PADRES, **Oscar William Guerrero Rodríguez** y **Gloria Yanira Abrego Argueta**, agradezco, su amor incondicional, sus consejos oportunos, la educación moral y espiritual que me inculcaron, la confianza que me brindaron, por ser mis amigos y por ver en ellos un ejemplo de lucha y esfuerzo en la vida para así obtener bendiciones para la familia.

A MIS HERMANOS, **Cristofer Moisés Guerrero Abrego**, por ser mi mejor amigo, compañero de locuras y por inspirarme y darme aliento con tus palabras directas y sabias, **Ernesto Guerrero** por transmitirme alegría humildad y sencillez.

A MI HERMANA, **Génesis Abigail Guerrero Abrego**, por sus lindos deseos y el cariño que tiene para conmigo, aun en la distancia nuestros sinceros sentimientos y lazos de hermandad nos han mantenido unidos.

A MI ABUELA, **Gloria Esperanza Abrego**, agradezco sus consejos de oro y su amor sincero y por estar conmigo en momentos de alegría y tristeza.

A MI NOVIA, **Milagro Beatriz Castañeda Cardoza**, por brindarme su apoyo, ayuda, amor, comprensión, alegría y ánimo en los momentos necesarios.

A TODOS MIS FAMILIARES, y en especial a **Jorge Rodríguez**, **Rosa Guerrero** (Q.D.D.G) y **Evelin del Rosario Cruz**, por sus consejos, ánimos y creer en verme como ingeniero civil.

A MIS COMPAÑEROS DE TESIS, **Orlando Martínez** (Lando) y **Jessica Portillo** (Jeka), por haber aprendido mucho de ellos y agradezco a Dios por ponerlos en mi camino.

A TODOS MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS, por sus buenos deseos, su amistad verdadera y apoyo, **Fredy Granadeño**, **Eliezar Gil**, **Milagro Castañeda**, **Michelle Macias**, **Ledy Esquivel**, **Manuel de Jesús Juárez** y **Alejandra de Juárez**. Y a todas las personas que de una u otra manera me ayudaron, muchas gracias!!

A MIS PROFESORES, **Ing. Mauricio Valencia**, por compartir sus conocimientos y brindarme su amistad, **Ing. Dilber Sánchez**, por darme la oportunidad de realizar esta investigación que tanta satisfacción me trajo, **Ing. Evelio López** por su cordialidad y amabilidad.

“Encomienda a Jehová tus obras, y tus pensamientos serán afirmados.”

Proverbios 16.3

WILLIAN GUERRERO

DEDICATORIA

A DIOS TODO PODEROSO, por brindarme la sabiduría necesaria en cada momento de mi carrera, la perseverancia requerida en estos años de estudio y el deseo de nunca darme por vencido, gracias por la fortaleza en mis decisiones y brindarme su compañía en cada paso de mi vida con lo cual me ha permitido un primer gran logro al culminar mis estudios universitarios.

VIRGEN SANTÍSIMA, gracias por estar siempre a mi lado y abogar como la madre de bondad que eres y así permitirme lograr este primer paso, terminar mi trabajo de graduación, María Santísima acompaña siempre mi caminar.

Jesús colocó personas a largo de mis estudios para darme apoyo y ánimos cada vez que los necesite, por eso agradezco especialmente a:

A MI MADRE, **Margarita de Martínez**, por brindarme su apoyo incondicional y siempre tener palabras de aliento para nunca darme por vencido, por enseñarme la humildad y ser siempre noble en mis acciones, por estar conmigo en cada momento y creer siempre en mis capacidades, mostrándome que puedo dar más y realizar cada cosa que me proponga. Gracias por todo.

A MI PADRE, **Oscar Martínez**, por apoyarme en mis estudios y enseñarme a ser perseverante para culminar cada proyecto que me proponga, por mostrarme que debo ser firme en las decisiones y nunca darme por vencido aunque el camino sea largo. Gracias por creer en mí, el fruto de mis esfuerzos esta acá.

A MI HERMANO, **Sergio Martínez**, por su compañía en mis estudios y animarme a seguir adelante, por tenerme confianza y creer en mí, por ser un gran amigo en mi vida, hoy es parte de este primer logro al verme terminar mis estudios Universitarios.

A MI HERMANA, **Sandra Martínez**, por su apoyo a lo largo de mi carrera, por ser la que mostró el camino a sus hermanos que esta meta es posible, ahora ha sido mi turno y culmino esta etapa de formación.

A **MIS FAMILIARES**, tíos, abuelos y primos que han estado pendientes de mi proceso de formación y para el culmen de este trabajo de graduación no ha sido la excepción, gracias por su apoyo y ahora forman parte de este gran logro en mi vida.

A UNA AMIGA MUY ESPECIAL, **Jessica Portillo**, por acompañarme en mis últimos años de estudio y ser parte de mi grupo para este trabajo de graduación, por mostrarme que puedo dar más cada vez que me lo propongo y apoyarme en mis estudios brindándome confianza y aprecio, por estar presente en mis momentos de adversidad y brindarme las palabras de aliento necesarias para seguir adelante, hoy logramos este primer gran objetivo.

POR MI COMPAÑERO DE TESIS, **Willian Guerrero**, por apoyarme cada vez que lo necesite a lo largo de esta tesis y nunca darnos por vencido a pesar de la adversidad, lo hemos logrado y acá está el primer paso, nuestro primer triunfo culminar los estudios universitarios.

A MIS COMPAÑEROS, **Guillermo Berrios, Nelson Escalante y William Anaya**, por apoyarme a lo largo de mis estudios y darme las palabras de ánimo necesarias cada vez que las necesite. GRACIAS por su amistad, ya culminé esta etapa, animo que están cerca no se rindan.

“Esta es mi orden: Sé valiente y ten ánimos; no tiembles ni tengas miedo; Yahvé tu Dios está contigo donde quiera que tú vayas”. Josué 1:9

ORLANDO ERNESTO MARTÍNEZ RODRÍGUEZ

DEDICATORIA

A DIOS por permitirme culminar esta etapa de mi vida, gracias por iluminarme y bendecirme en cada momento, por escuchar siempre mis oraciones, por mostrarme su misericordia día con día, esta meta alcanzada definitivamente es muestra de su amor.

A MIS PADRES Gladys de Portillo y Daniel Portillo por su inmenso amor, por su apoyo y sacrificios. Gracias por escucharme siempre, por aconsejarme sabiamente, por confiar en mí, por ser mis mejores amigos, son mi orgullo y los pilares de mi vida, este triunfo también es de ustedes, los amo y agradezco a Dios la enorme bendición de tenerlos.

A MIS ABUELOS Roberto Revelo y María Dolores de Revelo, les estoy inmensamente agradecida por su apoyo, por escucharme y aconsejarme, por esas pláticas en las que sabiamente me enseñan sobre la vida, por sus oraciones, por su gran amor y por estar siempre pendientes de mí. Los amo abuelos, este triunfo está dedicado a ustedes.

A MIS HERMANAS Daniela y Gladis, por su apoyo, por su cariño, por su amistad, gracias hermanitas.

A MI FAMILIA Mamá Rosa, Tía Claudia, Tía Silvia, Tío Felipe y Primos, gracias por su apoyo, oraciones y amistad, los quiero mucho.

A MIS COMPAÑEROS DE TESIS Orlando y Will, el camino fue duro pero lo logramos y aun así nos divertimos mucho, hicimos un gran equipo. **Will**, fue un gusto trabajar contigo, espero que nuestra amistad se mantenga siempre, te quiero mucho. **Orlando**, no me alcanzan las palabras para agradecerte, eres mi

mejor amigo, gracias por tu inmenso apoyo, por darme ánimos y escucharme, eres una persona especial y no dudo que Dios te puso en mi camino para ayudarme a ser mejor persona, he aprendido mucho de ti, gracias.

A MIS AMIGOS Ledy, Jorge, Reynaldo, Jhony, Walther, Guillermo y Ángel hemos vivido momentos inolvidables, gracias por ser parte de este camino que ahora culmina, por alegrar siempre mis días con su amistad y apoyo, compartimos dichas y tristezas desde el inicio de la carrera que hicieron que nuestra amistad creciera más, tienen un lugar muy importante en mi vida. Ya que los amigos son la familia que uno elige, los quiero muchísimo hermanitos. Agradezco de igual forma a mis amigos **Fran Ferrer, Nelson, Wito, Alex Segovia, Fernando Gálvez, Roberto Chicas, Ananías**, por su amistad y cariño, los quiero mucho, son muy especiales para mí. Dios los bendiga siempre colegas.

A LOS DOCENTES DE LA ESCUELA DE CIVIL por transmitirme sus conocimientos, sus experiencias, por su amistad. Agradezco especialmente al **Ing. Jorge Flores** por toda su ayuda desde el inicio de la carrera, gracias por su amistad, por siempre estar dispuesto a ayudar, es una persona admirable, se le aprecia mucho. Agradezco mucho también al **Ing. Evelio López** por su colaboración y ayuda desinteresada en este trabajo de graduación.

“Todo lo puedo en aquel que me conforta, esto es, en Cristo”

Filipenses 4:13

JESSICA MARÍA PORTILLO REVELO

ÍNDICE

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.0 GENERALIDADES	2
1.1 INTRODUCCION	2
1.2 ANTECEDENTES	4
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
1.4 OBJETIVOS	9
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	9
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
1.5 ALCANCES	10
1.6 LIMITACIONES	11
1.7 JUSTIFICACION	13

CAPÍTULO II: GENERALIDADES DEL PAVIMENTO

2.0 CONCEPTOS GENERALES SOBRE PAVIMENTOS FLEXIBLES	16
2.1 DEFINICIÓN DE PAVIMENTO	16
2.2 TIPOS DE PAVIMENTOS	18
2.2.1 Pavimentos rígidos	18
2.2.2 Pavimentos Semiflexibles	19

2.2.3 Pavimentos Flexibles	20
2.3 COMPONENTES DEL PAVIMENTO FLEXIBLE.....	21
2.3.1 Carpeta de rodadura.....	22
2.3.2 Base.....	23
2.3.2.1 Base granular.....	23
2.3.2.2 Base estabilizada.....	23
2.3.3 Sub-base	24
2.3.4 Terreno natural o sub-rasante.....	24
2.4 FACTORES QUE CAUSAN EL DETERIORO DEL PAVIMENTO	
FLEXIBLE.....	25
2.4.1 Factores ambientales.....	25
2.4.1.1 Daño en la Superficie del Pavimento	25
2.4.1.2 Daño en la Estructura del Pavimento.....	26
2.4.2 Efectos del tráfico	26
2.5 SOLUCIONES ANTE EL DETERIORO DE PAVIMENTOS	
FLEXIBLES	28
2.5.1 Deterioro	28
2.5.2 Mantenimiento	28
2.5.3 Rehabilitación	29
2.5.3.1 Rehabilitación superficial	32
2.5.3.2 Rehabilitación estructural.....	33
2.6 RECICLADO EN FRÍO.....	34

2.6.1 Definición de R.A.P.....	35
2.6.2 Reciclado in-situ.....	36
2.6.3 Reciclado en planta	39
2.6.4 Aplicación del reciclado en Frío	41
2.6.4.1 Pulverización.....	42
2.6.4.2 Reprocesamiento.....	43
2.6.4.3 Modificación de propiedades mecánicas	43
2.6.4.4 Reciclado del 100% de RAP	44
2.6.4.5 Estabilización con RAP / base granular	45
2.6.5 Ventajas y Limitaciones del reciclado en Frío	45
2.6.6 Cualidades y tipos de materiales de pavimentos existentes a ser reciclados	48
2.7 AGENTES ESTABILIZADORES	50
2.7.1 Estabilización con cemento	51
2.7.2 Estabilización con Cal.....	52
2.7.3 Estabilización con Emulsión Asfáltica	53
2.7.4 Estabilización con Asfalto Espumado	54

CAPÍTULO III: EMULSIONES ASFÁLTICAS

3.0 EMULSIONES ASFALTICAS.....	57
3.1 DEFINICIÓN DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS	57

3.2 COMPOSICIÓN DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS	58
3.3 HISTORIA DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS	59
3.4 CLASIFICACIÓN DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS	61
3.4.1.1 Emulsificante catiónicos.....	63
3.4.1.2 Emulsificante aniónicos	63
3.4.1.3 Emulsificante no-iónicos	63
3.4.2 Emulsiones Asfálticas con respecto a su estabilidad.....	64
3.4.2.1 Emulsiones de Rotura Rápida (RS) y (QS).....	65
3.4.2.2 Emulsiones de Rotura Media (MS)	65
3.4.2.3 Emulsiones de Rotura Lenta (SS).....	66
3.5 NOMENCLATURA PARA LOS DISTINTOS TIPOS DE GRADOS DE EMULSIONES	66
3.6 PROPIEDADES DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS	68
3.6.1 Rompimiento de las Emulsiones Asfálticas	68
3.6.2 Viscosidad	69
3.6.3 Floculación.....	70
3.6.4 Sedimentación	70
3.6.5 Coalescencia	71
3.6.6 Adhesividad	71
3.7 CONSIDERACIONES AL TRABAJAR CON EMULSION ASFÁLTICA.....	72

CAPÍTULO IV: ASFALTO ESPUMADO

4.0 ASFALTO ESPUMADO	76
4. 1 CEMENTO ASFALTICO	76
4.1.1 CLASIFICACIÓN DEL ASFALTO	77
4.1.1.1 Sistema de Clasificación por Penetración.....	77
4.1.1.2 Sistema de Clasificación por Viscosidad	78
4.1.1.3 Sistema de Clasificación según el Grado de Desempeño del Pavimento.....	80
4.2 DEFINICION DE ASFALTO ESPUMADO	81
4.3 HISTORIA DEL ASFALTO ESPUMADO.....	84
4.4 CARACTERÍSTICAS DEL ASFALTO ESPUMADO.....	87
4.4.1 Razón de Expansión.....	87
4.4.2 Vida Media.....	87
4.4.3 Características aceptables de asfalto espumado	88
4.5 FACTORES QUE INFLUYEN A LAS PROPIEDADES DE LA ESPUMA	90
4.5.1 Temperatura de Asfalto	90
4.5.2 Adición de agua	90
4.5.3 Tipo de asfalto	92
4.5.4 Presión de asfalto y de agua	93
4.5.5 Aditivos	93

4.5.6 Grado y Reología del asfalto.....	93
4.5.7 Dispersión del asfalto.....	94
4.6 MATERIAL ADECUADO PARA TRATAMIENTO CON ASFALTO ESPUMADO	94
4.6.1 Limites de tolerancias requeridos en los agregados	94
4.7 PROPIEDADES TIPICAS DE MATERIALES ESTABILIZADOS CON ASFALTO	96
4.7.1 Resistencia	97
4.7.2 Rigidez.....	98
4.7.3 Tiempo de mezclado.....	99
4.7.4 Densidad.....	99
4.8 TRABAJANDO CON ASFALTO ESPUMADO	100
4.8.1 Seguridad	100
4.8.2 Temperatura de material.....	101
4.8.3 Consistencia del suministro de asfalto.....	102
4.8.4 Flujo de asfalto.....	102
4.8.5 Presión de asfalto	103
4.8.6 Aplicación de un filler activo.....	103
4.8.7 Remezclado de la capa finalizada	104
4.9 VENTAJAS DE ESTABILIZAR CON ASFALTO ESPUMADO EN COMPARACIÓN A LA EMULSIÓN ASFÁLTICA	105

4.10 DISEÑO DE UNA BASE ESTABILIZADA CON ASFALTO ESPUMADO	106
4.10.1 Optimización de las propiedades de la espuma.....	107
4.10.2 Caracterización del agregado	107
4.10.3 Determinación del contenido óptimo de humedad de la mezcla.....	108
4.10.4 Determinación del contenido óptimo de asfalto	108
4.10.5 Caracterización de las propiedades mecánicas de las mezclas	109

CAPÍTULO V: TRABAJO DE LABORATORIO

5.0 TRABAJO DE LABORATORIO	111
5.1 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	111
5.2 MUESTREO DE AGREGADOS.....	113
5.3 MUESTRAS DE AGREGADO A TAMAÑO DE ENSAYO	114
5.4 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL RECICLADO.....	115
5.4.1 Método Estándar de Prueba para la determinación del Contenido de Humedad de los Suelos en Laboratorio. ...	115
5.4.2 Determinación del Límite Líquido de los suelos.....	116
5.5 CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA.....	140

5.6 GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA Y DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS DE PAVIMENTACIÓN.....	148
5.7 PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO PARA DISEÑAR MEZCLAS DE MATERIALES TRATADOS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA	151
5.7.1 Preparación de la muestra.....	151
5.7.2 Procedimiento para la compactación de las probetas.....	156
5.7.3 Procedimiento de curado.....	160
5.7.4 Método de Prueba Estándar para la Resistencia de Mezclas Asfálticas Compactadas al Daño Inducido por la Humedad.....	161
5.7.4.1 Determinación de la resistencia a la tracción indirecta en seco.....	161
5.7.4.2 Determinación de la resistencia a la tracción indirecta saturado.....	164
5.7.4.3 Calculo de ITS seco e ITS saturado.....	165
5.7.4.4 Calculo del TSR.....	167
5.8 OPTIMIZACION DE LA RAZON DE EXPANSION Y LA VIDA MEDIA	180
5.9 PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO PARA TRABAJAR CON ASFALTO ESPUMADO	184
5.9.1 Análisis por Tamizado de Agregados Gruesos y Finos	185
5.9.2 Preparación de la muestra.....	188

5.9.2.1 Pruebas realizadas a la mezcla	195
5.9.4 Procedimiento de curado	200
5.9.5 Método de Prueba Estándar para la Resistencia de Mezclas Asfálticas Compactadas al Daño Inducido por la Humedad.....	201
5.9.5.1 Determinación de la resistencia a la tracción indirecta en seco	202
5.9.5.2 Determinación de la resistencia a la tracción indirecta saturado	203
5.9.6 Cálculo de TSR de las briquetas con asfalto espumado...	204

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES.....	207
6.2 RECOMENDACIONES	210
BIBLIOGRAFÍA.....	212

CAPITULO I

Generalidades

1.0 GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCION

Con el desarrollo de nuevas tecnologías para la estabilización de materiales utilizados en la estructura de un pavimento, nace la tecnología de los asfaltos espumados, la cual día con día, gana mayor aceptación y utilización a nivel mundial, siendo implementada en la reconstrucción y rehabilitación de vías urbanas, inter urbanas, y colectoras, obteniendo buenos resultados por las mejoras presentadas en procesos constructivos, capacidad de carga, durabilidad de las obras y principalmente por los costos económico de esta técnica.

El presente trabajo de graduación trata de establecer la metodología a desarrollar para poder estabilizar un material reciclado con asfalto espumado, partiendo que este tipo de aplicación impulsará una nueva alternativa de estabilización de capas asfálticas en nuestro país, aunque ya se cuenta con registros bibliográfico de la aplicabilidad de esta técnica, el desarrollo de ésta no se ha realizado localmente, por lo tanto es algo nuevo, no así en otros países, generando en ellos buenos resultados en su aplicación y siendo una fuerte alternativa para estabilizar un material para carreteras.

En el desarrollo de esta investigación se ha recolectado la información necesaria acerca de los principales conceptos teóricos, para llegar a proporcionar la dosificación de asfalto espumado que garantice una estabilización óptima de RAP (Recycling Asphalt Pavement); para el desarrollo

del trabajo se realizará primero una estabilización del material reciclado con emulsión asfáltica, diseño que partirá de la humedad óptima encontrada a partir del ensayo Determinación en Laboratorio de las Características de Compactación de los Suelos, bajo la norma: AASHTO T 180-10, realizado al material a estabilizar (RAP), posteriormente se procederá a sustituir el ligante por asfalto espumado, con el cual se pretende desarrollar el trabajo de graduación.

Este capítulo abarca conceptos teóricos que pretenden desarrollar nuevas alternativas de estabilización de materiales asfálticos reciclados, para esto se presenta una serie de antecedentes relacionados con el tema central, en el planteamiento del problema, se definen directrices generales que guiarán el estudio a realizar. Posteriormente se presenta la justificación, en la cual se expresan las motivaciones que impulsan el desarrollo de este trabajo, justificando así la realización de éste; como punto importante se establecen los alcances y limitaciones, los cuales representan hasta dónde se planea llegar con la investigación.

Finalmente, en función de los objetivos establecidos en el trabajo de graduación, se pretende demostrar la importancia en desarrollar la investigación denominada: “Estabilización de material reciclado de carpeta asfáltica, utilizando asfalto espumado, mediante metodología Wirtgen, para ser empleado como base en pavimentos”.

1.2 ANTECEDENTES

El reciclado es una técnica de rehabilitación que consiste en reutilizar los materiales que conforman las estructuras del pavimento, carpeta asfáltica, base o sub base, que hayan estado en servicio; materiales que han perdido sus propiedades iniciales o cuyas características se desean mejorar.

Uno de los motivos que impulsó las técnicas de reciclado en pavimentos asfálticos, fue la crisis de precios del petróleo en los años 70, este hecho hizo que se generara también, un explosivo aumento en el uso de las emulsiones en la estabilización de agregado mineral, sin embargo, aunque las técnicas de aprovechamiento de subproductos y reutilización de materiales procedentes de carreteras para la construcción de nuevas capas, se conocen hace varias décadas, es durante los últimos 20 años cuando ha experimentado un mayor desarrollo.

En El Salvador la técnica de reciclaje de materiales asfálticos (RAP) es relativamente reciente, su desarrollo se remonta unas pocas décadas atrás y su uso se implementa a partir del deterioro de la infraestructura vial, las demandas de ahorro y la inherente necesidad del país a reducir el impacto ambiental, tal es el caso de la reducción en la explotación de bancos de agregados.

Actualmente a nivel mundial, las bases de los pavimentos están siendo estabilizadas con diferentes tipos de agentes y como tecnología emergente, nace el asfalto espumado, aumentando así las propiedades de resistencia,

además de mejorar la durabilidad y el comportamiento frente al agua y el medio ambiente de la capa estabilizada.

En 1956 el profesor Ladis Csanyi en la Estación Experimental de Ingeniería (Engineering Experiment Station) en la Universidad Estatal de Iowa (Iowa State University) fue el incursor de la idea que validaba el potencial que representa el uso del asfalto espumado como agente estabilizador. Esta tecnología fue refinada más tarde por la organización Mobil Oil que desarrolló la primera cámara de expansión para mezclar agua con asfalto para generar espuma.

La tecnología del asfalto espumado consiste en un proceso que se realiza en la cámara mezcladora de la máquina de estabilización, incluye la expansión del asfalto líquido caliente al chocar térmicamente con una pequeña cantidad de agua atomizada, para ser posteriormente mezclado con el material asfáltico, que es obtenido por medio de la escarificación de un camino durante el proceso de reciclado.

En El Salvador no se cuenta con capas de pavimento (base, sub base) estabilizados con asfalto espumado en proyectos ni en tramos de prueba; pero su uso se valida a partir de estudios e investigaciones de instituciones de prestigio como Lanamme UCR, NCAT (National Center for Asphalt Technology) en la Universidad de Auburn, NAPA (National Asphalt Pavement Association), diversas universidades en Estados Unidos y Sudáfrica.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La escasez de bancos de materiales además de los costos de transportar material adecuado al lugar de construcción, han promovido el desarrollo de técnicas de estabilización para poder utilizar los recursos localmente disponibles. Estos métodos son aplicables tanto al reciclado como a las nuevas construcciones. El material recuperado de pavimentos asfálticos conocido como RAP, por su terminología en inglés “Reclaimed Asphalt Pavement”, es el elemento más importante en este proceso, ya que tiene una gran influencia sobre las características del producto final.

En la actualidad, muchos de los diferentes tipos de agentes estabilizadores; tales como cemento hidráulico y emulsión, se utilizan para mejorar y aumentar las propiedades de resistencia de un material.

En El Salvador se implementa la estabilización de bases principalmente con cemento hidráulico y emulsiones. Como una nueva alternativa a nivel mundial se está incursionado en la estabilización con asfalto espumado. Su aplicación se realiza también en el diseño de mezclas asfáltica para capas de rodadura, así como en la estabilización de bases.

Partiendo de estos puntos, se plantea la alternativa de estabilizar una carpeta asfáltica reciclada, que será empleada como base de un pavimento, utilizando asfalto espumado, este proceso se realizará según la guía establecida por el Manual de Reciclado en Frío Wirtgen. El criterio empleado actualmente para obtener el contenido óptimo de asfalto de una mezcla con asfalto espumado,

corresponde a la optimización de sus propiedades mecánicas, dentro de las cuales la Tracción Indirecta (ITS) se presenta como una de las más empleadas. El contenido del reciclaje de materiales asfálticos RAP no influye de manera categórica en el contenido óptimo de asfalto de las mezclas con asfalto espumado, pero sí tiene una influencia en la Tracción Indirecta, tanto en estado seco como saturado. El contenido de RAP contribuye a aumentar la tracción indirecta saturada, es decir permite mejorar el comportamiento de las mezclas con asfalto espumado frente a las condiciones de saturación que representan el caso más desfavorable al que puede enfrentarse un pavimento.

A continuación se presentan una serie de ventajas del asfalto espumado ante otros tipos de agentes estabilizadores:

- Reducción de los costos de ligante, ya que el asfalto espumado comprende un asfalto de penetración estándar y sólo un pequeño porcentaje de agua.
- Flexibilidad, la estabilización con asfalto produce un material con propiedades visco elásticas con una flexibilidad mejorada y resistencia a la deformación.
- En el asfalto espumado no se incurren en costos de fabricación distintos al de inversión inicial del equipo.
- Reducción de costos de transporte ya que para una misma proporción de asfalto residual una emulsión contiene 40% de agua la cual debe ser transportada con el asfalto.

- El material tratado con asfalto espumado puede ser colocado, compactado y abierto al tráfico en poco tiempo.

La investigación se desarrollará para incrementar los conocimientos en materia de asfaltos espumados y sobre cómo estas nuevas tecnologías pueden ser una alternativa en la estabilización de bases, a la vez generar mayores beneficios de funcionalidad en un pavimento.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

- ✓ Diseñar la estabilización de material reciclado de una carpeta asfáltica, utilizando asfalto espumado, mediante metodología Wirtgen, para ser empleada como base en pavimentos.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Aplicar la normativa vigente e información bibliográfica referente al asfalto espumado como agente estabilizador de carpetas asfálticas reciclados.
- ✓ Emplear Normas ASTM y AASHTO para el muestreo de los agregados, así como para el desarrollo de los ensayos necesarios para identificar sus propiedades físicas.
- ✓ Obtener mediante ensayos de laboratorio el contenido óptimo de emulsión, el cual se sustituirá posteriormente por un porcentaje óptimo de asfalto espumado.
- ✓ Evaluar el comportamiento de la mezcla con asfalto espumado en función de su resistencia a la Tracción Indirecta (ITS).

1.5 ALCANCES

- ✓ Se trabajará con una carpeta asfáltica fresada, acopiada en plantel Zacatillo, ubicado en Zacatecoluca departamento de La Paz, propiedad de Constructora DISA S.A de C.V.

- ✓ Para estabilizar el material reciclado, se partirá de un diseño elaborado bajo la técnica de estabilización con emulsión CSS-1H, donde posteriormente el ligante será sustituido para realizar una prueba con asfalto espumado, el cual será producido por la planta asfáltica propiedad de constructora DISA S.A de C.V y mezclado en una batidora industrial (MODAMAX PM-20BCE trabajándose con 161 revoluciones por minuto).

- ✓ El diseño a realizar se desarrollará únicamente a nivel de laboratorio y se utilizará la metodología del Manual de Reciclado en Frío Wirtgen.

- ✓ Se trabajará la estabilización con asfalto espumado únicamente con material compuesto 100% de RAP.

- ✓ No se realizará evaluación, ni estudio económico de la alternativa.

1.6 LIMITACIONES

- ✓ Actualmente en nuestro país no se cuenta con tramos de prueba que ayuden a analizar el comportamiento de una base de material reciclado estabilizada con asfalto espumado, por lo tanto no se tiene la experiencia sobre este tipo de estabilización.

- ✓ La investigación se basará en el procedimiento propuesto en el Manual de Reciclado en Frío Wirtgen y únicamente se realizará el diseño en laboratorio, pues no se cuenta con tiempo suficiente para la ejecución y evaluación de tramos de prueba a escala real de una estructura vial.

- ✓ La metodología a desarrollar en el trabajo de graduación es procedente de fuente bibliográfica internacional, porque actualmente en nuestro país no se han desarrollado investigaciones relacionadas a la estabilización de RAP con asfaltos espumados.

- ✓ En esta investigación no se considerará RAP que contenga material de base granular.

- ✓ No se hará ningún análisis estructural de diseño para determinar los espesores de las capas del pavimento.

- ✓ El diseño de la estabilización del material reciclado, utilizando asfalto espumado, está dirigido a bases para pavimentos flexibles.

1.7 JUSTIFICACION

En los últimos años, se viene desarrollando a nivel mundial la técnica del asfalto espumado como una nueva alternativa en la búsqueda por innovar las tendencias de estabilización, año con año, crece el número de carreteras rehabilitadas a través del reciclado con asfalto espumado, siendo éstas desde caminos de bajo volumen de tránsito hasta carreteras de tráfico pesado.

Las mezclas con asfalto espumado se han transformado en una excelente alternativa para la estabilización de capas de material granular o reciclado, debido principalmente a su buen comportamiento, facilidad de construcción y compatibilidad con un amplio rango de tipos de agregados.

Esta técnica toma cada vez más terreno en la estabilización de pavimentos flexibles y a pesar de que su uso permite producir mezclas asfálticas de un modo diferente al tradicional, su aplicación ha alcanzado excelentes resultados en las vías desarrolladas a nivel mundial. Sin embargo, como toda nueva tecnología, aún quedan aspectos por investigar y acumular experiencia.

En el país, el conocimiento sobre asfalto espumados es relativamente nuevo, sin embargo esta tecnología ha sido y continúa siendo base de muchos estudios a nivel mundial, contando con el aval de instituciones como NCAT (National Center for Asphalt Technologies) y diversas universidades de prestigio alrededor del mundo, por lo tanto, se cuenta con el material bibliográfico

necesario para fundamentar la investigación, a pesar de que la implementación de esta tecnología sea nueva en el país.

Ante la emergente escasez de recursos, tanto económicos como ambientales, el uso de técnicas de rehabilitación con asfalto espumado proporciona muchas ventajas ante los métodos actuales y en lo referente a El Salvador ya se han adquirido los equipos que permitan desarrollar tal tecnología, siendo fundamental investigarla y difundirla.

CAPITULO II

Generalidades del Pavimento

2.0 CONCEPTOS GENERALES SOBRE PAVIMENTOS FLEXIBLES

2.1 DEFINICIÓN DE PAVIMENTO

Es una estructura constituida por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados¹, como se muestra en la Figura 2.1.

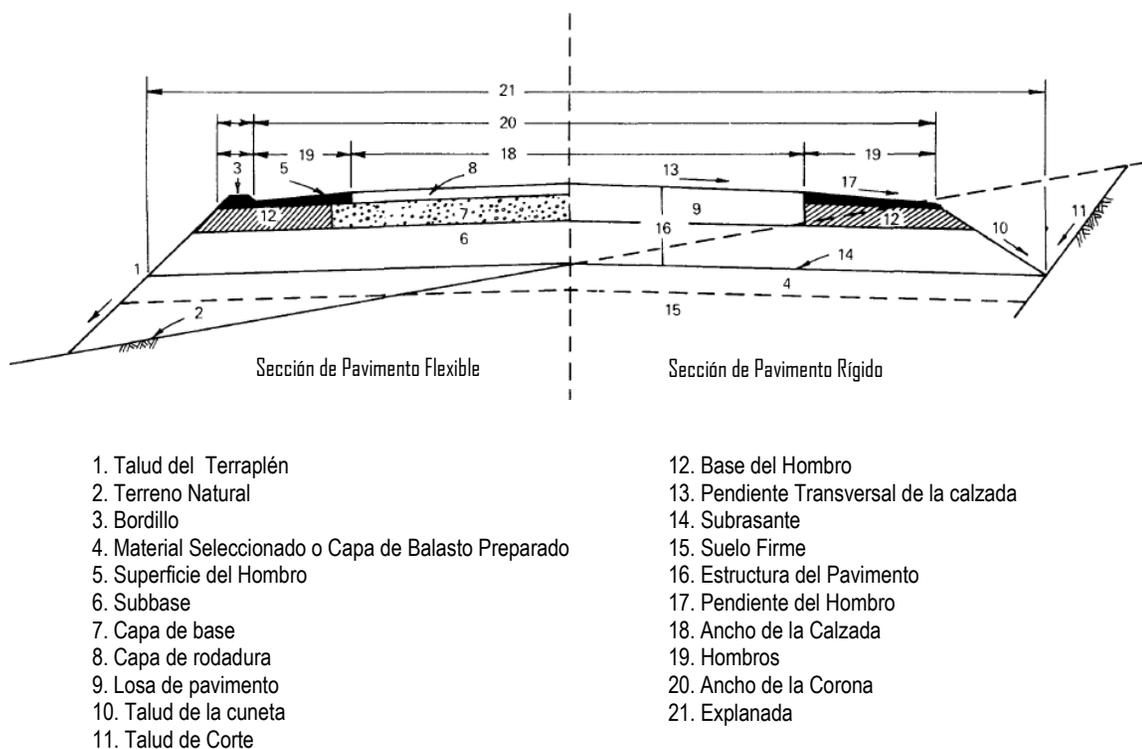


Figura 2.1 Sección Típica de la Estructura de un Pavimento Flexible o Rígido

Fuente: AASHTO Guide for Pavement Structures, 1993.

¹ Montejo Fonseca Alfonso, 2002, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Universidad Católica de Colombia, Colombia

La estructura de pavimento realiza el trabajo de resistir los esfuerzos que las cargas repetitivas del tránsito le transmiten durante el período para el cual fue diseñada. El peso de los vehículos aplicado en la superficie se transfiere o disipa a la subrasante a través de la estructura de pavimento. Las cargas producidas por el tráfico, en la superficie de la vía, se van distribuyendo sobre un área más grande a medida avanza sobre las capas inferiores y decrece con la profundidad², esto se muestra en la Figura 2.2.

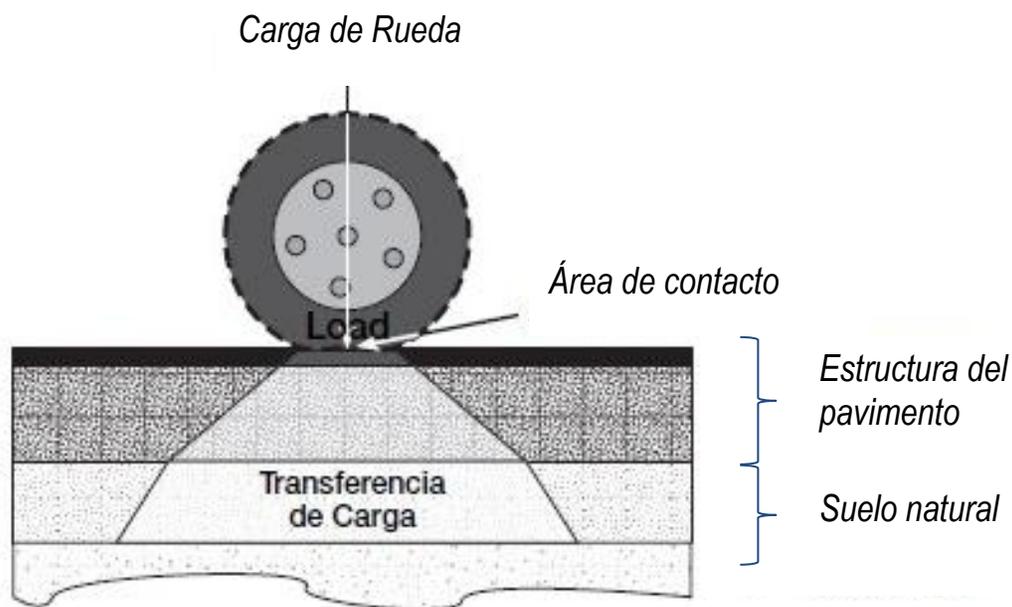


Figura 2.2 Transferencia de carga a través de la estructura del pavimento

Fuente: Manual de Reciclado en Frío, Wirtgen, 2004

² Wirtgen GmbH, 2004, Manual de Reciclado en Frío, Windhagen, Alemania.

2.2 TIPOS DE PAVIMENTOS

Existen tres clases de pavimentos, rígidos, semiflexibles y flexibles. Sus principales diferencias radican en el material de construcción y en la forma como reciben y controlan las cargas de los vehículos.

2.2.1 Pavimentos rígidos

Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa de material seleccionado. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico, así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existen zonas débiles en la subrasante. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento.³

³ Montejo Fonseca Alfonso, 2002, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Universidad Católica de Colombia, Colombia.



Figura 2.3 Tramo I, Boulevard Monseñor Romero, San Salvador, El Salvador, Centroamérica, 2014.

2.2.2 Pavimentos Semiflexibles

Construidos con adoquines (bloques de concreto o arcilla prefabricados), que se colocan sobre una capa de arena, ésta se apoya sobre una capa granular o directamente sobre la subrasante.



Figura 2.4 Parqueo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador, Centroamérica, 2014.

2.2.3 Pavimentos Flexibles

Este tipo de pavimentos están formados por una mezcla asfáltica apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub-base, las cuales ayudan a soportar las cargas. No obstante puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra.⁴

Esta investigación trata sobre bases para pavimentos flexibles, por lo tanto se profundiza a continuación sobre este tipo de pavimentos.

⁴Montejo Fonseca Alfonso, 2002, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Universidad Católica de Colombia, Colombia.



Figura 2.5 Tramo 2A de la carretera Longitudinal del Norte, El Salvador, Centroamérica, 2011.

2.3 COMPONENTES DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

Los pavimentos flexibles se componen de una capa llamada carpeta de rodadura, apoyada sobre dos capas denominadas base y sub-base. Todo el conjunto se apoya sobre el terreno o subrasante, al cual llega una mínima parte de la carga vehicular, esto se ilustra en la Figura 2.6.

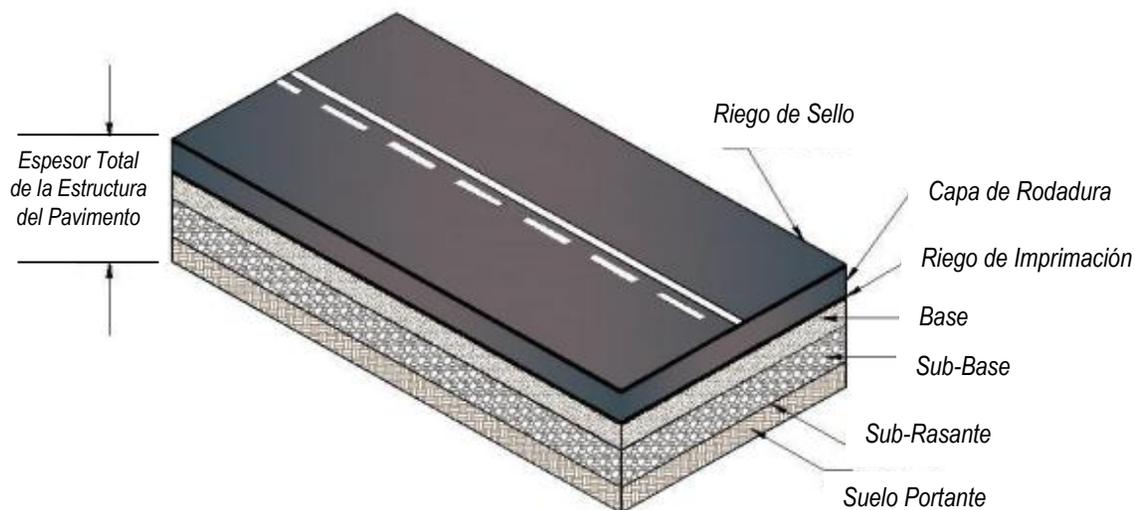


Figura 2.6 Sección transversal típica de un pavimento flexible

Fuente: Tesis Desarrollo de un Sistema de Gestión de Pavimentos para el Municipio de Santa Tecla, 2008.

2.3.1 Carpeta de rodadura

La carpeta asfáltica es la parte superior del pavimento flexible que proporciona una superficie de rodamiento estable, uniforme y antideslizante, todo lo cual se traduce en comodidad para el usuario de una carretera.

Su función principal es proteger la estructura del pavimento de efectos destructivos como lluvia y radiación solar, entregándole durabilidad e impermeabilidad, impidiendo así el paso del agua al interior y al mismo tiempo drenándola, evitando de esa manera el deslizamiento de los vehículos.

2.3.2 Base⁵

Es la capa de pavimento que tiene como función primordial, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito, a la sub-base y a través de ésta a la subrasante, y es la capa sobre la cual se coloca la capa de rodadura. Las bases especificadas son las siguientes: Base Granular y Base Estabilizada.

2.3.2.1 Base granular

Material constituido por piedra de buena calidad, triturada o mezclada con material de relleno o bien por una combinación de piedra o grava, con arena y suelo, en su estado natural. Todos estos materiales deben ser clasificados para formar la base de la estructura del pavimento. Su estabilidad dependerá de la graduación de las partículas, su forma, densidad relativa, fricción interna y cohesión, y todas estas propiedades dependerán de la proporción de finos con respecto al agregado grueso.

2.3.2.2 Base estabilizada

Es la capa formada por la combinación de piedra o gravas trituradas, combinadas con material de relleno, mezclados con materiales o productos estabilizadores, para mejorar sus condiciones de estabilidad y resistencia.

⁵ Secretaría de Integración Económica Centroamericana SIECA, 2002, Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, Guatemala.

2.3.3 Sub-base

Se construye con materiales más económicos que la capa de rodadura y la base para permitir que los espesores de dichas capas sean menores.

Está destinada a soportar, transmitir y distribuir de manera uniforme, a la sub-rasante, las cargas aplicadas a la superficie, además de controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento. Se utiliza además como capa de drenaje y controlador de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura del pavimento, por lo que generalmente se utilizan materiales granulares.

2.3.4 Terreno natural o sub-rasante

Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto.⁶

⁶ Secretaría de Integración Económica Centroamericana SIECA, 2002, Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, Guatemala.

2.4 FACTORES QUE CAUSAN EL DETERIORO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE⁷

Los pavimentos se deterioran por un gran número de factores, pero los dos más importantes son: los efectos ambientales y efectos de tráfico, siendo estos los dos principios fundamentales que definen los requerimientos estructurales en cualquier tipo de pavimento.

2.4.1 Factores ambientales

Las superficies de los caminos están expuestas al sol, viento, lluvia y otros elementos naturales. Los factores medio ambientales son responsables de la mayor parte del inicio del agrietamiento superficial, estos fenómenos afectan los pavimentos tanto en la superficie como en la estructura del mismo.

2.4.1.1 Daño en la Superficie del Pavimento

El principal factor que daña la superficie es la radiación ultravioleta, que causa un endurecimiento lento pero continuo del asfalto, oxidándolo y volviéndolo frágil, este fenómeno se conoce como envejecimiento del asfalto. Otro fenómeno dañino son los efectos térmicos causantes de cambios de volumen, producto de la expansión y contracción de materiales por cambios de temperatura.

⁷ Wirtgen GmbH, 2004, Manual de Reciclado en Frío, Windhagen, Alemania.

Si la carpeta asfáltica presenta envejecimiento, es posible que no posea la suficiente elasticidad para soportar los cambios de volumen, producidos por variaciones térmicas, no estando así, exenta al agrietamiento.

Una vez que la integridad de la superficie se pierde debido al agrietamiento, el pavimento tiende a deteriorarse a una tasa mayor, producto del ingreso del agua a las capas subyacentes.

2.4.1.2 Daño en la Estructura del Pavimento

El agua es el principal enemigo de las estructuras de caminos. La saturación con agua hace que los materiales se vuelvan deformables y proporciona una lubricación entre las partículas, al mismo tiempo que las cargas de tráfico son aplicadas. La capacidad de soporte del material en condición seca es siempre mayor que en estado húmedo, y mientras más cohesivo (o arcilloso) sea el material, mayor es la susceptibilidad a la humedad.

2.4.2 Efectos del tráfico

El paso de una gran cantidad de vehículos tiene un efecto acumulativo que gradualmente lleva a una deformación permanente y/o agrietamiento de fatiga en el pavimento, especialmente cuando se trata de los ejes sobrecargados de los camiones pesados, los cuales producen un efecto extremadamente nocivo en la estructura de pavimento, acelerando el deterioro. El Manual de Reciclado

en Frío Wirtgen (2004) describe que este deterioro es causado básicamente por dos mecanismos dentro de la estructura de pavimento:

- a) Deformación permanente causada por densificación: donde las tensiones de cargas repetitivas hacen que las partículas dentro de las capas del pavimento se aglomeren más, produciendo una reducción en los vacíos de los materiales. En el material granular, tal pérdida de vacíos produce un aumento en la capacidad de soporte (materiales más densos son más resistentes), pero en las capas asfálticas el efecto es nocivo. Una reducción en el contenido de vacíos en el asfalto no sólo causa ahuellamiento bajo la huella de los neumáticos, sino que también éste comienza a actuar como una especie de fluido. Este fluido crea una especie de medio hidráulico, el cual genera presiones de poro producidas por las cargas de tráfico. El fenómeno hidráulico causa el desplazamiento lateral de la mezcla asfáltica a lo largo de los ejes de las huellas.

- b) Agrietamiento de fatiga en materiales ligados: éste se inicia en la parte inferior de la capa, donde la deformación unitaria de tracción, producida por las cargas de rueda, alcanza su máxima magnitud. A partir de este punto de la capa, las grietas se propagan hacia la superficie. La deformación permanente que sufre el material bajo la superficie hace que esta condición sea aún más crítica, al producirse un incremento de las deformaciones unitarias de tracción por cargas de rueda.

2.5 SOLUCIONES ANTE EL DETERIORO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Una amplia variedad de procedimientos de mantenimiento y rehabilitación pueden ser usados de forma individual o en combinación para prolongar la vida de servicio de un pavimento, en la manera más rentable.

2.5.1 Deterioro

El deterioro de un pavimento es un proceso lento, si ninguna actividad de mantenimiento o rehabilitación ha sido programada en la vía, la vida útil de ésta se ve reducida debido al daño al que se ve sometida, por las acciones del tráfico y medio ambiente. Para que el nivel de servicio en la vía no se vea afectado se deben aplicar medidas de mantenimiento y rehabilitación según sea el caso.

2.5.2 Mantenimiento

Las acciones para el mantenimiento de pavimentos son generalmente focalizadas en mantener el agua fuera y lejos de la estructura. Esto implica mantener la superficie en una condición de impermeabilidad y además asegurarse que las medidas de drenaje son efectivas, de tal forma que el agua no quede atrapada en el borde del camino.⁸

⁸ Wirtgen GmbH, 2004, Manual de Reciclado en Frío, Windhagen, Alemania.

Dentro del mantenimiento, se contemplan acciones aplicadas localmente, entre las cuales se pueden mencionar: ⁹

- Sellado de grietas
- Sello asfáltico localizado
- Bacheo
- Nivelación localizada
- Fresado y texturización localizada

Todas estas medidas apuntan a mantener la flexibilidad y durabilidad de la superficie y solo atacan el deterioro producido por el medio ambiente. La deformación y grietas de fatiga causadas por las cargas del tráfico no pueden ser tratadas en forma efectiva con acciones de mantenimiento superficial y requieren alguna forma de rehabilitación. ¹⁰

2.5.3 Rehabilitación

Cuando la serviciabilidad final es de 2.0, las condiciones del pavimento no son las adecuadas y los trabajos de mantenimiento no representan una salida efectiva en temas de inversión, la rehabilitación es necesaria. ¹¹

⁹ Ing. Jugo B. Augusto, 2005, Manual de Mantenimiento y Rehabilitación de Pavimentos Flexibles.

¹⁰ Wirtgen GmbH, 2004, Manual de Reciclado en Frío, Windhagen, Alemania.

¹¹ Secretaría de Integración Económica Centroamericana SIECA, 2002, Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, Guatemala.

Este proceso puede abordar problemas comunes como:

- Mala calidad de conducción o rugosidad
- Deformación del pavimento, grietas, formación de surcos
- Deterioro y defectos en la superficie
- Deficiencias estructurales
- Altos costos al usuario
- Excesiva aplicación de procesos de mantenimiento y costos.

El Ing. Augusto Jugo B. (2005) define la rehabilitación como acciones de mantenimiento mayor y explica que son actividades programadas para producir un mejoramiento sustancial del pavimento, tanto funcional como estructural, aumentando su vida útil en un periodo considerable de tiempo. Generalmente, están dirigidas a mejorar la calidad de rodaje del pavimento, su fricción y/o su capacidad estructural, ante esto, las acciones de rehabilitación se pueden clasificar como superficiales y estructurales.

A continuación se identifican, en la Figura 2.7, los problemas comunes de deterioro en pavimentos, con sus respectivas alternativas de solución, la clave para identificar la mejor opción es en principio, contemplar todas las posibilidades.

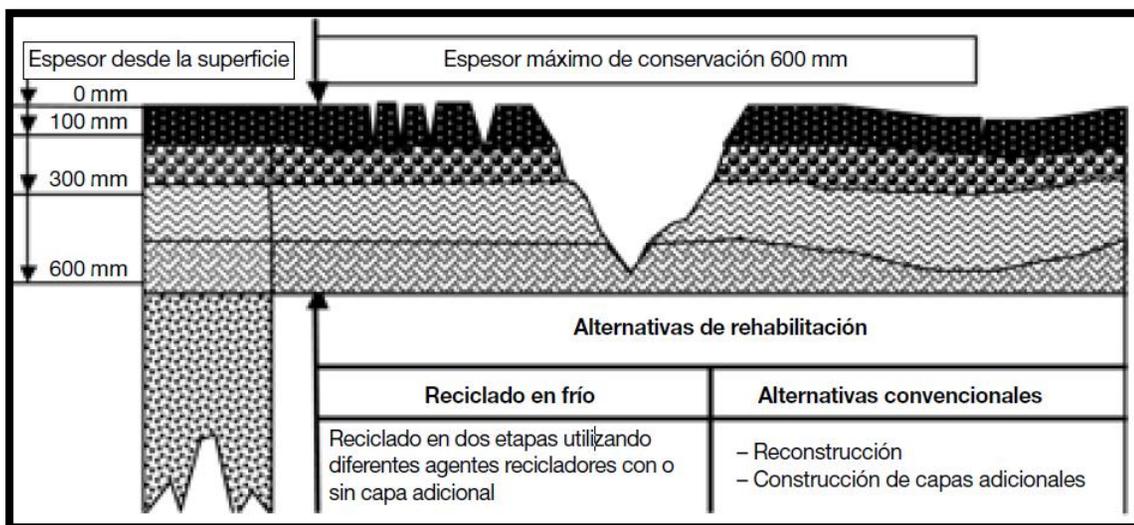
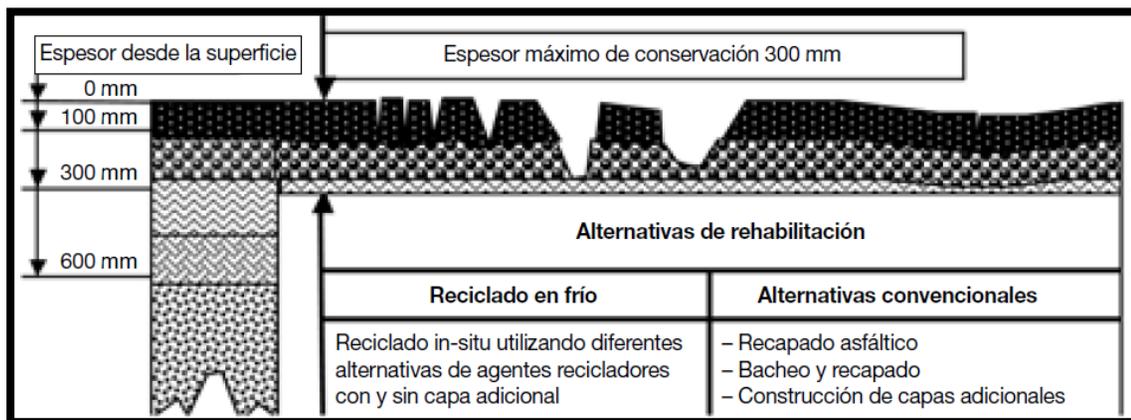
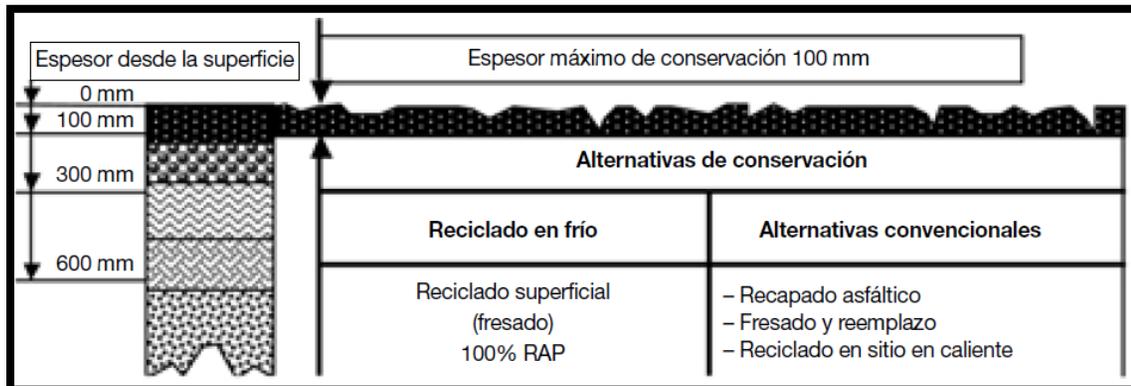


Figura 2.7 Alternativas de conservación ante fallas comunes en pavimentos.

Fuente: Manual de Reciclado en Frío Wirtgen, 2004

2.5.3.1 Rehabilitación superficial

Las medidas de rehabilitación superficial están dirigidas a los problemas relacionados al asfalto y sellos superficiales, generalmente dentro de los 50 a 100 milímetros superficiales del pavimento. Estos problemas se relacionan normalmente al envejecimiento del asfalto y al agrietamiento que se inicia en la superficie debido a las fuerzas térmicas.

Las técnicas comunes, destinadas a tratar este tipo de problemas son:¹²

- a) Recapado asfáltico: consiste en la construcción, sobre la superficie existente, de una capa delgada (40-50mm) de mezcla asfáltica en caliente sobre la superficie existente. Esta es la solución más simple al problema superficial, debido a que el tiempo requerido para completar el trabajo es breve y el impacto al usuario del camino es mínimo.

- b) Fresar y reemplazar: Este método remueve la capa deteriorada por agrietamiento del asfalto y luego la reemplaza, generalmente con una nueva capa. El proceso es relativamente rápido debido a los altos rendimientos de la maquinaria de fresado moderna. El problema se elimina con la nueva capa de asfalto y los niveles del pavimento se conservan.

¹² Wirtgen GmbH, 2004, Manual de Reciclado en Frío, Windhagen, Alemania.

- c) Reciclar una capa delgada de material asfáltico del pavimento existente: este reciclado es realizado en el mismo lugar de la obra, como una aplicación en caliente (remezclado). Además, las propiedades del asfalto que es reciclado pueden ser modificadas con la adición de nuevos materiales y/o nuevos cementos asfálticos.

2.5.3.2 Rehabilitación estructural

El segundo nivel de conservación lo ocupan las rehabilitaciones estructurales, a las que se recurre cuando el paso del tráfico y las acciones climáticas han provocado una disminución apreciable de las características iniciales de la vía o cuando se quiere hacer frente a nuevas solicitudes no contempladas con anterioridad.¹³

Las alternativas o técnicas convencionales para la rehabilitación estructural incluyen: ¹⁴

- a) Reconstrucción total: a menudo esta es la opción preferida cuando la rehabilitación se combina con un mejoramiento de estándares que implican cambios significativos al trazado del camino. Esencialmente, la reconstrucción implica botar el material existente y construir de nuevo.

¹³ José Martínez- Echeverría Moreno, 2002, Universidad de Granada, España.

¹⁴ Wirtgen GmbH, 2004, Manual de Reciclado en Frío, Windhagen, Alemania.

- b) Construcción de capas adicionales sobre la superficie existente: recapado asfálticos de gran espesor a veces son la solución más sencilla a un problema estructural donde el volumen de tráfico es alto. Sin embargo, un incremento en las cotas de superficie habitualmente produce problemas de drenaje y de acceso.
- c) Reciclado profundo hasta donde se encuentra el problema del pavimento: mediante este proceso, se crea una nueva capa homogénea y gruesa que puede ser reforzada con la adición de agentes estabilizadores.

2.6 RECICLADO EN FRÍO

El reciclado es una técnica de rehabilitación que consiste en la reutilización de los materiales procedentes de los pavimentos que han estado en servicio, materiales deteriorados que han perdido en gran parte sus propiedades iniciales con materiales aun en condiciones de servir, cuyas características se desea mejorar.¹⁵

Esta técnica se basa en remover el espesor de mezcla asfáltica y reciclarla con la adición de algún agente estabilizador, aprovechando así el ligante que contiene, reduciendo de esta manera el consumo de asfalto. Este proceso puede realizarse in situ o en una planta asfáltica.

¹⁵ José Martínez- Echeverría Moreno, 2002, Universidad de Granada, España.

El reciclado de pavimentos asfálticos es una alternativa adecuada ante la escasez de materiales o la dificultad para su transporte a la zona de construcción. Al ser una técnica en frío, supone un ahorro energético ya que no precisa del calentamiento de materiales, ante estas ventajas, el reciclado en frío es una técnica cuyo uso se ha incrementado en los últimos años.

El reciclado en frío, es especialmente conveniente en pavimentos que presenten deformaciones, disgregación, oxidación, grietas de bloque, longitudinales y/ transversales así como problemas estructurales que no afecten las capas inferiores de la estructura.¹⁶

2.6.1 Definición de R.A.P.

Se denominará en adelante RAP en coincidencia con su nombre en inglés “Reclaimed Asphalt Pavement”, al material recuperado de pavimentos asfálticos envejecidos y es uno de los elementos más importantes a tener en cuenta durante el proceso de reciclado de pavimentos ya que tiene gran influencia sobre las características finales del producto.¹⁷

¹⁶ Ing. Jugo B. Augusto, 2005, Manual de Mantenimiento y Rehabilitación de Pavimentos Flexibles.

¹⁷ Centro de Investigaciones Viales, LEMAC, 2008, Reciclado de pavimentos asfálticos en frío, Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional La Plata, Buenos Aires, Argentina.

El RAP está constituido por un conjunto de partículas pétreas, recubiertas o no por ligante hidrocarbonado envejecido, y suele presentar cierta heterogeneidad.¹⁸

La calidad del RAP es un factor muy importante en el reciclado de mezclas bituminosas y depende de:

- a) La oxidación de la mezcla que provoca endurecimiento y pérdida de ductilidad.
- b) El desgaste y la erosión de los agregados.
- c) Las deficiencias de la mezcla inicial en variables como el contenido de asfalto o la distribución granulométrica.

2.6.2 Reciclado in-situ

El reciclado in-situ de materiales de pavimento es de uso generalizado, esto es posible debido a las máquinas recicladoras de la actualidad. Estas recicladoras son especialmente diseñadas para lograr la capacidad de reciclar capas de pavimento de gran espesor en una sola pasada. El elemento más importante de una máquina recicladora es el rotor fresador-mezclador equipado con un gran número de puntas, especialmente diseñadas para este proceso, esto se puede observar en la Figura 2.8.

¹⁸ José Martínez- Echeverría Moreno, 2002, Universidad de Granada, España



Figura 2.8 Tambor de Corte en Reciclador de Neumáticos Montados

Fuente: Manual de Reciclado en Frío Wirtgen, 2004

El tambor normalmente rota y pulveriza el material del pavimento existente, como se ilustra en la Figura 2.9. A medida que la máquina avanza con el tambor rotando, el agua de un tanque acoplado a la recicladora se llena mediante mangueras dentro de la cámara de mezclado de la recicladora. El flujo de agua es medido con precisión mediante un micro procesador controlado por un sistema de bombeo, mientras que el tambor mezcla el agua con el material reciclado para alcanzar el contenido necesario de humedad. De esta forma es posible conseguir altos niveles de compactación. Agentes estabilizadores líquidos, como lechada cemento, emulsión asfáltica o asfalto espumado pueden ser incorporados dentro de la cámara de mezclado.¹⁹

¹⁹ Wirtgen GmbH, 2004, Manual de Reciclado en Frío, Windhagen, Alemania

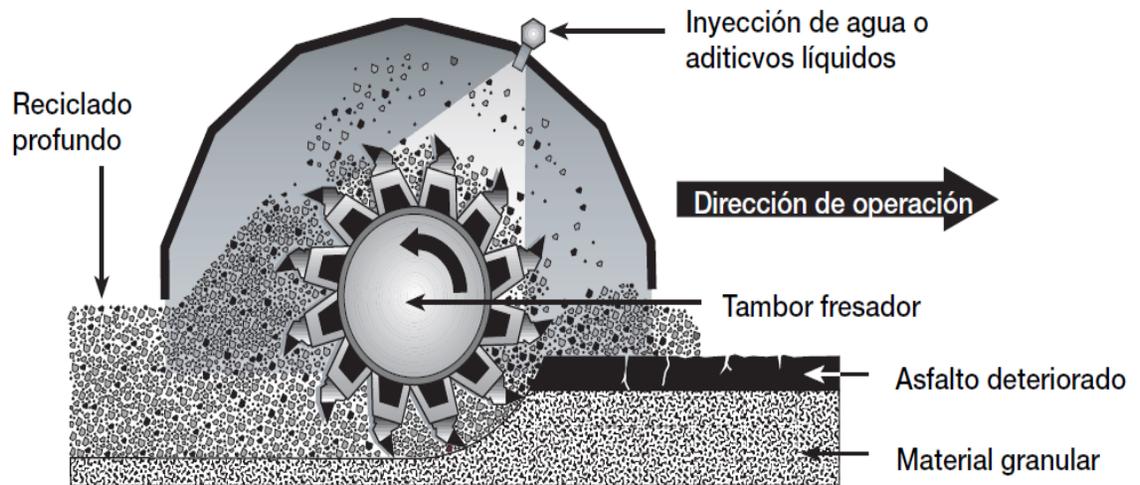


Figura 2.9 Proceso de reciclado in situ.

Fuente: Manual de Reciclado en Frío Wirtgen, 2004

La estabilización del RAP, en esta investigación, se realiza en laboratorio. Esta técnica, de ser aplicada in situ, en posibles tramos de prueba, tendría que ser a través de maquinaria especializada, como la mostrada en la Figura 2.10.



Figura 2.10 Máquina de reciclado en Frío WR 2000

2.6.3 Reciclado en planta

El tratamiento en planta se logra transportado el material recuperado de un pavimento existente al sitio a donde se encuentra instalada la planta recicladora, como la que se muestra en la Figura 2.11, esta técnica, al igual que el procedimiento in situ, consiste en fabricar una mezcla a partir de material fresado (RAP), utilizando un agente ligante como emulsión o asfalto espumado, con un pequeño porcentaje de cal o cemento para producir alguna corrección granulométrica según sea el caso.

Los principales beneficios del reciclado en planta son: ²⁰

- a) Control de los materiales de entrada.
- b) Calidad de mezclado.
- c) Posibilidades de acopiar el material

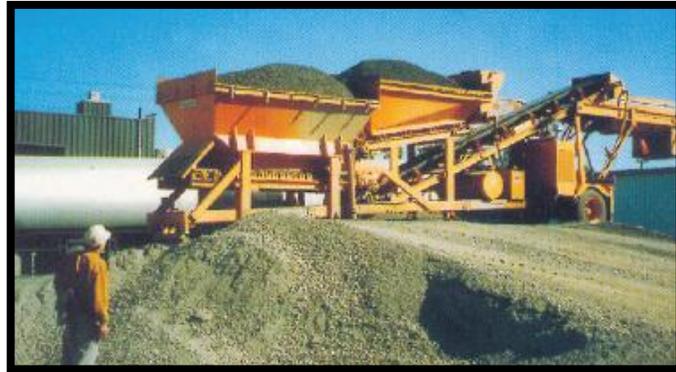


Figura 2.11 Reciclado en Planta con Asfalto Espumado, Chile.

Fuente: Revista Asfalto Espumado Tecnología y Aplicaciones, Instituto Chileno del Asfalto, 2002.

Esta forma de reciclado está muy cerca de la técnica in situ en lo que a condiciones de materiales se refiere, formulación de la mezcla, condiciones de utilización y puesta en obra. La diferencia esencial está ligada al almacenamiento intermedio que sufren los materiales fresados y al lugar donde se elabora la mezcla.²¹

²⁰ Wirtgen GmbH, 2004, Manual de Reciclado en Frío, Windhagen, Alemania

²¹ José Martínez- Echeverría Moreno, 2002, Universidad de Granada, España

2.6.4 Aplicación del reciclado en Frío²²

El reciclado en frío es un proceso con múltiples aspectos que puede satisfacer muchas necesidades en el mantenimiento y rehabilitación en la infraestructura vial. Dependiendo, si el material es tratado o no con un agente ligante, se pueden identificar dos categorías de reciclado en frío. Cada categoría (con o sin agente ligante) puede ser a su vez categorizada por el tipo de tratamiento que el material recibe. Este sistema de clasificación es ilustrado en la Figura 2.12.

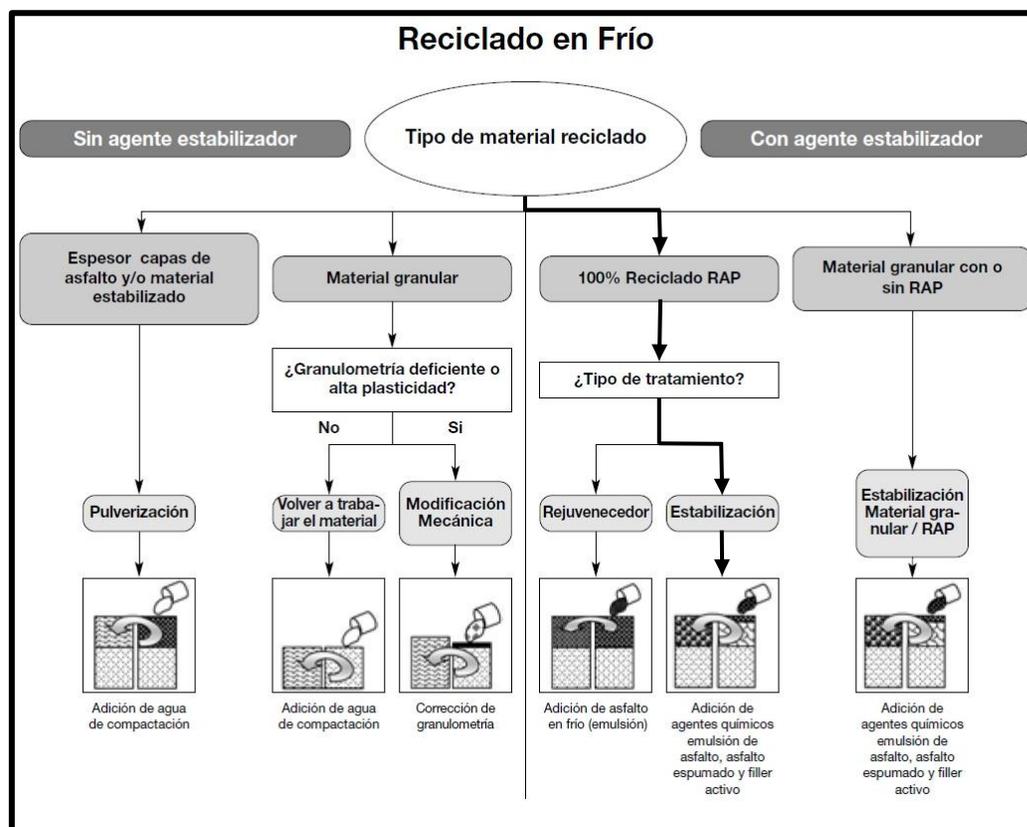


Figura 2.12 Categorías de reciclado en Frío

Fuente. Manual de reciclado en Frío, Wirtgen, 2004

²² Wirtgen GmbH, 2004, Manual de Reciclado en Frío, Windhagen, Alemania

Las distintas categorías que se presentan en la Figura 2.12 son, dependiendo del tipo de material reciclado: pulverización, re compactación, modificación mecánica, 100% de reciclado con RAP y estabilización de material granular y/o RAP. A continuación se explica cada una de estas categorías, haciendo énfasis en la opción de 100% Reciclado RAP, ya que será la técnica aplicada en esta investigación.

2.6.4.1 Pulverización

El tipo de material reciclado usado en esta técnica son capas de asfalto y/o material estabilizado. No siempre es necesario adicionar un agente estabilizador cuando se recicla un pavimento existente que contiene capas asfálticas gruesas. En ocasiones, las capas asfálticas gruesas que presentan un estado de agrietamiento por fatiga severo, se tratan mejor mediante la pulverización previa de la capa asfáltica completa. Posteriormente, se compacta este material para crear un “granular reconstituido”. La base asfáltica nueva y las capas superficiales se construyen sobre esta capa asfáltica reconstituida, obteniéndose una estructura de pavimento “equilibrada”. Los pavimentos que incorporan capas deterioradas de base estabilizadas también pueden ser tratados en forma efectiva utilizando pulverización.

2.6.4.2 Reprocesamiento

Esta técnica consiste en recompactar la capa superior del pavimento existente para alcanzar una uniformidad adecuada antes de recarpetear con una nueva capa de material importado. En esta técnica la humedad del material in-situ requiere un ajuste a pesar que no se agregue material asfáltico, el ajuste es realizado en el proceso de reciclado para asegurar el nivel óptimo de compactación y se verifica a través de la realización de un proctor modificado para conocer la humedad óptima del material.

El reprocesamiento también es aplicable a los caminos nuevos, construidos con material disponible in-situ. Si la subrasante es adecuada esta se convierte en una opción equivalente a escarificar y re compactar, que es lo empleado tradicionalmente, de esta forma es posible lograr una capa homogénea y con propiedades de capacidad de soporte consistente.

2.6.4.3 Modificación de propiedades mecánicas

Investigaciones realizadas en pavimentos revelan que una de las causas del deterioro se debe a la graduación (granulometría) deficiente de los materiales que componen las capas superiores del pavimento.

Corregir la graduación es posible mediante la adición del material granular faltante para lograr una granulometría adecuada sobre la capa granular existente, antes de aplicar la técnica del reciclado.

El contenido de humedad se ajusta durante el proceso de reciclado, para alcanzar las condiciones óptimas de compactación del material reutilizado.

2.6.4.4 Reciclado del 100% de RAP

Existen dos tecnologías distintas que pueden ser aplicadas para reciclar el 100% del material RAP:

- a) Construcción de una capa de mezcla asfáltica en frío mediante la adición de emulsión como un rejuvenecedor, a una capa reciclada delgada (normalmente de 100 mm de espesor o menos).
- b) Estabilización del RAP con cemento, emulsión o asfalto espumado en una capa más profunda (usualmente mayor a 100 mm).

El reciclado del 100% del material de RAP como una mezcla asfáltica en frío requiere el aporte de asfalto adicional en forma de emulsión. Esto es esencial en un proceso de rejuvenecimiento del asfalto, considerando que al agregar cemento hidráulico a una mezcla asfáltica, sin estudiar las propiedades volumétricas del RAP requiere una aproximación de diseño cuidadosa. La granulometría de la capa reciclada será diferente a la del asfalto original, y además, la fracción fina está adherida al material reciclado, esto implica adicionar una cantidad de finos a la mezcla mientras se realiza el proceso de reciclado.

2.6.4.5 Estabilización con RAP / base granular

Esta categoría de reciclado es habitual que sea empleada para tratar estructuras de pavimentos deterioradas compuestas por bases granulares y superficies asfálticas delgadas, constituidas tanto por concreto asfáltico como por varias capas de sellos superficiales.

La estabilización puede ser efectuada mediante el reciclado a distintas profundidades, generalmente entre 150 mm y 250 mm. Siendo necesario que el pavimento existente posea un material de excelente calidad para poder aplicar la alternativa. Los pavimentos deteriorados compuestos por capas estabilizadas (por ejemplo, con cemento o cal hidratada) también pueden ser reciclados.

2.6.5 Ventajas y Limitaciones del reciclado en Frío

Algunos de los beneficios más evidentes del reciclado en frío para la rehabilitación de pavimentos son: ²³

- a) Factores medio ambientales: Se hace uso del 100% de los materiales del pavimento existente, por lo cual no es necesaria la creación de sitios de banco de materiales, dando como resultado una reducción considerable en términos de transporte de material y en algunos casos el material que debe ser llevado a obra es mínimo.

²³ Wirtgen GmbH, 2004, Manual de Reciclado en Frío, Windhagen, Alemania

- b) Calidad de la capa reciclada: Se logra una alta y consistente calidad de mezclado de los materiales in-situ con el agua y los agentes estabilizadores. El material reciclado más los aditivos, son mezclados en forma intensa en la cámara del tambor fresador-mezclador.
- c) Integridad estructural: El proceso de reciclado en frío produce capas ligadas gruesas que son homogéneas y no contienen interfaces débiles con otras capas más delgadas.
- d) La alteración de la subrasante es mínima: La alteración de la estructura de pavimento subyacente es mínima comparada a la rehabilitación utilizando técnicas tradicionales de construcción. El reciclado en frío generalmente es una operación que requiere una sola pasada de máquina
- e) Seguridad: Uno de los beneficios más importantes del proceso de reciclado en frío es la seguridad vial que es posible conseguir. El tren de reciclado completo se puede acomodar en el ancho de la vía.
- f) Economía: En el mantenimiento de carreteras, el reciclado en frío es una técnica que confiere calidad al pavimento y permite la recuperación de vías igual en estado avanzado de degradación, además de una

considerable reducción de consumos energéticos al no existir la necesidad de calentar la mezcla.

Un proyecto de reciclado debe considerar una gran cantidad de elementos a ser analizados con la mayor profundidad posible, con el objeto de minimizar, tanto como se pueda, las condiciones de incertidumbre o limitaciones que típicamente se encontrarán involucradas en este tipo de proyectos, algunas a tomar en cuenta son:²⁴

- a) Se requiere de un estudio previo o campaña geotécnica para poder implementar la técnica de reciclado más apropiada, por que cabe destacar que no todos los materiales pueden ser empleados de forma efectiva y económica.

- b) En ocasiones el reciclado no es la solución para problemas habituales en el pavimento, tales como los asociados con la mala calidad de la explanada o capas profundas. De igual forma no es fácil solucionar los problemas causados por las deformaciones plásticas y cuando es posible

²⁴ José Martínez- Echeverría Moreno, 2002, Universidad de Granada, España

- c) La variación del material a lo largo de la vía, puede dar lugar a variaciones en el diseño y ejecución de la mezcla.
- d) hacerlo, puede ser necesario el empleo adicional de agregado para corregir la granulometría de la mezcla existente.
- e) No es recomendable reciclar pavimentos que contengan geotextiles antifisuras cuando estos se encuentren dentro del espesor del material a reciclar, porque su disgregación es complicada, y aparecerán trozos de geotextiles en la superficie que se desprenderán muy fácilmente y el aspecto de la mezcla será deficiente y poco funcional.

2.6.6 Cualidades y tipos de materiales de pavimentos existentes a ser reciclados

Las cualidades de los materiales no tratados dictan en gran parte el comportamiento final del material tratado. Mencionando las siguientes situaciones las cuales impactan la calidad de la mezcla final: ²⁵

- ✓ Pavimentos con bases Mc Adam no deben ser recicladas porque el grosor de tales materiales no es conveniente para ser tratado con un ligante asfáltico.

²⁵ Asphalt Academy, 2009, Technical Guideline: Bitumen Stabilised Materials, Pretoria.

- ✓ Carreteras con estructuras poco profundas: resultando en una estructura con poca capacidad, rara vez puede ser adecuada para rehabilitación usando solo reciclaje in situ. Si la profundidad de la estructura del pavimento es adecuada y los problemas estructurales están confinados en la capa base, entonces el reciclaje es una buena opción y puede producir una base de alta calidad. El proceso de reciclaje no perturba el material en una capa sana bajo el horizonte de reciclaje.

- ✓ Pavimentos con severo agrietamiento conocido como “piel de cocodrilo” pueden presentar problemas. Si los segmentos de agrietamiento están cerca o son más pequeños que la distancia entre los dientes de corte de la recicladora, las partículas pueden pasar a través de ellos en el proceso de reciclaje sin ser divididos. La gradación obtenida puede ser inadecuada y puede requerir un tratamiento previo de fresado.

- ✓ El grosor y variabilidad de las capas disponibles para reciclado juega un papel muy importante en determinar la conveniencia del proyecto.

- ✓ En algunos casos, material adicional necesita ser agregado al reciclado para:
 - Incrementar el grosor del pavimento.
 - Reducir la variabilidad del material reciclado.

- Modificar las propiedades del material reciclado, especialmente la gradación.

2.7 AGENTES ESTABILIZADORES

El propósito de estabilizar suelos es alterar sus propiedades físicas, mejorando su resistencia y trabajabilidad, con el fin de obtener un material de fundación satisfactorio. Los materiales más utilizados actualmente en el mundo con estos fines en la construcción de carreteras son: el cemento, la cal, emulsión asfáltica, entre otros y como tecnología emergente, el asfalto espumado.²⁶

En muchas partes del mundo, los materiales de buena calidad simplemente no están disponibles para la construcción de caminos. Los costos de transporte de importación del material adecuado, han promovido el desarrollo de técnicas de estabilización para poder utilizar los recursos localmente disponibles. En muchas ocasiones, las resistencias requeridas pueden obtenerse de un material local “marginal”, a través de la adición de pequeñas cantidades de agentes estabilizadores a un costo relativamente bajo.

²⁶ Wirtgen GmbH, 2004, Manual de Reciclado en Frío, Windhagen, Alemania.

Los agentes estabilizadores como el cemento y en un grado menor, los derivados del asfalto, han sido ampliamente estudiados. Ellos son usados extensamente y los métodos estándar de ensayos están disponibles para determinar diseños óptimos de mezclas y requerimientos de garantía de calidad.

Además, tanto el cemento como el asfalto tienen una gran utilización en la industria de la construcción y están generalmente disponibles en todo el mundo.

2.7.1 Estabilización con cemento

El cemento es el agente estabilizador más empleado. Una de las razones principales para esto es la disponibilidad; el cemento se fabrica en la mayoría de los países.

La resistencia a la compresión y a la tracción alcanzada en un material estabilizado con cemento está determinada por la cantidad de cemento que se agrega, el tipo de material y la densidad de compactación. La resistencia normalmente aumenta en una relación lineal con el contenido de cemento, pero a distintas tasas para distintos materiales y tipos de cemento.

Las tensiones de tracción se desarrollan en todo material tratado con cemento como resultado de la retracción y/o el tránsito, si estas exceden la resistencia a la tracción se generan grietas, sin embargo, es importante reconocer que el material tratado con cemento se agrieta por dos razones distintas.

La primera es función de la reacción química que sucede cuando los hidratos de cemento se encuentran en presencia de agua y por lo tanto, no es inducida por el tráfico. La segunda causa es la acción repetitiva de cargas de tráfico. La iniciación del agrietamiento y su posterior propagación es completamente diferente para cada una de ellas.

Es importante mencionar que toda base estabilizada con cemento se agrieta, el problema es cuando se trabaja con una mezcla asfáltica en caliente sobre este tipo de bases, ya que surge un problema denominado “reflejo” sobre la carpeta asfáltica.

2.7.2 Estabilización con Cal

El uso de la cal en la estabilización de suelos sigue el propósito general de mejorar las características naturales del terreno. La cal se adapta perfectamente a la mayoría de los suelos, mejorando las características plásticas de estos, así como aumentando considerablemente el valor de soporte, para resistir los efectos inducidos por el tránsito (esfuerzos de corte) y los cambios volumétricos en diferentes condiciones de clima. Elimina la susceptibilidad al agua de los suelos cohesivos reduciendo la tendencia al hinchamiento de los mismos.²⁷

²⁷ Montejo Fonseca Alfonso, 2002, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Universidad Católica de Colombia, Colombia.

2.7.3 Estabilización con Emulsión Asfáltica

La mayoría de las emulsiones utilizadas como agentes estabilizadores tienen una componente de “asfalto residual” de 60%, que significa que el 60% de volumen de la emulsión está compuesto de asfalto disperso en un 40% del volumen que es agua.

El porcentaje de asfalto puede, sin embargo, variar entre 30% y 70%, pero los porcentajes de asfalto mayores a 60% no son recomendables para el reciclado debido que la emulsión se torna viscosa, más difícil de bombear y por lo tanto es más difícil cubrir el agregado.

Después de mezclar la emulsión con el suelo a estabilizar se produce el proceso de “quiebre”, que es la separación del asfalto de la fase de agua y la unión de las gotitas de asfalto con el agregado para producir una película continua de asfalto sobre la superficie de agregado. El proceso de quiebre es seguido por el curado, que es la pérdida del agua de la mezcla (principalmente a través de la evaporación) y el incremento de la rigidez y la resistencia a la tracción de la capa estabilizada de asfalto. Esto es importante debido a que una mezcla requiere adquirir rigidez y cohesión entre las partículas antes de permitir el tránsito sobre la nueva capa. La estabilización con asfalto produce un material con propiedades viscoelásticas con una flexibilidad mejorada y resistencia a la deformación.

2.7.4 Estabilización con Asfalto Espumado

El asfalto caliente (160 – 180 °C) se transforma en asfalto espumado cuando se mezcla con una pequeña cantidad de agua atomizada (típicamente un 2 % en masa) en una cámara de expansión especial. En el estado espumado (un estado temporal de baja viscosidad), el asfalto puede ser agregado y mezclado con los agregados a temperatura ambiente y con contenidos de humedad in-situ.²⁸

De forma similar a la estabilización con emulsión asfáltica, se debe agregar pequeñas proporciones de cemento o cal junto con el asfalto espumado. El objetivo es similar, mejorar la resistencia retenida en condiciones de humedad. El empleo de un filler activo ayuda además a la dispersión del asfalto al incrementar la fracción menor a 0,075 mm del material así como también mejorar la trabajabilidad de la mezcla y la reducción del Índice de Plasticidad.

²⁸ Wirtgen GmbH, 2004, Manual de Reciclado en Frío, Windhagen, Alemania.

La presente investigación, trata acerca del diseño de una base estabilizada con asfalto espumado, la cual es ideal para un pavimento flexible, se realizará un diseño previo con emulsión asfáltica, el cual partirá de la humedad óptima encontrada a partir del ensayo “Determinación en Laboratorio de las Características de Compactación de los Suelos”, realizado al material a estabilizar (RAP) y con el resultado de dicho diseño se concluirá en el trabajo con asfalto espumado, por lo tanto se profundiza más acerca de estos dos agentes estabilizadores.

CAPITULO III
EMULSIONES ASFÁLTICAS

3.0 EMULSIONES ASFALTICAS

3.1 DEFINICIÓN DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS

Podemos definir una emulsión como una dispersión fina más o menos estabilizada de un líquido en otro y están unidos por un emulsificante, emulsionante o emulgente. Las emulsiones son sistemas formados por dos fases parcial o totalmente inmiscibles, en donde una forma la llamada fase continua (o dispersante) y la otra la fase discreta (o dispersa). Esto puede apreciarse en la figura 3.1, en donde se muestra un dibujo esquemático de una emulsión.¹

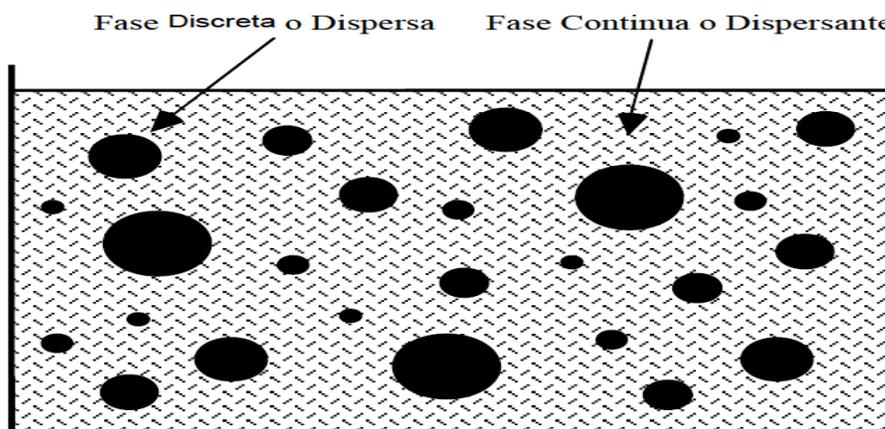


Figura 3.1. Diagrama esquemático de una emulsión.

Fuente: Instituto Mexicano del Transporte, 2001.

¹ Rogelio, R, Castaño, V, Martínez, M, 2001, Emulsiones Asfálticas, Santandilia, México.

3.2 COMPOSICIÓN DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS²

Las emulsiones asfálticas consisten en tres ingredientes básicos, asfalto, agua y un agente emulsivo. En algunas ocasiones, la emulsión puede contener otros aditivos, como estabilizantes, mejoradores de recubrimiento, mejoradores de adherencia, o agentes de control de rotura. A continuación se describen los componentes básicos de las emulsiones asfálticas:

a) Asfalto

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. Algunas propiedades del cemento asfáltico sí afectan significativamente la emulsión final. Sin embargo, no hay una correlación exacta entre las propiedades del asfalto y la facilidad con que el asfalto puede ser emulsionado.

b) Agua

El segundo componente en una emulsión asfáltica es el agua. Su contribución a las propiedades deseadas en el producto final no puede ser minimizada. El agua puede contener minerales u otros elementos que afectan la producción de emulsiones asfálticas estables.

² ASPHALT INSTITUTE, ASPHALT EMULSION MANUFACTURERS ASSOCIATION, Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, Manual Series N° 19, USA.

c) Agentes emulsivos

Las propiedades de las emulsiones asfálticas dependen en gran medida de los agentes químicos utilizados como emulsivos. El emulsivo es un agente tensio-activo o surfactante. El agente emulsivo mantiene las gotitas de asfalto en suspensión estable y controla el tiempo de rotura. Es también el factor determinante en la clasificación de las emulsiones como aniónicas, catiónicas o no-iónicas.

El objetivo es lograr una dispersión estable del cemento asfáltico en el agua a manera de ser bombeada, almacenada durante tiempo prolongado, y mezclada. Más aún, la emulsión deberá "romper" rápidamente tras entrar en contacto con el agregado en un mezclador, o tras ser distribuida sobre la calzada, ("rotura" es la separación del agua del asfalto). Al curar, el residuo asfáltico conserva toda la capacidad adhesiva, la durabilidad, y la resistencia al agua propias del cemento asfáltico con el cual fue elaborado.

3.3 HISTORIA DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS

Las emulsiones fueron desarrolladas por primera vez a comienzos del siglo XX. Fueron en los años 20 cuando su uso se generalizó con aplicaciones viales. Inicialmente se utilizaron en aplicaciones de riego y como paliativos de polvo.

El uso de las emulsiones asfálticas creció de manera relativamente lenta, limitado por el tipo de emulsiones disponibles y por la falta de conocimientos sobre su correcta aplicación.

El desarrollo ininterrumpido de nuevos tipos y grados, sumado a equipos de producción y prácticas mejoradas, ofrece ahora una amplia gama de elección. Virtualmente cualquier necesidad vial puede ser abordada con emulsiones. La selección y el uso juiciosos pueden resultar en sustanciales beneficios económicos y ambientales.

Entre 1930 y mediados de 1950, hubo un lento pero firme incremento en el volumen de emulsiones utilizadas.³

Las emulsiones aniónicas se comenzaron a emplear en Europa en 1925, el gran inconveniente que tuvieron fue el largo tiempo de rompimiento de la emulsión, que en la época de lluvias causaba muchos retrasos y graves problemas de construcción. Las emulsiones asfálticas catiónicas aparecieron en Europa en 1953 y en Estados Unidos hasta 1958. Al principio, tales emulsiones se usaron únicamente en la construcción de tratamientos superficiales, como riego de liga y de sello. Al reconocerse la ventaja de las emulsiones catiónicas sobre las aniónicas y los rebajados, se inició la búsqueda de un emulsificante que produjera una emulsión de rompimiento lento, capaz de mezclarse con una granulometría para base o para carpeta.

³ ASPHALT INSTITUTE, ASPHALT EMULSION MANUFACTURERS ASSOCIATION, Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, Manual Series N° 19, USA.

En 1973, los países árabes, poseedores de la mayoría del petróleo mundial, aumentaron el valor del barril de petróleo crudo resultando afectados los derivados del mismo, entre ellos los solventes empleados en los asfaltos rebajados; esto provocó un incremento en el uso mundial de las emulsiones asfálticas.⁴

Subsecuentemente varios factores han contribuido al uso de las emulsiones asfálticas, de los cuales dos son los principales, conservación de la energía y contaminación atmosférica, estos impulsaron el uso de emulsiones asfálticas en aplicaciones en las que se empleaban típicamente asfaltos diluidos.⁵

3.4 CLASIFICACIÓN DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS

Las emulsiones asfálticas se clasifican en tres categorías: aniónica, catiónica, y no iónica. Una segunda clasificación de las emulsiones se basa en la velocidad con que las gotitas de asfalto coalescen, esto es, se juntan restaurando el volumen de cemento asfáltico.

⁴ Rogelio, R, Castaño, V, Martínez, M, 2001, Emulsiones Asfálticas, Santandilia, México.

⁵ ASPHALT INSTITUTE, ASPHALT EMULSION MANUFACTURERS ASSOCIATION, Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, Manual Series N° 19, USA.

3.4.1 Emulsiones asfálticas de acuerdo a la categoría de emulsificante

Las emulsiones asfálticas pueden ser clasificadas de acuerdo al tipo de emulgente usado. En este caso podemos hablar de tres tipos, aniónicas, catiónicas, y no iónica. En la práctica, las dos primeras son las más ampliamente usadas en la construcción y mantenimiento de carreteras. Estas denominaciones aniónicas y catiónicas se refieren a las cargas eléctricas que rodean a las partículas de asfalto, como se observa en la Figura 3.2. Este sistema de identificación se basa en una ley de electricidad, que las cargas iguales se repelen y las cargas opuestas se atraen.⁶

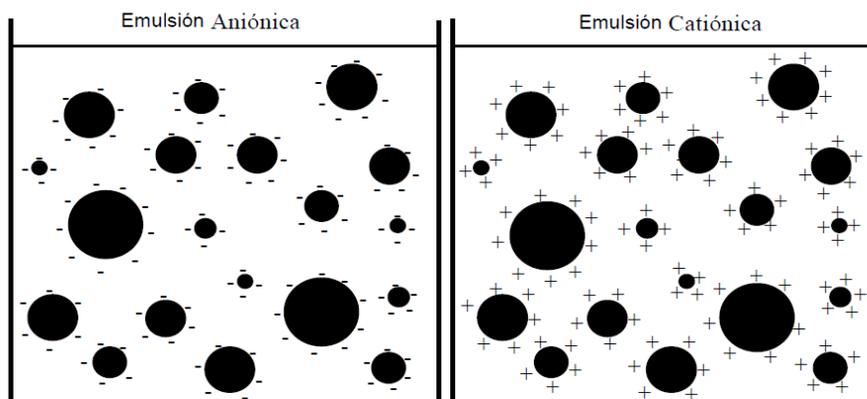


Figura 3.2. Representación esquemática de una emulsión aniónica y de una catiónica.

Fuente: Instituto Mexicano del Transporte, 2001.

⁶ César Arturo Castaneda Siete, 'Guía básica para el uso de emulsiones asfálticas en la estabilización de bases en caminos de baja intensidad en el salvador', Trabajo de graduación presentado para optar al grado de ingeniero civil en la Universidad de El Salvador (UES), San Salvador, El Salvador (2011).

3.4.1.1 Emulsificante catiónicos

Las emulsiones preparadas con emulsificante catiónicos presentan varias características importantes: son estables, rompen al contacto con la superficie, fijándose allí la fase orgánica dispersada, y la película formada se adhiere fuertemente a la superficie y es relativamente insensible al agua. Por estas razones, este tipo de surfactante es el más utilizado para carreteras, por sus propiedades que mejoran la adhesión del asfalto sobre las rocas, y de adaptarse a cualquier material rocoso. ⁷

3.4.1.2 Emulsificante aniónicos

Los emulsificantes aniónicos utilizados son sulfonatos de lignina o casi todos los tipos conocidos de derivados del petróleo, capaces de producir la emulsión con las características adecuadas de velocidad de rotura en presencia del material al cual se debe agregar la emulsión. ⁷

3.4.1.3 Emulsificante no-iónicos

Los surfactantes no-iónicos no producen iones en solución acuosa, lo cual se debe a la presencia de grupos hidrofílicos del tipo alcohol, fenol, éter o amida, y por tanto son compatibles con cualquier otro tipo.

⁷ Mercado, R, Bracho, C, Avendaño, J, 2008, Emulsiones Asfálticas, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.

Como consecuencia de que no existe una interacción iónica entre el emulsificante y el material pétreo, su utilización puede ocasionar una pobre adhesión entre el asfalto emulsificado y el mineral, a menos que el emulsificante se utilice en un medio ácido o básico.⁸

3.4.2 Emulsiones Asfálticas con respecto a su estabilidad

Hay que considerar una característica importante al caracterizar las emulsiones: la tasa suspendida de sedimentación, que cuantifica la rapidez con la cual coalescen las partículas suspendidas de asfalto o cuán rápido se rompe la emulsión por evaporación del agua, y que es afectada por el tipo y concentración de emulsificante y las condiciones atmosféricas. En tal sentido se emplean los términos RS (Rapid Setting), MS (Medium Setting) y SS (Slow Setting) para designarlos.⁸

Los términos RS (rapid-setting, rotura rápida), MS (medium-setting, rotura media), SS (slow-setting, rotura lenta) y QS (quick-setting, rotura rápida QS) han sido adoptados para simplificar y normalizar esta clasificación.

⁸ Mercado, R, Bracho, C, Avendaño, J, 2008, Emulsiones Asfálticas, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.

3.4.2.1 Emulsiones de Rotura Rápida (RS) y (QS)

Las emulsiones RS se utilizan principalmente en tratamiento de superficies. Estas emulsiones interactúan rápidamente con el agregado, y revierten la emulsión a asfalto. Este tipo de emulsiones produce películas resistentes y algunos grados (RS-2 y CRS-2) tienen altas viscosidades, para prevenir el escurrimiento, y que una vez formada la capa, ésta no se despegue con facilidad. Estas propiedades la hacen ideal para aplicaciones de rociado, tales como en bacheos, sellos arenosos y tratamientos superficiales.⁹

Las emulsiones de rotura rápida QS han sido desarrolladas para lechadas asfálticas (slurry seals). Las emulsiones catiónicas CQS (CRRQS) son ampliamente utilizadas por su versatilidad con un vasto rango de agregados y por sus características de rápida rotura.¹⁰

3.4.2.2 Emulsiones de Rotura Media (MS)

Son diseñadas para ser mezcladas con agregados, ya sea en frío o en caliente, y también para el tratamiento de superficies. Estas emulsiones no se rompen inmediatamente al contacto con el agregado, y por esta razón, algunas pueden ser elaboradas en una planta y la mezcla resultante, transportada al lugar de la pavimentación.

⁹ Mercado, R, Bracho, C, Avendaño, J, 2008, Emulsiones Asfálticas, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.

¹⁰ ASPHALT INSTITUTE, ASPHALT EMULSION MANUFACTURERS ASSOCIATION, Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, Manual Series N° 19, USA.

Las emulsiones MS han sido usadas con éxito en mezclas de emulsiones de grado abierto, en reciclado de pavimentos y en mezclas en frío en plantas centrales.¹¹

3.4.2.3 Emulsiones de Rotura Lenta (SS)

Son diseñadas para un tiempo máximo de mezcla con los agregados. Su largo tiempo para la manipulación asegura buen cubrimiento con grados densos, de agregados con un alto contenido de finos. Su aplicación se extiende, además de la pavimentación, a otros usos industriales. Para tales propósitos, la viscosidad de las emulsiones es baja y puede ser reducida aún más con la adición de agua. Otras aplicaciones de estas emulsiones incluyen bases de grado denso y bases para estabilización.¹¹

3.5 NOMENCLATURA PARA LOS DISTINTOS TIPOS DE GRADOS DE EMULSIONES

Las emulsiones se identifican con una serie de números y letras que aluden a la viscosidad de las emulsiones y a la consistencia de la base de cemento asfáltico. La letra "C", encabezando el tipo de emulsión, identifica a una emulsión catiónica. La ausencia de la C identifica a las emulsiones aniónicas.

¹¹ Mercado, R, Bracho, C, Avendaño, J, 2008, Emulsiones Asfálticas, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela

De acuerdo al grado de viscosidad que posea, se utilizan los sufijos 1 y 2 para designar a emulsiones cuyas viscosidades Saybolt Furol, a 122 °F, se encuentran en los rangos 20-100 y 100-400 s, respectivamente. Cuando se ha utilizado un asfalto duro (penetración de 40-50 a 77 °F) en la manufactura de la emulsión, se suele colocar la letra h como sufijo. Cuando no aparece la letra h se sobreentiende que se ha utilizado un asfalto con penetración entre 100-200.¹²

Por ejemplo, CSS-1h representa a una emulsión catiónica de sedimentación lenta con viscosidad entre 20 y 100 s, en la que se ha utilizado un asfalto con penetración 40 a 90 dmm, que es el caso de la emulsión que será utilizada en esta investigación, la clasificación en general es presentada en la Figura 3.3.

Emulsión Asfáltica (ASTM D977, AASHTO M140)	Emulsión Asfáltica Catiónica (ASTM D2397, AASHTO M208)
RS-1 (<i>RR-1</i>)	CRS-1 (<i>CRR-1</i>)
RS-2	CRS-2
HFRS-2	—
MS-1 (<i>RM-1</i>)	—
MS-2	CMS-2 (<i>CRM-2</i>)
MS-2h	CMS-2h
HFMS-1	—
HFMS-2	—
HFMS-2h	—
HFMS-2s	—
SS-1 (<i>RL-1</i>)	CSS-1 (<i>CRL-1</i>)
SS-1h	CSS-1h

Figura 3.3. Tabla de especificaciones para los distintos tipos de grados de emulsión asfálticas.

Fuente: Instituto del asfalto, MS-19.

¹² ASPHALT INSTITUTE, ASPHALT EMULSION MANUFACTURERS ASSOCIATION, Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, Manual Series N° 19, USA

3.6 PROPIEDADES DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS¹³

Desde el punto de vista fisicoquímico, una emulsión es la dispersión del ligante asfáltico en un medio acuoso, las características que se exigen a las emulsiones para su empleo en carreteras se presentan a continuación:

3.6.1 Rompimiento de las Emulsiones Asfálticas

Con las emulsiones asfálticas, se debe tener presente el control sobre el rompimiento de la misma, pasado un determinado tiempo, el cual dependerá de las condiciones en las que se está trabajando, las emulsiones tienden a depositarse como una capa sobre el material pétreo, como se observa en la Figura 3.4. 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.

Este fenómeno de rompimiento o ruptura de la emulsión ocurre debido a la carga eléctrica que tiene el material pétreo. La carga que tiene el material pétreo 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 formando una capa asfáltica.¹⁴

¹³ ASOCIACIÓN TÉCNICA DE EMULSIONES BITUMINOSAS, ATEB, 2001, Las emulsiones de Betumen, Universidad de Cataluña, Barcelona, España.

¹⁴ Rogelio, R, Castaño, V, Martínez, M, 2001, Emulsiones Asfálticas, Santandilia, México.

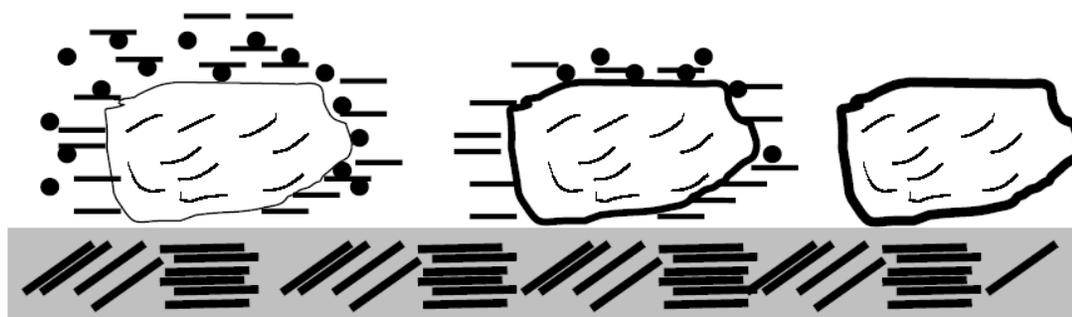


Figura 3.4 Ruptura de una emulsión asfáltica sobre un material pétreo.

Fuente: Instituto Mexicano del Transporte, 2001

La rotura de una emulsión produce una absorción parcial del agua y emulsión libre por el agregado, lo que origina una mayor concentración de glóbulos en las proximidades del agregado y una desestabilización de la emulsión. Para la Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas, los factores determinantes de la velocidad de rotura de la emulsión son: el tipo y dosis utilizada de emulsión y el pH (medida de la acidez o de la alcalinidad de una sustancia) de la fase acuosa.

3.6.2 Viscosidad

Cuando se trata de emulsiones destinadas a tratamientos superficiales, una viscosidad alta permitirá una película más espesa que proporciona una mejor sujeción de los agregados y además un menor escurrimiento del ligante, por el contrario para emulsiones de mezcla, una baja viscosidad permitirá una mejor dispersión.

Una emulsión con un tamaño de partícula pequeño y con una distribución granulométrica estrecha, tendrá una alta viscosidad. Actualmente existen emulsificantes capaces por sí solos de aumentar notablemente la viscosidad de una emulsión sin cambiar el tamaño de los glóbulos.

3.6.3 Floculación

Floculación o Coagulación para el Instituto Mexicano del Transporte, es un proceso mediante el cual dos partículas se unen para formar partículas más grandes.

En las emulsiones es un proceso en el cual las gotitas de asfalto empiezan a unirse unas con otras, generalmente se forma una gota grande al centro rodeada de pequeñas alrededor de ella. Estas partículas floculadas se pueden separar con sólo agitar.

3.6.4 Sedimentación

La sedimentación es el fenómeno en el que la emulsión se separa en dos zonas, una más concentrada y otra más diluida sin que ocurra ninguna agregación de los glóbulos.

Las partículas de asfalto ligeramente elevan su densidad respecto al agua por efecto de la gravedad, dichas partículas se orientan hacia la parte inferior del envase que las contienen. Si aumentamos solventes a la mezcla, ésta puede

perder densidad y las partículas se orientan hacia la parte superior del envase, a este fenómeno se le denomina “cremosidad”¹⁵.

3.6.5 Coalescencia

Proceso mediante el cual dos o más partículas se funden para formar una partícula más grande. En este caso, el área superficial total es reducida. En este proceso si se pierde la identidad de las partículas originales.

Cuando las gotitas se fusionan formando grandes partículas, la emulsión eventualmente ya rompió. Este fenómeno generalmente se origina después de la floculación. Esto se debe a la insuficiente cantidad de emulsificante, temperaturas de producción y almacenamiento erróneas.

3.6.6 Adhesividad

Se define adhesividad como "La capacidad de un ligante para permanecer sujeto al agregado, recubriéndolo sin ningún riesgo de desplazamiento aun en presencia de agua o tráfico". La adhesividad puede ser activa (capacidad de un ligante para mojar el agregado durante su mezcla) o pasiva (resistencia del asfalto a ser desplazado de la superficie del agregado por el agua o el tráfico), como se ilustra en la Figura 3.5.

¹⁵ Rogelio, R, Castaño, V, Martínez, M, 2001, Emulsiones Asfálticas, Santandilia, México

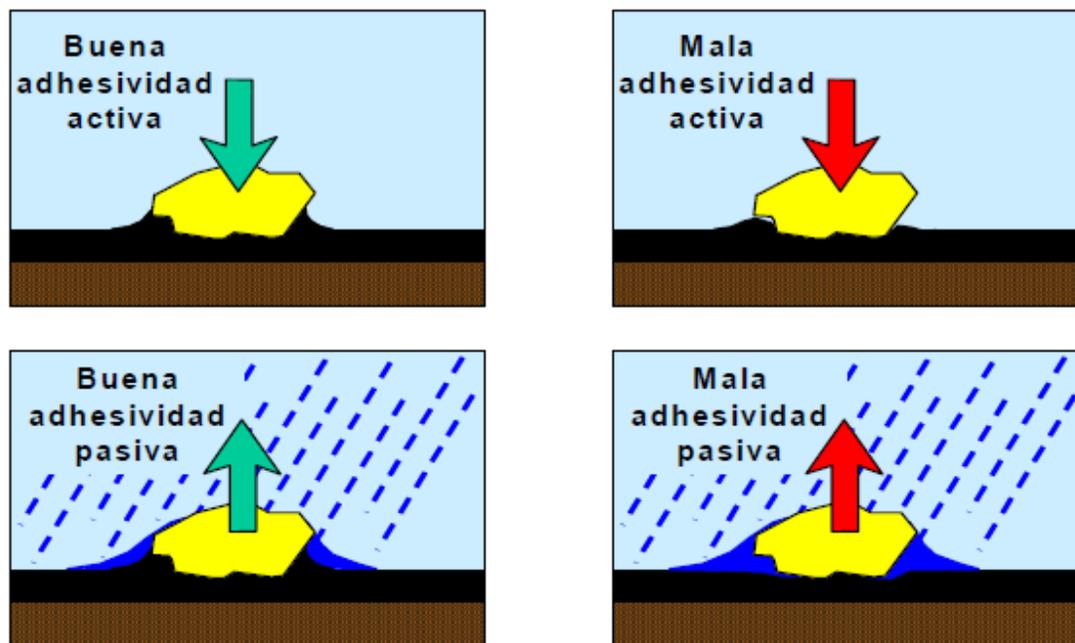


Figura 3.5 Funcionamiento del mecanismo de adherencia.

Fuente: Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas, de la "Universidad de Cataluña"

3.7 CONSIDERACIONES AL TRABAJAR CON EMULSION ASFÁLTICA¹⁶

A continuación se presenta la información, más relevante acerca de las emulsiones asfálticas, la cual se tomará en cuenta para realizar la investigación.

¹⁶Wirtgen GmbH, 2004, Manual de Reciclado en Frío, Windhagen, Alemania

a) Manejo

Las emulsiones asfálticas son susceptibles a la temperatura y presión. Las condiciones que van a hacer que el asfalto se separe de la suspensión (lentamente como “floculación”, o instantáneamente como “quiebre instantáneo”) deben ser claramente entendidas para evitar de que esto ocurra.

b) Contenido total de fluido

Cuando se trabaja con emulsiones asfálticas, el “Contenido Total de Fluido” es utilizado en vez del Contenido de Humedad al momento de definir la relación humedad/densidad. La densidad máxima se alcanza con el Contenido Óptimo de Fluido Total, que es la combinación del agua de compactación y emulsión asfáltica en la mezcla. Antes de quebrar, la emulsión asfáltica es un fluido con una viscosidad ligeramente mayor que la del agua. Tanto los componentes del agua como del asfalto de una emulsión actúan como un lubricante para ayudar a la compactación, por lo que ambos deben ser considerados como un solo fluido.

c) Curado

A manera de ganar resistencia, una mezcla de emulsión debe expulsar el exceso de agua, o curar. A pesar de que algunos materiales estabilizados con emulsión asfáltica pueden alcanzar su resistencia total en un período corto de tiempo (un mes), el curado puede tardar más de un año para algunos

materiales. La longitud de este período está afectada por el contenido de humedad de terreno, la interacción emulsión/agregado, clima local (temperatura, precipitación y humedad) y el contenido de vacíos de la mezcla.

La adición de cemento tiene un impacto significativo en la tasa de ganancia de resistencia. Esto es particularmente útil cuando el tráfico debe ser acomodado en una capa reciclada poco tiempo después del tratamiento, sin embargo, fuentes bibliográficas indica que añadir más de 2% en masa afecta negativamente las propiedades de fatiga de la capa estabilizada. Por esta razón es que la tasa de aplicación de cemento está usualmente limitada a un máximo recomendado de 1,5% y un máximo absoluto de 2%.

La estabilización con asfalto espumado que se realizará en la investigación, tendrá un previo diseño con emulsión asfáltica CSS- 1h (emulsiones catiónicas de quiebre lento y residuo asfáltico duro) con el que se encontrará el contenido óptimo de emulsión para el material a estabilizar (RAP), dicho contenido óptimo será sustituido posteriormente con asfalto espumado.

CAPITULO IV

ASFALTO ESPUMADO

4.0 ASFALTO ESPUMADO

4.1 CEMENTO ASFALTICO¹

El Asfalto es un producto natural o compuesto que proviene de la destilación seca de productos orgánicos vegetales. Es una mezcla de betún con productos materiales inertes tales como Sílice, Arena, Arcilla, etc. El asfalto se extrae de dos formas diferentes, explotación natural y por refinamiento.

El asfalto natural se encontraba depositado en estanques y lagos de asfalto, así como en piedras porosas como la caliza y la arenisca (piedras conocidas también como piedras asfálticas). Esto se explica debido a las fuerzas geológicas que provocaron el ascenso del asfalto a la superficie y al hacer contacto éste con los elementos de la atmósfera, provocaban su endurecimiento.

El asfalto refinado comenzó a utilizarse hace casi doscientos años como sustituto del asfalto natural debido a que este último sólo se encontraba en lugares apartados y su reología no era tan buena, ya que su contenido malténico, al calentarse, se evaporaba con rapidez y se endurecía con mucha facilidad. Actualmente la producción del Cemento Asfáltico se da por refinación ya que los recursos naturales de asfalto se han agotado en su mayoría.

¹ Rafael Alexander Crespín Molina, "Aplicación del método Marshall y granulometría Superpave en el diseño de mezclas asfálticas en caliente con asfalto clasificación grado de desempeño", Trabajo de graduación presentado para optar al grado de ingeniero civil en la Universidad de El Salvador (UES), San Salvador, El Salvador (2012).

4.1.1 CLASIFICACIÓN DEL ASFALTO

El asfalto posee características físicas, que son los elementos que le proveen todas sus particularidades, su principal clasificación es por penetración, viscosidad y grado de desempeño del pavimento.

4.1.1.1 Sistema de Clasificación por Penetración

La clasificación del asfalto por penetración, conlleva el desarrollo de una serie de ensayos de laboratorio, los cuales están contemplados en la norma ASTM D 946-09a, “Especificación estándar para el grado de penetración del cemento asfáltico para uso en la construcción de pavimentos”. A continuación, en la Tabla 4.1, se presentan las características físicas que deben cumplir los cementos asfálticos, para ser clasificados de acuerdo a la norma ASTM D 946.

Ensayo	Norma de ensayo ASTM	Clasificación por Penetración (Grados de Penetración)									
		40 - 50		60 - 70		85 - 100		120-150		200-300	
		Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Penetración (0.1mm)	D 5	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Flash Point (°C)	D 92	232	---	232	---	232	---	218	---	177	---
Ductilidad (cm)	D 113	100	---	100	---	100	---	100	---	100	---
Solubilidad (%)	D 2042	99.0	---	99.0	---	99.0	---	99.0	---	99.0	---
Ensayos en Residuo de asfalto, después de ensayo de Película Delgada, ASTM D 1754.											
Penetración (%)	D 5	55+	---	52+	---	47+	---	42+	---	37+	---
Ductilidad (cm)	D 113	---	---	50	---	75	---	100	---	100	---

Tabla 4.1 Requisitos para clasificar el asfalto según especificación ASTM D 946.

Fuente: Especificación ASTM D 946-09

4.1.1.2 Sistema de Clasificación por Viscosidad

Los ensayos requeridos para la clasificación del asfalto, están contemplados en la norma ASTM D 3381-13, “Especificación estándar para el grado de viscosidad del cemento asfáltico para uso en la construcción de pavimentos”.

Dentro de esta especificación se encuentran los asfaltos clasificados por:

- a) Residuo (AR): los asfaltos clasificados por residuo son más conocidos como asfaltos clasificados por viscosidad después de envejecido, entre los cuales se encuentran los siguientes: AR-10, AR-20, AR-40, AR-80 y AR-160.

PRUEBAS SEGÚN AASHTO T -240	Grado de Viscosidad				
	AR-10	AR-20	AR-40	AR-80	AR-160
Viscosidad, 60° C, poises	1000±250	2000±500	4000±1000	8000±2000	16000±4000
Viscosidad, 135 °C, Cs- mínimo	140	200	275	400	550
Penetración, 25°C, 100g. 5s- mín.	65	40	25	20	20
% de Penetración. original, 25°C-mín.	40	45	50	52
Ductilidad, 25°C, 5 cm/ min, cm-mín.	100 ²	100 ²	75	50	52
Pruebas sobre el asfalto original:		219(425)			
Punto de llama. Cleveland °C mínimo	205(400)		227(440)	232(450)	238(460)
Solubilidad en Tricloroetileno % mín.	99	99	99	99	99

Tabla 4.2 Requisitos para cementos asfálticos clasificados por viscosidad a 60° C

Fuente: Especificación ASTM D 3381-13

b) Viscosidad (AC): los ensayos se realizan en el asfalto original (virgen), entre los asfaltos clasificados por viscosidad, tenemos los siguientes: AC 5, AC 10, AC 20, AC 30, AC 40. Cabe mencionar que el asfalto a utilizar en las pruebas de laboratorio es de tipo AC 30, por tanto se presenta a continuación, en la Tabla 4.3, las características físicas que debe cumplir este tipo de asfalto:

PRUEBA	Grado de Viscosidad					
	AC-2.5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30	AC-40
Viscosidad, 60° C, poises	250±50	500±100	1000±200	2000±400	3000±600	4000±800
Viscosidad, 135 °C, Cs- mínimo	125	175	250	300	350	400
Penetración, 25°C, 100g. 5s-mín.	220	140	80	60	50	40
Punto de llama, Cleveland, °C -mín.	163(325)	177(350)	219(425)	232(450)	232(450)	232(450)
Solubilidad en Tricloroetileno, % mín.	99	99	99	99	99	99
Pruebas sobre el residuo del ensayo TFO:						
Pérdida por calentamiento, % máximo (opcional) ¹	100	1	0.5	0.5	0.5	0.5
Viscosidad, 60 °C, poises- máximo	100 ²	200	4000	8000	12000	16000
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm.-mínimo		100	75	50	40	25
Prueba de mancha (cuando y cómo se especifique) ³	Negativa para todos los grados					
Solvente normal de nafta						
Solvente de nafta-xileno, % xileno						
Solvente de heptano-xileno, % xileno						

Tabla 4.3 Requisitos para cementos asfálticos clasificados por viscosidad a 60 °C

Fuente: Especificación ASTM D 3381-13

4.1.1.3 Sistema de Clasificación según el Grado de Desempeño del Pavimento

Los ligantes asfálticos son normalmente seleccionados en función del clima. La tabla 4.4 muestra los grados actuales en la especificación SUPERPAVE para ligantes clasificados por Grado de Desempeño (Performance Grade). En esta tabla, PG 76 y PG 82 solo se utilizan para cargas estáticas o a baja velocidad, o para excesivo tránsito pesado.

Por ejemplo en la Tabla 4.4 un asfalto PG 46-34 tiene la siguiente designación PG de “performance grade” (grado de desempeño), el primer número es la temperatura media anual más alta que probablemente se encuentre en dicha región, y -34 la temperatura media anual más baja que probablemente se encuentre en dicha región.

Grado de Alta Temperatura	Grado de Baja Temperatura
PG 46-	34,40,46
PG 52-	10,16,,22,28,34,40,46
PG 58-	16,22,28,34,40
PG 64-	10,16,22,28,34,40
PG 70-	10,16,22,28,34,40
PG 76-	10,16,22,28,34
PG 82-	10,16,22,28,34

Tabla 4.4 Grados de Ligante Asfáltico SUPERPAVE.

Fuente: Antecedentes de los Métodos de Ensayo de Ligantes Asfálticos de Superpave.

4.2 DEFINICION DE ASFALTO ESPUMADO²

El asfalto espumado es aquel que se produce cuando el cemento asfáltico es expandido mediante un proceso físico de intercambio de calor. En dicho proceso se inyecta una pequeña cantidad de agua fría (1 a 3% del peso del asfalto) al asfalto caliente (160 °C - 180 °C) dentro de una cámara de expansión, generando instantáneamente una expansión de gas en forma de espuma, esto se ilustra en la Figura 4.1.

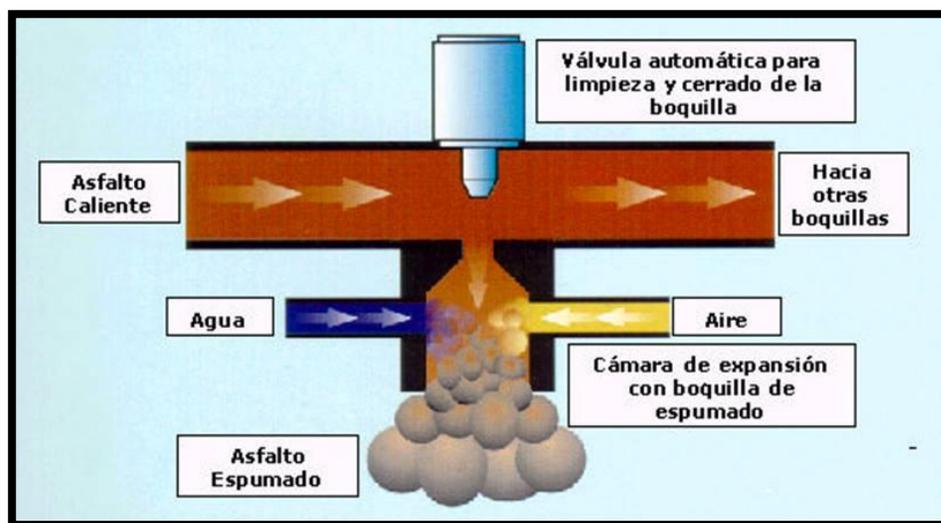


Figura 4.1 Producción del Asfalto Espumado en la Cámara de Expansión.

Fuente: Manual de Reciclado en Frío, Wirtgen.

²Gulliermo T, Andrés J, Revista Ingeniería de Construcción "Tecnología del Asfalto Espumado", Vol17 N°2, Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

El proceso de expansión se puede explicar de la siguiente manera: en el momento que las gotas de agua fría toman contacto con el asfalto caliente, se produce un intercambio de energía entre el asfalto y las gotas de agua, lo que eleva la temperatura del agua hasta los 100 °C. La transferencia energética del asfalto sobrepasa el calor latente del agua, generando vapor y una expansión explosiva de éste. Las burbujas de vapor son forzadas a introducirse en la fase continua del asfalto bajo la presión de la cámara de expansión, quedando encapsuladas. El asfalto, junto con el vapor de agua encapsulada, es liberado de la cámara a través de una válvula (dispositivo rociador) y el vapor de agua encapsulada se expande formando burbujas de asfalto contenidas por la tensión superficial de éste. Durante la expansión, la tensión superficial de la delgada capa de asfalto contrarresta la disminución de la presión al interior de las burbujas de vapor, hasta alcanzar un estado de equilibrio.

Debido a la baja conductividad térmica del asfalto y del agua, las burbujas pueden mantener el equilibrio por pocos segundos (10-30 segundos). La desintegración de la burbuja (o colapso de la espuma) produce miles de gotitas de asfalto las cuales al unirse recuperan su volumen inicial sin alterar significativamente las propiedades reológicas de éste.

El asfalto espumado, al colapsar, se distribuye exclusivamente a las partículas finas, produciendo “puntos de soldadura” de masillas de gotitas de asfalto y finos, uniendo así todo el conjunto³, la Figura 4.2 esquematiza este comportamiento.

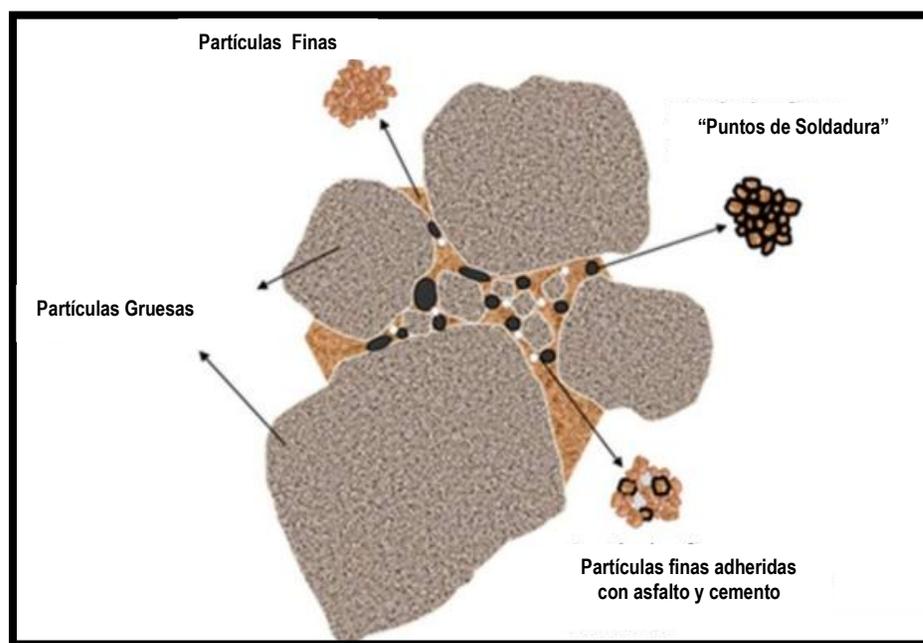


Figura 4.2 Composición de la mezcla con Asfalto Espumado.

Fuente: Presentación XVII Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto, CILA, 2013, “Evaluación de la rigidez a largo plazo de mezclas estabilizadas con asfalto espumado y cemento”, Antigua Guatemala, Guatemala.

³ Asphalt Academy, 2009, Technical Guideline: Bitumen Stabilised Materials, Pretoria.

4.3 HISTORIA DEL ASFALTO ESPUMADO

La primera persona en darse cuenta del potencial de usar asfalto espumado como agente estabilizador fue el Dr. Ladis H. Csanyi, profesor de la Estación Experimental de Ingeniería (Engineering Experiment Station) en la Universidad Estatal de Iowa (Iowa State University) en 1956.⁴ Vio la posibilidad de usar el asfalto espumado en la estabilización de suelos. Espumar el asfalto reduce su viscosidad considerablemente y aumenta sus propiedades adherentes haciéndolo apto para mezclar con agregados fríos y húmedos.

Los primeros reportes de aplicaciones de asfalto espumado datan del año 1957 y corresponden a aplicaciones realizadas en una carretera estatal de Iowa (USA). En años posteriores se reportan varias aplicaciones, entre las que destacan: Arizona (USA) en 1960 y en Nipawin (Canadá) en 1962.⁵ Esta tecnología fue posteriormente mejorada por la organización Mobil Oil en 1968, al adquirir los derechos de la patente de invención y desarrollar la primera cámara de expansión que mezcla agua fría con asfalto caliente para generar espuma, transformándose así en un proceso más práctico, económico y menos peligroso.⁶

⁴ Wirtgen GmbH, 2004, Manual de Reciclado en Frío, Windhagen, Alemania.

⁵ Guillermo T, Andrés J, 2002, Revista Ingeniería de Construcción "Tecnología del Asfalto Espumado", Vol. 17 N°2, Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

⁶ Guillermo T, Andrés J, Revista Ingeniería de Construcción "Tecnología del Asfalto Espumado y Diseño de Mezcla", Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

La espuma se formaba dentro de una cámara de expansión luego de lo cual era dispersada a través de una serie de picos sobre el conjunto de los agregados. Sin embargo, los picos eran propensos a obstruirse y el fabricante no pudo controlar las características de la espuma.

Desde 1970 la tecnología Mobil Oil de asfalto espumado, ha sido usada en proyectos de estabilización en Australia, Sudáfrica, Inglaterra, Alemania, Francia, Egipto y varios otros países. Simultáneamente, en 1970, Continental Oil Company (CONOCO) obtuvo los derechos de comercialización en USA y desarrolló un laboratorio de asfalto espumado para facilitar el estudio de esta nueva tecnología. Desde entonces ha sido utilizada en varios estados del país del Norte (Colorado, North Dakota, Virginia, Pennsylvania, Michigan, Oklahoma entre otros).

A pesar de ser una tecnología desarrollada hace más de 40 años, su uso se masificó sólo a partir del año 1991, al expirar en ese año los derechos sobre la patente de invención de esta tecnología. El sistema desarrollado por Wirtgen a mediados de los 90´ inyecta tanto aire como agua al asfalto en la cámara de expansión, como se muestra en la Figura 4.3

En el 2000, una serie de ensayos con el Simulador de Vehículos Pesados (HVS, Heavy Vehicle Simulator) fueron realizados en Sudáfrica en un pavimento reciclado con una combinación de cemento y asfalto espumado. La técnica del asfalto espumado permite expandir el asfalto y producir mezclas asfálticas de un modo muy diferente a los sistemas tradicionales.

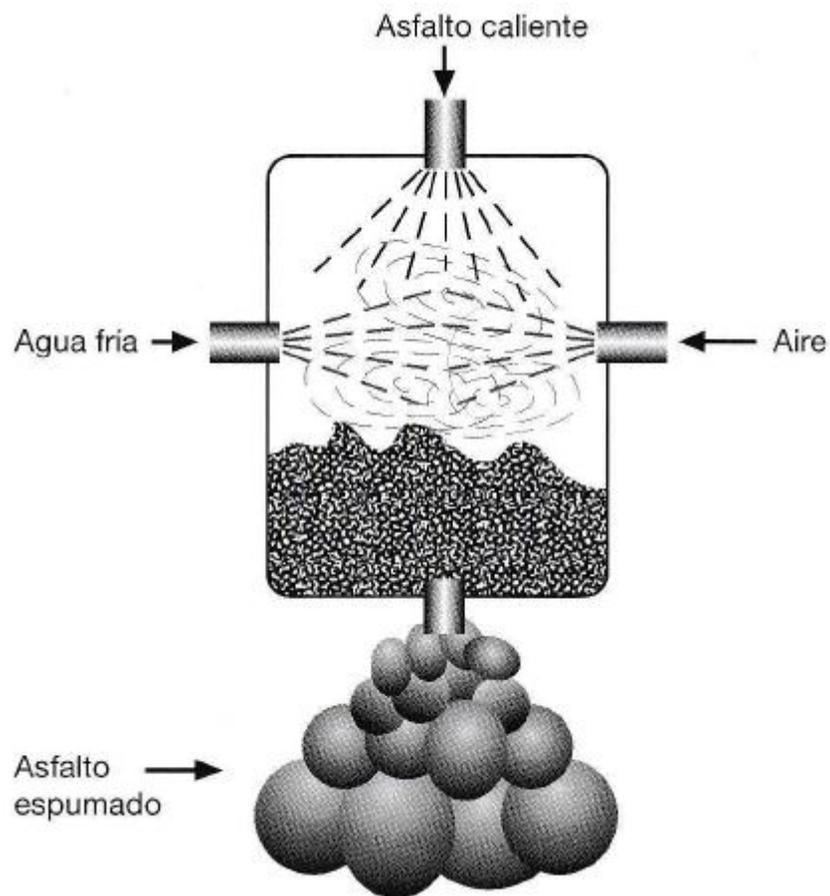


Figura 4.3 Cámara de Expansión para producción de asfalto espumado.

Fuente: Tecnología del Asfalto Espumado y Diseño de Mezcla

4.4 CARACTERÍSTICAS DEL ASFALTO ESPUMADO

El asfalto espumado se caracteriza por dos propiedades principales: Razón de Expansión y Vida Media.

4.4.1 Razón de Expansión

La razón de expansión (ER), es una medida de la viscosidad de la espuma y va a determinar qué tan bien se va a dispersar el asfalto en la mezcla. La razón de expansión indica la trabajabilidad de la espuma, y su capacidad de cubrimiento y mezclado con los agregados.⁷ Se calcula como la razón entre el máximo volumen de la espuma relativo a su volumen original.

4.4.2 Vida Media

La vida media ($t_{1/2}$), es una medida de estabilidad de la espuma y provee una indicación de la tasa de colapso de la espuma.⁷ La vida media es un indicador de la estabilidad de la espuma y entrega una idea del tiempo disponible para mezclar el asfalto espumado con los agregados antes de que colapse la espuma.⁸

Se calcula como el tiempo, en segundos, que transcurre para que la espuma colapse a la mitad de su volumen máximo.

⁷ Wirtgen GmbH, 2004, Manual de Reciclado en Frío, Windhagen, Alemania.

⁸ Guillermo T, Andrés J, 2002, Revista Ingeniería de Construcción "Tecnología del Asfalto Espumado", Vol. 17 N°2, Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

4.4.3 Características aceptables de asfalto espumado⁹

No hay límites superiores para las propiedades del espumado y el objetivo siempre debiera apuntar a producir la mejor calidad de espuma requerida para la estabilización. Solamente se encuentran problemas cuando un asfalto no produce una “buena” espuma, generando la necesidad de proveer límites inferiores. Los mínimos valores aceptados de razón de expansión y vida media para estabilizar un material a 25 °C son:

- ✓ Razón de Expansión: 10 veces
- ✓ Vida Media: 8 segundos

En general, cuando mejores sean las características de espumado, mejor será la calidad de la mezcla resultante. Cuando se usa el asfalto espumado como agente estabilizador, no existen límites absolutos que gobiernen sus características. A continuación se presenta en la Figura 4.4 como se calcula la vida media y la razón de expansión, principales características del asfalto espumado.

⁹Wirtgen GmbH, 2004, Manual de Reciclado en Frío, Windhagen, Alemania.

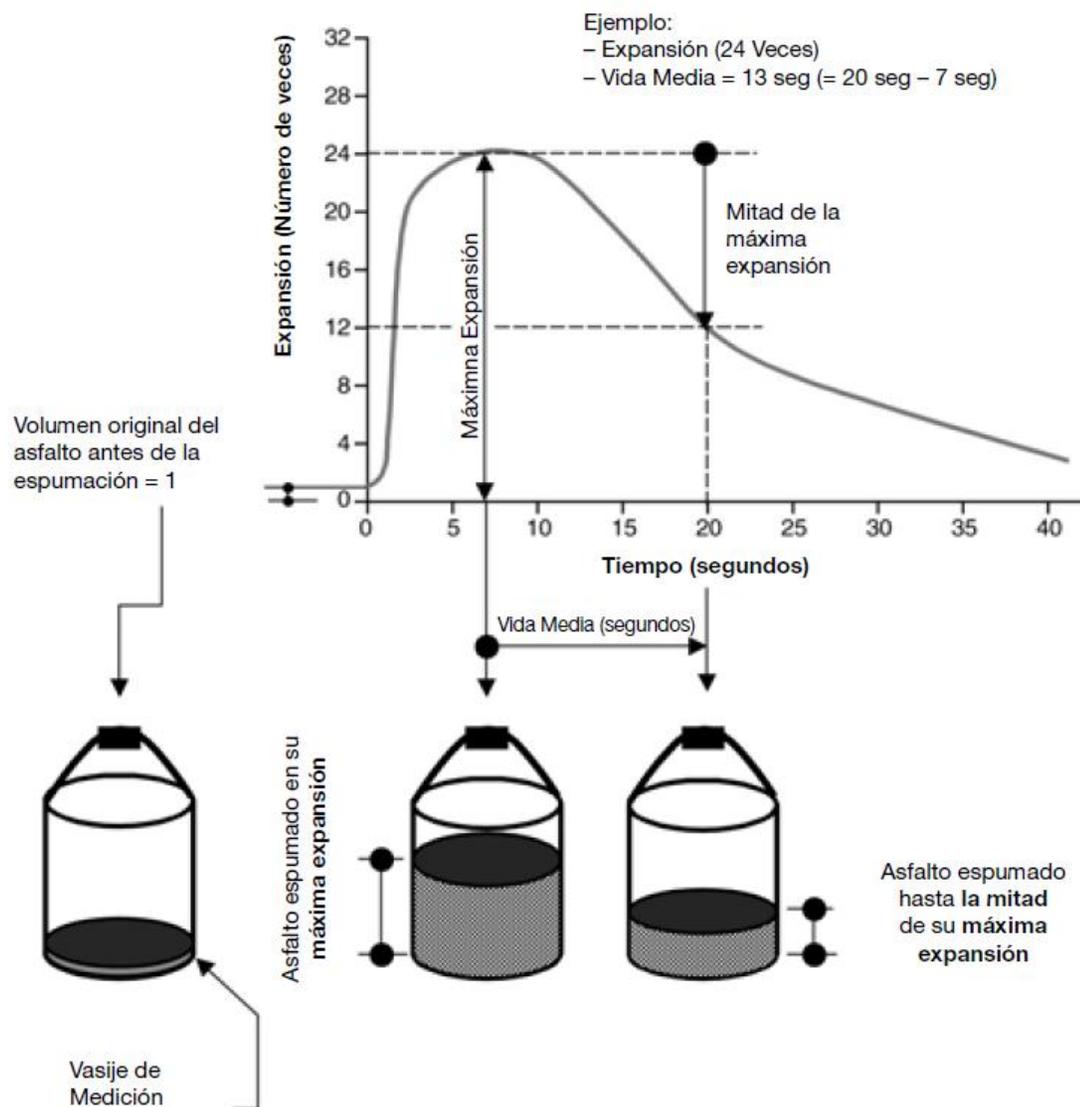


Figura 4.4 Relación entre propiedades del asfalto espumado.

Fuente: Manual de Reciclado en Frío Wirtgen, 2004

4.5 FACTORES QUE INFLUYEN A LAS PROPIEDADES DE LA ESPUMA ¹⁰

Se considera que la mejor espuma es la que optimiza tanto la expansión como la vida media. Las características del asfalto espumado están influenciadas por numerosos factores, siendo los más importantes los que se describen a continuación.

4.5.1 Temperatura de Asfalto

La viscosidad del asfalto goza de una relación inversa con la temperatura; a medida que la temperatura aumenta, la viscosidad se reduce. Lógicamente, mientras más baja es la viscosidad, mayor es el tamaño de la burbuja que se formará cuando el agua cambie de estado en el proceso de espumado. Debido a que este proceso saca energía del asfalto, la temperatura antes del espumar debe exceder los 160 °C para obtener un producto satisfactorio.

4.5.2 Adición de agua

Aumentar la cantidad de agua inyectada al asfalto aumenta efectivamente el volumen de espuma producido por un factor multiplicador de 1500. Así, aumentar la cantidad de agua añadida aumenta el tamaño de las burbujas creadas, causando que aumente la tasa de expansión.

Nota: La calidad del agua a utilizar debe ser libre de impurezas.

¹⁰ Wirtgen GmbH, 2004, Manual de Reciclado en Frío, Windhagen, Alemania.

Sin embargo, el aumentar el tamaño individual de las burbujas reduce el espesor de la película del asfalto que las rodea, haciéndolas menos estables y resultando en una reducción de la vida media. Por ello, la razón de expansión y la vida media están relacionadas de forma inversa a la cantidad de agua que es añadida, como se muestra en la Figura 4.5.

Los principales factores en este proceso son la temperatura del asfalto y la dosis de agua, a mayores temperaturas de espumado y mayor cantidad de agua se incrementa la Razón de Expansión pero a su vez disminuye la Vida Media, sin embargo el mejor espumado es generalmente considerado como aquel que optimiza tanto la Razón de Expansión como la Vida Media. Para llevar a cabo dicha optimización es necesario graficar ambas propiedades en un mismo gráfico (Figura 4.5).

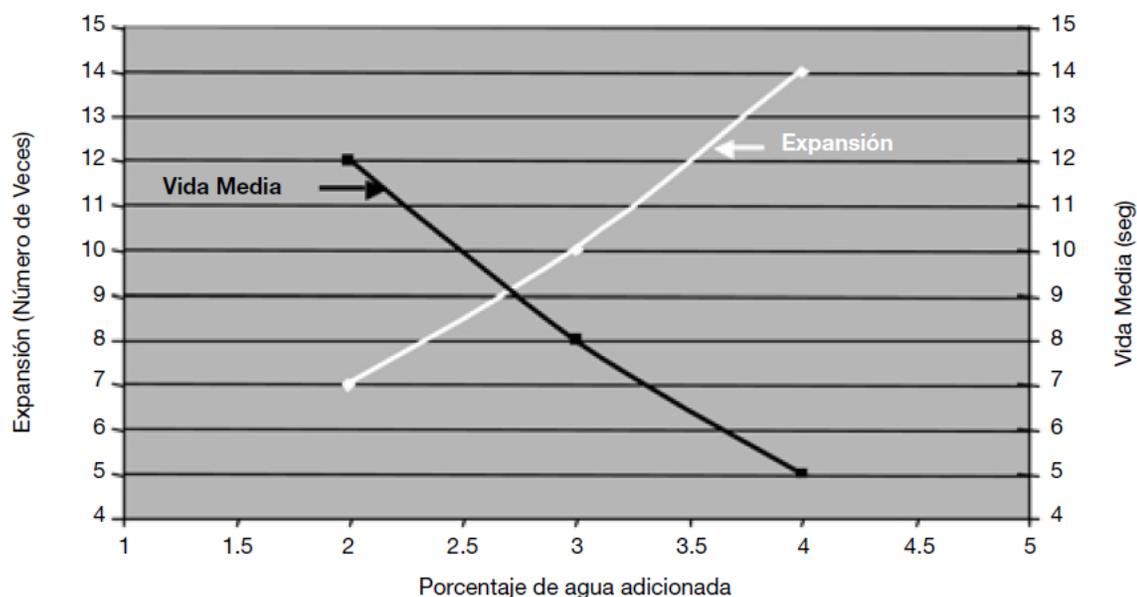


Figura 4.5 Relación entre propiedades del asfalto espumado.

Fuente: Manual de Reciclado en Frío Wirtgen, 2004

4.5.3 Tipo de asfalto

Generalmente se utilizan asfaltos con valores de penetración entre 80dmm y 150dmm para espumar. Por razones prácticas, los asfaltos más rígidos son generalmente evitados ya que producen una espuma de peor calidad, generando una dispersión más pobre.

Las propiedades de espumación de la mayoría de los asfaltos mejoran con temperaturas más altas. Espumas aceptables se consiguen con temperaturas sobre 149 °C.¹¹

¹¹ Guillermo T, Andrés J, Revista Ingeniería de Construcción "Tecnología del Asfalto Espumado y Diseño de Mezcla", Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

4.5.4 Presión de asfalto y de agua

El asfalto y el agua son inyectados en la cámara de expansión a través de pequeñas aberturas. El aumentar la presión en las tuberías de suministro causa que el flujo que pasa a través de estas aberturas se disperse (atomice). Mientras más pequeñas son las partículas individuales, mayor es el área de contacto disponible, mejorando así la uniformidad de la espuma.

4.5.5 Aditivos

Existen muchos productos en el mercado que van a afectar las propiedades espumantes del asfalto, tanto negativa (agentes anti-espumantes), como positivamente (espumantes).

4.5.6 Grado y Reología del asfalto

Los asfaltos blandos regularmente poseen mejores características de espumación. La selección del tipo de asfalto que se va a usar (grado de penetración) está altamente influenciada por la temperatura ambiente. Para climas calientes se prefieren asfaltos duros con grado de penetración < 100dmm).

Adicionalmente, un excesivo contenido de asfáltenos tiene una influencia negativa sobre las características de espumado, ya que mientras mayor es la proporción de estos, peores son las características de la espuma.

4.5.7 Dispersión del asfalto

A diferencia de las mezclas asfálticas en caliente, los materiales estabilizados con asfalto espumado no son negros, debido a que las partículas gruesas del agregado no están cubiertas y usualmente están libres de asfalto. Cuando el asfalto espumado entra en contacto con el agregado, las burbujas estallan en millones de "partículas" diminutas que se dirigen y adhieren a las partículas finas, en especial a la fracción inferior a 0.075 mm.

4.6 MATERIAL ADECUADO PARA TRATAMIENTO CON ASFALTO ESPUMADO¹²

La tecnología de asfalto espumado es aplicable en la estabilización de una gran variedad de materiales, que van desde arenas, gravas, hasta piedra chancada y RAP. Tanto granulares seleccionados como marginales, vírgenes o reciclados, han sido utilizados en forma satisfactoria en el proceso de reciclado.

4.6.1 Límites de tolerancias requeridos en los agregados

Los materiales que son pobres en finos no se mezclan en forma adecuada con el asfalto espumado. El porcentaje mínimo de finos requerido es del 5%, considerando como finos la fracción del material que pasa la malla de 0,075 mm (No. 200).

¹² Wirtgen GmbH, 2004, Manual de Reciclado en Frío, Windhagen, Alemania.

Cuando un material no tiene la cantidad adecuada de finos, el asfalto espumado no se dispersa en forma apropiada y tiende a formar lo que se conoce en el material reciclado como “filamentos” de asfalto (aglomeraciones de material fino con asfalto), los que varían en tamaño dependiendo de la escasez de finos. Un porcentaje de finos muy bajo producirá largos filamentos, los que en la mezcla actuarán como lubricante y producirán una disminución en la resistencia y estabilidad del material. A continuación se presenta la gráfica granulométrica de la Figura 4.6, que muestra las fronteras para poder identificar si un material es apto para el mezclado con asfalto espumado.

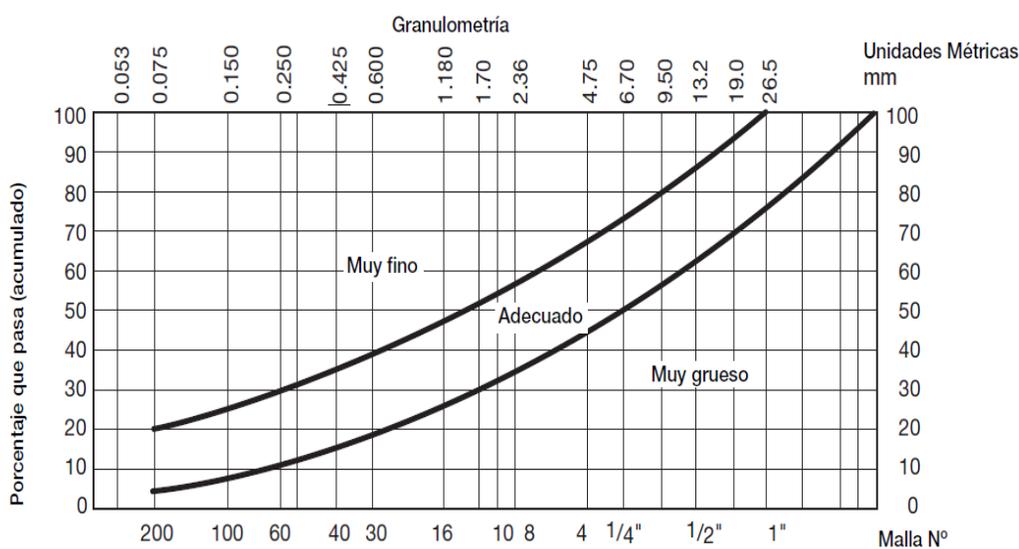


Figura 4.6 Características de los materiales adecuados para tratamiento con asfalto espumado.

Fuente: Manual de Reciclado en Frío Wirtgen, 2004

Ensayos granulométricos simples, que se realizan a partir de muestras extraídas del pavimento existente indican si existe una eventual deficiencia en el contenido de finos. Sin embargo, esta deficiencia puede ser corregida mediante la importación de material adecuado, con un alto contenido de finos.

El material que es deficiente en finos puede ser mejorado mediante la adición de cemento, cal u otro material que pase en un 100% la malla No 200. Sin embargo, debe evitarse una dosificación de cemento superior al 1,5%. Un porcentaje mayor de cemento tiene un efecto negativo, producto de la pérdida de flexibilidad en la capa estabilizada.

4.7 PROPIEDADES TÍPICAS DE MATERIALES ESTABILIZADOS CON ASFALTO¹³

A continuación se describen las propiedades ingenieriles más importantes en lo que respectan al material estabilizado con asfalto espumado. Estas propiedades se obtienen cuando la aplicación del asfalto espumado es óptima, de acuerdo al procedimiento de mezclas en laboratorio. (También debería tomarse en cuenta que no es un requisito aplicar siempre el contenido óptimo de asfalto cuando se estabiliza con asfalto espumado. Dependiendo de la aproximación del diseño, un rango de contenido asfáltico bajo el óptimo puede ser suficiente para conseguir las propiedades requeridas. Este rango de aplicación se denomina “contenido mínimo de asfalto”).

¹³ Wirtgen GmbH, 2004, Manual de Reciclado en Frío, Windhagen, Alemania.

4.7.1 Resistencia

Para evaluar la resistencia de los materiales estabilizados con asfalto se utiliza la resistencia a la tracción indirecta (Indirect Tensile Strength, ITS), en vez del ensayo Marshall. La Tabla 4.5 muestra los valores que comúnmente se obtienen de estos ensayos.

El ensayo ITS puede ser realizado en probetas de 100 mm o 150 mm. Además, la susceptibilidad a la humedad del material es generalmente determinada en términos de la Resistencia a la Tracción Retenida (Tensile Strength Retained, TSR), ensayando probetas de 100 mm mediante la siguiente ecuación:

$$TSR = \frac{ITS_{Saturado}}{ITS_{Seco}}$$

<i>Tipo de material</i>	<i>Probetas 100 mm Marshall</i>		<i>Probeta 150 mm Proctor</i>
	<i>ITS_{seco} (kPa)</i>	<i>TSR (Razón)</i>	<i>ITS_{equ} (kPa)</i>
RAP/piedra chancada (mezcla 50/50)	250 a 600	0.8 a 1.0	120 a 250
Piedra chancada graduada	200 a 500	0.6 a 0.9	120 a 200
Grava natural (IP<10, CBR<30)	150 a 450	0.3 a 0.75	80 a 150

Tabla 4.5 Resistencia a la tracción indirecta en materiales estabilizados con asfaltos espumados.

Fuente: Manual de Reciclado en Frío Wirtgen, 2004

Investigaciones recientes han introducido la Resistencia a la Compresión no Confinada (Unconfined Compressive Strength, UCS) como un indicador de la capacidad de soporte del material estabilizado (resistencia a la deformación permanente). Este es un valor importante, especialmente cuando se estabiliza material de baja calidad. Se propone un valor mínimo UCS de 700 kPa para una probeta de 150 mm de diámetro, confeccionada con un esfuerzo de compactación del 100% del Proctor Modificado (curada y ensayada en el contenido óptimo de humedad.)

4.7.2 Rigidez

El Módulo Resiliente (M_r) de un material estabilizado con asfalto puede ser medido en laboratorio si se somete un espécimen a un ensayo de carga repetitiva. El ensayo de probetas Marshall de 100 mm de diámetro (curadas y secas) a tracción indirecta a 10 Hz y 25°C. Los valores comunes de M_r se presentan a continuación en la Tabla 4.6, para cada tipo de material.

<i>Tipo de material</i>	<i>MR (MPa)</i>
RAP/piedra chancada (mezcla 50/50)	2500 a 4000
Piedra Granular chancado	2000 a 3000
Grava natural (IP<10, CBR<30)	1500 a 3000

Tabla 4.6 Rangos de Módulos Resilientes típicos para materiales estabilizados, ensayados en laboratorio.

Fuente: Manual de Reciclado en Frío Wirtgen, 2004

4.7.3 Tiempo de mezclado

No existe un período de tiempo específico para trabajar el material estabilizado con asfalto espumado. Este dependerá fundamentalmente del contenido de humedad que el material mantenga. Entre más tiempo se mantenga el contenido óptimo de humedad, el período en que se puede trabajar es mayor.

4.7.4 Densidad

Usualmente se especifica una densidad mínima requerida como un porcentaje de la densidad AASHTO modificada, generalmente entre un 98% y un 102% para bases estabilizadas con asfalto espumado. A veces se permite aceptar un gradiente de densidad a través del espesor de compactación. Esto significa que la densidad en la parte superior de la capa puede ser mayor que la de la parte inferior. Cuando se especifica de este modo, es normal incluir una desviación máxima de 2% para la densidad medida en el tercio inferior de la capa.

Así, si la densidad promedio es especificada en un 100%, la densidad en la parte inferior de la capa debe ser mayor que 98%. Para agregados de mejor calidad (por ejemplo, CBR > 80%), es recomendable especificar una densidad absoluta.

4.8 TRABAJANDO CON ASFALTO ESPUMADO ¹⁴

Los siguientes puntos deben cumplirse cuando se trabaja con asfalto espumado:

4.8.1 Seguridad

Se requiere de una alta temperatura del asfalto para lograr la reacción del agua y producir una espuma aceptable (típicamente sobre 160 °C). A dichas temperaturas, el asfalto es una sustancia letal, y si no se maneja en forma adecuada podría incluso provocar quemaduras graves en una persona. Es posible aplicar las mismas normas de seguridad que se utilizan en mezclas asfálticas en caliente para la construcción con asfalto espumado.

¹⁴ Wirtgen GmbH, 2004, Manual de Reciclado en Frío, Windhagen, Alemania.

4.8.2 Temperatura de material.

La temperatura del agregado es uno de los factores más importantes en la dispersión adecuada del asfalto espumado en el material reciclado y, por lo tanto, en la resistencia de la nueva capa de pavimento. Para obtener una buena mezcla a temperaturas más bajas son necesarios mayores valores de razón de expansión y vida media, como se muestra en la Tabla 4.7. La calidad de la espuma producida en la unidad de laboratorio es siempre inferior a la producida por la recicladora. Esto se debe principalmente a que las presiones de trabajo utilizadas en terreno son mayores, y a que la continuidad en la operación del tren reciclador permite trabajar a temperaturas más altas.

<i>Razón de Expansión (implícito)</i>	<i>Temperatura del agregado (°C)</i>		
	<i>< 15 °C</i>	<i>15 °C a 25 °C</i>	<i>> 25 °C</i>
< 8	Muy mala	Mala	Moderada
8 a 12	Moderada	Buena	Buena
> 12	Buena	Muy buena	Muy buena

Tabla 4.7 Facilidad del asfalto espumado para dispersarse (capacidad de mezclado).

Fuente: Manual de Reciclado en Frío Wirtgen, 2004

4.8.3 Consistencia del suministro de asfalto.

Cuando se acopla un nuevo camión-tanque a la recicladora, se deben realizar dos verificaciones para asegurar que el asfalto es adecuado para la producción de la espuma:

- Temperatura del asfalto en el tanque. Debería medirse utilizando un termómetro calibrado (termocuplas adheridas al tanque no son confiables).
- Calidad de espumación en el tanque. Esta debería ser medida utilizando la boquilla de prueba de la recicladora. La verificación debería realizarse una vez que al menos 100 litros de asfalto hayan pasado a través de la barra aplicadora de asfalto mientras se recicla, con el objetivo de obtener una muestra representativa.

4.8.4 Flujo de asfalto

El asfalto suministrado en terreno por tanques provistos de tubos calentados por llamas a veces es contaminado con pequeñas partículas de carbón que se forman a los costados de los tubos cuando estos aumentan su temperatura. Al utilizar las últimas toneladas de asfalto del tanque, estas partículas indeseables tienden a introducirse en el sistema de flujo de asfalto, y son la causa de los bloqueos en la recicladora. Este problema puede evitarse tomando precauciones mínimas, como que el filtro en el sistema de abastecimiento funcione correctamente. Cualquier incremento inusual en la presión indicará

que el filtro requiere de limpieza. En todo caso, es recomendable la limpieza diaria de este dispositivo (por ejemplo, al término de cada turno de trabajo).

4.8.5 Presión de asfalto

La calidad de la espuma es función directa de la presión de operación de la recicladora. Entre más alta la presión, mayor será el flujo de asfalto que tiende a “atomizarse” a medida que éste pasa a través del surtidor de asfalto a la cámara de expansión. Esto asegura que las partículas pequeñas de asfalto entrarán en contacto con el agua, la cual también ingresará a la cámara de expansión en forma atomizada. Una presión mayor, asegurará uniformidad a la espuma de asfalto. Si el asfalto entrara en la cámara de expansión como un flujo (lo que sucede cuando ingresa a bajas presiones) el agua impactaría solamente sobre una cara del flujo. Por esta cara se produciría espuma, pero sobre la otra permanecería un flujo de asfalto caliente sin espumar. Por lo tanto, es imperativo mantener una presión de operación sobre los 3 bares como mínimo.

4.8.6 Aplicación de un filler activo

Como se describió anteriormente, es una práctica común adicionar un porcentaje pequeño de cemento u otros agentes estabilizadores cementantes cuando se recicla con asfalto espumado. Esto debe ser realizado con precaución cuando se realiza un tratamiento previo con cemento, debido a que

el proceso de hidratación comienza tan pronto como el agente estabilizador entra en contacto con la humedad, aglomerando los finos y reduciendo la fracción menor a 0,075 mm. La calidad de la mezcla cuando se agrega asfalto espumado será deficiente si el contenido de finos es bajo como para dispersar las partículas de asfalto. Por lo tanto, es recomendable que el cemento siempre sea agregado en conjunto con el asfalto espumado.

4.8.7 Remezclado de la capa finalizada

El material estabilizado con asfalto espumado puede ser vuelto a trabajar sin afectar significativamente su resistencia última, siempre y cuando el contenido de humedad se mantenga aproximadamente constante y cercano al que presentaba al momento de la compactación. Esta característica es de gran ventaja cuando el camino debe abrirse al tráfico al corto tiempo después de haber sido construido, a pesar de que no se haya completado el trabajo de terminación. El material puede ser vuelto a trabajar el día siguiente (generalmente, después de una pulverización previa) y luego terminado en forma adecuada. Sin embargo, si éste pierde su humedad, volver a trabajarlo (perfilarlo y compactarlo) afectará negativamente su resistencia última.

4.9 VENTAJAS DE ESTABILIZAR CON ASFALTO ESPUMADO EN COMPARACIÓN A LA EMULSIÓN ASFÁLTICA

Las principales ventajas de estabilizar con asfalto espumado en comparación a la emulsión asfáltica son:

- ✓ Reducción de los costos de ligante, ya que el asfalto espumado comprende un asfalto de penetración estándar y sólo un pequeño porcentaje de agua, típicamente un 2% en masa del asfalto. En el asfalto espumado no se incurren en costos de fabricación distintos al de inversión inicial del equipo.
- ✓ Reducción de costos de transporte. Para una misma proporción de asfalto residual una emulsión contiene 40% de agua la cual debe ser transportada con el asfalto.
- ✓ El material tratado con asfalto espumado puede ser colocado, compactado y abierto al tráfico inmediatamente.
- ✓ El material tratado con asfalto espumado se mantiene trabajable por extensos períodos de tiempo y puede ser acopiado en condiciones climáticas adversas sin que el asfalto sea lavado del agregado.

- ✓ El proceso de asfalto espumado puede ser usado para tratar materiales in-situ con contenidos de humedad de terreno relativamente altos, debido a que el ligante puede ser agregado sin usar agua adicional.
- ✓ Al emplear asfalto espumado como Ligante, no es necesario en el proceso de elaboración considerar ni tiempos de ruptura, ni tiempos de fraguado.
- ✓ La mezcla en frío, producida empleando asfalto espumado como ligante, dispone de excelentes propiedades para el almacenamiento.
- ✓ Aumenta la resistencia al cortante y reduce la susceptibilidad al daño por humedad de los materiales granulares estabilizados.

4.10 DISEÑO DE UNA BASE ESTABILIZADA CON ASFALTO ESPUMADO¹⁵

El procedimiento básico para el diseño de mezclas con asfalto espumado se resume a continuación. Se hace énfasis en el hecho de que este procedimiento puede cambiar, en ciertos detalles, dependiendo de la investigación en que sea basado.

¹⁵Guillermo T, Andrés J, 2002, Revista Ingeniería de Construcción "Tecnología del Asfalto Espumado y Diseño de Mezcla", Vol17 N°2, Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

4.10.1 Optimización de las propiedades de la espuma

Esta etapa tiene como objetivo determinar la temperatura del asfalto y la cantidad de agua a inyectar que optimicen tanto la Razón de Expansión como la Vida Media. Para llevar a cabo las mediciones en laboratorio de las propiedades de la espuma, se emplea un equipo de producción de asfalto espumado, cuya principal característica es poseer una cámara de expansión, idéntica a la empleada en terreno para producir la espuma de asfalto.

4.10.2 Caracterización del agregado

Debido a la gran variedad de agregados que pueden ser mezclados con asfalto espumado (agregados triturados, arena arcillosa, RAP y otros materiales tales como escorias), estos deben ser caracterizados considerando dos propiedades: su Distribución Granulométrica y el índice de Plasticidad.

La Distribución Granulométrica es de vital importancia en el diseño para conocer el contenido de finos del agregado, este es un parámetro fundamental debido a la influencia que tiene en el proceso de dispersión del asfalto y en general debe encontrarse sobre un 5%.

El Índice de Plasticidad es un indicador de la capacidad que tienen los finos para ser mezclados con la espuma de asfalto.

El contenido de RAP que posea el agregado, también es un factor que influye tanto en las propiedades estructurales de la mezcla como en el contenido óptimo de asfalto, por lo cual es necesario evaluar esta influencia en laboratorio.

4.10.3 Determinación del contenido óptimo de humedad de la mezcla

El contenido de humedad durante el proceso de mezclado y compactación es considerado por muchos investigadores como el criterio de diseño más importante en las mezclas con asfalto espumado debido a su efecto lubricante sobre las partículas finas durante la dispersión del asfalto.

La relación Humedad - Densidad debe ser considerada en el diseño de la mezcla, a través de la realización de un ensayo de Proctor Modificado. Una insuficiente cantidad de agua resultará en un agregado seco y polvoriento lo que provocará que la espuma al colapsar forme grumos de asfalto y no se mezcle adecuadamente con la fracción fina del agregado. Un exceso de agua incrementará el tiempo de curado, reduciendo la resistencia de la mezcla.

4.10.4 Determinación del contenido óptimo de asfalto

Para determinar el contenido óptimo de asfalto, deben ser confeccionadas un mínimo de 3 mezclas con distintos contenidos asfálticos (1% – 3 % de asfalto), y evaluar el comportamiento de cada una de ellas en función de la Tracción Indirecta (o tracción por compresión diametral), determinada tanto en estado seco como saturado.

La Tracción Indirecta (en estado seco o saturado), se determina sobre probetas cilíndricas (100 mm de diámetro por 63.5 mm de espesor) compactadas con 75 golpes del martillo Marshall.

Antes de someter a las probetas al ensayo de Tracción Indirecta, estas son curadas durante 72 horas en un horno a 40° C. El estado saturado se logra sumergiendo las probetas en agua durante 24 horas a 25 °C o aplicando un vacío de 50mm de mercurio durante 60±1 minutos en un desecador.

4.10.5 Caracterización de las propiedades mecánicas de las mezclas

Las propiedades mecánicas más utilizadas para caracterizar las mezclas de asfalto espumado son: CBR, Tracción Indirecta, Módulo Resiliente, Compresión no Confinada, Estabilidad Marshall y Resistencia a la Fatiga.

CAPITULO V

TRABAJO DE LABORATORIO

5.0 TRABAJO DE LABORATORIO

5.1 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

El trabajo consistirá en el diseño de una base con material reciclado (RAP) estabilizado con asfalto espumado a nivel de laboratorio, el cual proviene de un acopio de carpeta asfáltica fresada. Dicho acopio se ubicaba en Plantel Zacatillo, Zacatecoluca, propiedad de Constructora DISA S.A de C.V.

El trabajo de laboratorio se desarrolló en 3 etapas:

ETAPA 1: Caracterización del material reciclado.

Se llevaron a cabo ensayos estándar para conocer las propiedades físicas del RAP.

ETAPA 2: Diseño con emulsión Asfáltica.

Se realizó un diseño con Emulsión Asfáltica obteniendo así el porcentaje óptimo de emulsión Asfáltica.

ETAPA 3: Diseño con Asfalto Espumado

En base al porcentaje óptimo de emulsión Asfáltica obtenido, se realizó el nuevo diseño de la mezcla de RAP con la adición de un filler activo y en este caso, Asfalto Espumado como agente estabilizador.

A continuación se presenta una tabla resumen con las etapas que contiene esta investigación, además se presentan los ensayos destinados para cada etapa y las normas que rigen cada uno de ellos.

Proceso de Laboratorio			
Preliminar	Preparar Material	Muestreo de Agregados	AASHTO T 2-91 (2010)
		Muestras de Agregado a Tamaño de Ensayo	AASHTO T 248-11
Etapa 1	Caracterización del Material Reciclado	Método Estándar de Prueba para la determinación del Contenido de Humedad de los Suelos en Laboratorio.	AASHTO T 265-12
		Análisis por Tamizado de Agregados Gruesos y Finos	AASHTO T 27-11
		Determinación del Limite Líquido de los suelos	AASHTO T 89-13
		Extracción Cuantitativa de Ligante Asfáltico de mezclas Asfálticas en caliente	AASHTO T 164-13
		Método Estándar para la Determinación de la Gravedad Específica Y Absorción de Agregado Fino	AASHTO T 84-13
		Determinación en Laboratorio de las Características de Compactación de los Suelos	AASHTO T 180-10
Etapa 2	Diseño con Emulsión Asfáltica (Css-1h)	Determinación en Laboratorio de las Características de Compactación de los Suelos	AASHTO T 180-10
		Gravedad específica teórica máxima y densidad de mezclas bituminosas de pavimentación.	AASHTO T 209-12
		Fabricación y Curado de Briquetas de 100 mm	Manual Wirtgen, 2001
		Método de Prueba Estándar para la Resistencia de Mezclas Asfálticas Compactadas al Daño Inducido por la Humedad	AASHTO T 283-07 (2011)
		Ploteo de Curva ITS, Determinación de Contenido Óptimo de Emulsión Asfáltica	Manual Wirtgen, 2001
Etapa 3	Diseño con Asfalto Espumado	Medir Vida Media y razón de Expansión del asfalto Espumado	Manual Wirtgen, 2004
		Determinación en Laboratorio de las Características de Compactación de los Suelos	AASHTO T 180-10
		Fabricación y Curado de Briquetas de 100 mm	Manual Wirtgen, 2001
		Método de Prueba Estándar para la Resistencia de Mezclas Asfálticas Compactadas al Daño Inducido por la Humedad	AASHTO T 283-07 (2011)
		Ploteo de Curva ITS, Determinación de Contenido Óptimo de Emulsión Asfáltica	Manual Wirtgen, 2001

5.2 MUESTREO DE AGREGADOS

Norma: AASHTO T 2- 91 (Reaprobada 2010)

Material:

Se muestreó material procedente del Proyecto “San José de la Montaña” acopiado en plantel Zacatillo, Municipio de Zacatecoluca, Departamento de La Paz, propiedad de Constructora DISA S.A de C.V.

Equipo:

Pala, Piocha, Sacos, Playwood.

Procedimiento:

En este caso, al momento del muestreo, no se contó con el empleo de equipo mecanizado, por lo tanto se muestreó del apilamiento al menos tres porciones tomadas del tercio superior, de la zona media y del tercio inferior del volumen del apilamiento (Figura 5.1).

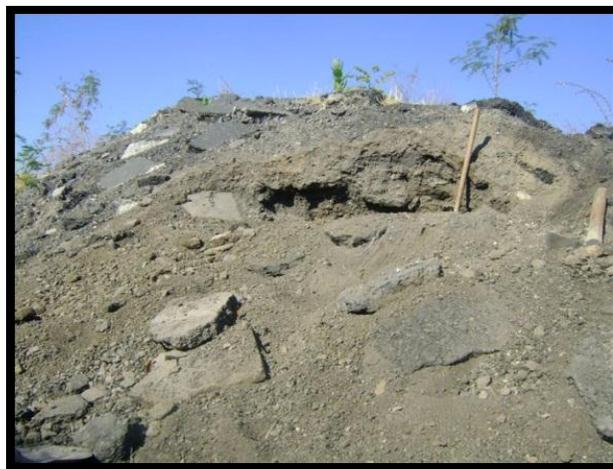


Figura 5.1 Muestreo en apilamiento de RAP ubicado en plantel Zacatillo, propiedad de Constructora DISA S.A DE C.V S.A de C.V

5.3 MUESTRAS DE AGREGADO A TAMAÑO DE ENSAYO

Norma: AASHTO T 248 - 11

Material:

Muestra de RAP

Equipo:

Pala, Brocha, Cucharón de fondo plano y borde recto, regla de madera.

Procedimiento:

Para la reducción de la muestra de tamaño máximo nominal de $\frac{3}{4}$ " , se colocó el material en una superficie nivelada, resistente y limpia. Se mezcló el material traspaleándolo tres veces y al final se formó un apilamiento, el cual fue aplanado cuidando de no producir segregación (Figura 5.2). Se dividió en 4 partes la masa de material aplastada (Figura 5.3), se tomaron dos de ellas y se mezclaron, realizando el procedimiento anteriormente descrito y así sucesivamente hasta obtener el tamaño de muestra deseado.



Figuras 5.2 Material aplanado de 4 a 8 veces el espesor del círculo.

Fotografía tomada en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.



Figuras 5.3 División del material formando cuatro partes iguales.

Fotografía tomada en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V

5.4 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL RECICLADO

5.4.1 Método Estándar de Prueba para la determinación del Contenido de Humedad de los Suelos en Laboratorio.

Norma: AASHTO T 265 - 12

Material:

Muestra de RAP

Equipo:

Horno, balanza, recipientes, misceláneos.

Procedimiento:

El contenido de humedad de un material se define como la relación entre la masa del agua contenida en el material y la masa del material seco y comúnmente se expresa como porcentaje. Para este ensayo se coloca material

en horno a 110°C, en este caso la muestra contiene asfalto, por lo tanto se debe de tener el cuidado de sacar el material inmediatamente ha alcanzado la condición de masa constante.

5.4.2 Determinación del Límite Líquido de los suelos

Norma: AASHTO T 89-13

Material:

Muestra de RAP

Equipo:

Dispositivo para límite líquido de Casagrande, ranurador, recipiente para mezclar, espátula, piceta, misceláneos.

Procedimiento para Límite Líquido:

En este ensayo se trabajó con aproximadamente 150gr de material previamente tamizado por el tamiz N°40 (Figura 5.4). Antes de realizar los ensayos se humedeció (Figura 5.5) este material y se mantuvo así por 16 horas.



Figura 5.4



Figura 5.5

Figuras 5.4 y 5.5 Material siendo tamizado por la malla 40 y posteriormente humedecido y mezclado.

Fotografías tomadas en laboratorio Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, UES

Antes de iniciar el ensayo se mezcla nuevamente el material previamente preparado y se coloca la mezcla en la copa de Casagrande, formando en ella una película de espesor aproximado de 10mm, esta masa de suelo se divide en dos partes con ayuda de un ranurador (Figura 5.6) y levemente se deja caer la copa por medio de una manivela hasta lograr unir las mitades al menos 13mm (Figura 5.7). En nuestro caso, se realizaron varios ensayos consecutivos con diferentes contenidos de agua y el número de golpes para cerrar la ranura siempre se registró menor que 25, por tanto la muestra no es plástica ($IP=0$) y no se realizó el límite plástico.



Figura 5.6



Figura 5.7

Figuras 5.6 y 5.7 División del suelo con ranurador y su unión luego de la aplicación de golpes en la Copa de Casagrande

Fotografías tomadas en laboratorio Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, UES



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE CONSTRUCTORA DISA



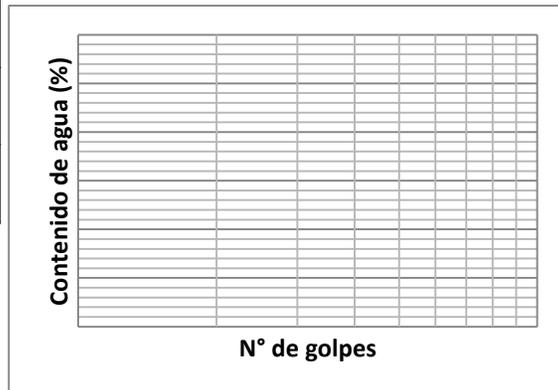
Determinación del Límite Líquido de los suelos (Basado en AASHTO T 89-13)

PROYECTO: Trabajo de
 LUGAR DE PROCEDENCIA: Material acopiado en plantel
 "Zacatillo" CONSTRUCTORA
 DESCRIPCIÓN: RAP con T.M.N.= 3/4"

	Límite Líquido		Límite Plástico	
Muestra				
N° de golpes				
N° de recipiente				
Masa de recipiente				
Masa de suelo humedo- recipiente				
Masa de suelo seco- recipiente				
Masa de agua				
Masa de suelo seco				
Contenido de agua				

Límite Líquido (LL)	
Límite Plástico (LP)	
Índice de Plasticidad (PI)	

curva de Fluidez



Observaciones: _____

5.4.3 Análisis por Tamizado de Agregados Gruesos y Finos

Norma: AASHTO T 27-11

Material:

Muestra de RAP

Equipo:

Balanza con una precisión de 0.1 por ciento de la masa de la muestra, Juego de tamices (3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200, fondo y tapa), Agitador Mecánico de Tamices, Horno, misceláneos.

Procedimiento:

La granulometría de las partículas es determinada por un análisis efectuado sobre las muestras de agregado, dicho análisis se realiza por una serie de tamices de diferentes tamaños que van desde una abertura mayor a una menor. El material grueso, que comprende el material que pasa la malla de 1" y es retenido en la malla N°4, se tamizó manualmente (Figura 5.8), realizando el tamizado con un movimiento lateral y un tiempo tal que cada partícula tenga la misma oportunidad de pasar por las aberturas de cada malla.



Figuras 5.8 Material tamizado por la malla $\frac{3}{4}$ ".

Fotografía tomada en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.

El material pasante de la malla N°4, se tamiza de manera mecánica por un tiempo de 10 minutos (Figura 5.9). Posteriormente se extrae (Figura 5.10) y determina la masa de cada porción de RAP contenido en cada tamiz y se realizan los cálculos respectivos.



Figuras 5.9 Juego de tamices ordenados en orden decreciente con respecto a su abertura.

Fotografía tomada en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.



Figuras 5.10 Extracción de material en tamiz.

Fotografía tomada en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.

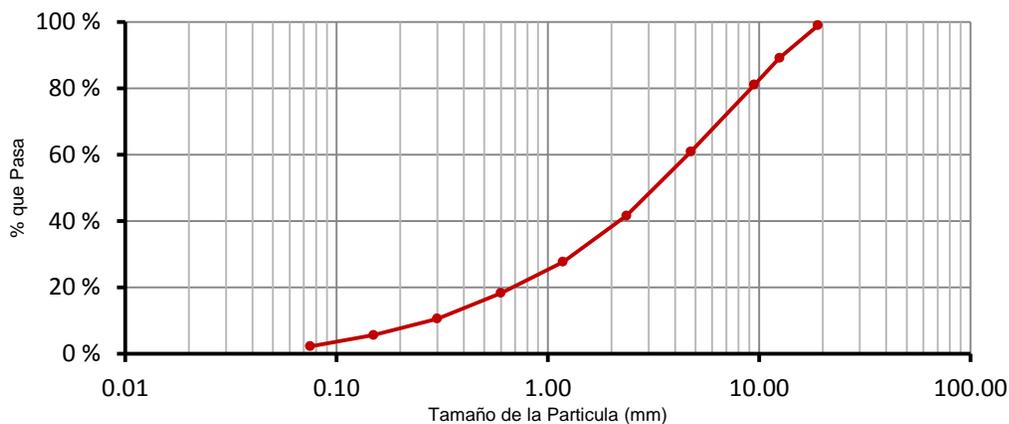


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE CONSTRUCTORA DISA
Análisis por Tamizado de Agregados Gruesos y
Finos(Basado en AASHTO T 27-11)



PROYECTO: Trabajo de Graduación
LUGAR DE: Material acopiado en plantel " Zacatillo"
PROCEDENCIA: CONSTRUCTORA DISA
DESCRIPCIÓN: RAP con T.M.N.= 3/4"

MALLA		Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje que Pasa	ESPECIFICACIÓN	
NOMBRE	MM					Mínimo	Máximo
Peso Inicial=		5,681.40 g		Tamaño Máximo Nominal = 3/4"			
3/4"	19.00	60.60 g	1.07 %	1.1 %	99 %		
1/2"	12.50	556.60 g	9.80 %	10.9 %	89 %		
3/8"	9.50	459.00 g	8.08 %	18.9 %	81 %		
No. 4	4.75	1,148.90 g	20.22 %	39.2 %	61 %		
No. 8	2.36	1,095.00 g	19.27 %	58.4 %	42 %		
No. 16	1.18	790.60 g	13.92 %	72.4 %	28 %		
No. 30	0.60	533.40 g	9.39 %	81.7 %	18 %		
No. 50	0.30	441.00 g	7.76 %	89.5 %	10 %		
No. 100	0.15	280.10 g	4.93 %	94.4 %	6 %		
No. 200	0.075	192.80 g	3.39 %	97.8 %	2.2 %		
FONDO		123.40 g	2.17 %	100.0 %	0.0 %		
TOTALES		5,681.40 g	100.00 %				
GRAVA=	72.35 %	ARENA=	25.47 %	FINOS=	2.17 %	SUMA=	100.00 %



Observaciones: CLASIFICACION SUCS: GW Grava bien graduada con arena
CLASIFICACION AASHTO A-1-a (0) TIPOS DE MATERIALES CARACTERISTICOS: Cantos, grava y arenas.

5.4.4 Método estándar para la determinación de la gravedad específica y absorción de agregado fino

Norma: AASHTO T 84-13

Material:

Muestra de RAP

Equipo:

Horno, bandeja, balanza, picnómetro, molde metálico, pisón, piceta, misceláneos.

Procedimiento:

Para este ensayo se tamiza el material en la malla N°4, este material se seca en horno hasta obtener masa constante y posteriormente se satura y deja en reposo de 14 a 19 horas. Pasadas las horas de reposo, se decanta cuidadosamente el agua del material y se coloca la muestra en una superficie plana, se mezcla frecuentemente hasta obtener una condición saturada superficialmente seca, esta condición se comprueba colocando una porción de material en un cono metálico, apisonándolo 25 veces, iniciando la caída aproximadamente 5mm por encima de la superficie de la parte superior del agregado (Figura 5.11). Cuando se levanta el cono y el material desciende ligeramente se comprueba que el material ha alcanzado una condición de saturación superficialmente seca (Figura 5.12).



Figura 5.11



Figura 5.12

Figuras 5.11 y 5.12 Comprobación de condición saturada superficialmente seca en el material.

Fotografías tomadas en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.

Para continuar con el ensayo, se llena parcialmente un picnómetro con agua, se introduce el material fino saturado superficialmente seco y se adiciona más agua hasta llenar el contenedor en aproximadamente 90% de su capacidad. Se procede a eliminar las burbujas de aire en la mezcla agitando y rodando el picnómetro para luego llenarlo con agua hasta su capacidad de calibración y determinar su masa con la mezcla (Figura 5.13).



Figuras 5.13 Picnómetro con Agua y material Fino.

Fotografía tomada en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.

NOTA: La gravedad Específica del material fino se necesita para realizar la corrección en el ensayo: Extracción Cuantitativa de Ligante Asfáltico de mezclas Asfálticas en Caliente, por tanto no se realiza la Gravedad Especifica del material grueso.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE CONSTRUCTORA DISA



Método estándar para la determinación de la gravedad específica y absorción de agregado fino (Basado en AASHTO T 84-13)

PROYECTO: Trabajo de Graduación
LUGAR DE: Material acopiado en plantel
PROCEDENCIA: "Zacatillo" CONSTRUCTORA DISA
DESCRIPCIÓN: RAP con T.M.N.= 3/4"

Muestra No.		1	2	3
Recipiente No.		1	2	3
Peso del Picnómetro (g)		401.00 g	401.00 g	401.00 g
Peso del Material + Picnómetro (g)		901.60 g	902.20 g	902.00 g
Peso de Material S.S.S. (g)	W	500.60 g	501.20 g	501.00 g
Peso Seco (g)	A	490.30 g	489.90 g	489.40 g
Peso de Picnómetro + Agua (g)	B	1,452.20 g	1,452.20 g	1,452.20 g
Peso de Picnómetro + Agua + Material (g)	C	1,735.90 g	1,737.70 g	1,740.90 g

Peso Específico S.S.S	$W/(B+W-C)$	2.308	2.324	2.360
Peso Específico S.S.S Promedio		2.32		

Peso Específico Seco	$A/(B+W-C)$	2.260	2.271	2.305
Peso Específico Seco Promedio		2.27		

Peso Específico Aparente	$A/(B+A-C)$	2.373	2.397	2.438
Peso Específico Aparente Promedio		2.38		

Porcentaje de Absorción Promedio	$(W-A)/A$	2.10%	2.31%	2.37%
Porcentaje de Absorción Promedio		2.2%		

Observaciones _____

5.4.5 Extracción Cuantitativa de Ligante Asfáltico de mezclas Asfálticas en Caliente

Norma: AASHTO T 164-13

Material:

Muestra de RAP, Cloruro de Metileno.

Equipo:

Horno, bandeja, balanza, probeta graduada, aparato de extracción, filtros de anillos, misceláneos.

Procedimiento:

A través de este ensayo se determinó la cantidad de ligante asfáltico contenido en el RAP, extrayéndolo con cloruro de metileno y expresado como un porcentaje en masa de la mezcla libre de humedad, por lo tanto se determina, para este ensayo, el contenido de humedad en la muestra.

Se trabaja con una masa del agregado de aproximadamente 2000g teniendo en cuenta el tamaño máximo nominal de $\frac{3}{4}$ ".

Para la realización de este ensayo se coloca el RAP en el tazón (Figura 5.14) y se cubre con el químico utilizado, se deja reposar esta mezcla de manera que el solvente se desintegre en la porción de ensayo (Figura 5.15). Posteriormente se coloca el tazón con la mezcla en el aparato de extracción y se coloca también un filtro previamente seco y pesado sobre éste.



Figura 5.14



Figura 5.15

Figuras 5.14 y 5.15 Colocación del RAP ven el tazón (derecha) y RAP con solvente para separar el asfalto (izquierda).

Fotografías tomadas en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.

Se inicia la centrifuga aumentando gradualmente la velocidad a un máximo de 3600 r/min hasta que el solvente deje de salir por el tubo de desagüe, posteriormente se detiene la máquina y se agrega 200ml de líquido solvente, se deja reposar esta mezcla por aproximadamente 10 minutos y se inicia la centrifuga nuevamente hasta que el líquido que fluya por el tubo de desagüe sea color paja (Figura 5.16).



Figuras 5.16 Colocación del químico solvente a material en máquina centrífuga para realizar el ensayo.

Fotografía tomada en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE CONSTRUCTORA DISA



Extracción Cuantitativa de Ligante Asfáltico de mezclas
 Asfálticas en Caliente (Basado en AASHTO T 164-13)

PROYECTO: Trabajo de Graduación
 PROCEDENCIA: Material acopiado en plantel " Zacatillo"
 CONSTRUCTORA DISA
 DESCRIPCIÓN: RAP con T.M.N.= 3/4"

Descripción	Muestra 1
Peso antes de la extracción+ tara	2,829.40 g
Peso de tara	691.00 g
Peso antes de la extracción	2,138.40 g

Peso de Tazón	2,146.50 g
Peso inicial del filtro	22.90 g
Peso del tazón + muestra	4,284.70 g
Peso final del filtro	23.90 g
finos en el filtro	1.00 g
volumen del frasco	900.00 ml

Peso del frasco	564.50 g
Peso del frasco + liquido	1,746.20 g
Peso del contenido del frasco	1,181.70 g

Peso después de la extracción + tara	2,946.70 g
Peso de tara	875.70 g
Masa del agregado extractado	2,071.00 g
Masa del asfalto y finos en el extracto	67.40 g

Observaciones _____



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



LABORATORIO DE CONSTRUCTORA DISA

Extracción Cuantitativa de Ligante Asfáltico de mezclas
Asfálticas en Caliente (Basado en AASHTO T 164-13)

PROYECTO: Trabajo de Graduación
PROCEDENCIA: Material acopiado en plantel " Zacatillo"
DESCRIPCIÓN: CONSTRUCTORA DISA
RAP con T.M.N.= 3/4"

Corrección	
Material	Gravedad Especifica
Solvente	1.33
Asfalto	1.065
Finos de la muestra	2.266
K	1.887

Descripción	Muestra 1
Volumen de los finos en el extracto	62.18 g
Masa de los finos en el extracto	2.22 g
Masa de la materia mineral en el extracto	3.22 g
Contenido de asfalto	3.09%

Observaciones _____

5.4.6 Determinación en Laboratorio de las Características de Compactación de los Suelos

Norma: AASHTO T 180-10

Material:

Muestra de RAP, agua.

Equipo:

Horno, bandeja, balanza, molde de 4", capas compactadas con un martillo de 10lb con una altura de caída de 18", extractor de muestra, enrasador, tamiz de $\frac{3}{4}$ ", charolas, guantes de hule, probeta de 500ml, misceláneos.

Procedimiento:

Se realiza un proctor al RAP para conocer el contenido óptimo de humedad, el procedimiento a seguir será el descrito en el método C (aplica para suelos gravosos o mezclas de grava con arena, material selecto), para suelos que pasan el tamiz de $\frac{3}{4}$ " (19.0 mm), por lo tanto se realiza el tamizado del material por dicha malla (Figura 5.17) y se preparan 5 muestras de 5 Kg cada una.



Figura 5.17 Tamizado del material por la malla $\frac{3}{4}$ "

Fotografía tomada en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.

Se elabora un proctor manual como se puede observar en la Figura 5.18 y así determinar un punto de partida para definir el intervalo de humedades con las cuales se realizaría la curva de compactación. Las humedades se definen con incrementos de 2%, para obtener los 5 puntos de la curva de compactación del material RAP. (Dos puntos arriba y dos abajo del valor encontrado en el proctor manual)



Figura 5.18 Elaboración de Proctor manual y humedecimiento de la muestra (izquierda), al lado derecha la muestra compactada manualmente.

Fotografías tomadas en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.

Se realiza la mezcla del material con agua, al igual como se hizo con el proctor manual, como se muestra en la Figura 5.18. Antes de iniciar el ensayo se determina el volumen y peso del molde de compactación.

La compactación se realiza según el método C, es decir se utiliza un molde de 4" con un martillo de 10lb, como se observa en la Figura 5.19. Se compacta el material en 5 capas con 25 golpes por capa, dejando caer el martillo en caída libre, como se observa en la Figura 5.19. Al finalizar de compactar cada capa se escarifica la superficie para garantizar una buena adherencia con la siguiente capa (Figura 5.20).



Figura 5.19

Figura 5.19 Compactación de 5 capas con 25 golpes cada una.



Figura 5.20

Figura 5.20 Enrasado de la última capa.

Fotografías tomadas en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.

Una vez terminadas las 5 capas, se enrasa la muestra (Figura 5.21), se limpia la parte externa del molde, la muestra se pesa con el molde (Figura 5.22), se desmonta la placa base y se extrae el espécimen utilizando un gato hidráulico como se observa en la Figura 5.23.



Figura 5.21



Figura 5.22

Figura 5.21 5.22 Enrasado del material en el molde luego de la compactación y determinación de la masa del molde con el material.

Fotografías tomadas en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.



Figura 5.23 Extracción del material compactado con ayuda de un gato hidráulico.

Fotografía tomada en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.

Del espécimen se extraen alrededor de 500g para determinar la humedad de la muestra (Figura 5.24).



Figura 5.24 Muestra para determinar contenido de humedad tomada de espécimen.

Fotografía tomada en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.

Cabe mencionar que en los resultados del ensayo se ha trazado la curva de compactación con 4 puntos, omitiendo el último punto debido a la pérdida de humedad (exudación de agua en el fondo del molde), por tanto no se logró registrar la humedad real de la muestra después de ensayo.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE CONSTRUCTORA DISA



Determinación en laboratorio de las características de compactación de los suelos (AASHTO T 180-10)

Proyecto: Trabajo de Graduación

Ubicación: Material acopiado en plantel " Zacatillo"

CONSTRUCTORA DISA

MATERIAL: RAP con T.M.N.= 3/4"

Altura de caída: 18"

METODO : "C"

No. DE CAPAS : 5

PESO MARTILLO : 10 lbs.

GOLPES POR CAPA : 25

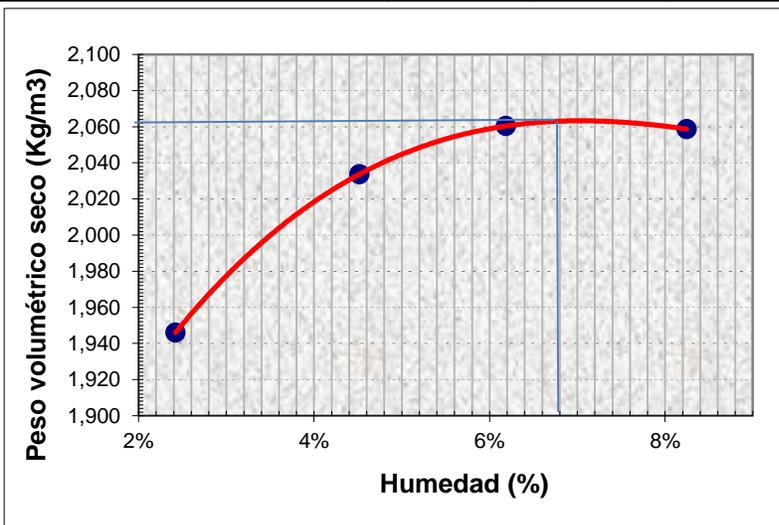
DIAM. DEL MOLDE : 4"

DETERMINACION DE LA HUMEDAD

Humedad de Prueba	3%	5%	7%	9%	11%
Peso Suelo Hum. (Gr.)	604.9	681.30	735.90	484.20	622.10
Peso Suelo Seco. (Gr.)	593.50	657.20	700.50	451.60	573.80
Peso del Agua (Gr.)	11.40	24.10	35.40	32.60	48.30
Peso del recipiente (Gr.)	122.6	123.60	128.40	56.30	56.10
Peso Suelo Seco (Gr.)	470.90	533.60	572.10	395.30	517.70
Contenido de humedad %	2.4%	4.5%	6.2%	8.2%	9.3%

DETERMINACION DE LA DENSIDAD

Peso Muestra Hum. + Molde (Gr.)	5209.1	5650.3	5391	5428.9	5443.1
Peso del Molde (Gr.)	3347.6	3655.7	3347.6	3347.6	3347.6
Peso Muestra Humeda (Gr.)	1861.5	1994.6	2043.4	2081.3	2095.5
Capacidad del Molde cm ³	933.96	938.4	933.96	933.96	933.96
Peso Vol. Humedo (Kg/m ³)	1993	2126	2188	2228	2244
Peso Vol. Seco (Kg/m ³)	1,946	2,034	2,060	2,059	2,052



PESO-VOL-SEC-MAX
 2061 Kg/ m³

HUMEDAD OPTIMA
 6.8%

5.5 CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA

Ensayo:

“Determinación en Laboratorio de las Características de Compactación de los Suelos” AASHTO T 180-10

Material:

Muestra de RAP, agua, emulsión asfáltica.

Equipo:

Horno, bandeja, balanza, molde de 4”, martillo de 10lb, extractor de muestra, enrasador, tamiz de $\frac{3}{4}$ ”, charolas, guantes de hule, probeta de 500ml, misceláneos.

Procedimiento:

En esta etapa se realizaron 5 ensayos de “Determinación en Laboratorio de las Características de Compactación de los Suelos”, con diferentes porcentajes de emulsión asfáltica (2.5%, 3.0%, 3.5%, 4.0%, 4.5%).

Cada ensayo se realizó con un porcentaje específico de emulsión asfáltica y con los siguientes porcentajes de agua: 2.8%, 4.8%, 6.8% 8.8% y 10.8%.

NOTA: El punto medio de porcentaje de agua (6.8%), es el contenido óptimo de humedad del RAP, este ensayo se describe en el apartado 5.4.6 “Determinación en Laboratorio de las Características de Compactación de los Suelos” (Ver página 133).

Es importante mencionar que para el cálculo de agua a agregar por cada punto se debe de considerar también el agua que la emulsión aporta, para el caso de este ensayo, se usará la emulsión CSS-1h compuesta de 62% asfalto y 38% agua.

Primero se mezcla el agua (Figura 5.25) con el RAP hasta lograr humedecer todo el material de manera uniforme, posteriormente se le agrega el porcentaje establecido de emulsión asfáltica (Figura 5.26) y se mezcla hasta lograr una mezcla homogénea.



Figura 5.25



Figura 5.26

Figura 5.25 y 5.26 Agregando agua y emulsión al agregado.

Fotografías tomadas en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.

NOTA: A partir de este paso el procedimiento realizado es igual al descrito en la sección 5.4.6 “Determinación en Laboratorio de las Características de Compactación de los Suelos” (Ver página 133).

Se hace énfasis que, al igual que en el ensayo descrito en la sección 5.4.6 “Determinación en Laboratorio de las Características de Compactación de los Suelos” (Ver página 133). Se presenta, en los resultados, solamente cuatro puntos ya que en el quinto punto se sufre pérdida de agua en la parte inferior del molde, como se observa en la Figura 5.27.



Figura 5.27 Espécimen ya enrasado en el cual se observa la pérdida de agua en el fondo del molde y la superficie abultada por exceso de agua en el material.

Fotografías tomadas en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE CONSTRUCTORA DISA



Determinación en laboratorio de las características de compactación de los suelos
(AASHTO T 180-10)
2.5 % de emulsión

Proyecto: Trabajo de Graduación

DIAM. DEL MOLDE : 4"

Ubicación: Material acopiado en plantel "Zacatillo"

No. DE CAPAS : 5

CONSTRUCTORA DISA

PESO MARTILLO : 10 lbs.

MATERIAL: RAP con T.M.N.= 3/4"

GOLPES POR CAPA : 25

METODO: "C"

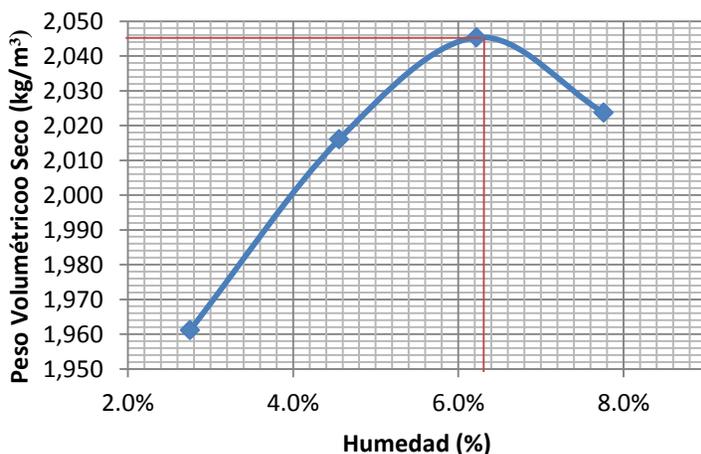
ALTURA DE CAIDA: 18"

DETERMINACION DE LA HUMEDAD

Humedad de Prueba	2.8%	4.8%	6.8%	8.8%	10.8%
Peso Suelo Hum. (Gr.)	689.6	764.40	891.90	626.60	701.30
Peso Suelo Seco. (Gr.)	679.50	744.70	857.20	593.80	659.80
Peso del Agua (Gr.)	10.10	19.70	34.70	32.80	41.50
Peso del recipiente (Gr.)	312.5	312.50	299.50	171.10	171.50
Peso Suelo Seco (Gr.)	367.00	432.20	557.70	422.70	488.30
Contenido de humedad %	2.8%	4.6%	6.2%	7.8%	8.5%

DETERMINACION DE LA DENSIDAD

Peso Muestra Hum. + Molde (Gr.)	5229.6	5316.3	5376.7	5384.3	5421.8
Peso del Molde (Gr.)	3347.6	3347.6	3347.6	3347.6	3347.6
Peso Muestra Humeda (Gr.)	1882	1968.7	2029.1	2036.7	2074.2
Capacidad del Molde cm^3	933.96	933.96	933.96	933.96	933.96
Peso Vol. Humedo (Kg/m^3)	2015	2108	2173	2181	2221
Peso Vol. Seco (Kg/m^3)	1,961	2,016	2,045	2,024	2,047



PESO-VOL-SEC-MAX
2046 Kg/m^3

HUMEDAD OPTIMA
6.3%



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE CONSTRUCTORA DISA



Determinación en laboratorio de las características de compactación de los suelos
(AASHTO T 180-10)

3.0 % de emulsión

Proyecto: Trabajo de Graduación

DIAM. DEL MOLDE : 4"

Ubicación: Material acopiado en plantel "Zacatillo"

No. DE CAPAS : 5

CONSTRUCTORA DISA

PESO MARTILLO : 10 lbs.

MATERIAL: RAP con T.M.N.= 3/4"

GOLPES POR CAPA : 25

METODO: "C"

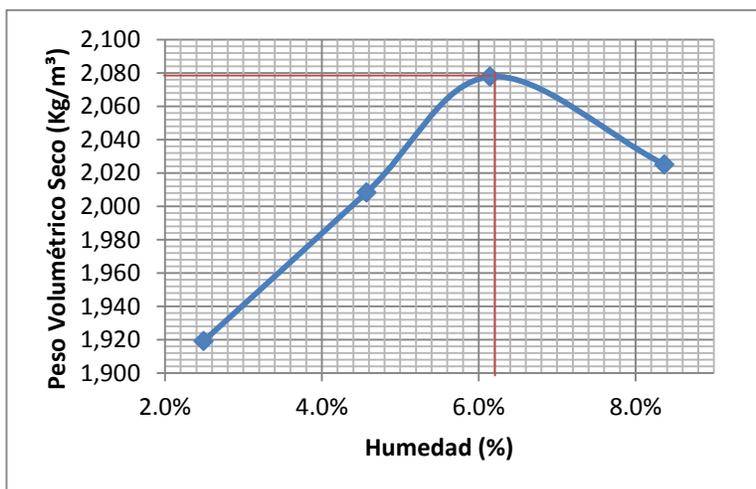
ALTURA DE CAIDA: 18"

DETERMINACION DE LA HUMEDAD

Humedad de Prueba	2.8%	4.8%	6.8%	8.8%	10.8%
Peso Suelo Hum. (Gr.)	752.2	751.20	924.40	869.60	935.80
Peso Suelo Seco. (Gr.)	741.30	731.90	889.00	826.50	884.90
Peso del Agua (Gr.)	10.90	19.30	35.40	43.10	50.90
Peso del recipiente (Gr.)	303.8	309.70	313.00	311.40	309.90
Peso Suelo Seco (Gr.)	437.50	422.20	576.00	515.10	575.00
Contenido de humedad %	2.5%	4.6%	6.1%	8.4%	8.9%

DETERMINACION DE LA DENSIDAD

Peso Muestra Hum. + Molde (Gr.)	5184.6	5309	5407.3	5435.5	5398.9
Peso del Molde (Gr.)	3347.6	3347.6	3347.6	3347.6	3347.6
Peso Muestra Humeda (Gr.)	1837	1961.4	2059.7	2087.9	2051.3
Capacidad del Molde cm^3	933.96	933.96	933.96	933.96	933.96
Peso Vol. Humedo (Kg/m^3)	1967	2100	2205	2236	2196
Peso Vol. Seco (Kg/m^3)	1,919	2,008	2,078	2,025	2,018



PESO-VOL-SEC-MAX
2079 Kg/m^3

HUMEDAD OPTIMA
6.2%



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE CONSTRUCTORA DISA



Determinación en laboratorio de las características de compactación de los suelos
 (AASHTO T 180-10)
 4.0 % de emulsión

Proyecto: Trabajo de Graduación

DIAM. DEL MOLDE : 4"

Ubicación: Material acopiado en plantel "Zacatillo"

No. DE CAPAS : 5

CONSTRUCTORA DISA

PESO MARTILLO : 10 lbs.

MATERIAL: RAP con T.M.N.= 3/4"

GOLPES POR CAPA : 25

METODO: "C"

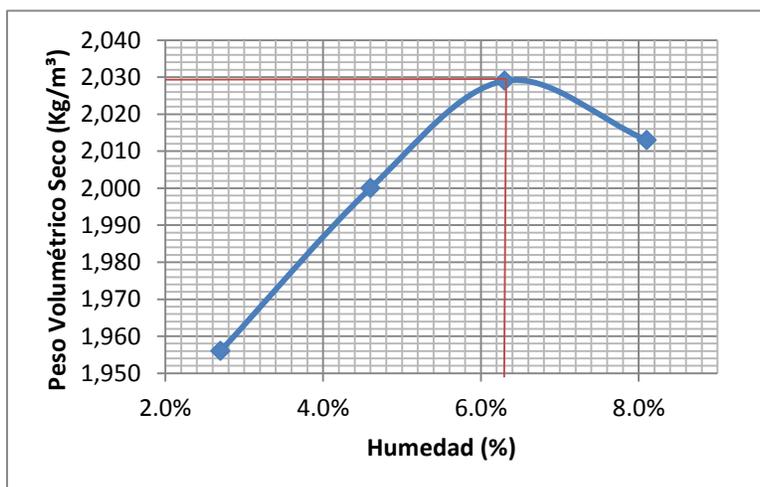
ALTURA DE CAIDA: 18"

DETERMINACION DE LA HUMEDAD

Humedad de Prueba	2.8%	4.8%	6.8%	8.8%	10.8%
Peso Suelo Hum. (Gr.)	732.4	901.80	1007.90	898.30	1128.20
Peso Suelo Seco. (Gr.)	721.00	875.00	964.60	854.60	1055.20
Peso del Agua (Gr.)	11.40	26.80	43.30	43.70	73.00
Peso del recipiente (Gr.)	313.6	309.70	313.00	311.60	309.90
Peso Suelo Seco (Gr.)	407.40	565.30	651.60	543.00	745.30
Contenido de humedad %	2.7%	4.6%	6.3%	8.1%	9.8%

DETERMINACION DE LA DENSIDAD

Peso Muestra Hum. + Molde (Gr.)	5208.8	5272.4	5378.1	5379	5355.1
Peso del Molde (Gr.)	3347.6	3347.6	3347.6	3347.6	3347.6
Peso Muestra Humeda (Gr.)	1861.2	1924.8	2030.5	2031.4	2007.5
Capacidad del Molde cm^3	933.96	933.96	933.96	933.96	933.96
Peso Vol. Humedo (Kg/m^3)	2009	2092	2174	2175	2149
Peso Vol. Seco (Kg/m^3)	1,956	2,000	2,029	2,013	1,958



PESO-VOL-SEC-MAX
 2029 Kg/m^3

HUMEDAD OPTIMA
 6.3%



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE CONSTRUCTORA DISA



Determinación en laboratorio de las características de compactación de los suelos
 (AASHTO T 180-10)

4.5 % de emulsión

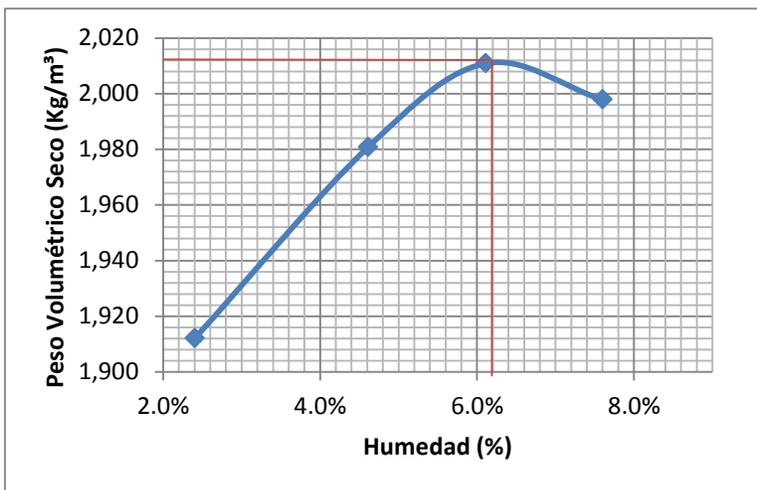
Proyecto: Trabajo de Graduación	DIAM. DEL MOLDE : 4"
Ubicación: Material acopiado en plantel "Zacatillo"	No. DE CAPAS : 5
CONSTRUCTORA DISA	PESO MARTILLO : 10 lbs.
MATERIAL: RAP con T.M.N.= 3/4"	GOLPES POR CAPA : 25
METODO: "C"	ALTURA DE CAIDA: 18"

DETERMINACION DE LA HUMEDAD

Humedad de Prueba	2.8%	4.8%	6.8%	8.8%	10.8%
Peso Suelo Hum. (Gr.)	854.1	853.10	934.90	801.70	1013.10
Peso Suelo Seco. (Gr.)	841.40	828.70	898.90	767.80	959.50
Peso del Agua (Gr.)	12.70	24.40	36.00	33.90	53.60
Peso del recipiente (Gr.)	312.7	299.30	309.70	303.90	311.60
Peso Suelo Seco (Gr.)	528.70	529.40	589.20	463.90	647.90
Contenido de humedad %	2.4%	4.6%	6.1%	7.6%	8.3%

DETERMINACION DE LA DENSIDAD

Peso Muestra Hum. + Molde (Gr.)	5176.3	5293.1	5340.4	5355.3	5352.6
Peso del Molde (Gr.)	3347.6	3347.6	3347.6	3347.6	3347.6
Peso Muestra Humeda (Gr.)	1828.7	1945.5	1992.8	2007.7	2005
Capacidad del Molde cm ³	933.96	933.96	933.96	933.96	933.96
Peso Vol. Humedo (Kg/m ³)	1958	2072	2134	2150	2147
Peso Vol. Seco (Kg/m ³)	1,912	1,981	2,011	1,998	1,983



PESO-VOL-SEC-MAX
 2015 Kg/ m³
 HUMEDAD OPTIMA
 6.2%

5.6 GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA Y DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS DE PAVIMENTACIÓN.

Norma: AASHTO T 209-12

Material:

Mezcla de RAP con emulsión asfáltica.

Equipo:

Contenedor de vacíos, balanza, bomba de vacío, manómetro de presión, termómetros, válvula de sangrado, picnómetro plástico y misceláneo.

Procedimiento:

Al término de la elaboración de la mezcla de RAP con emulsión asfáltica, se debe de asegurar que la emulsión haya roto y que la muestra a ensayar este totalmente seca antes de proceder con este ensayo. A continuación se pesa la muestra y posteriormente se coloca en un tazón o picnómetro. La muestra debe ser colocada directamente en un contenedor de vacío. Se añade suficiente agua a una temperatura aproximadamente de 25 °C (77 °F) para cubrir totalmente la muestra (Figura 5.28).

Se remueve el aire atrapado en la muestra aplicando gradualmente incrementos de vacío hasta que el manómetro de presión residual registre 3.7 ± 0.3 kPa. (27.5 ± 2.5 mm Hg), se mantiene esta presión residual por 15 ± 2 min. Se agita el contenedor y contenidos durante el período de vacío continuamente por un dispositivo mecánico (Figura 5.29).



Figura 5.28



Figura 5.29

Figura 5.27 y 5.28 Material en contenedor de vacío siendo llenado agua y posteriormente la aplicación de vacío.

Fotografías tomadas en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.

Al final del período de vacío, éste se libera a una razón de decrementos que no exceda a 8 kPa por segundo y se procede con las siguientes determinaciones:

✓ Pesado.

Se sumerge el contenedor y muestra en el baño María y se determina la masa después de 10 ± 1 minuto de inmersión.

✓ Cálculos.

Se procede al análisis y cálculo de los datos de masa obtenidos en el ensayo.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE CONSTRUCTORA DISA



Gravedad específica teórica máxima y densidad de mezclas bituminosas de
 pavimentación (AASHTO T 209-12)

Proyecto Trabajo de Graduación
 Procedencia Ubicación: Material acopiado en
 plantel "Zacatillo" CONSTRUCTORA
 Material RAP con T.M.N.= 3/4"

	Porcentaje de emulsión asfáltica				
	2.5%	3.0%	3.5%	4.0%	4.5%
Peso del Picnómetro solo (g)	2571.7	2550	2563.1	2581.5	2574.2
Peso del Picnómetro+ muestra (g)	11754.8	11754.8	11754.8	11754.8	11754.8
Peso de la muestra en el aire (g)	14326.5	14304.8	14317.9	14336.3	14329
Peso del Picnómetro+ agua (g)	13231.4	13213.8	13219.4	13226.5	13221.5
Peso del Picnómetro+ agua+ muestra (g)	1095.1	1091	1098.5	1109.8	1107.5
Gravedad Específica Teórica Máxima	2.348	2.337	2.333	2.326	2.324

Observaciones _____

5.7 PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO PARA DISEÑAR MEZCLAS DE MATERIALES TRATADOS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA

Para obtener el punto de porcentaje de emulsión óptimo, se experimentará con cinco puntos distintos de porcentaje de emulsión, variando en incrementos de 0.5%. Por lo tanto los porcentajes de emulsión a utilizar para elaborar las diferentes dosificaciones (bachadas) son: 2.5 %, 3.0 %, 3.5 %, 4.0 % y 4.5 %, y por cada punto se realizaran seis briquetas para ensayar tres en seco y tres en húmedo.

5.7.1 Preparación de la muestra

Para la elaboración de briquetas se tiene que cumplir con una especificación relacionada con la altura, el Manual en Frío Wirtgen 2004, cita que el material debe de ser suficiente para alcanzar una altura de compactación de $63.5 \text{ mm} \pm 1.5 \text{ mm}$.

Es por ello que se tomó la decisión de utilizar, para cada briketa, la cantidad de material R.A.P, mezclado con agua y emulsión de 1150 gr, para lograr cumplir con lo especificado anteriormente (Figura 5.30).



Figura 5.30 Cantidad de masa de material para elaborar briquetas.

Fotografía tomada en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.

Material:

- ✓ R.A.P: Se trabajará con una carpeta asfáltica fresada, proveniente de un acopio en planta (Figura 5.31).



Figura 5.31 Material de carpeta asfáltica fresada.

Fotografía tomada en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.

- ✓ Agua: Es el porcentaje óptimo de humedad que se obtuvo en la sección 5.5 “Contenido de Humedad Optima con Emulsión Asfáltica” (Figura 5.32).



Figura 5.32 Agua a agregar en el material R.A.P

Fotografía tomada en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.

- ✓ Emulsión asfáltica: ésta es de tipo CSS-1h, representa a una emulsión catiónica de sedimentación lenta con viscosidad entre 20 y 100 s, en la que se ha utilizado un asfalto con penetración 40 a 90. Contiene 62% asfalto y 38% agua (Figura 5.33).



Figura 5.33 Emulsión asfáltica CSS-1h siendo agregada al RAP

Fotografía tomada en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.

Equipo:

Charola, balanza, probeta de 500ml, guantes de hule, misceláneos.

Procedimiento:

Para elaborar los especímenes, se hicieron los cálculos de pesos de cada material, de manera de obtener una bachada para realizar ocho briquetas, (dos más de lo especificado por algún defecto que surgiese no contemplado).

Se obtuvo la humedad natural del material, encontrando un valor de 0.5%.

Ejemplo: Para obtener una bachada del punto de emulsión de 3.5%, se hacen los cálculos siguientes:

- ✓ Material R.A.P.

Masa de material R.A.P para cada espécimen = 1090 gr.

$$\text{Bachada} = 1090 \times 8 = 8720 \text{ gr.}$$

✓ Agua.

La humedad que tendrá el material R.A.P para la mezcla es la humedad óptima obtenida en el ensayo Proctor, por lo tanto se le restará la humedad que tiene el material y la cantidad de agua que aporta la emulsión.

$$\text{Humedad óptima del punto 3.5\% de emulsión} = 6.3\%$$

$$\text{Cantidad de agua en la emulsión} = 3.5\% \times 0.38 = 1.33\% \text{ agua}$$

$$\text{Cantidad de humedad en el material R.A.P} = 0.5\% \text{ agua}$$

$$\text{Cantidad de agua total a restar} = 1.33\% + 0.5\% = 1.83\% \text{ agua}$$

$$\text{Cantidad de agua a agregar} =$$

$$\text{masa del material} \frac{(W_{\text{opt}} - W_{\text{total a restar}})}{1 + W_{\text{total a restar}}} = 8720 \frac{(0.063 - 0.0183)}{1 + 0.0183}$$

$$\text{Cantidad de agua a agregar} = 383 \text{ gr}$$

✓ Emulsión.

$$\text{Cantidad de emulsión} =$$

$$\text{masa del material} \times 0.035 = 8720 \times 0.035 = 305 \text{ gr}$$

Ya teniendo la dosificación de cada elemento se procede al mezclado, teniendo el cuidado de que no haya pérdida de material ni de humedad, y así lograr una mezcla homogénea, para que luego se prosiga a la compactación (Figura 5.34).



Figura 5.34 Mezclado de R.A.P, agua y Emulsión asfáltica

Fotografía tomada en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.

5.7.2 Procedimiento para la compactación de las probetas

Material:

Mezcla en frío.

Equipo:

Compactador, moldes, calibrador Vernier, extractor de muestra, apisonador, misceláneos.

Procedimiento:

Para compactar la mezcla se utilizó el método Marshall y las briquetas que se fabricaron fueron de 100mm de diámetro.

A continuación los pasos que se siguieron antes, durante y después de la compactación.

- 1) Se preparó el molde (4") y martillo Marshall limpiando el molde, collar, plato base y la cara de compactación del martillo.

NOTA: el equipo de compactación no debe ser previamente calentado, sino mantenerse a temperatura ambiente.

- 2) Se colocó la mezcla en el molde teniendo el cuidado de no perder material, posteriormente se apisona 15 veces la mezcla con una espátula alrededor del perímetro y 10 veces en la superficie, dejando la superficie levemente redondeada.
- 3) Se compactó la mezcla aplicando 75 golpes con el martillo de compactación. Debe asegurarse que el martillo caiga libremente (Figuras 5.35).



Figura 5.35 Caída libre del martillo Marshall sobre el material en molde cilíndrico.
Fotografías tomadas en laboratorio Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, UES

- 4) Retirar el molde y el collar del pedestal, invertir la briqueta (dar vuelta) y volver a colocarla y presionarla firmemente para asegurar que descansa firmemente sobre el plato base. Se procede a compactar la otra cara de la briqueta aplicando nuevamente 75 golpes.
- 5) Después de la compactación, se retira el molde del plato base y se deja las briquetas en el molde durante 24 horas para desarrollar resistencia antes de extraerlas (Figura 5.36)



Figura 5.36 Briquetas en el molde por 24 horas.

Fotografía tomada en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.

- 6) Desmoldar la briqueta por medio de un extractor (Figuras 5.37 y 5.38).



Figura 5.37 Extractor de briquetas.



Figura 5.38 Desmolde de briquetas.

Fotografías tomadas en Laboratorio de Planta Asfáltica de constructora DISA S.A de C.V.

Cuando se tienen las briquetas fuera del molde (Figura 5.39) el siguiente procedimiento es someterlas a un periodo de curado.



Figura 5.39 Briquetas numeradas ya listas para iniciar el proceso de curado.

Fotografía tomada en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.

5.7.3 Procedimiento de curado.

Se colocaron las briquetas sobre una parrilla y se curaron en un horno con aire forzado durante 72 horas a 40 °C. Retirar del horno después de 72 horas y dejar enfriar a temperatura ambiente (Figura 5.40).



Figura 5.40 Briquetas curándose en el horno por 72 horas.

Fotografía tomada en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.

Después de enfriar cada briqueta a temperatura ambiente, se determinan los siguientes datos:

- ✓ Masa de cada briqueta.
- ✓ Medir la altura en cuatro sitios uniformemente espaciados alrededor de la circunferencia de la briqueta y calcule su altura promedio.
- ✓ Se mide el diámetro de cada briqueta.
- ✓ Se calcula la densidad bulk.

5.7.4 Método de Prueba Estándar para la Resistencia de Mezclas Asfálticas Compactadas al Daño Inducido por la Humedad

Norma: AASHTO T 283-07 (2011)

Material:

Briquetas

Equipo:

Máquina de ensayo a la compresión, cabezal de ensayo ITS de ϕ 100mm, balanza, calibrador Vernier.

Procedimiento:

Las briquetas con emulsión asfálticas son ensayadas por Resistencia a la Tracción Indirecta (ITS) bajo condición seca y saturada. El ITS es determinado midiendo la carga última de falla de una briqueta, sujeta a una razón de deformación constante de 50.8 mm/minutos sobre su eje diametral.

5.7.4.1 Determinación de la resistencia a la tracción indirecta en seco

(ITS_{seco})

Los pasos que se siguieron son los siguientes:

- 1) Se ubica la briqueta en el cabezal para ensayos de ITS. Se coloca la briqueta de manera tal que las bandas de carga estén paralelas y centradas en el plano vertical diametral (Figura 5.41).

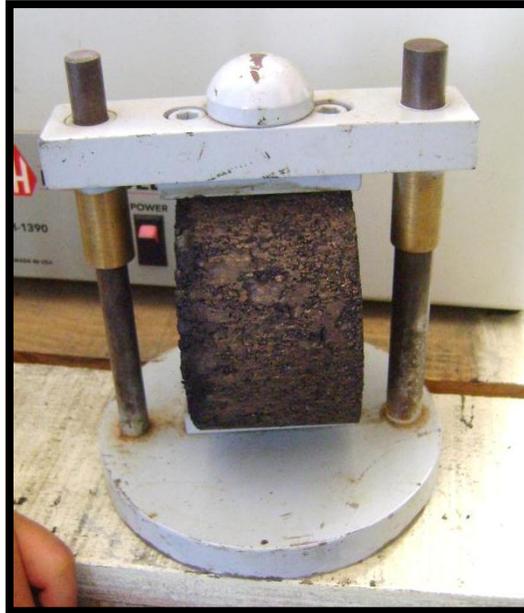


Figura 5.41 Colocación de briqueta en las bandas de carga.

Fotografía tomada en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.

- 2) Se ubica el plato de transferencia de carga sobre la banda superior y se coloca el cabezal de ensayo ensamblado de manera que quede centrado bajo el pistón de carga de la máquina de compresión.
- 3) Se aplica carga a la briqueta a una razón de avance de 50,8 mm por minuto hasta alcanzar la carga máxima. Registrar la carga máxima P (en kN) (Figura 5.42). Posteriormente se analiza la falla que resulta en la briqueta producto del ensayo (Figura 5.43)



Figura 5.42 Aplicando carga a la briqueta en el ensayo ITS.

Fotografía tomada en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.

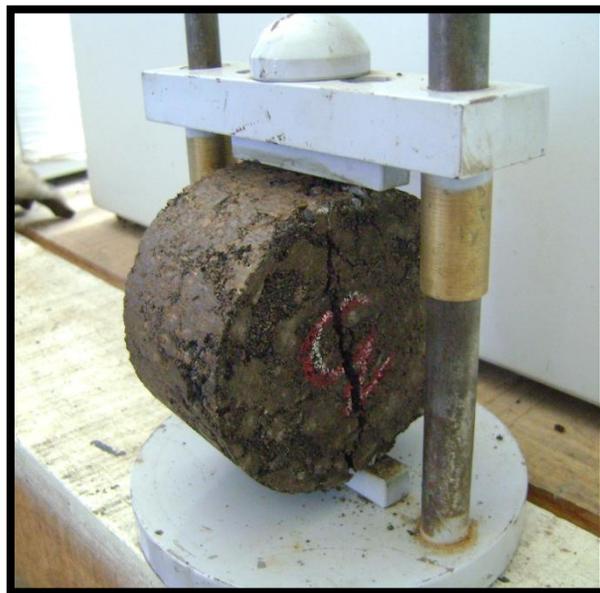


Figura 5.43 Falla del espécimen luego del ensayo ITS.

Fotografía tomada en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.

- 4) Se calcula el ITS de la briqueta.

5.7.4.2 Determinación de la resistencia a la tracción indirecta saturado (ITS_{saturado})

Para determinar el ITS saturado, el Manual de Reciclado en Frío Wirtgen 2001, cita que hay que colocar las briquetas bajo agua a $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 horas o aplicando un vacío de 50mm de mercurio durante 60 ± 1 minutos en un desecador (Figuras 5.44, 5.45, 5.46).

NOTA: En la etapa de curado de las briquetas que se sometieron al ensayo ITS en húmedo, se aplicó un vacío de 50mm de mercurio durante 60 ± 1 minutos en un desecador, siguiendo el Manual en Frío Wirtgen 2001.



Figura 5.44 Briquetas
en húmedo



Figura 5.45 vacío
de 50mm de Hg.



Figura 5.46 Desecador

Fotografías tomadas en Laboratorio de Planta Asfáltica de constructora DISA S.A de C.V.

Después de este proceso de curado, se sacan las briquetas del agua, se secan superficialmente y se repiten los pasos 1 al 4 del ítem 5.7.4.1 (Ver página 161).

5.7.4.3 Cálculo de ITS seco e ITS saturado.

Ejemplo: Para obtener el ITS seco e ITS saturado en el punto de 3.5% de emulsión asfáltica, se realizan los cálculos siguientes:

➤ Datos de Briquetas a ensayar en seco.

Altura promedio de tres briquetas: 63.3mm; 63.0mm; 63.3mm.

Diámetro promedio de tres briquetas: 101.5mm; 101.6mm; 101.6mm.

Carga máxima aplicada de tres briquetas: 5450.68 N; 5240.85 N; 5114.93 N.

ITS = (2 x P) / (π x h x d) x 10000		
ITS	= resistencia a la tracción indirecta	(KPa)
P	= carga máxima aplicada	(KN)
h	= altura promedio de la probeta	(cm)
d	= diámetro de la probeta	(cm)

Ecuación a utilizar para obtener ITS seco e ITS saturado.

Fuente: Manual de reciclado en Frío Wirtgen, 2004.

Sustituyendo valores en la ecuación se obtiene los ITS secos de tres briquetas:

$$ITS_{\text{seco } 1} = \frac{(2 \times 5450.68)}{(\pi \times 6.33 \times 10.15)} \times 10000 = 540.08 \text{ KPa.}$$

$$ITS_{\text{seco } 2} = \frac{(2 \times 5240.85)}{(\pi \times 6.30 \times 10.16)} \times 10000 = 521.25 \text{ KPa.}$$

$$ITS_{\text{seco } 3} = \frac{(2 \times 5.11493)}{(\pi \times 6.37 \times 10.15)} \times 10000 = 506.32 \text{ KPa.}$$

$$ITS_{\text{seco promedio}} = \mathbf{522.55 \text{ KPa.}}$$

Datos de Briquetas a ensayar en húmedo:

Altura promedio de tres briquetas: 63.4mm; 63.4mm; 63.6mm.

Diámetro promedio de tres briquetas: 101.4mm; 101.6mm; 101.6mm.

Carga máxima aplicada de tres briquetas: 3181.88 N; 3560.43N; 3266.02N.

Sustituyendo valores en la ecuación se obtiene los ITS_{saturado} de tres briquetas:

$$ITS_{\text{saturado } 1} = \frac{(2 \times 3.18188)}{(\pi \times 6.34 \times 10.14)} \times 10000 = 315.09 \text{ KPa.}$$

$$ITS_{\text{saturado } 2} = \frac{(2 \times 3.56043)}{(\pi \times 6.34 \times 10.16)} \times 10000 = 351.88 \text{ KPa.}$$

$$ITS_{\text{saturado } 3} = \frac{(2 \times 3.26602)}{(\pi \times 6.36 \times 10.16)} \times 10000 = 321.77 \text{ KPa.}$$

$$ITS_{\text{saturado promedio}} = \mathbf{329.58 \text{ KPa}}$$

NOTA: para obtener los demás valores de ITS seco y saturado para las briquetas con porcentajes de emulsión de 2.5%, 3%, 4% y 4.5%, se calcularán de la misma manera.

Cuando se obtienen todos los ITS de los diferentes porcentajes de emulsión, se plotean los puntos y se generan las curvas de ITS_{seco} e ITS_{saturado} así como se muestra en la Figura 5.47 y 5.48.

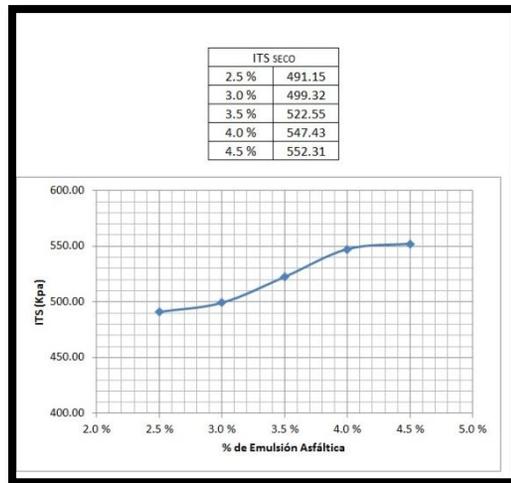


Figura 5.47 Curva ITS seco

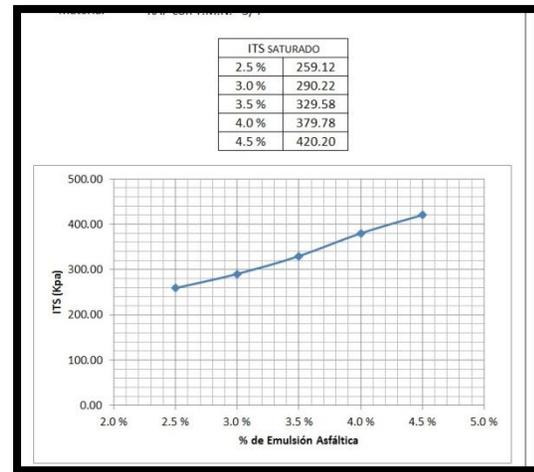


Figura 5.48 Curva ITS saturada

El contenido óptimo de asfalto es aquel que maximiza la Resistencia a la Tracción Indirecta Saturada¹. Pero hay que recordar, que se ha definido en esta investigación que el contenido óptimo de asfalto es aquel que sea igual o mayor al 60% de la Resistencia a la Tracción Retenida (T.S.R).

5.7.4.4 Calculo del TSR.

La “Razón de Resistencia Retenida (Tensile Strength Retained, TSR)” es la relación entre el ITS seco y el ITS saturado para un conjunto específico de briquetas, expresada como porcentaje.²

¹ Gulliermo T, Andrés J, 2002, Revista Ingeniería de Construcción “Tecnología del Asfalto Espumado”, Vol17 N°2, Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

² Wirtgen GmbH, 2004, Manual de Reciclado en Frío, Windhagen, Alemania.

A continuación un Ejemplo: Para obtener el TSR del 3.5% de emulsión asfáltica, se realizan los cálculos siguientes:

Ecuación a utilizar.

$$\text{TSR} = \text{ITSsaturado} / \text{ITSseco} \times 100$$

Fuente: Manual de reciclado en Frío, Wirtgen 2004.

Datos:

ITS saturado = 329.58 KPa.

ITS seco = 522.55 KPa.

Sustituyendo valores en la ecuación:

$$\text{TSR} = \frac{329.58}{522.55} \times 100 = 63.07\%$$

NOTA: para obtener los demás valores de TSR para las briquetas con porcentajes de emulsión de 2.5%, 3%, 4% y 4.5%, se calcularán de la misma manera.

El contenido óptimo del porcentaje por masa de emulsión asfáltica será aquel que alcance el 60% del TSR, para luego ser sustituido por asfalto espumado.

Cuando se obtienen todos los TSR expresados en porcentajes de los diferentes contenidos de emulsión, se plotean los puntos y se generan las curva de TSR, a continuación se lee el valor de 60% del TSR, se corta la curva y se baja para leer el valor de porcentaje óptimo de emulsión, así como se muestra en la Figura 5.49.

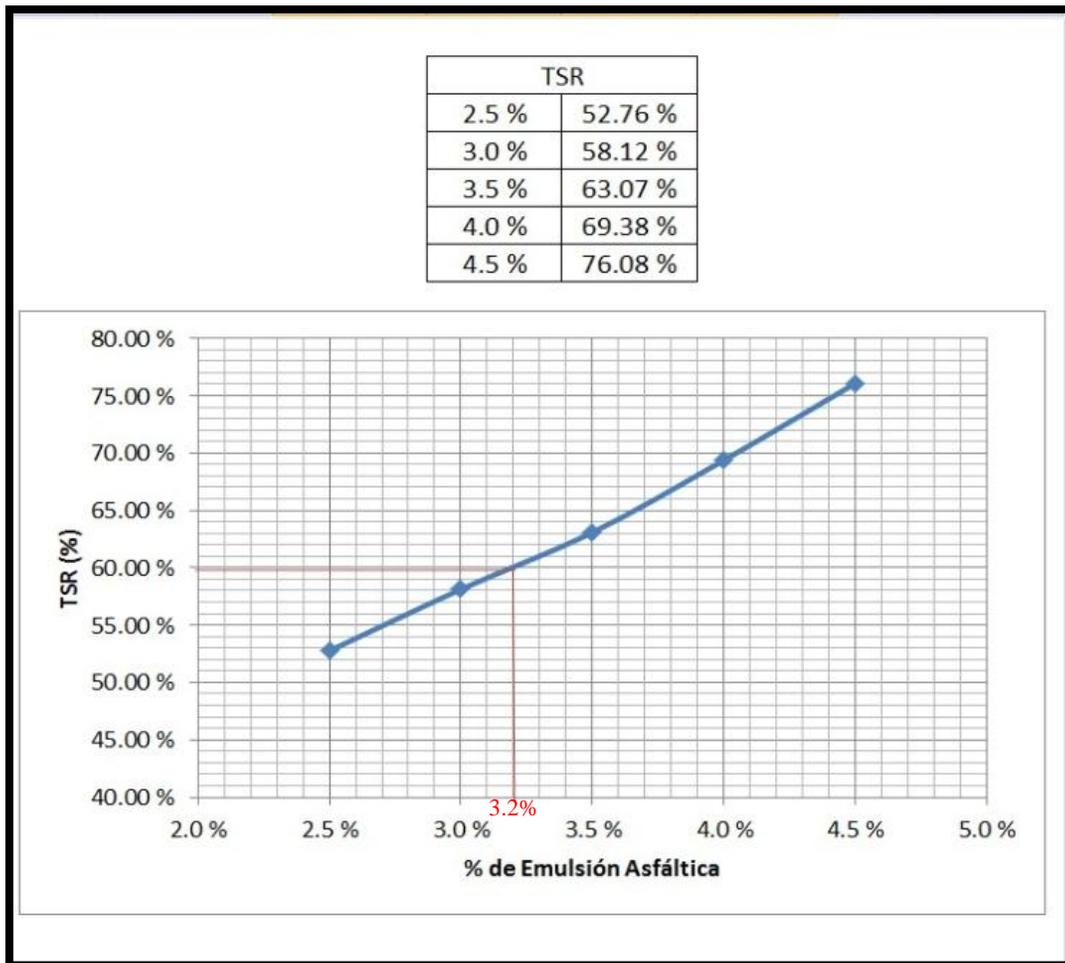


Figura 5.49 Se muestra el porcentaje óptimo de emulsión cuando éste alcanza el 60% del TSR.

En la gráfica se lee un contenido óptimo de emulsión asfáltica de 3.2% pero se recomienda usar 3.5% y en campo, si se observa pérdida por absorción agregarle 0.2% más.

A continuación se presentan los resultados de los ensayos con diferentes contenidos de emulsión asfáltica.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE CONSTRUCTORA DISA	Proyecto	Trabajo de Graduación					
		Lugar de Procedencia	Material acopiado en plantel " Zacatillo" CONSTRUCTORA DISA					
Método de Prueba Estándar para la Resistencia de Mezclas Asfálticas Compactadas al Daño Inducido por la Humedad (AASHTO T 283-11)								
2.5%								
Muestras en condición seca								
Muestra	N°	3	5	8	1	2	4	
Diámetro (mm)	D	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	
Espesor (mm)	t	63.0	62.9	62.9	63.1	63.0	63.0	
Peso humedad de equilibrio (grs)	A'	1097.3	1100.5	1095.2	1103.8	1101.6	1099.6	
Peso seco al aire (grs)	A	1080.3	1081.6	1077.8	1083.9	1082.9	1081.2	
Peso de agua perdida durante el curado (A'-A)	A'I	17	18.9	17.4	19.9	18.7	18.4	
Volumen		510.761	509.950	509.950	511.572	510.761	510.761	
Gravedad Bulk (A/E)	F	2.115	2.121	2.114	2.119	2.120	2.117	
Densidad Seca Máxima	G	2.348	2.348	2.348	2.348	2.348	2.348	
% Vacíos (100(F-G)/F)	H	9.920	9.668	9.986	9.763	9.703	9.845	
Peso después de curado a 50mmmg por 1hr					1145.40	1145.20	1146.50	
Diferencia					5.67	5.75	6.04	
Lectura		119	114	120	67	56	64	
Coeficiente		1	1	1	1	1	1	
Carga resultante especímenes en seco (Kg)	P	508.56	487.16	512.84	285.75	238.54	272.87	
Carga resultante especímenes en seco (N)	P'	4989.00	4779.06	5030.98	2803.18	2340.08	2676.90	
Calculo del TSR (Tensil Strength Ratio), Relación de Esfuerzo de Tensión								
Tensión Seca 2000 P/πtD (Kpa)	Std	496.20	476.08	501.17				
Tensión Seca Promedio		491.15						
Tensión Húmeda 2000 P'/πt''D (Kpa)	Stm				278.36	232.74	266.24	
Tensión Húmeda Promedio					259.12			
Grado de Tensión TSR 100(S _{tm} /S _{td})					52.76			



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE CONSTRUCTORA DISA

Proyecto
 Lugar de
 Procedencia

Trabajo de Graduación
 Material acopiado en
 plantel " Zacatillo"
 CONSTRUCTORA DISA



Método de Prueba Estándar para la Resistencia de Mezclas Asfálticas Compactadas al Daño Inducido por la Humedad (AASHTO T 283-11)

3.0%

Muestras en condición seca

Muestra	N°	1	3	4	6	7	8
Diámetro (mm)	D	101.6	101.6	101.6	101.6	101.6	101.5
Espesor (mm)	t	63.2	63.1	63.1	63.2	63.3	63.3
Peso humedad de equilibrio (grs)	A'	1109.01	1107.57	1106.33	1106.81	1106.8	1108.65
Peso seco al aire (grs)	A	1079.67	1077.32	1076.83	1081.97	1080.72	1082.8
Peso de agua perdida durante el curado (A'-A)	A'I	29.34	30.25	29.5	24.84	26.08	25.85
Volumen		512.383	511.572	511.572	512.383	513.193	512.184
Gravedad Bulk (A/E)	F	2.107	2.106	2.105	2.112	2.106	2.114
Densidad Seca Máxima	G	2.337	2.337	2.337	2.337	2.337	2.337
% Vacíos (100(F-G)/F)	H	9.835	9.889	9.930	9.643	9.890	9.538
Peso después de curado a 50mmmg por 1hr					1147.50	1145.00	1147.50
Diferencia					6.057	5.948	5.975
Lectura		122	119	119	66	69	75
Coeficiente		1	1	1	1	1	1
Carga resultante especímenes en seco (Kg)	P	521.40	508.56	508.56	281.46	294.33	320.06
Carga resultante especímenes en seco (N)	P'	5114.93	4989.00	4989.00	2761.09	2887.35	3139.81
Calculo del TSR (Tensil Strength Ratio), Relación de Esfuerzo de Tensión							
Tensión Seca 2000 P/πtD (Kpa)	Std	507.12	495.42	495.42			
Tensión Seca Promedio		499.32					
Tensión Húmeda 2000 P'/πt''D (Kpa)	Stm				273.75	285.81	311.11
Tensión Húmeda Promedio					290.22		
Grado de Tensión TSR 100(S _{tm} /S _{td})		58.12					



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE CONSTRUCTORA DISA

Proyecto Trabajo de Graduación
 Lugar de Procedencia Material acopiado en plantel " Zacatillo"
 CONSTRUCTORA DISA



Método de Prueba Estándar para la Resistencia de Mezclas Asfálticas Compactadas al Daño Inducido por la Humedad (AASHTO T 283-11)

3.5%

Muestras en condición seca

Muestra	N°	1	3	7	2	4	8
Diámetro (mm)	D	101.5	101.6	101.6	101.4	101.6	101.6
Espesor (mm)	t	63.3	63.0	63.3	63.4	63.4	63.6
Peso humedad de equilibrio (grs)	A'	1117.25	1112.7	1124.23	1120.98	1121.16	1124.85
Peso seco al aire (grs)	A	1077.79	1073.59	1081.78	1081.39	1081.35	1083.93
Peso de agua perdida durante el curado (A'-A)	A'I	39.46	39.11	42.45	39.59	39.81	40.92
Volumen		512.184	510.761	513.193	511.982	514.004	515.626
Gravedad Bulk (A/E)	F	2.104	2.102	2.108	2.112	2.104	2.102
Densidad Seca Máxima	G	2.333	2.333	2.333	2.333	2.333	2.333
% Vacíos (100(F-G)/F)	H	9.803	9.904	9.647	9.466	9.825	9.894
Peso después de curado a 50mm por 1hr					1146.60	1146.70	1150.90
Diferencia					6.03	6.04	6.18
Lectura		130	125	122	76	85	78
Coeficiente		1	1	1	1	1	1
Carga resultante especímenes en seco (Kg)	P	555.62	534.24	521.40	324.35	362.94	332.93
Carga resultante especímenes en seco (N)	P'	5450.68	5240.85	5114.93	3181.88	3560.43	3266.02

Calculo del TSR (Tensil Strength Ratio), Relación de Esfuerzo de Tensión

Tensión Seca 2000 P/πtD (Kpa)	Std	540.08	521.25	506.32			
Tensión Seca Promedio		522.55					
Tensión Húmeda 2000 P'/πt''D (Kpa)	Stm				315.09	351.88	321.77
Tensión Húmeda Promedio					329.58		
Grado de Tensión TSR 100(S _{tm} /S _{td})		63.07					

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE CONSTRUCTORA DISA	Proyecto	Trabajo de Graduación					
		Lugar de Procedencia	Material acopiado en plantel " Zacatillo" CONSTRUCTORA DISA					
Método de Prueba Estándar para la Resistencia de Mezclas Asfálticas Compactadas al Daño Inducido por la Humedad (AASHTO T 283-11)								
4.0%								
Muestras en condición seca								
Muestra	N°	4	6	7	1	2	3	
Diámetro (mm)	D	101.5	101.5	101.6	101.4	101.5	101.4	
Espesor (mm)	t	63.6	63.3	63.4	63.4	63.4	63.4	
Peso humedad de equilibrio (grs)	A'	1124.37	1122.26	1123.71	1122.59	1126.05	1123.63	
Peso seco al aire (grs)	A	1078.56	1075.68	1078.49	1076.21	1076.11	1076.76	
Peso de agua perdida durante el curado (A'-A)	A'I	45.81	46.58	45.22	46.38	49.94	46.87	
Volumen		514.611	512.184	514.004	511.982	512.993	511.982	
Gravedad Bulk (A/E)	F	2.096	2.100	2.098	2.102	2.098	2.103	
Densidad Seca Máxima	G	2.326	2.326	2.326	2.326	2.326	2.326	
% Vacíos (100(F-G)/F)	H	9.894	9.708	9.793	9.628	9.815	9.582	
Peso después de curado a 50mmmg por 1hr					1142.540	1144.230	1143.970	
Diferencia					6.163	6.330	6.242	
Lectura		134	135	127	95	89	97	
Coeficiente		1	1	1	1	1	1	
Carga resultante especímenes en seco (Kg)	P	572.73	577.01	542.79	405.79	380.08	414.36	
Carga resultante especímenes en seco (N)	P'	5618.50	5660.45	5324.79	3980.84	3728.62	4064.90	
Calculo del TSR (Tensil Strength Ratio), Relación de Esfuerzo de Tensión								
Tensión Seca 2000 P/πtD (Kpa)	Std	556.38	559.65	526.26				
Tensión Seca Promedio		547.43						
Tensión Húmeda 2000 P'/πt'D (Kpa)	Stm				368.87	367.71	402.77	
Tensión Húmeda Promedio					379.78			
Grado de Tensión TSR 100(S _{tm} /S _{td})					69.38			

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE CONSTRUCTORA DISA	Proyecto	Trabajo de Graduación					
		Lugar de Procedencia	Material acopiado en plantel "Zacatillo" CONSTRUCTORA DISA					
Método de Prueba Estándar para la Resistencia de Mezclas Asfálticas Compactadas al Daño Inducido por la Humedad (AASHTO T 283-11)								
4.5%								
Muestras en condición seca								
Muestra	N°	2	4	6	1	3	5	
Diámetro (mm)	D	101.5	101.5	101.5	101.5	101.6	101.6	
Espesor (mm)	t	63.0	63.3	63.1	63.1	63.5	63.4	
Peso humedad de equilibrio (grs)	A'	1105.15	1107.91	1107.78	1106.4	1111.67	1107.69	
Peso seco al aire (grs)	A	1073.18	1073.05	1079.78	1075.42	1072.92	1074.16	
Peso de agua perdida durante el curado (A'-A)	A'I	31.97	34.86	28	30.98	38.75	33.53	
Volumen		509.756	512.184	510.565	510.565	514.815	514.004	
Gravedad Bulk (A/E)	F	2.105	2.095	2.115	2.106	2.084	2.090	
Densidad Seca Máxima	G	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	
% Vacíos (100(F-G)/F)	H	9.411	9.852	8.999	9.366	10.323	10.078	
Peso después de curado a 50mmmg por 1hr					1147.50	1145.00	1147.50	
Diferencia					6.702	6.718	6.828	
Lectura		133	114	127	96	109	99	
Coeficiente		1	1	1	1	1	1	
Carga resultante especímenes en seco (Kg)	P	568.46	487.16	542.79	410.08	465.76	422.93	
Carga resultante especímenes en seco (N)	P'	5576.55	4779.06	5324.79	4022.87	4569.07	4148.95	
Calculo del TSR (Tensil Strength Ratio), Relación de Esfuerzo de Tensión								
Tensión Seca 2000 P/πtD (Kpa)	Std	554.31	472.32	529.28				
Tensión Seca Promedio		552.31						
Tensión Húmeda 2000 P'/πt'D (Kpa)	Stm				396.96	454.89	408.76	
Tensión Húmeda Promedio					420.20			
Grado de Tensión TSR 100(S _{tm} /S _{td})		76.08						



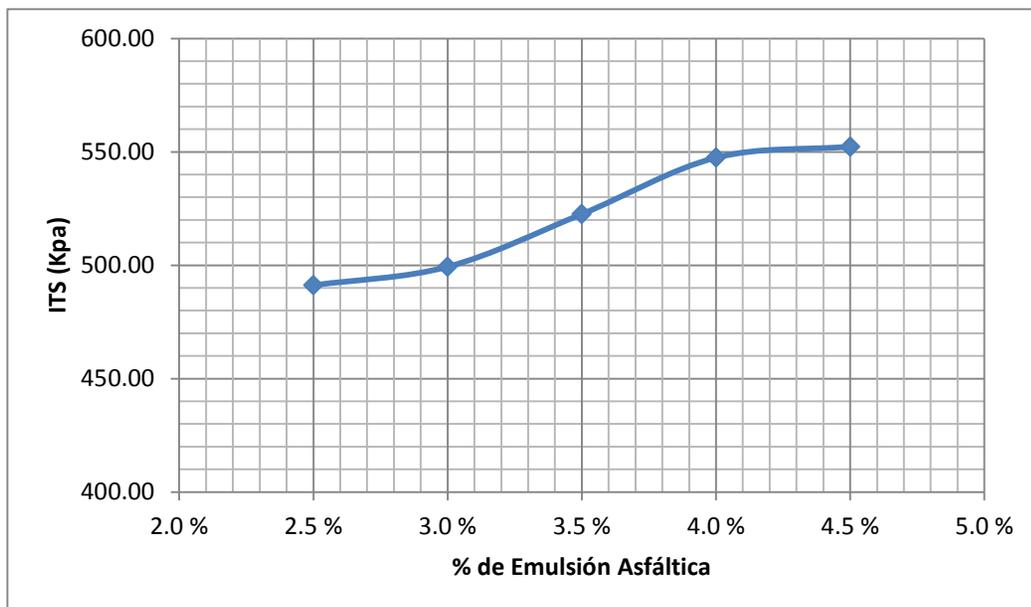
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE CONSTRUCTORA DISA



Determinación de la resistencia a la tracción indirecta en seco (ITS seco)

Proyecto Trabajo de Graduación
Ubicación: Material acopiado en plantel
Procedencia "Zacatillo" CONSTRUCTORA DISA
Material RAP con T.M.N. = 3/4"

ITS SECO	
2.5 %	491.15
3.0 %	499.32
3.5 %	522.55
4.0 %	547.43
4.5 %	552.31



Observaciones: _____



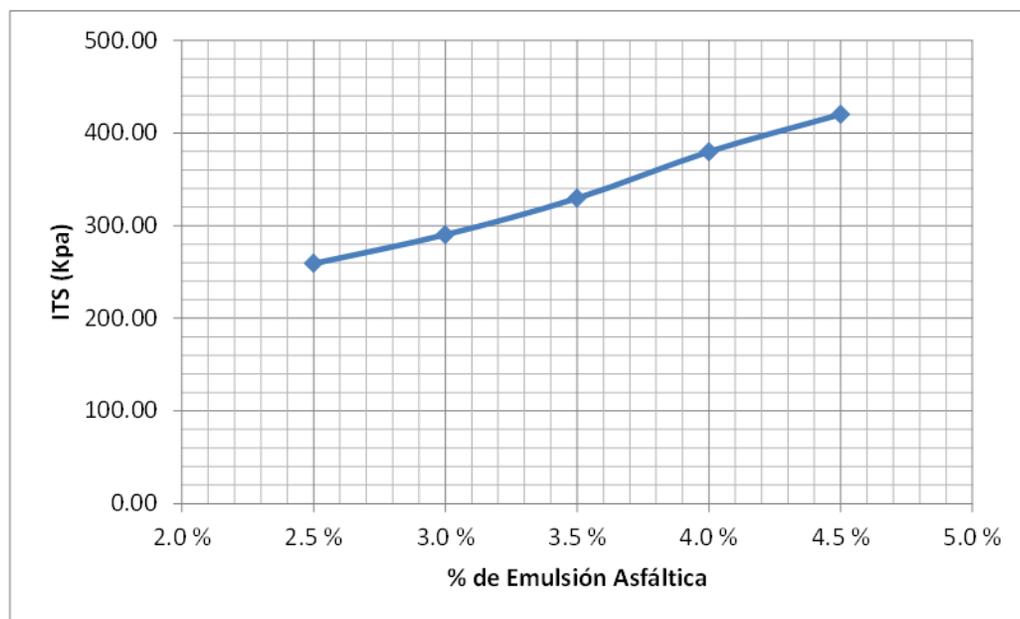
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE CONSTRUCTORA DISA



Determinación de la resistencia a la tracción indirecta saturado ($ITS_{saturado}$)

Proyecto Trabajo de Graduación
 Procedencia Ubicación: Material acopiado en plantel
 "Zacatillo" CONSTRUCTORA DISA
 Material RAP con T.M.N.= 3/4"

ITS SATURADO	
2.5 %	259.12
3.0 %	290.22
3.5 %	329.58
4.0 %	379.78
4.5 %	420.20



Observaciones _____



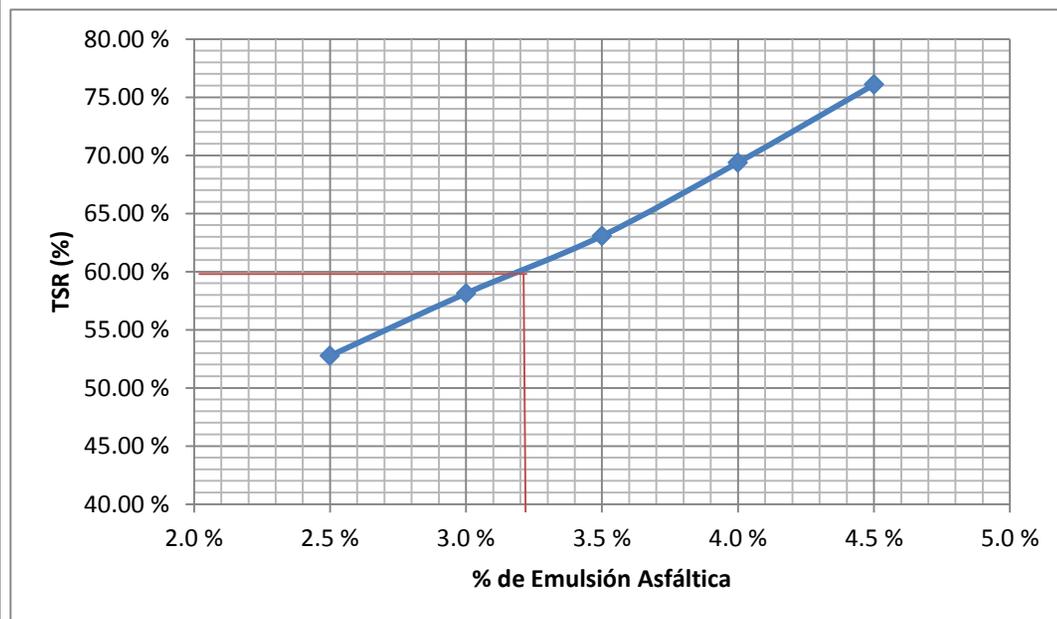
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE CONSTRUCTORA DISA



Determinación de la curva TSR

Proyecto Trabajo de Graduación
 Procedencia Ubicación: Material acopiado en plantel "Zacatillo" CONSTRUCTORA DISA
 Material RAP con T.M.N.= 3/4"

TSR	
2.5 %	52.76 %
3.0 %	58.12 %
3.5 %	63.07 %
4.0 %	69.38 %
4.5 %	76.08 %



Observaciones: Contenido Optimo de Emulsión 3.2 %



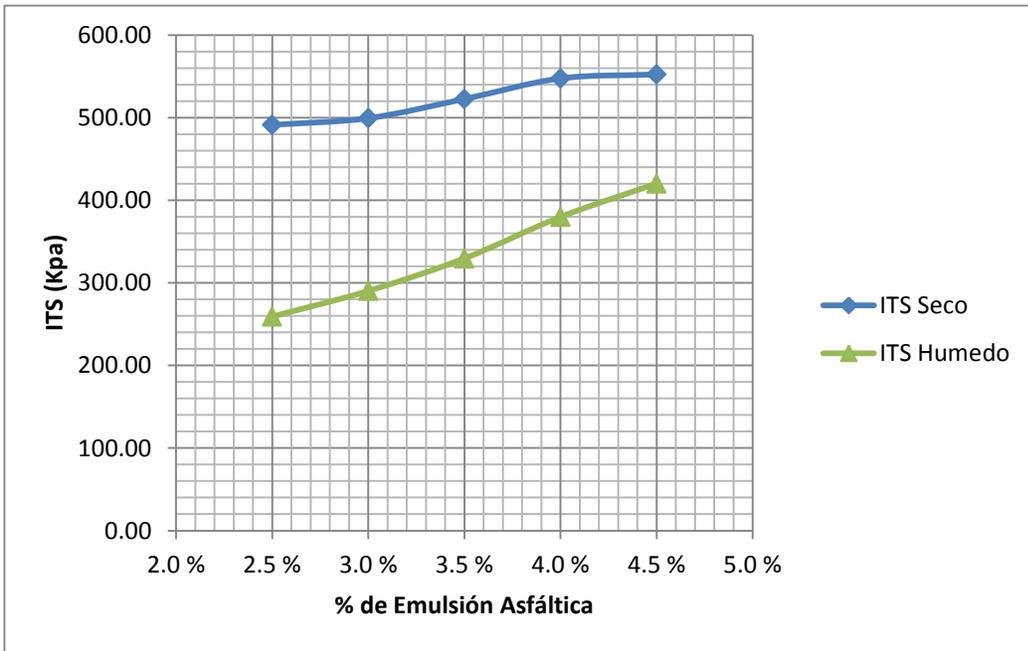
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE CONSTRUCTORA DISA



ITS (seco) e ITS (humedo)

Proyecto Trabajo de Graduación
 Procedencia Ubicación: Material acopiado en plantel "Zacatillo" CONSTRUCTORA DISA
 Material RAP con T.M.N.= 3/4"

Porcentaje de Emulsión	ITS Seco	ITS Humedo
2.5 %	491.15	259.12
3.0 %	499.32	290.22
3.5 %	522.55	329.58
4.0 %	547.43	379.78
4.5 %	552.31	420.20



Observaciones: _____

5.8 OPTIMIZACION DE LA RAZON DE EXPANSION Y LA VIDA MEDIA

Se midió la razón de expansión y vida media de un asfalto de tipo AC-30 a 160°C, utilizando tres diferentes porcentajes de agua para espumar; 2%, 3% y 4%.

Para medir la vida media y razón de expansión se utilizó depósitos metálicos con altura y diámetros conocidos para descargar el asfalto espumado (Figura 5.50).



Figura 5.50 Toma de medidas de depósito metálico

Fotografía tomada en de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V

El asfalto se obtuvo a partir de una manguera de alimentación conectada a la planta productora del asfalto espumado y se descargó en los depósitos metálicos con las siguientes dimensiones: Altura 18cm y Diámetro 17 cm.

Inmediatamente después que la descarga de la espuma se detiene, antes de llenar por completo el recipiente, se comienza a medir el tiempo con un cronometro. Se mide el tiempo, en segundos, que transcurre para que la espuma colapse a la mitad de su volumen máximo (Figura 5.52). Este tiempo es registrado como la vida media del asfalto espumado.

Posteriormente se mide la altura máxima alcanzada por el asfalto espumado en el recipiente (Figura 5.51) y utilizando el diámetro del mismo se obtiene el volumen máximo alcanzado por la espuma. Se dejó reposar el asfalto en el contenedor hasta que ésta alcanzara su volumen original (alrededor de 3min de espera), como se observa en la Figura 5.53, obteniendo así los datos para calcular la razón de expansión.



Figura 5.51 Volumen máximo de
asfalto alcanzado en el deposito



Figura 5.52 Mitad del volumen máximo
de asfalto alcanzado en el deposito



Figura 5.53 Volumen original de asfalto

**Fotografías tomada en de Planta Asfáltica de Constructora
DISA S.A de C.V**

A continuación se presenta un ejemplo de cómo se obtuvieron los parámetros anteriores con la aplicación de 3% de agua.

✓ Razón de Expansión (RE)

Volumen de asfalto en máxima expansión (V_1)= 12

Volumen de asfalto original (V_2)= 1

$$RE = \frac{V_1}{V_2} = \frac{12}{1} = 12 \text{ veces}$$

✓ Vida Media (VM)

Tiempo de volumen de asfalto en máxima expansión (T_1)= 24 seg

Tiempo de volumen de asfalto a la mitad de la máxima expansión (T_2)=

16 seg

$$VM = T_2 - T_1 = 24 - 16 = 8 \text{ segundos}$$

A continuación se muestra la gráfica que relaciona la razón de expansión y vida media con los diferentes porcentajes de agua que se midieron. Como se explicó en la sección 4.5 “FACTORES QUE INFLUYEN A LAS PROPIEDADES DE LA ESPUMA” (Ver página 90), la mejor espuma es aquella que optimiza tanto la Razón de Expansión como la Vida Media, como se observa en el gráfico, esto se logra entre un 2% y 3% de agua, por motivos prácticos de la planta asfáltica que dosificará el agua, se trabajará en esta investigación con 3% de agua a inyectar para generar el asfalto espumado. Con este porcentaje de agua se cumple con los requisitos que establece el Manual de Reciclado en Frío Wirtgen, 2004.

A continuación se presentan los resultados de las pruebas hechas con diferentes porcentajes de agua:

Porcentaje de agua	Vida Media	Razón de expansión
2%	12	10
3%	8	12
4%	6	14

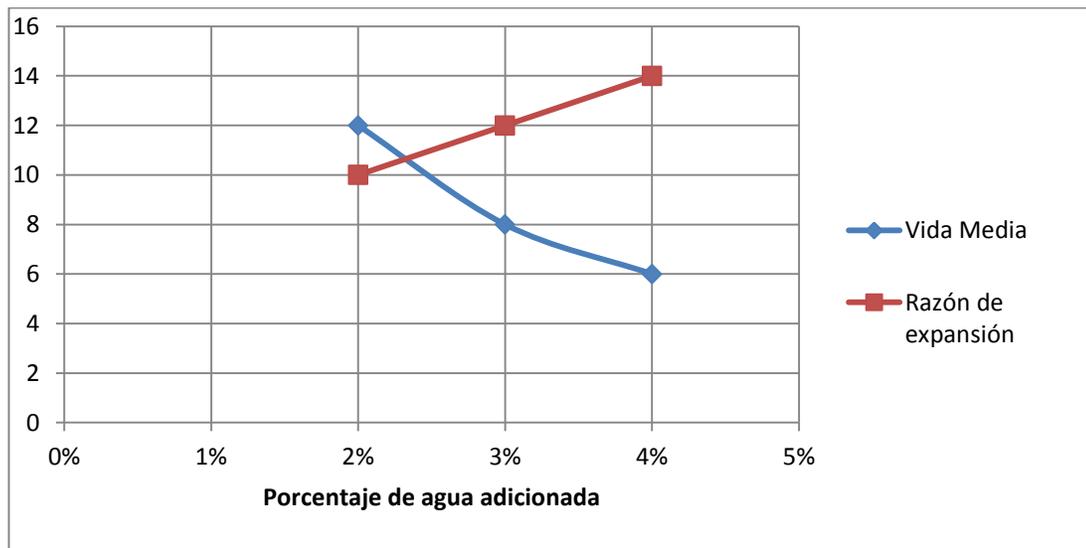


Figura 5.54 Relación entre las propiedades de asfalto espumado

5.9 PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO PARA TRABAJAR CON ASFALTO ESPUMADO

Para realizar el tratamiento con asfalto espumado al RAP, se partió de la sustitución del porcentaje de asfalto residual en el valor óptimo de emulsión para poder trabajarlo con asfalto espumado, tal porcentaje a añadir al RAP fue

un 2.5%. De la mezcla realizada, se elaboraron seis briquetas para ser ensayadas tres en seco y tres en húmedo.

5.9.1 Análisis por Tamizado de Agregados Gruesos y Finos

Para la elaboración de briquetas el material tiene que cumplir con una especificación relacionada a la granulometría, en específico, con una cantidad de 5% como mínimo de finos pasantes de la malla N° 200 lo cual lo cita el Manual en Frío Wirtgen 2004.

Como se documentó en la sección 5.4.3 “Análisis por Tamizado de Agregados Gruesos y Finos” bajo la Norma AASHTO T 27-11 (Ver página 120), el RAP posee un 2.2% de material pasante de la malla N° 200. Es por ello que se procedió a añadir un 8% de finos con respecto a la masa del material, corrigiendo así la deficiencia en finos como se observa en la Figura 5.55.



Figuras 5.55 Material fino agregado pasante de la malla N°200.

Fotografía tomada en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.

Se agregó material pasante de la malla N° 200 obteniendo un resultado de 5.91%, considerando que existe material fino que se adhiere al material grueso por lo tanto no se reporta en ese porcentaje. Dato obtenido según el ensayo “Análisis por Tamizado de Agregados Gruesos y Finos”, según AASHTO T 27-1. (Ver página 120).

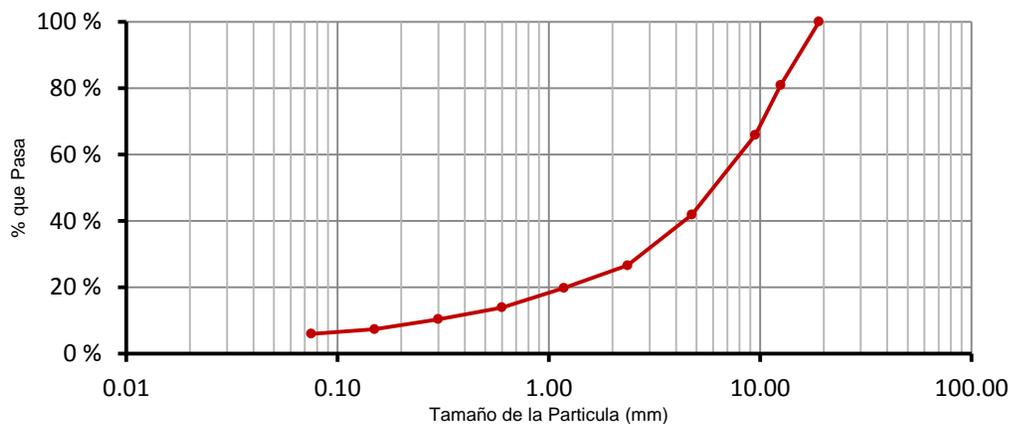


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE CONSTRUCTORA DISA
 Análisis por Tamizado de Agregados Gruesos y
 Finos(Basado en AASHTO T 27-11)



PROYECTO: Trabajo de Graduación
 LUGAR DE: Material acopiado en plantel " Zacatillo"
 PROCEDENCIA: CONSTRUCTORA DISA
 DESCRIPCIÓN: RAP con T.M.N.= 3/4"

MALLA		Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje que Pasa	ESPECIFICACIÓN	
NOMBRE	MM					Mínimo	Máximo
3/4"		0.00 g	0.00 %	0.0 %	100 %		
1/2"		998.70 g	19.15 %	19.1 %	81 %		
3/8"		781.90 g	14.99 %	34.1 %	66 %		
No. 4		1,255.90 g	24.08 %	58.2 %	42 %		
No. 8		795.40 g	15.25 %	73.5 %	27 %		
No. 16		355.30 g	6.81 %	80.3 %	20 %		
No. 30		306.20 g	5.87 %	86.2 %	14 %		
No. 50		183.10 g	3.51 %	89.7 %	10 %		
No. 100		159.20 g	3.05 %	92.7 %	7 %		
No. 200		71.40 g	1.37 %	94.1 %	5.9 %		
FONDO		308.40 g	5.91 %	100.0 %	0.0 %		
TOTALES		5,215.50 g	100.00 %				
GRAVA=	80.28 %	ARENA=	13.80 %	FINOS=	5.91 %	SUMA=	100.00 %



Observaciones:

5.9.2 Preparación de la muestra

Material:

- ✓ R.A.P: Se trabajará con una carpeta asfáltica fresada, proveniente de un acopio en planta.
- ✓ Agua: Es el porcentaje óptimo de humedad que se obtuvo en la sección 5.5 “Contenido de Humedad Optima con Emulsión Asfáltica”
- ✓ Asfalto espumado: Producido con un asfalto AC-30, calentado a 160°C al cual se le inyectó un 3% de agua.

Equipo:

Batidora industrial (MODAMAX PM-20BCE trabajándose con 161 revoluciones por minuto), manguera industrial, balanza digital, Charola, probeta de 500ml, guantes, recipientes de aluminio de 1 galón y misceláneos.

Procedimiento:

Para elaborar los especímenes, se hicieron los cálculos de pesos de cada material, de manera de obtener una bachada para realizar seis briquetas. Además se obtuvo la humedad natural del material, encontrando un valor de 5.6%.

Cálculos para obtener una bachada de material tratado con asfalto espumado

- Material R.A.P.

Cantidad de material para la bachada = 7850gr.

- Agua.

La humedad que tendrá el material R.A.P para la mezcla, es el contenido de humedad óptima, en la Figura 5.56. Por lo tanto se le restará la humedad que tiene el material.

- ✓ Humedad óptima del material = 6.8%, por perdidas se aproximó a 7.0%.
- ✓ Cantidad de humedad en el material R.A.P = 5.6% agua
- ✓ Cantidad de agua a agregar =

$$\text{masa del material} \frac{(W_{\text{opt}} - W_{\text{total a restar}})}{1 + W_{\text{total a restar}}} = 7850 \frac{(0.070 - 0.056)}{1 + 0.056}$$

- ✓ Cantidad de agua a agregar = 104 gr (Figura 5.56)



Figura 5.56 Cantidad de agua necesaria a agregar.

Fotografía tomada en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.

✓ Asfalto espumado

Cantidad de asfalto espumado, véase Figura 5.57

$$\text{masa del material} \times 2.5\% = 7850 \times 0.025 = 196.25\text{gr}$$



Figura 5.57 Descarga de Asfalto espumado.

Fotografía tomada en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.

✓ Cemento

Se le agregara el 1% de cemento en masa en base a la cantidad de material a mezclar, ver Figura 5.58.

Cantidad de cemento:

$$\text{masa del material} \times 1\% = 6540 \times 0.01 = 78.5\text{gr}$$



Figura 5.58 1% de cemento en el RAP.

Fotografía tomada en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.

✓ Control del flujo del asfalto espumado

Se realizaron dos pruebas con el flujo del asfalto espumado para poder determinar a qué tiempo se tenía una cantidad de asfalto al llenar un recipiente de 1 galón de volumen, observar Figura 5.59.



Figuras 5.59 Pruebas para poder controlar la cantidad de flujo de asfalto espumado.

Fotografía tomada en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.

$$t_1 = 6 \text{ s.} \quad ; \quad W_1 = 489 \text{ gr.}$$

$$t_2 = 5 \text{ s.} \quad ; \quad W_2 = 488.4 \text{ gr.}$$

$$t_{prom.} = 5.5 \text{ s.} \quad ; \quad W_{prom.} = 488.7 \text{ gr.}$$

Con una regla de tres simple obtendremos a que tiempo se puede lograr una masa de asfalto espumado de 196.25gr

$$5.5 \text{ s} \text{-----} 488.7 \text{ gr}$$

$$t \text{-----} 196.25 \text{ gr}$$

$t = 2.41 \text{ s}$, pero se trabajó con el valor entero superior inmediato, $t = 3 \text{ s}$.

Ya teniendo la dosificación de cada elemento se procede al mezclado, teniendo el cuidado de que no haya pérdida de material ni de humedad, y así lograr una

mezcla homogénea, para que prosequir a la compactación, observar Figura 5.60.

Para realizar la mezcla se agregó primero el RAP, éste se mezcló con el agua y posteriormente, a través de una manguera de alimentación se agregó el asfalto espumado al mismo tiempo que se agregaba el cemento para continuar inmediatamente con el mezclado final, considerando el poco tiempo en que se mantiene el asfalto en condición espumada.



Figuras 5.60. Mezclado del RAP, cemento y asfalto espumado.

Fotografía tomada en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.

5.9.2.1 Pruebas realizadas a la mezcla

Se realizó un ensayo para conocer la cantidad de asfalto de la mezcla como lo describe el literal 5.4.5 “Extracción Cuantitativa de Ligante Asfáltico de mezclas Asfálticas en Caliente” (Ver página 128), para determinar la cantidad de asfalto espumado “real” con que se trabajó, dando como resultado un 5.32% de residuo asfáltico. EL RAP posee un 3% del asfalto residual, por lo tanto el asfalto espumado agregado a la mezcla es de un 2.32%.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE CONSTRUCTORA DISA



Extracción Cuantitativa de Ligante Asfáltico de mezclas
 Asfálticas en Caliente (Basado en AASHTO T 164-13)

PROYECTO: Trabajo de Graduación
 PROCEDENCIA: Material acopiado en plantel " Zacatillo"
 CONSTRUCTORA DISA
 DESCRIPCIÓN: RAP con T.M.N.= 3/4"

Descripción	Muestra 1
Peso antes de la extracción+ tara	3,075.30 g
Peso de tara	680.50 g
Peso antes de la extracción	2,394.80 g

Peso de Tazón	2,146.50 g
Peso inicial del filtro	25.70 g
Peso del tazón + muestra	4,541.30 g
Peso final del filtro	26.00 g
finos en el filtro	0.30 g
volumen del frasco	1,200.00 ml

Peso del frasco	529.90 g
Peso del frasco + liquido	2,172.60 g
Peso del contenido del frasco	1,642.70 g

Peso después de la extracción + tara	2,974.30 g
Peso de tara	816.50 g
Masa del agregado extractado	2,157.80 g
Masa del asfalto y finos en el extracto	103.00 g

Observaciones _____



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



LABORATORIO DE CONSTRUCTORA DISA

Extracción Cuantitativa de Ligante Asfáltico de mezclas
Asfálticas en Caliente (Basado en AASHTO T 164-13)

PROYECTO: Trabajo de Graduación
PROCEDENCIA: Material acopiado en plantel " Zacatillo"
CONSTRUCTORA DISA
DESCRIPCIÓN: RAP con T.M.N.= 3/4"

Corrección	
Material	Gravedad Especifica
Solvente	1.33
Asfalto	1.065
Finos de la muestra	2.266
K	1.887

Descripción	Muestra 1
Volumen de los finos en el extracto	42.33 g
Masa de los finos en el extracto	109.28 g
Masa de la materia mineral en el extracto	109.58 g
Contenido de asfalto	5.32%

Observaciones _____

Para conocer los vacíos de la mezcla con asfalto espumado se determinó la **DENSIDAD BULK** por geometría a cada briqueta y se realizó el ensayo conforme al literal 5.6 “GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA Y DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS DE PAVIMENTACIÓN” (Ver página 148).



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE CONSTRUCTORA DISA



Gravedad específica teórica máxima y densidad de mezclas bituminosas de
 pavimentación (AASHTO T 209-12)

Proyecto Trabajo de Graduación
 Procedencia Ubicación: Material acopiado en plantel
 "Zacatillo" CONSTRUCTORA DISA
 Material RAP con T.M.N.= 3/4"

	Porcentaje de emulsión asfáltica	
	2.5%	
Peso del Picnómetro solo (g)	2556.8	
Peso del Picnómetro+ muestra (g)	11754.8	
Peso de la muestra en el aire (g)	14311.6	
Peso del Picnómetro+ agua (g)	13225.6	
Peso del Picnómetro+ agua+ muestra (g)	1086	
Gravedad Específica Teórica Máxima	2.354	

Observaciones _____

5.9.3 Procedimiento para la compactación de las probetas

Material:

Mezcla en frío.

Equipo:

Compactador, moldes, calibrador Vernier, extractor de muestra, apisonador, misceláneos.

Procedimiento:

El proceso a seguir es el mismo que se documentó en la sección 5.7.2 “Procedimiento para la compactación de las probetas” (Ver página 156).

5.9.4 Procedimiento de curado

El proceso a seguir es el mismo que se documentó en la sección 5.7.3 “Procedimiento de curado” (Ver página 160). A continuación se observa en la Figura 5.61 las briquetas en la etapa de curado.



Figura 5.61 Briquetas en curado de 72 h.

Fotografía tomada en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.

5.9.5 Método de Prueba Estándar para la Resistencia de Mezclas Asfálticas Compactadas al Daño Inducido por la Humedad

Norma: AASHTO T 283-07 (2011)

Material:

Briquetas

Equipo:

Máquina de ensayo a la compresión, cabezal de ensayo ITS de ϕ 100mm, balanza, calibrador Vernier.

Procedimiento:

Las briquetas con asfalto espumado (Figura 5.62) son ensayadas por Resistencia a la Tracción Indirecta (ITS) bajo condición seca y saturada. El ITS es determinado midiendo la carga última de falla de una briqueta, sujeta a una razón de deformación constante de 50.8 mm/minutos sobre su eje diametral.



Figuras 5.62 Briquetas antes de ensayos.

Fotografía tomada en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.

5.9.5.1 Determinación de la resistencia a la tracción indirecta en seco (ITS_{seco})

El proceso a seguir es el mismo que se documentó en la sección 5.7.4.1 “Determinación de la resistencia a la tracción indirecta en seco (ITS_{seco})” (Ver página 161). A continuación se observa en la Figuras 5.63 el daño inducido a las briquetas en seco, en el ensayo a la tracción indirecta.



Figuras 5.63 Briquetas en seca después del ensayo ITS.

Fotografía tomada en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.

5.9.5.2 Determinación de la resistencia a la tracción indirecta saturado

(ITS_{saturado})

El proceso a seguir es el mismo que se documentó en la sección 5.7.4.2 “Determinación de la resistencia a la tracción indirecta saturado (ITS_{saturado})” (Ver página 164). A continuación se observa en la Figuras 5.64 el daño inducido a las briquetas en húmedo, en el ensayo a la tracción indirecta.



Figuras 5.64 Se muestra el proceso de las briquetas en húmedo, desde la aplicación de una presión de vacío a 50 mm Hg en un picnómetro hasta el daño inducido por el ensayo ITS.

Fotografía tomada en Laboratorio de Planta Asfáltica de Constructora DISA S.A de C.V.

5.9.6 Cálculo de TSR de las briquetas con asfalto espumado

Posterior a ensayar las briquetas se calculó sus respectivos ITS como se explicó en la sección 5.7.4.3 “Calculo de ITS_{seco} e ITS_{saturado}” (Ver página 165). Y su respectivo cálculo de TSR según se vio en el apartado 5.7.4.4 “Calculo del TSR”. Dando como resultado un TSR de 67.42%.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE CONSTRUCTORA DISA

Proyecto
 Lugar de
 Procedencia

Trabajo de Graduación
 Material acopiado en
 plantel " Zacatillo"
 CONSTRUCTORA DISA



Método de Prueba Estándar para la Resistencia de Mezclas Asfálticas Compactadas al Daño Inducido por la Humedad (AASHTO T 283-11)

2.5%

Muestras en condición seca

Muestra	N°	1	2	3	4	5	6
Diámetro (mm)	D	101.6	101.7	101.7	101.6	101.6	101.6
Espesor (mm)	t	62.7	62.4	62.2	62.6	62.6	62.4
Peso humedad de equilibrio (grs)	A'	1102.3	1100.3	1102.8	1102.6	1104.4	1102.5
Peso seco al aire (grs)	A	1084.8	1085	1086.5	1086.4	1088.1	1087.5
Peso de agua perdida durante el curado (A'-A)	A'I	17.5	15.3	16.3	16.2	16.3	15
Volumen		508.329	506.893	505.268	507.518	507.518	505.897
Gravedad Bulk (A/E)	F	2.168	2.171	2.183	2.173	2.176	2.179
Densidad Seca Máxima	G	2.354	2.354	2.354	2.354	2.354	2.354
% Vacíos (100(F-G)/F)	H	7.881	7.788	7.281	7.709	7.558	7.421
Peso después de curado a 50mmmg por 1hr					1134.3	1140.2	1137.2
Diferencia					4.41	4.79	4.57
Lectura		105	95	90	65	61	70
Coeficiente		1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
Carga resultante especímenes en seco (Kg)	P	466.57	422.03	399.74	288.25	270.40	310.56
Carga resultante especímenes en seco (N)	P'	4577.09	4140.07	3921.49	2827.76	2652.64	3046.61
Calculo del TSR (Tensil Strength Ratio), Relación de Esfuerzo de Tensión							
Tensión Seca 2000 P/πtD (Kpa)	Std	457.41	415.32	394.66			
Tensión Seca Promedio		422.46					
Tensión Húmeda 2000 P'/πt''D (Kpa)	Stm				283.04	265.52	305.93
Tensión Húmeda Promedio					284.83		
Grado de Tensión TSR 100(S _{tm} /S _{td})		67.42					

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- El ensayo de determinación en laboratorio de las características de suelos según AASHTO T180-10, realizado al RAP, da como resultado 6.8% de humedad óptima, de igual forma se realizó el mismo ensayo al material pero agregando diferentes porcentajes de emulsión asfáltica CSS1-h, obteniendo resultados similares de humedad óptima en ambos, comprobando lo que indica en Manual de Reciclado en Frío Wirtgen, 2004.
- Al material RAP, se le realizó el análisis por tamizado de agregado grueso y fino, según la norma AASHTO T27-11, dando como resultado una deficiencia en finos del material pasante de la malla #200, obteniendo un valor de 2.2%, con esa cantidad no se cumple con el porcentaje mínimo del 5% de finos que especifica el Manual en Frío Wirtgen, 2004. Ante esto se agregó material pasante de la malla N° 200 obteniendo así un total de finos de 5.91%.
- Se realizó una gama de briquetas con diferentes porcentajes de emulsión asfáltica, según el Manual de Reciclado en Frío Wirtgen el valor mínimo aceptado para asfalto es aquel que aplicando el Método de Prueba Estándar para la Resistencia de Mezclas Asfálticas Compactadas al

Daño Inducido por la Humedad AASHTO T 283-07, tenga una relación de TSR mayor del 60%, siendo para este trabajo un porcentaje de 3.5% con un valor de TSR de 63.07%.

- Para el contenido óptimo de emulsión asfáltica de 3.5% se obtuvieron un promedio de vacíos de 9.64% según los ensayos de Gravedad Específica Teórica Máxima y Densidad de Mezclas Bituminosas de Pavimentación según AASHTO T 209-12 y Densidad BULK por geometría, valor que se asemeja a contenidos de asfalto bajos en mezclas asfálticas en caliente donde los vacíos son similares.

- El contenido de emulsión asfáltica del 3.5%, fue sustituido por el 2.5% de asfalto espumado, que equivale al porcentaje de asfalto residual del valor óptimo de emulsión antes mencionado.

- El asfalto espumado fue producido con un asfalto AC-30 el cual fue calentado a 160°C, inyectándosele 3% de agua para generar la vida media de 8 segundos y razón de expansión de 12 veces, valores que cumplen con lo estipulado en el Manual de Reciclado en Frio Wirtgen, 2004.

- Para el 2.5% de asfalto espumado se obtuvieron un promedio de vacíos de 7.6 según los ensayos de gravedad específica teórica máxima y densidad de mezclas bituminosas de pavimentación según AASHTO T 209-12 y densidad BULK por geometría, valor que se asemeja a mezclas asfálticas en caliente con contenidos bajos de asfalto, en donde los vacíos son similares.

- Se trabajó con un 2.5% de asfalto espumado, pero según el ensayo de extracción cuantitativa de Ligante Asfáltico de Mezclas Asfálticas en Caliente bajo la norma AASHTO T 164-13, se obtuvo un 5.32% de contenido de asfalto en la mezcla realizada, del cual 3% es el asfalto residual del RAP y 2.32% el asfalto espumado agregado, las pérdidas reportadas resultan por que la regulación del flujo se hizo de manera manual.

- Se realizó el ensayo Método de Prueba Estándar para la Resistencia de Mezclas Asfálticas Compactadas al Daño Inducido por la Humedad bajo la norma AASHTO T 283-07 a las briquetas de material estabilizado con asfalto espumado, reportando un TSR de 67.42%, cumpliendo así con una relación de TSR mayor del 60%, por lo tanto se comprueba que es mínima la susceptibilidad por humedad en el material estabilizado con asfalto espumado.

6.2 RECOMENDACIONES

- Cuando no se cumple con el valor mínimo que especifica el Manual de Reciclado en Frío Wirtgen, 2004 en el contenido de finos del material a estabilizar con asfalto espumado, esto puede ser corregido mediante la adición de cemento, cal u otro material que pase en un 100% la malla N° 200, sin embargo debe de evitarse una dosificación de cemento superior al 1.5%.

- El material estabilizado con asfalto espumado para una capa base, presenta vacíos que se asemejan a mezclas asfálticas en caliente con contenidos de asfalto bajos, es por ello que el Manual de Reciclado en Frío Wirtgen, 2004 indica que, el RAP estabilizado con asfalto espumado siempre necesita una superficie de protección para prevenir el ingreso de humedad y el efecto de la abrasión del tráfico.

- Se recomienda que para el mezclado del material a estabilizar con asfalto espumado se utilice un equipo diferente al utilizado en esta investigación de manera que éste tenga la capacidad de realizar el mezclado de manera hermética, inyectando el asfalto espumado con una adecuada dispersión y presión como lo es una planta asfáltica o la máquina Wirtgen WR-2000.

- Para futuras investigaciones, se recomienda realizar puntos con distintos porcentajes de asfalto espumado para formar la curva TSR y así obtener el valor óptimo que cumpla con una relación de TSR mayor al 60%.

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS DE TEXTO:

- Montejo Fonseca Alfonso, 2002, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Universidad Católica de Colombia, Colombia.

- Ing. Jugo B. Augusto, 2005, Manual de Mantenimiento y Rehabilitación de Pavimentos Flexibles.

- José Martínez- Echeverría Moreno, 2002, Universidad de Granada, España

- Rogelio, R, Castaño, V, Martínez, M, 2001, Emulsiones Asfálticas, Santandilia, México.

- Gulliermo T, Andrés J, Revista Ingeniería de Construcción “Tecnología del Asfalto Espumado”, Vol17 N°2, Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

MANUALES:

- Wirtgen GmbH, 2004, Manual de Reciclado en Frío, Windhagen, Alemania.

- Wirtgen GmbH, 2001, Manual de Reciclado en Frío, Windhagen, Alemania.

- Secretaría de Integración Económica Centroamericana SIECA, 2002, Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, Guatemala.

- ASPHALT INSTITUTE, ASPHALT EMULSION MANUFACTURERS ASSOCIATION, Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, Manual Series N° 19, USA.

TRABAJOS DE GRADUACIÓN:

- César Arturo Castaneda Siete, “Guía básica para el uso de emulsiones asfálticas en la estabilización de bases en caminos de baja intensidad en el salvador”, Trabajo de graduación presentado para optar al grado de ingeniero civil en la Universidad de El Salvador (UES), San Salvador, El Salvador (2011).

- Rafael Alexander Crespín Molina, “Aplicación del método Marshall y granulometría Superpave en el diseño de mezclas asfálticas en caliente

con asfalto clasificación grado de desempeño”, Trabajo de graduación presentado para optar al grado de ingeniero civil en la Universidad de El Salvador (UES), San Salvador, El Salvador (2012).

DOCUMENTOS TÉCNICOS

- Asphalt Academy, 2009, Technical Guideline: Bitumen Stabilised Materials, Pretoria.

- Centro de Investigaciones Viales, LEMAC, 2008, Reciclado de pavimentos asfálticos en frío, Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional La Plata, Buenos Aires, Argentina.

- Mercado, R, Bracho, C, Avendaño, J, 2008, Emulsiones Asfálticas, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.

- ASOCIACIÓN TÉCNICA DE EMULSIONES BITUMINOSAS, ATEB, 2001, Las emulsiones de Betumen, Universidad de Cataluña, Barcelona, España.

NORMAS:

- AASHTO T 2- 91 (Reaprobada 2010), Muestreo de Agregados.

- AASHTO T 248-11, Muestras de Agregado a Tamaño de Ensayo.

- AASHTO T 265-12, Método Estándar de Prueba para la determinación del Contenido de Humedad de los Suelos en Laboratorio.

- AASHTO T 27-11, Análisis por Tamizado de Agregados Gruesos y Finos.

- AASHTO T 89-13, Determinación del Limite Líquido de los suelos.

- AASHTO T 164-13, Extracción Cuantitativa de Ligante Asfáltico de mezclas Asfálticas en caliente.

- AASHTO T 84-13, Método Estándar para la Determinación de la Gravedad Específica Y Absorción de Agregado Fino.

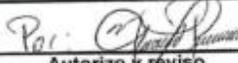
- AASHTO T 180-10, Determinación en Laboratorio de las Características de Compactación de los Suelos.

- AASHTO T 209-12, Gravedad específica teórica máxima y densidad de mezclas bituminosas de pavimentación.

- AASHTO T 283-07 (2011), Método de Prueba Estándar para la Resistencia de Mezclas Asfálticas Compactadas al Daño Inducido por la Humedad.

ANEXOS

ANEXO A: certificado de control de calidad y clasificación de emulsiones asfálticas. (Para diseño con emulsión).

 ASFALTOS DE CENTROAMERICA, S.A. <small>Laboratorio de Suelos, Materiales, Emulsiones y Mezclas Asfálticas en frío y en Caliente.</small>				
CERTIFICADO DE CONTROL DE CALIDAD Y CLASIFICACION DE EMULSIONES ASFALTICAS				
DATOS GENERALES DE IDENTIFICACION DEL PRODUCTO				
CLASIFICACION Y TIPO DE EMULSION ASFALTICA:	EMULSION CATIONICA DE ROMPIMIENTO LENTO (CSS-1h)			
FECHA DE ELABORACION DEL CERTIFICADO:	08/01/2014			
FECHA DE PRODUCCION DE LA EMULSION ASFALTICA:	03/01/2014			
ORDEN DE PRODUCCION:				
TANQUE DE ALMACENAMIENTO:	4			
ESPECIFICACION ESTANDAR PARA EMULSIONES ASFALTICAS CATIONICAS (ASTM D-2397)(AASHTO M-208)				
REQUERIMIENTO	ESPECIFICACION DE ENSAYO	Mínimo	Máximo	Resultado
CONSISTENCIA				
Viscosidad Saybolt Furol a 25°C (Seg.)	ASTM D 244 (AASHTO T-59)	20	100	33.12
COMPOSICION				
Carga de Partículas	ASTM D 7402 (AASHTO T-59)	***	***	Positiva
Residuo por evaporacion (%)	ASTM D 6934 (AASHTO T-59)	57	***	62.70
Residuo por Destilacion (%)	ASTM D 6997 (AASHTO T-59)	57	***	62.00
ESTABILIDAD				
Prueba del Tamiz, (%)	ASTM D 6933 (AASHTO T-59)	***	0.1	0.01086
Prueba de Estabilidad en Almacenamiento a 24h. (%)	ASTM D 6930 (AASHTO T-59)	***	1	0.80
EXAMINACION DEL RESIDUO				
Penetración, 25°C, 100 g, 5s (dmm) (*)	(ASTM D-5)(AASHTO T-49)	40	90	53
Ductilidad 25°C, 5 cm/min, (cm)	(ASTM D-113)(AASHTO T-51)	40	***	112
Punto de ablandamiento, (°C)	(ASTM D-36) (AASHTO T-53)	***	***	51.5
Solubilidad en Tricloroetileno, (%)	(ASTM D-2042)(AASHTO T-44)	97.5	***	99.94
OTROS ENSAYOS				
Peso unitario de la emulsion (g/L) a 25 °C	ASTM D 6937	***	***	1014
Peso unitario de la emulsion (Kg/gln) a 15.6 °C	ASTM D 6937	***	***	3.858
F: 				
Autorizo y reviso. Ing. Karen de Vadillo/ Gerente de Control de Calidad				

ANEXO B: Certificado de Asfalto AC-30.



Perenco Guatemala Limited

5ª Av. 5-55 Zona 14, Torre 4, Nivel 12 Edificio Europlaza
PBX (502) 2384-6100 FAX (502) 2384 - 6192 (502) 2384 - 6196



RESULTADO DE ANALISIS DE LABORATORIO

Certificado No. 485670CA9B0

PRODUCTO:	ASFALTO
ESPECIFICACIÓN:	AC-30 [ASTM D 3381]
FECHA:	Junio 17 de 2,014
HORA:	07:10
TANQUE:	5
LOTE:	049 - 2,014

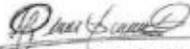
ANALISIS	RESULTADO	ESPECIFICACION ASTM D 3381 TABLA 2	METODO ASTM
GRAVEDAD ESPECIFICA, 60°F,	1.065	N.E.	D 70
PESO (Lbs/Gal)	8.763	N.E.	D 70
PENETRACION, 77°F, 100g, 5 seg.	62	50 min.	D 5
VISCOSIDAD, 140°F, POISES	3,001	3,000 ± 600	D 2171
VISCOSIDAD, 275°F, cSt.	527	350 min.	D 2170
FLASH POINT, COC, °F	525	450 min.	D 92
PUNTO DE ABLANDAMIENTO, °F	118	N.E.	D 36
SOLUBILIDAD EN TCE, %	99.9	99.0 min.	D 2042
ENSAYOS AL RESIDUO TFOT			D 1754
VISCOSIDAD, 140°F, POISES	7,943	15,000 max.	D 2171
DUCTILIDAD, 77°F, 5 cm/minuto	>100	50 min.	D 113
ENSAYOS AL RESIDUO RTFOT			D 2873**
CAMBIO DE MASA, %	-0.62	*	D 2873

* min. = mínimo

max. = máximo

N.E. = No Especifica

** Dato Calculado sin especificación ASTM, para uso exclusivo del interesado.

Firma del representante de Perenco: 

Nombre: **Fredy D. Barrios O.**

LABORATORIO REFINERIA LA LIBERTAD
2384-6100 Ext. 111 La Libertad, Petén
e-mail: laboratoriolibertad@ol.perenco.com



Perenco Guatemala Limited

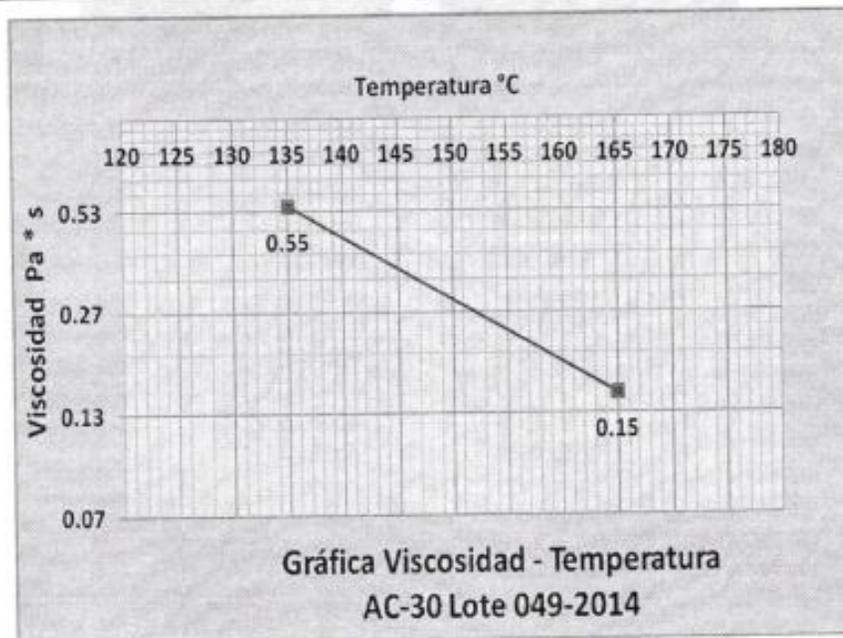
5ª Av. 5-55 Zona 14, Torre 4, Nivel 12 Edificio Europlaza
PBX (502) 2384-6100 FAX (502) 2384 - 6192 (502) 2384 - 6196



RESULTADO DE ANALISIS DE LABORATORIO

Certificado No. 485670CA9B0

PRODUCTO:	ASFALTO
ESPECIFICACION:	AC-30 [ASTM D 3381]
METODO DE ENSAYO:	AASHTO T-316
VISCOSIMETRO:	DV-II +
VASTAGO	21
RPM	20
FECHA:	Junio 17 de 2,014
HORA:	07:10
TANQUE:	5
LOTE:	049 - 2,014



Firma del representante de Perenco: 

Nombre: **Fredy D. Barrios O.**