

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



**“EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA CARPETA DE
RODADURA DE MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA EN
COMPARACIÓN CON EL DE LA MEZCLA ASFÁLTICA
CALIENTE.”**

PRESENTADO POR:

CARLOS ANTONIO CAMPOS CRUZ

MANUEL RAMÓN GUZMÁN LÓPEZ

RAFAEL EDUARDO SÁNCHEZ BLANCO

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, SEPTIEMBRE 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 :

**“EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA CARPETA DE
RODADURA DE MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA EN
COMPARACIÓN CON EL DE LA MEZCLA ASFÁLTICA
CALIENTE.”**

Presentado por :

**CARLOS ANTONIO CAMPOS CRUZ
MANUEL RAMÓN GUZMÁN LÓPEZ
RAFAEL EDUARDO SÁNCHEZ BLANCO**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores

**ING. DILBER ANTONIO SÁNCHEZ VIDES
MSc. ING. RAMÓN FRITZ ALVARADO GLOWER
ING. CHRISTA MATA DE LARA**

San Salvador, Septiembre de 2014

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

ING. DILBER ANTONIO SÁNCHEZ VIDES

MSc. ING. RAMÓN FRITZ ALVARADO GLOWER

ING. CHRISTA MATA DE LARA

AGRADECIMIENTOS ESPECIALES.

A las Empresas.

ASFALCA S.A. de C.V.

Por su incondicional apoyo en la realización de nuestro trabajo de investigación y su excelente cooperación. Muchas gracias a todo el personal de laboratorio en las áreas de Suelos y Materiales, Control de Calidad e Investigación y Desarrollo que nos proporcionaron desinteresadamente toda su ayuda y sus conocimientos.

Fondo de Conservación Vial FOVIAL

Gracias por formar parte de este proyecto, compartiendo todos los recursos e información disponible que sirvió para completar satisfactoriamente esta investigación.

LEG S.A. de C.V.

Muchas gracias por proporcionar el equipo y el personal necesario para llevar a cabo las pruebas de campo indispensables en nuestro trabajo de graduación.

A los Profesionales.

ING. CHRISTA MATA DE LARA.

A nuestra asesora de trabajo de graduación, le estaremos eternamente agradecidos por su ayuda incondicional en todo momento, gracias por su amistad y todo el tiempo que dedico a nuestra formación académica.

M.Sc. ING. RAMÓN FRITZ ALVARADO GLOWER.

A nuestro asesor de trabajo de graduación, un especial agradecimiento por transmitirnos todos sus conocimientos y apoyarnos en los momentos de mayor infortunio por los que atravesamos en esta ultima etapa de nuestra formación académica.

ING. VICTOR ORELLANA y ING. WALTER VÁSQUEZ.

Gracias por su incondicional apoyo. Por proporcionarnos la información necesaria para llevar a cabo nuestra investigación, por estar atentos a cualquier duda que teníamos.

ING. ERICK DANIEL CALIDONIO MOLINA.

Muchas gracias por su ayuda brindada en todo momento en la etapa de laboratorios, por estar pendientes de la elaboración correcta de cada uno de las pruebas de laboratorio.

ING. JOSE ROBERTO DOUGLAS LEMUS.

Muchas gracias por haber destinado parte de su valioso tiempo a solventar nuestras dudas e inquietudes en nuestro trabajo de investigación.

ING. DILBER SÁNCHEZ.

A nuestro asesor de trabajo de graduación, gracias por todos las correcciones, atinadas o no, nos sirvieron de mucho.

Nuevamente reiteramos nuestros agradecimientos a todas aquellas personas que nos apoyaron en cada una de las etapas de este proyecto y que no fue posible mencionarlas y agradecerles por tiempo y espacio.

¡GRACIAS TOTALES!

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco principalmente a **Dios**, por haberme permitido llegar hasta este momento tan especial en mi vida, por haberme dado las fuerzas necesarias para continuar en los momentos de mayor adversidad, por darme la sabiduría necesaria para sobrellevar las situaciones mas difíciles y regalarme esas enseñanzas invaluablees disfrazadas de tropiezos .

A mi padre **José Daniel E. Campos Villafuerte (Q.E.P.D.)** ser humano como ninguno otro, a ti te estoy eternamente agradecido todos los valores y principios que me inculcaste desde mi nacimiento, gracias a ti he llegado a ser el hombre que soy; a ti que siempre creíste en mi te dedico este triunfo.

A **Etel Esmeralda Cruz Vda. de Campos**, mamá ejemplar, gracias por brindarme tu apoyo en todo momento y por luchar día a día para que el ultimo de tus hijos pudiera ser profesional, gracias por creer en este proyecto, sin tu esfuerzo nada hubiese sido posible.

A mis hermanas **Patricia Esmeralda Campos Cruz Y Ana Ethel Campos de Guandique**, por tomar ese rol de padres y madres en los momentos más difíciles de mi vida, mujeres ejemplares cuyo apoyo y ayuda nunca estuvo ausente sin importar la distancia, lugar, ni momento.

A mi hermano **Daniel Enrique Campos Cruz** por se mi mejor amigo, my partner in crime, mi consejero, mi ejemplo y modelo, eres la única persona que me conoce bien, que sabe mi forma de pensar y sentir, gracias por estar ahí siempre en los momentos que más te necesite y apoyarme incondicionalmente sin importarte nada ni nadie, eres el mejor hermano que Dios me pudo regalar.

A mis amigos y compañeros de tesis, **Manuel Guzmán y Rafael Sánchez** que formaron parte de esta aventura gracias por su amistad.

A todos mis amigos, **Ing. Francisco Renderos, Ing. Adriana Castro, Ing. Carmen Castro, Josué Hernández, José Carlos Umaña, Fernando Batres, Gustavo Machuca, Fernando Gálvez, Roberto Chicas, Edwin Ventura, Joel Mejía, Irwin Batres, Jorge Chicas**, y todos aquellos que por espacio y tiempo no pude agradecer pero que también aportaron su granito de arena para cumplir este sueño. ¡Gracias!

Ing. Carlos Antonio Campos Cruz

AGRADECIMIENTOS.

En primer lugar agradecer a **DIOS** y a la **VIRGEN**, quienes tenían en su plan perfecto que este momento llegaría, a pesar de todos los obstáculos surgidos a lo largo de esta aventura que ha sido la Ingeniería Civil, han sido mi fortaleza, guía e impulso para seguir adelante, siempre con la frente en alto y con la esperanza de alcanzar la meta trazada hace 5 años.

A mi madre **Verónica López**, por su apoyo incondicional, que desde el primer instante creyó en que alcanzaría mi objetivo y nunca dudo de mis capacidades y fortalezas, brindándome siempre palabras y consejos de ánimo y coraje para no perder la visión de lo que quería alcanzar.

A mis queridísimas hermanas **Olga Verónica, Karla Melissa, Andrea Guadalupe y Glenda Beatriz** que han estado pendiente de mi a lo largo de esta carrera, por su incondicional apoyo en todo los sentidos, ¡Gracias! Las quiero mucho. A mi madrina de confirma **Belinda de Mendoza**, que sin su ayuda jamás hubiese logrado comenzar esta magnífica aventura, estoy realmente agradecido por su completo apoyo.

A mis dos EXCELENTES compañeros de trabajo de graduación **Carlos Campos y Rafael Sánchez**, que sin ellos esta investigación hubiese sido como cualquier otro simple trabajo a realizar, ¡GRACIAS AMIGOS! Por tomarme en cuenta con su decisión e incluirme en esto.

A mis amigos de toda la carrera **Ing. Adriana Castro, Ing. Carmen Castro e Ing. Francisco Renderos** por estar junto a mi durante este largo periodo de tiempo y apoyarme siempre. A mi Mejor Amigo, colega y Hermano de otra madre **Fernando Gálvez** por ser el que me dio ánimo en situaciones difíciles y estar en todo momento conmigo, Gracias Viejito!, Y a mis otros grandiosos y excelentes amigos **Edwin Ventura, Josué Hernández y Roberto Chicas** por ser grandes personas de calidad y mostrarme su gran apoyo.

¡GRACIAS A TODOS!

Ing. Manuel Ramón Guzmán López.

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a Dios por el amor que me tiene, por haberme regalado vida para haber llegado tan lejos, por haberme llevado por un camino que no esperaba, por mostrarme las cosas grandes de la vida y por todas las personas que me ha permitido conocer gracias a mi trayectoria académica y a este trabajo de graduación.

Agradezco también a mi familia por todo el amor y el apoyo que me ha hecho seguir adelante en todas las dificultades que he encontrado en este camino. A mis padres por su incondicional cariño y apoyo en las alegrías y tristezas que hemos encontrado en esta carrera. A mis hermanos por toda su comprensión, paciencia y la inspiración que he recibido gracias a sus acciones. Gracias, muchas gracias por todo todo familia mía.

A mi comunidad, porque siempre estuvieron ahí. A mis hermanos Cristóbal y Cathy, mis compadres Ricardo y Karina, Luis Carlos, Salomón, Josué, David, Juan Pablo, Isabel y todos los que han conocido los altos y bajos de esta carrera que El Señor me ha concedido y que hoy se alegran conmigo.

Quiero dar gracias también a todos mis profesores universitarios, por toda su ayuda y enseñanza, pues estoy consciente de lo mucho que hay por aprender, y doy gracias sobre todo a aquellos que, me enseñaron que el camino difícil vale la pena.

A todos mis amigos en la universidad: Jaime Morán, Mónica Sánchez, Gabriel Urrutia, Immer Flamenco, Julio Martínez, José Carlos Umaña, Lili Castro; Rebeca Pérez, Marielos Araujo, Irwin Batres, Kike Granadeño, Marcela Ruíz, Elio Gil, Will Guerrero, Daniel Peña; Josué Hernández, Roberto Chicas, Fernando Gálvez, Edwin Ventura, Walther Ríos, Carmen Castro, Francisco Renderos y Adriana Castro. Cada uno ha tenido su lugar en esta importantísima etapa de la historia de mi vida, por eso todos estarán siempre en mi mente y estoy contento de conocerlos. Gracias de verdad.

Agradezco especialmente a mis cercanos amigos Josué, Arturo y Dimas, su apoyo en estos últimos años de la carrera ha sido toda una bendición de Dios, que nunca ha permitido que esté solo. A Pocho y Cinar, por ayudarme a valorar el arte en la vida y por enseñarme cada uno a su manera, que al aprender se cometen errores, pues nadie nace aprendido.

Finalmente, agradezco a mis compañeros en este trabajo, a Carlos y Manuel. Dios me los puso en el camino y veo que no se equivoca. Gracias por su paciencia, su apoyo y por todo lo que me han enseñado. Que Dios los bendiga y los acompañe siempre.

Ing. Rafael Eduardo Sánchez Blanco.

ÍNDICE.

INTRODUCCION.....	1
CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	2
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Planteamiento del problema.....	7
1.3 Objetivos.....	9
1.3.1 Objetivo general.....	9
1.3.2 Objetivos específicos.....	9
1.4 Alcances.....	10
1.5 Limitaciones.....	11
1.6 Justificación.....	12
CAPITULO II: MEZCLAS ASFÁLTICAS CALIENTES Y TIBIAS.....	14
2.1 Generalidades sobre la carpeta asfáltica.....	15
2.1.1 Definición de carpeta asfáltica.....	15
2.1.2 Mecla asfáltica.....	15
2.1.2.1 Definición de mezcla asfáltica.....	15
2.1.2.2 Componentes de la mezcla asfáltica.....	16
2.1.2.2.1 Agregados pétreos.....	16
2.1.2.2.2 Ligantes asfálticos.....	17
2.1.2.2.3 Aditivos.....	22
2.1.2.3 Clasificación de las mezclas asfálticas.....	23
2.1.2.3.1 Por fracciones de agregado pétreo empleado.....	25
2.1.2.3.2 Según la temperatura de producción.....	25
2.1.2.3.3 Según el porcentaje de vacíos presente en la mezcla.....	25
2.1.2.3.4 Según el tamaño máximo del agregado pétreo.....	27

2.1.2.3.5	Según la granulometría del agregado pétreo.	27
2.1.2.3.6	Según la estructura del agregado pétreo.	28
2.1.2.4	Producción y colocación de mezclas asfálticas.	29
2.1.2.4.1	Producción de mezcla asfáltica.	29
2.1.2.4.2	Colocación de la mezcla asfáltica.	31
2.1.2.5	Propiedades y características de una mezcla asfáltica.	43
2.1.2.5.1	Propiedades de las mezclas asfálticas.	43
2.1.2.5.2	Características de las mezclas asfálticas.	48
2.1.2.6	Aplicaciones de las mezclas asfálticas.	52
2.2	Carpeta de rodadura de mezcla asfáltica caliente.	53
2.2.1.1	Generalidades.	53
2.2.1.2	Componentes de la mezcla asfáltica caliente.	54
2.2.1.2.1	Envejecimiento del asfalto en mezclas asfálticas calientes.	54
2.2.1.3	Producción y colocación de la mezcla asfáltica caliente.	55
2.2.1.4	Propiedades y características de la mezcla asfáltica caliente.	55
2.3	Carpeta de rodadura de mezcla asfáltica tibia.	55
2.3.1	Generalidades.	55
2.3.1.1	Definición.	55
2.3.1.2	Tecnologías de producción de mezcla asfáltica tibia.	56
2.3.1.2.1	Mezclas asfálticas tibias producidas con aditivo químico.	57
2.3.1.3	Contenido de asfalto en mezclas asfálticas tibias.	57
2.3.1.4	Particularidades de la producción y colocación de la mezcla asfáltica tibia.	58
2.3.1.4.1	Producción de mezclas asfálticas tibias.	58
2.3.1.4.2	Colocación de mezclas asfálticas tibias.	60
2.3.2	Componentes de la mezcla asfáltica tibia.	61
2.3.2.1	Aditivos para mezclas asfálticas tibias.	61
2.3.2.1.1	Tecnologías de asfaltos espumados.	63

2.3.2.1.2	Aditivos orgánicos o ceras.....	64
2.3.2.1.3	Aditivos químicos.....	64
2.3.3	Propiedades y características de las mezclas tibias.....	66
2.3.3.1	Propiedades de las mezclas tibias.....	66
2.3.3.1.1	Compactado.....	66
2.3.3.1.2	Tiempo de apertura al tráfico.....	66
2.3.3.1.3	Sensibilidad a la humedad.....	67
2.3.3.1.4	Rigidez de la mezcla.....	67
2.3.3.1.5	Deformaciones permanentes.....	68
2.4	Comparación teórica de las propiedades de mezclas asfálticas calientes y mezclas asfálticas tibias.....	69
2.4.1	Propiedades volumétricas.....	70
2.4.2	Selección del grado de asfalto.....	72
2.4.3	Rap en mezclas asfálticas tibias.....	74
2.4.4	Recubrimiento, trabajabilidad y compactación.....	75
2.4.4.1	Trabajabilidad y compactabilidad.....	75
2.4.4.2	Recubrimiento.....	78
2.4.5	Sensibilidad a la humedad.....	78
2.4.6	Resistencia al ahuellamiento.....	79
CAPITULO III: PRUEBAS DE CAMPO Y LABORATORIO.....		81
3.1	Parámetros a determinar.....	82
3.1.1	Parámetros superficiales.....	82
3.1.2	Parámetros internos.....	82
3.2	Estructura de la investigación.....	82
3.2.1	Etapa I: Evaluación superficial de los tramos en campo.....	83
3.2.1.1	Índice de rugosidad internacional (IRI).....	83
3.2.1.2	Índice de condición del pavimento (PCI).....	84

3.2.2	Etapa II: Obtención y elaboración de especímenes de campo y laboratorio.	85
3.2.2.1	Obtención de especímenes de campo.	85
3.2.2.2	Elaboración de especímenes de laboratorio.	87
3.2.2.2.1	Materiales para la elaboración de especímenes de laboratorio.	88
3.2.3	Etapa III: Ensayos de laboratorio a especímenes obtenidos en campo y elaborados en laboratorio.	88
3.2.3.1	Ensayos a especímenes obtenidos en campo.	89
3.2.3.2	Ensayos a especímenes elaborados en laboratorio.	90
3.3	Ensayos de campo y laboratorio a elaborar.	90
3.3.1	Ensayos de campo.	90
3.3.1.1	Índice de rugosidad internacional.	90
3.3.1.2	Índice de condición del pavimento.	92
3.3.1.2.1	División del tramo en secciones de análisis.	93
3.3.1.2.2	Evaluación visual de los tipos de daños existentes y estimación del nivel de severidad.	93
3.3.1.2.3	Cálculos para la determinación del pci.	107
3.3.1.3	Extracción de especímenes de mezcla bituminosa compactada en campo.	117
3.3.2	Ensayos de laboratorio.	122
3.3.2.1	Gravedad específica bulk de mezclas asfálticas calientes compactadas utilizando especímenes saturados superficialmente secos.	122
3.3.2.2	Gravedad específica teórica máxima y densidad de mezclas bituminosas de pavimentación.	127
3.3.2.3	Método de prueba estándar para el porcentaje de vacíos de aire en mezclas compactadas densas o abiertas para pavimentos bituminosos.	134
3.3.2.4	Resistencia de mezclas bituminosas al flujo plástico de mezclas bituminosas utilizando el aparato marshall.	136

3.3.2.5 Método de prueba estándar para prueba de tensión indirecta para módulo de resiliencia de mezclas bituminosas.....	150
---	-----

**CAPITULO IV: CARACTERIZACIÓN DE LOS TRAMOS DE
MEZCLA ASFÁLTICA A EVALUAR. 157**

4.1 Criterios de comparación.	158
4.1.1 Clima.....	158
4.1.1.1 El clima en el salvador.	159
4.1.1.2 Influencia del clima en el desempeño de la carpeta de rodadura.	159
4.1.1.3 Consideraciones climáticas para el análisis de comparación.	160
4.1.2 Carga vehicular.	160
4.1.2.1 Carga vehicular en el salvador	161
4.1.2.2 Influencia de la carga vehicular en el desempeño de la carpeta de rodadura.....	162
4.1.2.3 Consideraciones de la carga vehicular para el análisis de comparación.	162
4.1.3 Edad.....	163
4.1.3.1 Consideraciones de la edad para el análisis de comparación.	164
4.1.4 Topografía.....	164
4.1.4.1 Influencia de la topografía en el desempeño de la carpeta de rodadura.....	165
4.1.4.2 Consideraciones de la topografía para el análisis de comparación.	165
4.2 Caracterización de tramo de mezcla asfáltica tibia colocada y compactada.	166
4.2.1 Descripción de la vía.....	166
4.2.1.1 Generalidades.....	166
4.2.1.2 Delimitación de la zona de interés.....	168
4.2.1.3 Clima sobre tramo de mezcla asfáltica tibia.....	168
4.2.1.4 Carga vehicular sobre tramo de mezcla asfáltica tibia.....	171
4.2.1.5 Edad del tramo de mezcla asfáltica tibia.....	173

4.2.1.6	Topografía del tramo de mezcla asfáltica tibia.....	173
4.2.2	Diseño de la mezcla colocada.	176
4.2.2.1	Granulometría y calidad de los agregados.....	179
4.2.2.1.1	Control de calidad para agregados empleados en la fabricación de mezcla asfáltica tibia modificada con aditivo químico tenso activo...179	
4.2.2.1.2	Granulometría.	182
4.2.2.2	Porcentaje de asfalto.	183
4.2.2.3	Porcentaje de aditivo químico tenso activo.	183
4.2.2.4	Temperatura de mezclado y de compactación.....	184
4.2.2.5	Propiedades volumetricas.....	186
4.3	Caracterización de tramo de mezcla asfáltica caliente colocada y compactada.....	186
4.3.1	Descripción de la vía.	186
4.3.1.1	Generalidades.	186
4.3.1.2	Delimitación de la zona de interés.....	188
4.3.1.3	Clima sobre tramo de mezcla asfáltica caliente.	188
4.3.1.4	Carga vehicular sobre tramo de mezcla asfáltica caliente.....	191
4.3.1.5	Edad de tramo de mezcla asfáltica caliente.....	193
4.3.1.6	Topografía de tramo de mezcla asfáltica caliente.	193
4.3.2	Diseño de la mezcla colocada.	196
4.3.2.1	Granulometría.....	197
4.3.2.1.1	Control de calidad para agregados empleados en la fabricación de mezcla asfáltica caliente.....	197
4.3.2.1.2	Granulometría.	200
4.3.2.2	Porcentaje de asfalto.....	201
4.3.2.1	Temperatura de mezclado y de compactación.....	201
4.3.2.2	Propiedades volumetricas y estructurales.....	202
4.4	Compatibilidad de tramos a evaluar en base a los criterios establecidos.....	203

CAPITULO V: RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS. 205

5.1	Resultados de ensayos de campo y memoria de cálculo.....	206
5.1.1	Resultados de iri (ASTM E-90).....	206
5.1.1.1	Resultados para mezcla asfáltica tibia (CA-08W) ateos, la libertad.	208
5.1.1.2	Resultados para mezcla asfáltica caliente (SAL02W) San Bartolo, Ilopango.....	209
5.1.2	Resultados de PCI.....	210
5.1.2.1	Resultados para mezcla asfáltica tibia (CA-08W) Ateos, La Libertad.	210
5.1.2.1.1	Recolección de información.....	210
5.1.2.1.2	Memoria de cálculo.....	211
5.1.2.1.3	Valor de pci.....	213
5.1.2.2	Resultados para mezcla asfáltica caliente (SAL02W) San Bartolo, Ilopango.....	214
5.1.2.2.1	Recolección de información.....	214
5.1.2.2.2	Memoria de cálculo.....	215
5.1.2.2.3	Valor de pci.....	220
5.1.3	Resultados de pruebas de laboratorio a especímenes extraídos de campo.....	220
5.1.3.1	Resultados para mezcla asfáltica tibia (CA-08W) Ateos, La Libertad.	220
5.1.3.1.1	Extracción de especímenes de mezcla bituminosa compactada en campo, ASTM D 5361-14.....	221
5.1.3.1.2	Gravedad específica bulk de mezclas bituminosas ASTM D2726- 13, AASHTO T166-13.....	222
5.1.3.1.3	Gravedad específica teórica máxima de mezclas bituminosas ASTM D2041-11, AASHTO T209-12.....	224
5.1.3.1.4	Porcentaje de vacíos de aire en mezclas compactadas densas o abiertas para pavimentos bituminosos, ASTM D3203-11, AASHTO T269-11.....	225
5.1.3.1.5	Porcentaje de vacíos en agregado mineral y porcentaje de vacíos lentos de asfalto.....	226

5.1.3.1.6	Resistencia al flujo plástico de mezclas bituminosas utilizando el aparato marshall, ASTM D 6927-06, AASHTO T245-13.....	228
5.1.3.1.7	Efecto de la humedad sobre el concreto asfático de mezclas para pavimentos ASTM D4867, AASHTO T283.	232
5.1.3.2	Resultados para mezcla asfáltica caliente (SAL02W) San Bartolo, Ilopango.....	233
5.1.3.2.1	Extracción de especímenes de mezcla bituminosa compactada en campo, ASTM D 5361-14.	234
5.1.3.2.2	Gravedad específica bulk de mezclas bituminosas ASTM D2726-13, AASHTO T166-13.	235
5.1.3.2.3	Gravedad específica teórica máxima de mezclas bituminosas ASTM D2041-11, AASHTO T209-12.	237
5.1.3.2.4	Porcentaje de vacíos de aire en mezclas compactadas densas o abiertas para pavimentos bituminosos, ASTM D3203-11, AASHTO T269-11.	238
5.1.3.2.5	Porcentaje de vacíos en agregado mineral y porcentaje de vacíos llenos de asfalto.	239
5.1.3.2.6	Resistencia al flujo plástico de mezclas bituminosas utilizando el aparato marshall, ASTM D 6927-06, AASHTO T245-13.....	241
5.1.3.2.7	Efecto de la humedad sobre el concreto asfático de mezclas para pavimentos ASTM D4867, AASHTO T283.	245
5.2	Resultados de ensayos de laboratorio a mezcla de laboratorio.	246
5.2.1	Diseño utilizado para mezcla de laboratorio.	246
5.2.1.1	Caracterización de agregados.	247
5.2.1.1.2	Proporcionamiento de agregados.....	258
5.2.1.2	Porcentaje de asfalto.....	262
5.2.2	Resultados para mezcla asfáltica tibia de laboratorio.	262
5.2.2.1	Elaboración de briquetas ASTM D 1559-89.....	263
5.2.2.2	Gravedad específica bulk de mezclas bituminosas ASTM D2726-13, AASHTO T166-13.	264

5.2.2.3	Gravedad específica teórica máxima de mezclas bituminosas ASTM D2041-11, AASHTO T209-12.....	266
5.2.2.4	Porcentaje de vacíos de aire en mezclas compactadas densas o abiertas para pavimentos bituminosos, ASTM D3203-11, AASHTO T269-11.....	267
5.2.2.1	Porcentaje de vacíos de agregado mineral y porcentaje de vacíos llenos de asfalto.....	268
5.2.2.2	Resistencia al flujo plástico de mezclas bituminosas utilizando el aparato marshall, ASTM D 6927-06, AASHTO T245-13.....	269
5.2.2.3	Efecto de la humedad sobre el concreto asfáltico de mezclas para pavimentos astm d4867, aashto t283.....	273
5.2.3	Resultados para mezcla asfáltica caliente de laboratorio.....	275
5.2.3.1	Elaboración de briquetas astm d 1559-89.....	276
5.2.3.2	Gravedad específica bulk de mezclas bituminosas ASTM D2726-13, AASHTO T166-13.....	277
5.2.3.3	Gravedad específica teórica máxima de mezclas bituminosas ASTM D2041-11, AASHTO T209-12.....	279
5.2.3.4	Porcentaje de vacíos de aire en mezclas compactadas densas o abiertas para pavimentos bituminosos, ASTM D3203-11, AASHTO T269-11.....	280
5.2.3.1	Porcentaje de vacíos de agregado mineral y porcentaje de vacíos llenos de asfalto.....	281
5.2.3.2	Resistencia al flujo plástico de mezclas bituminosas utilizando el aparato marshall, ASTM D 6927-06, AASHTO T245-13.....	282
5.2.3.3	Efecto de la humedad sobre el concreto asfáltico de mezclas para pavimentos ASTM D4867, AASHTO T283.....	286
5.3	Resumen de resultados.....	288
5.3.1	Resumen de resultados de campo.....	288
5.3.1.1	Tabla resumen de resultados en Ateos, La Libertad.....	288
5.3.1.2	Tabla resumen de resultados en San bartolo, Ilopango.....	289
5.3.2	Resumen de resultados de laboratorio.....	290

5.4	Análisis de resultados.....	291
5.4.1	Metodología para la determinación del desempeño de las mezclas asfálticas.....	291
5.4.1.1	Casos excepcionales.....	294
5.4.2	Desempeño de las carpetas de rodadura de las mezclas asfálticas en estudio.....	297
5.4.2.1	Cuadro de establecimiento de desempeño por propiedad para la carpeta de rodadura sobre CA08W, Ateos La Libertad.....	298
5.4.2.2	Cuadro de establecimiento de desempeño por propiedad para la carpeta de rodadura sobre, San Bartolo Ilopango.....	299
5.4.3	Evaluación comparativa del desempeño de mezclas.....	300
5.4.3.1	Cuadro comparativo de desempeño por propiedad de carpetas de rodadura existentes.....	300
5.4.3.2	Análisis de los diferentes desempeños para ambas carpetas de rodadura.....	301
5.4.3.2.1	Análisis superficial.....	301
5.4.3.2.2	Análisis interno.....	301
5.4.3.2.3	Análisis global de desempeño de las carpetas de rodadura.....	301
5.4.4	Análisis de resultados de mezcla de laboratorio.....	304
5.4.4.1	Cuadro comparativo de propiedades de mezclas de laboratorio.....	304
5.4.4.2	Análisis comparativo de las mezclas asfálticas de laboratorio.....	305
CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		307
6.1	Conclusiones.....	308
6.2	Recomendaciones.....	317
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....		320

INTRODUCCION.

Este trabajo de investigación consiste en la evaluación del desempeño de carpetas de rodaduras construidas con dos tipos de mezcla asfáltica diferente, uno con mezcla asfáltica tibia y otro con mezcla asfáltica caliente. El tramo de mezcla asfáltica tibia seleccionado se encuentra ubicado sobre la carretera CA08W, Ateos, La Libertad y fue elaborado con el uso de aditivo químico tenso activo; mientras que el tramo de mezcla asfáltica caliente se encuentra ubicado sobre la carretera SAL02W, Ilopango, San Bartolo.

En el capítulo I se muestran las generalidades del trabajo de investigación, donde se establecen los antecedentes, planteamiento del problema, objetivos, alcances, limitaciones y la justificación. El capítulo II contiene el marco teórico que constituye el fundamento de los procedimientos utilizados en los capítulos posteriores para la evaluación del desempeño. Por ello se enfoca en todos los aspectos considerados como básicos para la evaluación de la calidad de una carpeta de rodadura de mezcla asfáltica.

En el capítulo III se presenta la estructura de la investigación y los procedimientos para las pruebas de campo y ensayos de laboratorio a efectuar para la determinación de las propiedades superficiales e internas de las carpetas de rodadura en estudio. El capítulo IV contiene la caracterización de los tramos seleccionados para esta investigación; también muestra los criterios de comparación establecidos para determinar que los tramos eran compatibles entre sí.

En el capítulo V se muestran los resultados de cada una de las pruebas establecidas en el capítulo III. Además se presenta el análisis de resultados y la metodología establecida para determinar el desempeño de las carpetas de rodadura en estudio. El capítulo VI presenta las conclusiones y recomendaciones de este trabajo de investigación, elaboradas a partir de los resultados y análisis de resultados presentes en el capítulo V.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES.

En las mezclas asfálticas calientes el asfalto y los agregados se calientan para lograr una temperatura de mezclado aproximada de 150°C – 155°C, esto garantiza una adecuada viscosidad del asfalto para cubrir las partículas de agregado. La mezcla se compacta cuando aún está caliente, a una temperatura aproximada de 140°C – 145°C, rango que contribuye a la obtención de buenos resultados en el proceso de compactación.

Calentar el asfalto es por lo tanto un requisito indispensable si se desea producir mezclas asfálticas calientes. Sin embargo, al elevar la temperatura del asfalto y debido a su composición química, se liberan sus elementos más volátiles en estado gaseoso. El dióxido de azufre, dióxido de carbono y otros gases que se liberan, son muy dañinos para el medio ambiente y de manera progresiva, los efectos de este daño se hacen sentir a diario alrededor de todo el planeta.

En un esfuerzo por controlar este daño, causado por la emisión de gases de efecto invernadero, el Protocolo de Kyoto que fue firmado por los países miembros de la Organización de Naciones Unidas (O.N.U.) en el año 1997, obligó a los participantes a reducir estas emisiones. En el área de pavimentos, surgió entonces la necesidad de llevar a cabo un esfuerzo enfocado a la preservación del medio ambiente. Ya desde el año 1995, Shell y KoloViedekke, habían iniciado un programa en conjunto, para el desarrollo de un producto y del proceso para la fabricación de mezcla agregado - asfalto a temperaturas más bajas.

Para los años de 1999 al 2001 se dieron los reportes iniciales sobre la tecnología de las mezclas asfálticas tibias, principalmente en el Congreso Eurasphalt/Eurobitume, el Fórum Alemán de Bitumen y la Conferencia sobre Pavimentos Asfálticos en Sudáfrica.

Fue en el año 2002 que se realizó un recorrido de exploración a Dinamarca, Alemania y Noruega por directores de La Asociación Nacional de Pavimento Asfáltico (NAPA,

“National Asphalt Pavement Association”) para examinar las tecnologías de las mezclas asfálticas tibias (WMA, “Warm Mix Asphalt”). En el 2003 los estudios sobre las mezclas asfálticas tibias, fueron presentados en la Convención Anual de La Asociación Nacional de Pavimento Asfáltico (NAPA).

Para el año 2006 durante la Conferencia de Pavimento Asfáltico en el Mundo del Asfalto, se publican algunos lineamientos sobre el funcionamiento y pruebas ambientales de las mezclas asfálticas tibias.

Desde ese entonces las mezclas asfálticas tibias prosperaron con éxito en los países de primer mundo. En los Estados Unidos, para el año 2011 el Programa Nacional de Investigación Cooperativa de Carreteras (NCHRP, “National Cooperative Highway Research Program”), en su reporte 691 sobre el proyecto 09-43, contabilizó 22 diferentes procesos utilizados para la producción de mezclas asfálticas tibias.

La clave de la producción de mezclas asfálticas tibias, es la modificación de la viscosidad del asfalto por medio del uso de aditivos. Los 22 procesos identificados se basan en 3 diferentes tecnologías, que utilizan aditivos orgánicos, aditivos químicos y métodos mecánicos para la producción de asfaltos espumados, reduciendo la necesidad de un rango de temperaturas de mezclado de 130°C - 155°C a un rango de 110°C - 130°C.

Los procedimientos más antiguos para la producción de mezclas asfálticas tibias, se basaron en el uso de ceras como aditivos orgánicos o el uso de asfalto espumado como método mecánico. En el caso de la cera, al ser agregada al asfalto y calentar la mezcla más allá del punto de fusión de la cera, se reduce la viscosidad del asfalto sin la necesidad de seguir aumentando su temperatura. La clave de este procedimiento es que el punto de fusión de la cera se encuentra por debajo del punto de fusión del asfalto.

Por su parte los asfaltos espumados permiten el recubrimiento y proporcionan trabajabilidad a menores temperaturas de producción. Al agregar pequeñas cantidades de agua al asfalto caliente, el agua se evapora y el vapor es encapsulado dentro del ligante. Esto provoca que el asfalto se espume, temporalmente incrementando su volumen y reduciendo su viscosidad, lo que mejora el recubrimiento de los agregados y la trabajabilidad de la mezcla.

Pocos procesos se basan en el uso de aditivos químicos. Estos se han desarrollado en los Estados Unidos y en Europa, sin embargo sus productores no revelan información específica sobre los químicos utilizados en estos procesos.

Los aditivos químicos más utilizados son los tenso activos, que al agregarse al asfalto reducen su viscosidad y mejoran la adherencia en algunos casos. Los tenso activos más modernos poseen una composición libre de agua y permiten mezclar el aditivo con el asfalto en una estación de mezclado, haciendo posible la distribución del asfalto con aditivo incluido a las plantas de producción de mezclas asfálticas, evitando además hacer modificaciones en su método productivo.

Como consecuencias del uso de las tres tecnologías planteadas, se disminuye la producción de gases de efecto invernadero y se produce un ahorro de energía invertida en el calentamiento de agregados y asfalto. También la reducción de emisión de gases, permite ubicar las plantas asfálticas en zonas donde debido a la restricción de contaminación del aire, no sería posible ubicarlas.

Desde el año 2004, mundial y progresivamente las mezclas asfálticas tibias fueron aceptadas entre los países de primer mundo, mientras que en nuestro país se han elaborado dos esfuerzos enfocados a la implementación de esta tecnología. Los proyectos ubicados en diferentes sectores del país, fueron llevados a cabo por las constructoras Díaz Sánchez (DISA) y Equipos de Construcción (ECON), ambos en coordinación con el Fondo de Conservación Vial (FOVIAL) y en cooperación con

Asfaltos de Centroamérica (ASFALCA), con el fin de aplicar las mezclas asfálticas tibias mediante el uso de cemento asfáltico tratado con aditivo químico tenso activo en los proyectos de pavimentación en El Salvador.

En marzo de 2012 cuatrocientas veintiocho toneladas de mezcla asfáltica tibia fueron colocadas por Equipos de Construcción (ECON) en un tramo de prueba sobre la carretera CA-08W, estación 32+420 a la estación 32+795, Lat. Der.



Fuente: Propia

Figura 1-1: Tramo de carpeta de rodadura de mezcla asfáltica tibia en Ateos, La Libertad.

Los resultados obtenidos mostraron sus beneficios en la producción inicial, lo más notable fue la emisión mínima, casi nula de gases, además de un incremento en la facilidad de colocación experimentada por los obreros, debido a la reducción de temperatura de la mezcla.

Los beneficios mostrados, son producto de análisis hechos en la vida inicial de la mezcla asfáltica. Sin embargo no se han hecho análisis sobre el comportamiento con respecto al tiempo de esta mezcla asfáltica tibia colocada en comparación con la mezcla asfáltica caliente.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En la actualidad, la construcción de carpetas de rodadura para pavimentos flexibles en El Salvador, se efectúa en su mayoría con mezcla asfáltica caliente. El Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Fondo de Conservación Vial (FOVIAL), son las instituciones gubernamentales que velan por todo lo referente a vías terrestres en el país.

Sin embargo, no se han hecho muchos avances en cuanto a la producción de mezclas asfálticas tibias, puesto que no se posee la experiencia suficiente en la construcción de carreteras con esta tecnología. De este modo, la importancia de las mezclas asfálticas tibias para el medio ambiente y todos sus beneficios económicos, no se aprovechan en nuestro país, mientras que otros países gozan de ellos desde hace varios años. Constructivamente, existe mayor comodidad para los obreros al colocar la mezcla, a la vez que se protege su salud por la disminución de la emisión de gases, que también afectan negativamente al medio ambiente.

Por otro lado, año con año, la calidad de los asfaltos disminuye, pues cada vez se extraen más derivados al petróleo, de manera que incluso al asfalto se le retiran elementos propios para obtener otros derivados. El efecto claramente, es que los asfaltos que se encuentran en el mercado pueden ser cada vez de menor calidad. Además al calentar el asfalto, se acelera su envejecimiento, pues la pérdida de los volátiles disminuye la calidad de las propiedades del asfalto. Una mezcla asfáltica tibia, por haber sido producida a menores temperaturas, ha perdido menos material volátil que una mezcla asfáltica caliente. En consecuencia la vida de la mezcla asfáltica caliente será menor que la vida de la mezcla asfáltica tibia.

Las investigaciones hechas a nivel mundial para determinar las ventajas del uso de mezclas asfálticas tibias son muchas, pero a nivel nacional no existe una investigación que revele las ventajas de las mezclas asfálticas tibias con respecto a las mezclas asfálticas calientes.

Para verificar la calidad de toda mezcla asfáltica, se efectúan ensayos en laboratorio y también en campo. Se elabora un tramo de prueba para evaluar su comportamiento en el momento de colocación y luego se evalúa su comportamiento con respecto al tiempo, es decir su desempeño frente a todas las condiciones que pueda experimentar la carpeta asfáltica.

Un tramo de prueba ha sido elaborado, pero solo se poseen los resultados y análisis de los ensayos que se efectuaron en el momento de producción y colocación de la mezcla. Como consecuencia de la falta de seguimiento a esta investigación, no existe ningún tipo de estudio de carácter nacional que revele el comportamiento de la carpeta una vez habilitada la carretera.

Todo esto provoca, que incluso cuando la mezcla asfáltica tibia posea mayores beneficios a corto, mediano y largo plazo, no se considere como una alternativa igualmente viable que la mezcla asfáltica caliente en la construcción de pavimentos flexibles.

1.3 OBJETIVOS.

1.3.1 OBJETIVO GENERAL.

Evaluar el desempeño de la carpeta de rodadura de mezcla asfáltica tibia usando aditivo químico en comparación con el desempeño de la mezcla asfáltica caliente.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Obtener la calidad superficial de las carpetas de rodadura seleccionadas mediante pruebas de campo que determinen el índice de condición de pavimento (PCI) y el índice de regularidad internacional (IRI).
- Extraer núcleos en la carpeta de rodadura flexible construidos con mezcla asfáltica caliente, así como de mezcla asfáltica tibia elaborada con aditivo químico.
- Determinar, por medio de ensayos de laboratorio efectuados a los núcleos extraídos, las propiedades de las carpetas de rodadura construidas con la técnica tradicional de mezcla asfáltica caliente, y las construidas con mezclas asfálticas tibias usando aditivo químico.
- Constatar a partir de los resultados obtenidos de laboratorio y por medio de un cuadro comparativo, las diferencias que existen entre el desempeño de las mezclas asfálticas tibias con aditivo químico y el de las mezclas asfálticas calientes tradicionalmente utilizadas en El Salvador.
- Verificar mediante los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, si las carpetas de rodadura construidas por medio de mezclas asfálticas tibias con aditivo químico, poseen un desempeño igual o mejor que el de las mezclas asfálticas calientes.

1.4 ALCANCES.

- La investigación a realizar, abordará la comparación teórica y de laboratorio de las mezclas asfálticas calientes y las mezclas asfálticas tibias utilizando el aditivo químico tenso activo.
- El análisis del desempeño de las mezclas, solo se enfocará en el comportamiento de la carpeta de rodadura a partir del momento de su apertura al tráfico.
- Para efectuar la comparación, se considerará que los tramos seleccionados deberán compartir como mínimo: las condiciones climáticas, la edad y la carga vehicular sobre ellos establecida por los ESAL'S ("Equivalent Single Axle Load" o carga de eje simple equivalente) para cada tramo. Por lo anterior, los resultados del análisis de los tramos, estarán sujetos a las condiciones climáticas y de tráfico particulares de los tramos seleccionados.
- Los tramos de carretera seleccionados para el análisis abarcarán una distancia no mayor a 400 metros. Para el análisis se extraerán núcleos a lo largo de esta longitud, a una separación que garantice la representatividad del muestreo.
- La caracterización de los agregados y del asfalto para los tramos de estudio, dependerán del diseño establecido para la mezcla asfáltica caliente y la mezcla asfáltica tibia.
- Los agregados que se utilizarán para la elaboración de especímenes nuevos, deberán cumplir con las especificaciones para el diseño de mezclas y se obtendrán de un mismo banco de agregados, por lo que los resultados obtenidos estarán sujetos a las propiedades de éste tipo de agregados.

1.5 LIMITACIONES.

- No se efectuará un análisis que muestre las ventajas o desventajas económicas entre estos tipos de mezclas.
- El efecto en el desempeño de toda la estructura del pavimento, no se evalúa en esta investigación, únicamente se evaluará la carpeta de rodadura.
- La carpeta de rodadura construida con mezcla asfáltica tibia, que ha de evaluarse en esta investigación, fue elaborada con un tipo específico de aditivo químico, por esta razón, los resultados de las pruebas de laboratorio son aplicables únicamente a mezclas asfálticas con aditivo químico tenso activo.
- El diseño de la mezcla asfáltica caliente construida sobre el tramo seleccionado para la comparación es un documento confidencial y privado de la empresa constructora correspondiente, por lo anterior no se espera contar con dicho diseño para la elaboración de especímenes nuevos de mezcla asfáltica caliente.
- La disponibilidad del equipo de laboratorio en la planta asfáltica, dependerá en gran medida de la demanda de éste por parte de la empresa. Las pruebas que involucren el trabajo de graduación no son una prioridad dentro de los laboratorios de la planta de producción de mezcla asfáltica.

1.6 JUSTIFICACIÓN.

En El Salvador la construcción de carreteras ha tomado un gran auge a partir de la culminación de la guerra civil, a causa de los deterioros en las carreteras existentes, los deficientes programas de mantenimiento y prevención de daños, el empleo de vías de acceso para usos diferentes a los contemplados en su diseño y la necesidad de conectar todas las zonas rurales del interior del país.

Por otra parte El Salvador es un país en vías de desarrollo, con una economía prematura que promete crecimiento. Debido a la gran cantidad de limitantes, el país no cuenta con áreas de investigación para desarrollar normas, nuevas metodologías o técnicas de construcción de carreteras. Por lo anterior, el país se ha dedicado únicamente a estudiar las nuevas tendencias mundiales, desarrolladas por los países más avanzados y tratando de adaptarlas a las condiciones de nuestra región.

A nivel mundial, las mezclas asfálticas tibias han revolucionado el campo de los pavimentos asfálticos para bien. Esta tecnología permite la reducción de la viscosidad del asfalto por medio de la inclusión de aditivos, que junto a la aplicación de calor, son clave para disminuir la viscosidad del asfalto y mejorar la trabajabilidad de la mezcla. Al producir mezcla asfáltica con ayuda de aditivo químico, se obtiene un ahorro en el combustible utilizado para alimentar los hornos de calentado de asfalto, pues no es necesario elevar tanto la temperatura, en comparación con las mezclas asfálticas calientes.

En el país, esta tecnología es muy joven todavía, pero no desconocida. Existen registros de la construcción de un tramo de prueba de carretera, utilizando mezcla asfáltica tibia con aditivo químico tenso activo. Este esfuerzo, coordinado por el Fondo de Conservación Vial (FOVIAL), en cooperación con Asfaltos de Centroamérica (ASFALCA) y la constructora Equipos de Construcción (ECON), tiene como fin

verificar el desempeño de la carretera construida al aplicar la técnica de mezclas asfálticas tibias con aditivo químico tenso activo.

Sin embargo, el efecto del tiempo sobre las propiedades de las mezclas asfálticas tibias, no ha sido estudiado. Por ello es necesario obtener, a través de esta investigación, datos de carácter científico que permitan la comparación, a nivel de estudio, entre las mezclas asfálticas calientes y las mezclas asfálticas tibias con aditivo químico tenso activo.

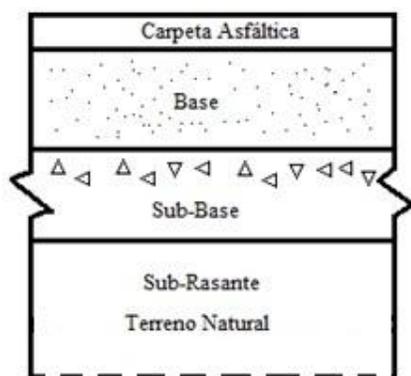
**CAPITULO II:
MEZCLAS
ASFÁLTICAS
CALIENTES Y TIBIAS.**

2.1 GENERALIDADES SOBRE LA CARPETA ASFÁLTICA.

2.1.1 DEFINICIÓN DE CARPETA ASFÁLTICA.

La carpeta de rodadura asfáltica, se define como una capa o conjunto de capas de mezcla asfáltica compactadas con espesor aproximado de 5 centímetros, que superpuestas sobre la base del pavimento forman la rasante de la carretera. Su función es la de proporcionar al tránsito una superficie estable, en la mayoría de casos prácticamente impermeable, uniforme y con una textura que permita la adherencia de los neumáticos a la superficie.

La carpeta de rodadura asfáltica es un producto terminado conformado por materiales pétreos y algún tipo de ligante asfáltico, que además de contribuir a soportar las cargas de tránsito producidas por los vehículos, distribuye los esfuerzos a las capas subyacentes de la estructura del pavimento flexible.



Fuente: Propia.

Figura 2-1: Esquema típico de la estructura de un pavimento flexible.

2.1.2 MEZCLA ASFÁLTICA

2.1.2.1 DEFINICIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA.

Una mezcla asfáltica es el producto obtenido de la incorporación y distribución uniforme de un material asfáltico en un agregado pétreo. Las proporciones relativas del material asfáltico y los agregados pétreos determinan las propiedades físicas de la mezcla.

El material asfáltico para pavimentación, generalmente debe ser calentado a diferentes temperaturas¹ para disminuir su viscosidad y así facilitar su adherencia a la mezcla de agregados pétreos, sin embargo existen asfaltos para pavimentación en los que esto no es un requisito para la elaboración de mezclas².

2.1.2.2 COMPONENTES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA.

2.1.2.2.1 Agregados Pétreos.

Los agregados pétreos ocupan la mayor parte de la totalidad del volumen de la mezcla asfáltica. Son materiales granulares de composición mineralógica que se combinan en diferentes tamaños y proporciones. El comportamiento que tendrá un pavimento flexible se verá altamente influenciado por el tipo de selección apropiada del agregado, esto debido a que el agregado proporciona la mayoría de las características de capacidad soportante.

De acuerdo con el MS-22³, existen términos que se usan para hacer referencia a fracciones de agregados con el propósito de ayudar a la descripción de las mismas. Estos términos se describen a continuación.

- **Agregado grueso:** Es todo aquel agregado que se retiene en el tamiz No. 8.
- **Agregado Fino:** Es aquel agregado que pasa el tamiz No. 8. Este agregado se puede dividir a su vez en relleno mineral y polvo mineral.
- **Relleno mineral:** Es aquel agregado fino que pasa el tamiz No. 30.
- **Polvo mineral (filler):** Es aquel agregado fino que pasa el tamiz No. 200. Es necesaria su incorporación para el relleno de vacíos. Además funciona como espesante de la mezcla asfáltica o como mejorador de adherencia a la mezcla.

¹ Estas temperaturas de mezclado varían de acuerdo al tipo de mezcla a elaborar. Generalmente son superiores a los 130°C.

² Este es el caso de las mezclas elaboradas con emulsiones asfálticas, que son mezcladas a temperatura ambiente.

³ “Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica caliente”, serie de manuales N° 22.

2.1.2.2.2 Ligantes asfálticos.

Existe una amplia variedad de ligantes asfálticos. Para la pavimentación se utilizan cuatro tipos de ligantes:

1. Cementos asfálticos.
2. Asfaltos diluídos o “cutback”.
3. Emulsiones asfálticas.
4. Asfaltos Modificados.

En esta investigación los cementos asfálticos serán los utilizados como material aglomerante para la elaboración de mezclas. Por ello se profundiza a continuación únicamente en lo referente al cemento asfáltico.

2.1.2.2.2.1 Cemento asfáltico.

El cemento asfáltico es un material termoplástico, reológico, que posee propiedades aglutinantes, impermeabilizantes y con características de flexibilidad; así como de alta resistencia a la mayoría de ácidos, sales y álcalis.⁴

A temperaturas normales, es sólido y posee color pardo oscuro. Para poder mezclarse con los agregados pétreos, debe poder alcanzar una temperatura aproximada de 140 °C (sin la inclusión de algún agente natural o químico reductor de viscosidad). A esta temperatura su viscosidad disminuye y alcanza un grado de fluidez con el cual penetra y se adhiere con facilidad de manera adecuada a los agregados pétreos.

⁴ Definición para cementos asfálticos basada en “Guía básica para el diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente” (Cortez et al., 2007: 218). Tesis UES, El Salvador.

Clasificación de cementos asfálticos.⁵

Los cementos asfálticos se pueden clasificar por medio de varios métodos. En nuestro país, las clasificaciones más utilizadas son las que toman su viscosidad, viscosidad luego de envejecimiento y grado de penetración como parámetro de diferenciación.

- **Clasificación por viscosidad.**

La norma AAHSTO M 226, establece la siguiente tabla para clasificación de cementos asfálticos de acuerdo a su viscosidad.

Ensayos	Grado de viscosidad					
	AC-2.5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30	AC-40
Viscosidad, 60°C (140°F), Pa-s (Poises)	25 ±5 (250 ±50)	50 ±10 (500±100)	100 ±20 (1000±200)	200 ± 40 (2000±400)	300 ± 60 (3000 ±600)	400 ± 80 (4000 ±800)
Viscosidad, 135°C (275°F), mm ² /s — mínimo	125	175	250	300	350	400
Penetración, 25°C (77°F), 100 g, 5 s — mínimo	220	140	80	60	50	40
Punto de inflamación, COC, °C (°F)— mínimo	163(325)	177(350)	219(425)	232(450)	232 (450)	232 (450)
Solubilidad in tricloroetileno, en porcentaje — mínimo	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0
Pruebas sobre el residuo del ensayo de película delgada en horno:						
Perdida por calentamiento, en porcentaje-máximo (opcional) ^a		1.0	0.5	0.5	0.5	0.5
Viscosidad, 60°C (140°F), Pa-s (Poises) — máximo	100 (1000)	200 (2000)	400 (4000)	800 (8000)	1200 (12000)	1600 (16000)
Ductilidad, 25°C (77°F), 5 cm/min, cm — mínimo	100 ^b	100	75	50	40	25
Prueba de mancha (cuando y como se especifique) ^c con:						
Solvente normal de nafta	Negativo para todos los grados					
Solvente de nafta-xileno, en porcentaje de xileno	Negativo para todos los grados					
Solvente de heptano-xileno, en porcentaje de xileno	Negativo para todos los grados					

^a El requerimiento de pérdida por calentamiento es opcional.

^b Si la ductilidad es menor que 100, el material será aceptado si la ductilidad a 15.6 ° C (60 ° F) es 100 mínimo.

^c El uso de la prueba rápida es optativo. Cuando sea especificado, el ingeniero indicará si el solvente estándar de nafta, el solvente de xileno - nafta, el solvente de xileno - heptano será usado para la determinación de conformidad con lo requerido, y también, en el caso de solventes del xileno, que porcentaje de xileno será usado.

Tabla 2-1: Clasificación por viscosidad de cementos asfálticos.

⁵ Las tablas mostradas en este apartado se han sido tomadas textualmente de “Guía básica para el diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente” (Cortez et al., 2007: 218). Tesis UES, El Salvador.

- **Clasificación por viscosidad luego de envejecimiento.**

La norma AAHSTO M 226, establece la siguiente tabla para clasificación de cementos asfálticos de acuerdo a su viscosidad luego de envejecimiento.

Ensayos en residuos del método de ensayo AASHTO T 240 ^a	Grado de viscosidad				
	AR-10	AR-20	AR-40	AR-80	AR-160
Viscosidad, 60°C (140°F), Pa·S (Poises)	100 ± 25 (1000 ± 250)	200 ± 50 (2000 ± 500)	400 ± 100 (4000 ± 1000)	800 ± 200 (8000 ± 2000)	1600 ± 400 (16000 ± 4000)
Viscosidad, 135°C (275°F), mm ² /s — mínimo	140	200	275	400	550
Penetración, 25°C (77°F), 100 g, 5 s — mínimo	65	40	25	20	20
Porcentaje de penetración original, 25°C (77°F) — mínimo	—	40	45	50	52
Ductility, 25°C (77°F), 5 cm/min, cm — mínimo	100 ^b	100 ^b	75	75	75
Pruebas en asfalto original:					
Punto de inflamación, COC, °C (°F) — mínimo	205(400)	219 (425)	227 (440)	232 (450)	238 (460)
Solubilidad de tricloroetileno, en porcentaje — mínimo	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0

^a AASHTO T.179 (Prueba de película delgada en horno) puede ser usado, pero AASHTO T 240 será el método de referencia.

^b Si la ductilidad es menor que 100, el material será aceptado si la ductilidad a 15.6 ° C (60 ° F) tiene un valor mínimo de 100.

Tabla 2-2: Clasificación por viscosidad luego de envejecimiento de cementos asfálticos.

- **Clasificación por penetración.**

La norma AAHSTO M 20, establece la siguiente tabla para clasificación de cementos asfálticos por penetración.

Pruebas	Grado de penetración									
	40-50		60-70		85-100		120-150		200-300	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Penetración a 25°C (77°F), 100g, 5 seg.	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de inflamación, Ensayo Cleveland, °C (°F)	232 (450)	—	232 (450)	—	232 (450)	—	218 (425)	—	177 (350)	—
Ductilidad a 25°C (77°F), 5cm/min, cm	100	—	100	—	100	—	100	—	—	—
Solubilidad en tricloroetileno, porcentaje	99	—	99	—	99	—	99	—	99	—
Prueba en horno de película delgada(TFO), 3.2mm(1/8in.),163°C (325°F), 5 horas										
Perdida por calentamiento, porcentaje	—	0.8	—	0.8	—	1.0	—	1.3	—	1.5
Penetración del residuo, porcentaje del original	58		54	—	50	—	46	—	40	—
Ductilidad de residuo a 25°C(77°F), 5cm/min, cm	—	—	50	—	75	—	100	—	100	—
Prueba de mancha (cuando y como se especifique) (ver nota) con:										
Solvente normal de nafta	Negativo para todos los grados									
Solvente de nafta-xileno, porcentaje de xileno	Negativo para todos los grados									
Solvente de heptano-xileno, porcentaje de xileno	Negativo para todos los grados									

Tabla 2-3: Clasificación de mezclas asfálticas por grado de penetración a 25°C.

2.1.2.2.2 Contenido de cemento asfáltico en la mezcla.

Del volumen total de una mezcla asfáltica para pavimentación, aproximadamente un %5 está compuesto por un ligante asfáltico. Este porcentaje varía de acuerdo al tipo de mezcla que se desee fabricar.

Sin embargo para todo tipo de mezcla existe un contenido óptimo de asfalto el cual es determinado en laboratorio bajo los criterios establecidos por el método de diseño seleccionado.

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran parte, de las características del agregado tales como la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo del asfalto. Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total y mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir, uniformemente, todas las partículas. Por otro lado las mezclas más gruesas exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total.

La relación entre el área superficial del agregado y el contenido óptimo de asfalto es más pronunciada cuando hay relleno mineral. Los pequeños incrementos en la cantidad de relleno mineral, pueden absorber, literalmente, gran parte el contenido de asfalto, resultando en una mezcla inestable y seca.

La capacidad de absorción del agregado usado en la mezcla es importante para determinar el contenido óptimo de asfalto. Esto se debe a que se tiene que agregar suficiente asfalto a la mezcla para permitir absorción, y para que además se puedan cubrir las partículas con una película adecuada de asfalto.

Existen diferentes métodos de diseño como el método de diseño SUPERPAVE (“Superior Performing Asphalt Pavement”) y el más utilizado en El Salvador, el método de diseño Marshall.

El método Marshall plantea la elaboración de especímenes de mezcla asfáltica con diferente contenido de asfalto, para luego ser ensayados en diferentes pruebas de laboratorio. A partir de los resultados de estas pruebas, se establecen seis parámetros distintos para cada uno de los especímenes. Se seleccionará aquel contenido de asfalto que cumpla en los seis parámetros con los requisitos establecidos para el tipo de mezcla de interés.

Los parámetros a determinar en este método son:

- Porcentaje de vacíos de aire.
- Porcentaje de vacíos llenos de asfalto “V.F.A”.
- Porcentaje de vacíos de agregado mineral “V.M.A”.
- Densidad.
- Estabilidad.
- Flujo.

2.1.2.2.3 Aditivos.

Se conoce como aditivos a todas aquellas sustancias o productos (naturales o artificiales), que modifican de las características habituales o propiedades fundamentales del cemento asfáltico, con el propósito de mejorar en consecuencia las propiedades de la mezcla asfáltica.

Existe una amplia variedad de aditivos que se pueden aplicar con el propósito antes planteado. La gran mayoría de estos aditivos, son agregados durante el proceso de mezclado. Entre esta amplia gama, existen aditivos cuya utilidad se manifiesta durante la fabricación, transporte y colocación de la mezcla, mientras que otros aditivos muestran

su utilidad una vez la mezcla compactada se abre al tráfico y se expone al efecto del paso del tiempo.

Entre los aditivos que modifican las propiedades del asfalto, para contribuir a las propiedades de la mezcla una vez haya sido abierta al tráfico, se pueden mencionar:

- ***Aditivo para Estabilización Química:*** Producto químico asfáltico en estado líquido que se usa para estabilizar y mejorar permanentemente la calidad en capas de pavimentos tales como: terracerías, revestimientos, subrasantes, sub-bases, bases, se podrá usar como sustituto de emulsiones asfálticas, disminuyendo costos y mejorando la calidad.
- ***Aditivo Mejorador de Adherencia:*** Aditivo para mejorar la adherencia entre el asfalto y el agregado pétreo, prolongando la vida útil del pavimento con un mejor nivel de servicio. Reduce el envejecimiento del asfalto por intemperismo e incrementa la resistencia a la fatiga.
- ***Aditivo retardador de envejecimiento del asfalto.*** Aditivo que ayuda a conservar las propiedades iniciales del asfalto retardando el envejecimiento.

Aquellos aditivos que mejoran las propiedades de la mezcla al momento de su fabricación, transporte y colocación, se abordan con mayor profundidad en el apartado 2.4.2.1 de esta investigación, pues gracias a ellos es posible reducir las temperaturas de mezclado y compactación de las mezclas asfálticas.

2.1.2.3 CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Dada la gran cantidad de parámetros que definen una mezcla asfáltica, existen diversos criterios para efectuar su clasificación. La tabla 2-4 hace un breve resumen de toda esta clasificación.

Los parámetros de clasificación mostrados en la tabla 2-4, muestran características y propiedades distintas de las mezclas asfálticas. Por lo anterior, una mezcla asfáltica

puede describirse con mayor precisión al utilizar la mayor cantidad posible de estos parámetros, pues se muestra mayor información sobre la mezcla. Por ejemplo podría elaborarse una mezcla asfáltica caliente, abierta, gruesa con esqueleto mineral.

CLASIFICACION DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS		
PARAMETRO	TIPO DE MEZCLA	CARACTERISTICAS
Fracciones de Agregado Pétreo Empleado	Masilla Asfáltica	Filler + Cemento asfáltico
	Mortero Asfaltico	Agregado Fino + Masilla
	Concreto Asfaltico	Agregado Grueso, Fino + Filler + Asfalto
	Macadam Asfaltico	Agregado Grueso + Asfalto
Temperatura de producción	Mezcla Asfáltica Caliente	Altas Temperaturas (Aprox. 150°C)
	Mezcla Asfáltica Tibia	Aprox. 28 °C menos que las HMA
	Mezcla Asfáltica Fría	Temperatura Ambiente
% de Vacíos en la Mezcla	Mezclas Densas	3 a 6% de vacíos
	Mezclas Semidensas	6 a 10% de vacíos
	Mezclas Abiertas	15 a 20% de vacíos
	Mezclas Drenantes	20 a 28% de vacíos
Tamaño Máximo del Agregado Pétreo	Mezclas Gruesas (Gravas)	Tmax > 10 mm
	Mezclas Finas (Arenas)	Tmax < 10 mm
Granulometría del Agregado Pétreo	Mezclas Continuas	
	Mezclas Discontinuas	
Estructura del Agregado Pétreo	Mezclas con Esqueleto Mineral	
	Mezclas sin Esqueleto Mineral	

Tabla 2-4: Clasificación de las mezclas asfálticas.

Lo anterior revela información sobre su temperatura de producción, su porcentaje de vacíos, el tamaño máximo nominal de sus agregados pétreos y la manera en que su estructura mineral soporta las cargas. De igual manera, podría producirse una mezcla asfáltica tibia, abierta, gruesa con esqueleto mineral.

Esta investigación se enfocará en el estudio de dos tipos de mezcla asfáltica, diferenciadas principalmente por el parámetro de temperatura de producción: Mezcla Asfáltica Caliente y Mezcla Asfáltica Tibia. Cada uno será analizado por separado, para realizar posteriormente una comparación teórica y una comparación experimental basada en los resultados de los ensayos de laboratorio que se plantean en el capítulo 3 de esta investigación. No obstante los tipos de mezcla asfáltica mostrados en la tabla 2-4 se definen brevemente a continuación.

2.1.2.3.1 Por fracciones de agregado pétreo empleado.

- ***Masilla asfáltica:*** Es una combinación de polvo mineral más cemento asfáltico.
- ***Mortero asfáltico:*** Agregado fino más masilla asfáltica.
- ***Concreto asfáltico:*** Agregado grueso más mortero asfáltico.
- ***Macadam asfáltico:*** Agregado grueso más cemento asfáltico.

2.1.2.3.2 Según la temperatura de producción.

- ***Mezcla asfáltica caliente:*** Mezcla de agregado pétreo más cemento asfáltico que se mezcla y compacta a temperaturas aproximadas de 150°C y 140°C, respectivamente.
- ***Mezcla asfáltica tibia:*** Mezcla de agregado pétreo, cemento asfáltico y aditivo que se mezcla y compacta temperaturas aproximadas de 130°C y 110°C, respectivamente.
- ***Mezcla asfáltica fría:*** Mezcla de agregado pétreo y emulsión asfáltica, que se mezcla y compacta a temperatura ambiente.

2.1.2.3.3 Según el porcentaje de vacíos presente en la mezcla⁶.

- ***Mezclas asfálticas densas:*** Es una mezcla uniforme y homogénea, elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos bien graduados, también denominadas cerradas porque presentan un pequeño porcentaje de vacíos (entre el 3% y el 6%)

⁶ Las definiciones de este apartado, han sido tomadas textualmente de “Manual de carreteras, Vol 2: Construcción y Mantenimiento” (Bañón y Beviá, 1999) Alicante, España.

lo que permite que su impermeabilidad sea muy alta, por lo que resguardan eficazmente del agua a las capas subyacentes.

Normalmente se utilizan en la construcción de carpetas asfálticas de pavimentos nuevos, en los que se requiere una alta resistencia estructural o en nivelación de superficies y refuerzos de pavimentos existentes. No suelen emplearse dada la alta cantidad de cemento asfáltico que requieren, dada la gran superficie específica que poseen por su alto contenido de filler.

- **Mezclas asfálticas semidensas:** Las mezclas semidensas son similares a las densas con la diferencia que el porcentaje de vacíos es mayor (6% - 10%). Al tener un menor contenido en finos permiten una menor dosificación de cemento asfáltico, acompañado de un ahorro económico significativo. Generalmente son las más empleadas en capas de rodadura de carreteras de zonas urbanas.
- **Mezclas asfálticas abiertas:** Las mezclas de graduación abierta están diseñadas para ser permeables al agua, lo cual las diferencia de las mezclas densas y de las discontinuas (Stone Mastic Asphalt) que son relativamente impermeables. Estas mezclas comúnmente utilizan piedra triturada en su mayoría y en algunos casos gravilla triturada con un pequeño porcentaje de arenas.

Su práctica carencia de elementos finos hace que su porcentaje de vacíos sea muy alto (entre el 15% y el 20%). Además presentan una mayor resistencia por el rozamiento interno (trabazón) que por cohesión.

Estas mezclas normalmente se utilizan para formar capas de rodadura, no tienen función estructural y generalmente se construyen sobre una carpeta de granulometría densa, con la finalidad principal de satisfacer los requerimientos de calidad de rodamiento de tránsito, al permitir que el agua de lluvia sea desplazada por las llantas de los vehículos, ocupando los vacíos de la carpeta con lo que se incrementa la fricción de las llantas con la superficie de rodadura, se minimiza el hidropelaje, se reduce la cantidad de agua que se impulsa sobre los vehículos adyacentes y se mejora la visibilidad del señalamiento horizontal.

Es importante considerar que las mezclas asfálticas calientes de granulometría abierta no deben ser colocadas en zonas susceptibles al congelamiento.

- **Mezclas asfálticas drenantes:** Últimamente han adquirido una gran importancia en la pavimentación de superficies de carretas, ya que ofrecen una serie de propiedades muy ventajosas desde el punto de vista de la evacuación de aguas. Para ello, su porcentaje de vacíos debe ser muy elevado (entre el 20% y el 28%), y prácticamente debe carecer de elementos finos.

2.1.2.3.4 Según el tamaño máximo del agregado pétreo.⁷

- **Mezclas gruesas:** La curva granulométrica de los agregados que forman las mezclas asfálticas gruesas se aleja de la máxima capacidad, empleando menores cantidades de polvo mineral (filler), lo que conlleva una menor cantidad de cemento asfáltico.

Su carencia de impermeabilidad hace que este tipo de mezclas calientes sean idóneas para su empleo en capas intermedias de la estructura de pavimento, dado que aunque tienen menor calidad que las todas las anteriores son más económicas.

- **Mezcla asfáltica fina:** En este tipo de mezcla el tamaño máximo de los agregados no excede los 10mm (3/8”). Son principalmente utilizadas para tratamientos superficiales⁸ empleados en la rehabilitación de vías de baja importancia.

2.1.2.3.5 Según la granulometría del agregado pétreo.⁹

- **Mezcla continua:** Existe una distribución escalonada de tamaños de agregados, de forma que las partículas más finas rellenan los huecos dejados entre las más

⁷ Las definiciones de este apartado, han sido tomadas textualmente de “Manual de carreteras, Vol 2: Construcción y Mantenimiento” (Bañón y Beviá, 1999) Alicante, España.

⁸ *Tratamiento superficial* es toda operación cuyo objetivo es dotar al pavimento de ciertas características superficiales, sin pretender un aumento apreciable en sus cualidades de resistencia. Podría decirse que conforman una capa de piel o recubrimiento del pavimento (Bañón y Beviá, 1999) Alicante, España.

⁹ Las definiciones de este apartado, han sido tomadas textualmente de “Manual de carreteras, Vol 2: Construcción y Mantenimiento” (Bañón y Beviá, 1999) Alicante, España.

gruesas. Este tipo de granulometría es típica de las mezclas cerradas, caracterizadas por un alto contenido en polvo mineral (Filler).

- **Mezcla discontinua:** Es una mezcla uniforme y homogénea, elaborada con cemento asfáltico y material pétreo de granulometría discontinua, con tamaño nominal entre 19mm (3/4 in) y 9.5mm (3/8 in). Estas mezclas normalmente se utilizan para formar capas de rodadura, aunque también pueden utilizarse en capas inferiores en carreteras de alto tránsito. Cuando son usadas como capas de rodadura su finalidad principal es mejorar las condiciones de circulación de los vehículos respecto a una carpeta asfáltica convencional.

Al tener una elevada macro textura se evita que el agua de lluvia forme una película continua sobre la superficie del pavimento, con lo que se incrementa la fricción de las llantas, se minimiza el hidropneumático, se reduce la cantidad de agua que se proyecta sobre los vehículos adyacentes.

Además otra característica de las mezclas asfálticas discontinuas, es que se eliminaron los tamaños intermedios (entre 2mm y 4mm) que son específicamente a los que separan a los agregados gruesos, manteniendo así un fuerte esqueleto mineral de agregados gruesos y un contenido suficiente de mortero asfáltico que permita rellenar los vacíos entre agregados.

2.1.2.3.6 Según la estructura del agregado pétreo.¹⁰

- **Mezclas asfálticas con esqueleto mineral:** Las mezclas con esqueleto mineral son aquellas que están provistas de una estructura de agregados pétreos resistente, donde su componente de resistencia se debe al rozamiento interno de los agregados. Entre ellas se engloban los concretos y morteros asfálticos, por lo que son las más empleadas en la mayoría de países. Poseen la característica que se adaptan a cualquier situación de carga y son más económicas que las mezclas calientes sin esqueleto mineral, debido a que su contenido en asfalto es más reducido.

¹⁰ Las definiciones de este apartado, han sido tomadas textualmente de “Manual de carreteras, Vol 2: Construcción y Mantenimiento” (Bañón y Beviá, 1999) Alicante, España.

- **Mezclas asfálticas sin esqueleto mineral:** El esqueleto mineral se trata de compuestos con un elevado contenido en polvo mineral, por consiguiente de asfalto, lo que hace que trabajen únicamente por cohesión al estar dispersos los agregados en cemento asfáltico sin trabazón alguna. De este tipo de mezclas asfálticas se destacan las mezclas masticas y asfaltos fundidos.

2.1.2.4 PRODUCCIÓN Y COLOCACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.

2.1.2.4.1 Producción de mezcla asfáltica.

La producción de mezcla asfáltica tiene origen en la planta dosificadora, donde existen distintas etapas de proceso, por medio las cuales los materiales componentes de la mezcla asfáltica sufren cambios en sus propiedades a medida que se van combinando entre sí.

Para hablar de producción de mezcla asfáltica en El Salvador, es importante mencionar que para la obtención de este producto final, existen diferentes mecanismos de fabricación.

Una planta de mezcla asfáltica es un conjunto de equipos mecánicos y electrónicos en donde los agregados son combinados, calentados, secados y mezclados con asfalto de manera que produzcan la mezcla asfáltica, además debe cumplir con todas las especificaciones que se requieren para la construcción de superficies de rodamiento, es decir, que cada una de ellas debe contar con los sistemas que permitan calibrar la dosificación de agregados, cemento asfáltico y la temperatura necesaria para su mezclado (de acuerdo al diseño).

En la actualidad existen diferentes tipos de plantas productoras de mezclas asfálticas, existen desde plantas que tienen capacidad de producir 45 toneladas por hora (tph), hasta las de producción en serie de 500 toneladas por hora (tph), aquellas que son móviles y las que son estacionarias, sin embargo la variante más importante para su clasificación es el sistema de producción el cual puede ser continuo o discontinuo.

Es importante diferenciar la variedad de tipos de plantas productoras de mezcla asfáltica que existen y las más utilizadas en El Salvador. No obstante el proceso productivo de todas las plantas de mezcla asfáltica es técnicamente el mismo, con excepción de algunas variantes propias de cada empresa tales como: 1.- Capacidad de producción, 2.- Numero de agregados posibles de combinación, 3.- Modificaciones para trabajar con variedad de asfaltos, 4.- Producción continua o discontinua.

Las *Plantas de Producción Discontinua*, son las que en el proceso los agregados son dosificados, combinados, calentados, secados y mezclados con el cemento asfáltico para producir una mezcla. Este tipo de plantas pueden ser pequeñas o grandes en volúmenes de producción, dependiendo de la demanda que esta tenga, al mismo tiempo existen aquellas plantas que pueden ser transportadas (móviles) y aquellas que se encuentran en el plantel todo el tiempo (estacionarias). Dentro de las operaciones básicas de este tipo de plantas dosificadoras tenemos las siguientes.

1. Almacenamiento y alimentación en frío del agregado pétreo.
2. Secado y calentamiento del agregado pétreo.
3. Cribado y almacenamiento del agregado caliente.
4. Almacenamiento y calentamiento de cemento asfáltico.
5. Dosificación y mezclado de cemento asfáltico y agregado pétreo.
6. Carga del producto final mezcla asfáltica.

Básicamente el proceso que se sigue en la producción de mezcla asfáltica, es que los agregados pétreos así determinados en el diseño de mezcla, son alimentados y transportados en cantidades controladas, pasados por un tambor de secado donde se elimina toda humedad presente al mismo tiempo que se eleva su temperatura para posteriormente, llegar a la fase de cribado, la cual separa el material en fracciones de diferentes tamaños y lo deposita en tolvas para su almacenaje caliente. Finalmente los agregados pétreos son pesados, combinados con el asfalto y mezclados en su totalidad

para formar un producto final homogéneo. Una vez lista la mezcla asfáltica, se dispone a ser cargada en los camiones y transportada hasta el lugar de la obra.

Las *Plantas de Producción Continua* presentan un proceso de fabricación en serie. El procedimiento de elaboración es similar al de la producción discontinua de mezcla asfáltica.

El proceso inicia con la dosificación de los agregados pétreos (de acuerdo con especificaciones), una homogenización y secado de los agregados. Paso siguiente se incorpora cemento asfáltico y es mezclado con los agregados, luego se eleva la mezcla asfáltica hasta la torre de descarga y paso finalmente se descarga en el camión transportador. La diferencia es que todo el proceso es continuo hasta antes de la descarga sobre el camión.

En la producción de mezcla asfáltica, es importante contar con agregados y asfalto que cumplan con todas las especificaciones y pruebas de calidad, así como con una planta calibrada de acuerdo al tipo de mezcla asfáltica que se producirá y tipo de asfalto utilizado; estos es un requisito indispensable para elaborar concretos asfálticos satisfactorios en lo que respecta a producción.

2.1.2.4.2 Colocación de la mezcla asfáltica.

La colocación de las mezclas asfálticas es una de las últimas etapas en todo proceso de construcción de carreteras, sin embargo es la fase del proyecto donde pueden surgir inconvenientes, en caso que no exista una buena comunicación entre las partes involucradas, tanto en el lugar de emplazamiento como en la planta productora de mezcla.

Debido a las probabilidades de ocurrencia de contratiempos en obra, en la fase de colocación, se recomienda realizar una serie de controles que permitan determinar con

anticipación la presencia de problemas y detectar el área de ocurrencia así como orientar al ingeniero responsable de obra, la manera combatir y prevenirlos.

2.1.2.4.2.1 Actividades previas a la colocación.

La colocación de mezcla asfáltica como se mencionó antes es una actividad que demanda mucha concentración y planificación para que todo el proceso se lleve a cabo con éxito, por lo que existen unas series de actividades que se deben realizar por parte del contratista y la supervisión a cargo de la obra.

- ***Reunión de las partes. (constructora-supervisión)***

Esta actividad se debe realizar en los días previos a la fecha de colocación de la mezcla asfáltica caliente, en dicha reunión se solicita la presencia de todos los profesionales involucrados en obra tales como, ingenieros residentes, ingenieros de control de calidad, responsable de laboratorio, así como de la constructora, supervisión, dueño del proyecto y gerente de producción de mezcla.

El objetivo de esta junta, es crear un plan de contingencia que prevea y evite cualquier tipo de contratiempo el día de colocación de mezcla. Dentro de los puntos de agenda que se discuten en esa reunión se encuentran: 1.- Transporte de material a la obra, 2.- Hora de inicio, 3.- Disponibilidad de equipo de construcción, 4.- Verificación de superficie, 5.- Disponibilidad trabajadores (auxiliares/operadores/maestro de obra), 6.- Cantidad de mezcla que se va colocar., etc.

Lo que pretende esta reunión es identificar posibles fallos en la ejecución, de la actividad de colocación de mezcla asfáltica, y evitar retrasos en la obra, pérdida de material, suspensión de actividad que conlleva a un seguro déficit económico.

- ***Preparación de terreno.***

La preparación del terreno es fundamental antes de iniciar las labores de colocación de mezcla asfáltica. Dicha actividad consiste en verificar que las condiciones del terreno sean las idóneas a la hora de la colocación de mezcla

asfáltica, por lo que es responsabilidad de los ingenieros al frente de la obra verificar que el terreno este correctamente nivelado, cumpliendo con todas las especificaciones de contrato para la pendiente, bombeo, geometría, etc.

Una vez recibida la base por parte del contratista y aprobada por parte de la construcción, se procede con la preparación del terreno de una de las siguientes dos formas:

- En caso de colocar y compactar la mezcla asfáltica el mismo día de la recepción de la base, se efectúa únicamente un riego de liga sobre la base para garantizar una adecuada adherencia entre la base y la carpeta de rodadura.
- En caso de tener muy poca extensión de base ya recibida y aprobada, solicitar mezcla asfáltica lista para colocar y compactar resultaría contraproducente desde un punto de vista económico¹¹, por lo que se procede en cambio a incrementar la longitud de la capa de base, para que el esfuerzo de colocación de mezcla asfáltica sea rentable.

Sin embargo, podría transcurrir un largo período de tiempo hasta lograr la obtención de esta longitud rentable de capa de base; de no proteger superficialmente la base ya recibida y aprobada, el intemperismo perjudicará la calidad de la capa ya lista, impidiendo la presencia de condiciones adecuadas para la colocación de la mezcla.

Por lo anterior se procede a proteger la base de estos efectos del intemperismo por el método de imprimación¹². Llegado el momento de la colocación de mezcla asfáltica se procede a retirar el material suelto, como polvos, partículas pequeñas de agregado o basura con el apoyo de instrumentos como sopladoras o barredoras mecánicas. Por último se

¹¹ Es importante tener en cuenta que como empresa constructora, se recomienda tener listos tramos de carreteras significativos para colocación de mezcla, puesto que la maquinaria utilizada para pavimentar, consume muchos recursos económicos y el tiempo de ocio que ésta tenga, se verá reflejado en pérdidas económicas para la empresa.

¹² La imprimación consiste en el riego de una emulsión asfáltica sobre la base ya terminada y la colocación de una capa delgada de material secante (arena), para formar una película protectora de la superficie de la base.

hace un riego de liga (emulsiones asfálticas o asfaltos rebajados) para que sirva de adhesivo entre capas.

- ***Elaboración de un tramo de prueba.***

El tramo de prueba, no es más que una actividad que realiza el contratista en coordinación con la supervisión, previo a la colocación de la mezcla asfáltica sobre la base del pavimento.

El tramo de prueba tiene objetivos bien definidos para ambas partes dentro de los cuales podemos mencionar:

- El buen funcionamiento de la mezcla asfáltica diseñada.
- Establecer una ruta de transporte para la mezcla asfáltica, que permita evitar las vías de acceso más congestionadas y que proporcione el acarreo seguro a la temperatura idónea de compactación.
- Determinar la velocidad y número de pasadas necesarias que debe producir la máquina compactadora para obtener el grado de compactación especificado.
- Identificar cualquier error o contratiempo al momento de la colocación de mezcla asfáltica.
- Identificar un manejo eficiente del personal al momento de la colocación en terreno.

2.1.2.4.2.2 Transporte.

El transporte exitoso de mezcla asfáltica desde la planta dosificadora hasta el lugar de emplazamiento, significa un trabajo coordinado por parte de la constructora y el personal de ubicado en la planta. El transporte de mezcla asfáltica debe ser tal que permita movilizar el material, sin una pérdida excesiva de temperatura puesto que se requiere que la mezcla asfáltica se encuentre en un rango definido de temperatura de acuerdo a la carta de viscosidad del asfalto utilizado en la mezcla.

Para movilizar la mezcla asfáltica, el contratista o la planta asfáltica (según sea el caso), se valen de medios de transporte como camiones que cumplan con estándares de capacidad, hermetismo y sistema de volteo para descargar materiales.

Los camiones deben estar provistos de cajas de metal limpias, lisas, sin orificios, y cumplir con los criterios mínimos de seguridad, establecidos así por la institución correspondiente. Además que cada camión debe poseer una numeración para una identificación asequible, por el personal responsable de los registros de llegada y salida de camiones. Importante que cada camión debe estar provisto de una lona impermeable que no permita escapar el calor interno de la mezcla ni el ingreso de corrientes de aire.

Antes de cargar al camión, es fundamental asegurarse que éste esté libre de cualquier material extraño que pueda contaminar la mezcla asfáltica, revestir ligeramente la caja con lubricante para evitar que esta se adhiera a las paredes y/o piso. Y por ultimo pesar el camión para establecer su peso de taraje para luego determinar el peso de la carga transportada.

2.1.2.4.2.3 Maquinaria.

- ***Compactador tándem (rodillo liso).***

Las compactadoras tándem poseen ruedas o rodillos de acero, generalmente montados sobre dos ejes tándem.

Típicamente varía en peso desde 3 hasta 14 toneladas, (ocasionalmente mas), utiliza el modo de tracción mecánica, este es aplicable a la compactación del concreto asfáltico y el suelo estabilizado, etc. Además es el equipo ideal de compactación en la construcción de la calzada de la carretera, carretera municipal, y suelo industrial.

El espesor de la capa compactada dependerá del peso del compactador y del objeto de la obra, pero la regla general establece un rango de 15 cm – 25 cm en capas de mezcla asfáltica.

La máquina posee una función para pasar de rodillo liso a rodillo vibratorio. Los compactadores vibratorios proporcionan la fuerza compactadora mediante una combinación del peso y la vibración de sus rodillos de acero, comúnmente llamados tambores. Las compactadoras usadas para concreto asfálticos son automotrices y varían en peso desde 7 hasta 17 toneladas.

Las vibraciones son generadas por la rotación de un peso excéntrico dentro del rodillo, y la velocidad de rotación de termina la frecuencia o vibraciones por minuto (vpm).



Figura 2-2: Rodillo Tándem.

- ***Rodillo neumático.***

Las compactadoras de ruedas neumáticas tienen ruedas de caucho en vez de ruedas o rodillos de acero. Generalmente poseen dos ejes tándem, con 3 o 4 ruedas en el eje delantero, y 4 o 5 ruedas en el eje trasero.

Estos rodillos compactadores neumáticos son ideales para la compactación de concreto asfáltico y otros materiales cohesivos y no cohesivos en la construcción de superficie de la carretera. El rodillo neumáticos liso es muy adecuado para la compactación final de asfalto en la superficie de carreteras. Son los encargados de dar un acabado rugoso y

uniforme a la carpeta de rodadura. Los neumáticos deben regarse con agua para evitar la adherencia del agregado al neumático.

Esta maquinaria es ampliamente utilizada en la construcción de carreteras, carreteras municipales y aeropuertos. La acción compactadora de este tipo de rodillos, se debe a la presión que las llantas transmiten sobre la capa de suelo, aunque también producen cierto grado de amasado que causa deformaciones al suelo por acción del labrado de las llantas.



Figura 2-3: Rodillo neumático

- ***Pavimentadora.***

Es la maquina encargada de proporcionar un acabado uniforme de la superficie de rodamiento, además del espesor especificado en los documentos contractuales. Tradicionalmente la mezcla asfáltica es transportada en camiones y son descargadas en las maquinas pavimentadoras directamente, haciendo capas uniformes. Existen diferentes modelos de pavimentadores (extendedoras) pero la más utilizada en El Salvador son las de tipo autopropulsantes (son aquellas que empujan al camión que las alimenta) y están formadas por una tolva, un depósito, una cinta, una mezcladora, una barra regadora, una regla y un tornillo sin fin.

Esta maquinaria es utilizada en la construcción de Autopistas, Carreteras principales, Carreteras urbanas, Pistas de aterrizaje en aeropuertos, etc.



Figura 2-4: Pavimentadora.

- ***Camión de volteo.***

Los camiones de volteo son máquinas de transporte que están diseñadas para el acarreo de material y su respectiva descarga. Poseen una tolva cuya capacidad puede ser al ras o colmada, tiene funciones específicas como: 1.- Operaciones de carga (cargar material excedente), 2.- Acarreo de mezcla asfáltica (utilizados también para transportar volúmenes de tierra excavada) 3.- Descarga mezcla asfáltica.



Figura 2-5: Camión de volteo.

- ***Mini cargador.***

El mini cargador es un equipo de marco rígido, potenciado por un motor diesel. Algunos registros demuestran que es una maquina sumamente utilizada en el área de construcción, su versatilidad y su multifuncionalidad, la hacen una de las preferidas para los constructores, el área de vías terrestres no es la excepción. Este equipo posee una gran variedad de funciones dentro de la obra.

El mini cargador está diseñado para trabajar a su capacidad máxima, en terrenos accidentados y climas inhóspitos. Lo anterior junto a su diversidad de accesorios, hacen de él, una maquinaria casi indispensable en todo proyecto. En el área de vías terrestres comúnmente se utilizan accesorios como: 1.- Martillo hidráulico, 2.- Brazo excavador, 3.- Barredoras (cepillo), 4.- Rodillo vibratorio.



Figura 2-6: Mini cargador.

- ***Distribuidor de asfalto (equipo de riego).***

Los riegos de liga y de imprimación son generalmente aplicados por medio de un distribuidor de asfalto, este comúnmente es un tanque de asfalto montado sobre un camión o sobre un remolque, adaptado con bombas, barras rociadoras, y controles

apropiados para regular la cantidad de asfalto que sale por las boquillas de la barra rociadora.

Un distribuidor de asfalto incluye normalmente, un sistema de calentamiento con base en quemadores de combustible o gas, para mantener el ligante a una temperatura correcta de aplicación, además cuenta con un accesorio manual de rociado para aplicar asfalto en las áreas que las barras no puedan alcanzar.



Figura 2-7: Distribuidor de asfalto

2.1.2.4.2.4 Pruebas de campo a mezcla asfáltica.

A diferencia de las carreteras de pavimento rígido, las carreteras de mezclas asfálticas no permiten realizar pruebas de campo como la elaboración de testigos en concreto hidráulico, sin embargo puede efectuarse una extracción de núcleos a la carpeta de rodadura una vez terminada. Además se deben realizar inspecciones visuales a la mezcla asfáltica caliente a medida que ésta es descargada en el camión, y también cuando va saliendo de la planta al lugar donde será colocada.

- ***Chequeo de Temperatura.***

La temperatura de la mezcla asfáltica es vital al momento de su colocación, por lo que su lectura debe ser indispensable como prueba de campo, existe un fenómeno de humo azul

que asciende de la mezcla del camión, o tolva distribuidora, lo cual puede indicar una carga sobrecalentada. En este caso, la temperatura deberá revisarse inmediatamente, para corroborar con las especificaciones y determinar si se procede a la colocación o se deberá rechazar.

- ***Inspecciones visuales de la mezcla.***¹³

A continuación se muestran algunos defectos visualmente perceptibles en una mezcla asfáltica al momento de su colocación en la obra.

- APARIENCIA.

Generalmente la apariencia es un buen indicador de la calidad de la mezcla asfáltica, una carga que parezca dura o presente un pico alto, puede estar demasiado fría para cumplir con las especificaciones contractuales y se deberá proceder a la lectura de temperatura. Si la lectura indica un valor menor al óptimo de colocación, pero se encuentra dentro del margen es aceptable y tomar medidas para corregir la deficiencia, caso contrario deberá desecharse la mezcla.

Otra prueba visual que se puede realizar a la mezcla asfáltica, es su color, estudios revelaron que una mezcla que contiene muy poco asfalto presenta una apariencia magra (seca) y granular, por un revestimiento incorrecto del agregado, y por una falta de lustre típico brillante y negro.

- SEGREGACIÓN.

La segregación de agregados puede ocurrir durante la pavimentación debido a un manejo inadecuado de la mezcla. En otros casos, la segregación puede ocurrir antes de que la mezcla asfáltica llegue a la pavimentadora. En cualquiera de los casos, esta se debe corregir inmediatamente, en el origen de la causa.

¹³ Los conceptos mostrados en este apartado han sido tomados del Manual “Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente MS-22”. Instituto del Asfalto, Estados Unidos.

- CONTAMINACIÓN.

Las mezclas se pueden contaminar con sustancias extrañas, incluyendo gasolina, kerosene, aceite, papel, mugre, etc. La contaminación es un problema que se puede corregir si no es muy extensa, sin embargo, una carga que ha sido contaminada en su totalidad debe ser rechazada de inmediato.

- EXUDACIÓN.

Aunque no es recomendable utilizar lubricantes base de petróleo para lubricar las cajas de los camiones que transportan las mezclas asfálticas, existen agencias que todavía lo practican, el diésel en el pavimento diluye el asfalto y provoca que se filtre (exude) hacia la superficie, dando como resultado lo que comúnmente se conoce como “mancha grasienta”. Por lo que se deberá realizarse auditorías a la empresa responsable del manejo de la mezcla para evitar este problema, y en caso de detectar una mezcla asfáltica contaminada con diésel deberá ser removida y reemplazada. Además la exudación puede ser producto de un mal diseño de la mezcla.

- VAPOR ASCENDENTE.

El exceso de humedad aparece, frecuentemente como vapor ascendente en la mezcla asfáltica, cuando esta se descarga en la tolva de la maquina pavimentadora. Una humedad excesiva también puede causar que la mezcla aparezca y actúe como si tuviera un contenido de asfalto mayor al optimo, lo que se recomienda proceder con cautela y hacer las medidas correctivas necesarias

- ***Recibimiento de obra.***

El recibimiento es una de las etapas finales de todo proyecto de carreteras, donde la empresa supervisora, la que normalmente es contratada por el dueño del proyecto para velar que todo se cumpla de acuerdo a lo estipulado en los documentos contractuales,

debe realizar una auditoría general de todos los aspectos involucrados en la ejecución del proyecto como, espesor de la carpeta de rodadura, índice de rugosidad internacional, etc.

- ***Apertura de carretera.***

La apertura de la carretera se da cuando la mezcla asfáltica ya recibida y aceptada, ha alcanzado la temperatura del ambiente.

2.1.2.5 PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DE UNA MEZCLA ASFALTICA

2.1.2.5.1 Propiedades de las mezclas asfálticas.¹⁴

Cada tipo de mezcla asfáltica tiene unas propiedades intrínsecas diferentes, por lo que sus campos de aplicación también lo son. En principio, no es posible proyectar una mezcla que satisfaga plenamente todas las propiedades, debido a que algunas de ellas son contrapuestas y porque la importancia de unas u otras depende de la funcionalidad y estructura del pavimento. Las buenas mezclas asfálticas trabajan bien debido a que son diseñadas, producidas y colocadas de tal manera que se logra obtener las propiedades deseadas.

Hay varias propiedades que contribuyen a la buena calidad del pavimento de mezcla asfáltica, estas incluyen la estabilidad, la durabilidad, la impermeabilidad, la flexibilidad, la resistencia a la fatiga y la resistencia al deslizamiento. Las principales propiedades de las mezclas asfálticas son las siguientes.

2.1.2.5.1.1 Estabilidad.

La estabilidad es la primera característica que debe tenerse en cuenta en toda mezcla asfáltica, ya que ésta tiene la capacidad de resistir desplazamientos y deformaciones bajo cargas de tránsito, sin producir deformaciones excesivas. Se dice que un pavimento es

¹⁴ Los conceptos presentados en este apartado, se basan en el contenido planteado en el “MS-22” (Asphalt Institute, 1982) Estados Unidos.

estable cuando este es capaz de mantener su forma bajo las cargas repetitivas de tráfico. Las especificaciones de estabilidad deben ser lo suficientemente altas para soportar adecuadamente el tránsito esperado, pero no más altas de lo que exigen las condiciones de tránsito.

Valores muy altos de estabilidad indican la presencia de un pavimento demasiado rígido y por lo tanto menos durable de lo deseado. La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna en las partículas de agregado que está relacionada con las características propias de los agregados pétreos, tales como su forma y textura superficial.

2.1.2.5.1.2 Durabilidad.

La durabilidad de una mezcla asfáltica tiene como habilidad resistir efectos tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto (polimerización y oxidación), y separación de las películas de asfalto. Estos factores pueden ser el resultado de la acción del clima, tránsito o una combinación de ambos. Generalmente la durabilidad de una mezcla asfáltica puede ser mejorada de tres formas:

1. Utilizando la mayor cantidad de asfalto posible.
2. Usando una graduación densa de agregado resistente a la separación y diseño.
3. Compactando la mezcla asfáltica para obtener la máxima impermeabilidad.

Una mayor cantidad de asfalto aumenta la durabilidad debido a que las películas gruesas de asfalto no se envejecen o endurecen tan rápido como lo hacen las películas delgadas. En consecuencia, el asfalto retiene por más tiempo, sus características originales. Además el máximo contenido posible de asfalto sella eficazmente un gran porcentaje de vacíos interconectados en el pavimento, haciendo difícil la penetración del aire y del agua.

Una graduación densa de agregado firme, duro y resistente a la separación contribuye a la durabilidad del pavimento. Por tanto una graduación densa proporciona un contacto

más cercano entre las partículas de agregado, lo cual mejora la impermeabilidad de la mezcla.

Un agregado firme y duro resiste la desintegración bajo las cargas del tránsito. Los tipos de agregado resistentes a la separación, soportan la acción del agua y el tránsito, las cuales tienden a separar la película de asfalto de las partículas de agregado, conduciendo a la desintegración del pavimento. La intrusión de aire y agua en el pavimento puede minimizarse si se diseña y compacta las mezclas para darle al pavimento la máxima impermeabilidad posible.

2.1.2.5.1.3 Flexibilidad.

Es la capacidad de una mezcla asfáltica para acomodarse sin que se produzcan agrietamiento por movimiento y/o asentamientos graduales de la sub-rasante. La flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfáltico, debido al fenómeno de asentamiento que sufren la mayoría de carreteras en las capas inferiores de la estructura de pavimentos, cuando estas son sometidas a cargas de tránsito, en caso contrario cuando se producen expansiones debido a la temperatura. Una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es generalmente, más flexible que una mezcla densamente graduada de bajo contenido de asfalto.

Se debe prever que las mezclas asfálticas puedan extenderse en capas de reducido espesor (menor a 10 cm.) o sobre superficies de rodamiento ya existentes, por lo que estas deben poseer la suficiente flexibilidad para que no se rompan o fisuren con excesiva rapidez (fatiga prematura).

2.1.2.5.1.4 Impermeabilidad.

La impermeabilidad de una mezcla asfáltica es la resistencia al paso del aire y agua hacia su interior o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada, aunque el contenido de vacíos es una indicación del paso potencial de aire y agua a través de un pavimento, la naturaleza de estos vacíos es

más importante que su cantidad. El grado de impermeabilidad está determinado por el tamaño de los vacíos, sin importar si están o no conectados y por el acceso que tienen a la superficie del pavimento.

Aunque la impermeabilidad es importante para la durabilidad de las mezclas asfálticas compactadas, todas las mezclas asfálticas usadas en la construcción de carreteras poseen cierto grado de permeabilidad. Esto es aceptado siempre y cuando la permeabilidad esté dentro de los límites especificados.

2.1.2.5.1.5 Trabajabilidad.

La trabajabilidad está descrita por la facilidad con que una mezcla asfáltica puede ser colocada y compactada. Cuando la trabajabilidad es mala puede ser mejorada modificando los parámetros del diseño de la mezcla, el tipo de agregado utilizado y la granulometría.

La trabajabilidad es especialmente importante en sitios donde se requiere colocar y rastrillar a mano cantidades considerables de mezcla asfáltica, como en curvas pronunciadas, tapas de alcantarillas y obstáculos similares.

2.1.2.5.1.6 Resistencia al deslizamiento.

La resistencia al deslizamiento de una mezcla asfáltica tiende a minimizar el resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie está mojada. Para lograr una buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en lugar de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento, fenómeno conocido como hidropneumático.

La mejor resistencia al deslizamiento se obtiene con un agregado de textura áspera, en una mezcla de graduación abierta, con un tamaño máximo de 9.5mm (3/8") – 12.5mm (1/2"). Además de tener una superficie áspera, los agregados deben resistir el pulimento

bajo tráfico. Se conoce que los agregados calcáreos son más susceptibles al pulimiento que los agregados silíceos.

2.1.2.5.1.7 Resistencia a las deformaciones plásticas.

El comportamiento reológico de los materiales presentes en las mezclas asfálticas condiciona la acumulación de deformaciones plásticas ante fuertes aplicaciones de carga prolongadas a través del tiempo, provocando la fluencia del material. Una adecuada dosificación de la mezcla en especial la relación polvo mineral – cemento asfáltico, ayuda atenuar este efecto.

En otras ocasiones, el fenómeno de deformación plástica se pone de manifiesto mediante arrollamientos o resaltos transversales, como si el pavimento se comportase como una alfombra arrugada. Esto puede ocurrir en zonas donde los esfuerzos tangenciales son muy fuertes como por ejemplo en zonas de parada de semáforos en calles con pendiente pronunciada.

A veces si la pendiente es reducida los arrollamientos no tienen lugar pero existe una fluencia de la mezcla que se revela por discontinuidades más o menos erráticas en las marcas viales. En estos casos la insuficiente resistencia a las deformaciones plásticas se debe no solo a una dosificación inadecuada de la mezcla, sino también a una mala adherencia a la capa subyacente.

Por último cabe señalar que también son deformaciones plásticas las provocadas por el fallo de las capas inferiores, que producen en la mezcla asfáltica una deformación superior a la correspondiente al límite elástico. Este tipo de deformaciones son características por su amplitud y su gran radio de curvatura.

2.1.2.5.1.8 Resistencia a la fatiga.

La resistencia a la fatiga de una mezcla asfáltica es la resistencia a la flexión repetida bajo cargas de tránsito. Estudios han demostrado que los vacíos y la viscosidad del

asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga, por lo que a medida aumenta el porcentaje de vacíos en una mezcla asfáltica, ya sea por diseño o por falla de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento disminuye. Así mismo un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente, tiene menor resistencia a la fatiga.

Se dice que el comportamiento de la mezcla asfáltica frente a las bajas temperaturas y altas velocidades, es fundamentalmente elástico, pero la repetición de cargas generalmente muy inferiores a la de rotura, produce un agotamiento progresivo por fatiga del material. La fatiga se traduce en un aumento de las deformaciones elásticas en superficie y cuando se llega a un avanzado estado de la misma se pueden observar agrietamientos generalizados denominados comúnmente piel de cocodrilo.

2.1.2.5.2 Características de las mezclas asfálticas.

Las mezclas asfálticas preparadas en laboratorios deben ser analizadas para determinar el desempeño posible en la estructura del pavimento. Determinando así, características principales y la influencia que estas tienen en el comportamiento de la mezcla. Dentro de las principales características que se pueden mencionar que están presentes en una mezcla asfáltica de calidad tenemos:

- Densidad
- Vacíos de Aire
- VMA (Vacíos en el Agregado Mineral)
- Contenido de Asfalto
- VFA (Vacíos Llenos de Asfalto)
- Estabilidad y flujo.

2.1.2.5.2.1 Densidad.

La densidad de una mezcla asfáltica afecta a la mayoría de las pruebas de estabilidad, sin embargo la estabilidad máxima no ocurre siempre a la densidad máxima determinada

antes de la prueba. Las temperaturas a las cuales se determinan la densidad y la estabilidad, generalmente, no son iguales. La densidad de una mezcla asfáltica determina el grado de compactación del pavimento y esto nos indica si la compactación fue la adecuada en el proyecto.

Cabe mencionar que tanto la densidad como los vacíos de aire se encuentran relacionados entre sí, por lo que son inversamente proporcionales, mientras la densidad sea menor, el porcentaje de vacíos en la mezcla aumentará, por lo tanto, la mezcla compactada será vulnerable al agua, mientras que si la densidad es alta la cantidad de vacíos es menor, el agua no entrara en su interior obteniéndose de esta manera una carpeta de rodadura más durable.

2.1.2.5.2 Vacíos de aire.

Los vacíos de aire en una mezcla asfáltica son todos aquellos espacios de aire que se encuentran entre las partículas de agregados pétreos con asfalto, una vez la mezcla asfáltica ya fue compactada.

El principal uso que tienen los vacíos de aire en una mezcla asfáltica es que es uno de los parámetros en los métodos de diseño y para la evaluación de la compactación en los diferentes proyectos de compactación.

La durabilidad de un pavimento asfáltico está en función del contenido de vacíos. La razón de esto es que entre menor sea la cantidad de vacíos, menor será la permeabilidad de la mezcla. Un contenido demasiado alto de vacíos proporciona conductos a través de la mezcla, por los cuales puede entrar el agua y el aire y causar deterioro. Por otro lado, un contenido demasiado bajo de vacíos puede producir exudación de asfalto; una condición en la que el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie.

El porcentaje de vacíos de aire en una mezcla asfáltica se encuentra con solo hacer la división entre la Gravedad Específica Bulk y la Gravedad Específica Teórica Máxima, restando de 1 el resultado de la división y multiplicando esta diferencia por 100.

2.1.2.5.2.3 VMA (vacíos en el agregado mineral).

Los vacíos en el agregado mineral son aquellos que están definidos por el espacio que se encuentra entre las diferentes partículas de agregado de la mezcla que ya han sido compactadas, esto incluye los vacíos de aire antes mencionados y el contenido de asfalto, los cuales se expresan como un porcentaje del volumen total de la mezcla.

De una manera más fácil se puede expresar como el volumen intergranular de vacíos entre partículas del agregado de una mezcla asfáltica caliente compactada (incluye vacíos de aire y el volumen de asfalto efectivo). Se entiende como el porcentaje del volumen total del espécimen.

2.1.2.5.2.4 Contenido de asfalto.

El contenido de asfalto es una de las principales características que debe tener la mezcla asfáltica, ya que si se agrega poca cantidad de la que regularmente es, la mezcla podría resultar con una apariencia seca, granular, de recubrimiento defectuoso y los rodillos no la compactarían de una forma satisfactoria, mientras que si el contenido de asfalto es en exceso la mezcla asfáltica se vuelve densa y flexible por lo que la carpeta de rodadura puede llegar a sufrir ondulaciones en el terreno y puede disminuir su resistencia.

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende en gran parte de las características del agregado, tales como la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo de asfalto. Es decir, entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total y mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir uniformemente todas las partículas. Por otro lado, las mezclas más gruesas (agregados de gran tamaño) exigen menos asfalto debido a que poseen menor área superficial total.

Para que no exista algún problema con el contenido de asfalto, es necesario que la proporción en la mezcla deba ser determinada exactamente en un laboratorio, y luego controlada con precisión en la obra, aunque el contenido de asfalto de una mezcla en particular es establecido usando los criterios descritos por el método de diseño seleccionado.

El contenido total de asfalto, es la cantidad de asfalto que debe ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado.

2.1.2.5.2.5 VFA (vacíos llenos de asfalto).

Es toda aquella porción del porcentaje del volumen de espacio vacío intergranular entre las partículas del agregado, que es ocupado por el asfalto efectivo. Se expresa como la porción que resulta de quitarle el Volumen de Vacíos de Aire al Volumen de Vacíos en Agregado Mineral.

En otras palabras podemos mencionar que los vacíos llenos de asfalto son la fracción de los vacíos entre agregados minerales que contiene ligante asfáltico. Estos representan el volumen de asfalto efectivo presente en la mezcla. La figura 2-8 muestra un esquema de las porciones volumétricas principales presentes en una mezcla asfáltica compactada, donde:

- Vma: Volumen de vacío en agregado mineral.
- Vmb: Volumen total de la mezcla asfáltica.
- Vmm: Volumen de la mezcla asfáltica sin vacíos.
- Vfa: Volumen de vacíos llenados con asfalto.
- Va: Volumen de vacíos de aire.
- Vb: Volumen de asfalto.
- Vba: Volumen de asfalto absorbido.
- Vse: Volumen de agregado mineral.

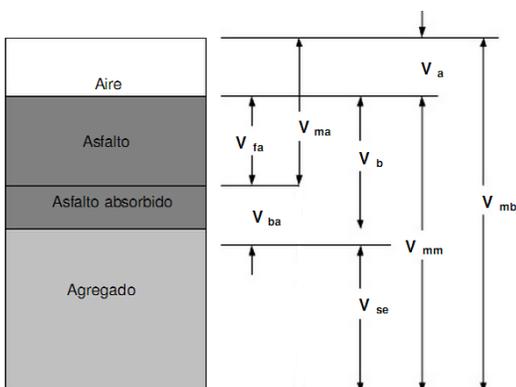


Figura 2-8: Características de una mezcla asfáltica caliente compactada.

2.1.2.5.2.6 Estabilidad y flujo.

La norma AASHTO T 245 establece el procedimiento para determinar la estabilidad y el flujo de una mezcla. En ella se define como estabilidad, a la carga máxima que puede soportar una probeta hecha de la mezcla en cuestión, al ser comprimida en los cabezales de prueba. El flujo, es el valor de la deformación que sufre la probeta mientras es cargada.

Se necesita un valor equilibrado de estabilidad, pues un valor alto pronostica una baja durabilidad, mientras que un valor muy bajo podría indicar que la mezcla es muy susceptible al ahuellamiento.

2.1.2.6 APLICACIONES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Las mezclas asfálticas, principalmente se utilizan para la construcción de la carpeta de rodadura de la estructura del pavimento flexible. Sin embargo, las mezclas asfálticas tienen otros tipos de aplicaciones, por ejemplo:

- Estabilización de bases con pavimento asfáltico reciclado.
- Tratamientos superficiales para mejorar propiedades no estructurales.
- Como capa intermedia dentro de la estructura del pavimento (“whitertopping”).

Además la mezcla asfáltica es muy conveniente para reparaciones provisionales en vías urbanas (“bacheo”). Esta facilidad de colocación, le proporciona a la mezcla asfáltica una versatilidad tal que permite configurar una estructura de pavimento resistente, utilizable en calles y pasajes urbanos, carreteras y autopistas interurbanas, estacionamientos, aeropuertos, patios de carga, ciclovías, etc.

2.2 CARPETA DE RODADURA DE MEZCLA ASFÁLTICA CALIENTE.

2.2.1.1 GENERALIDADES.

En El Salvador, la mayoría de las carpetas de rodadura se elaboran con mezcla asfáltica caliente. Las mezclas asfálticas calientes (HMA, Hot Mix Asphalt) son aquellas que están formadas por una combinación de cemento asfáltico y agregado pétreo. La regla general sugiere que el 90% de la masa total de una mezcla asfáltica, está constituida por un esqueleto mineral de agregado grueso y/o fino, un 5% de polvo mineral (filler) y un 5% de ligante asfáltico.

El calificativo “Caliente” hace referencia a su temperatura de producción y puesta en obra, dicha temperatura depende de la clasificación de asfalto que se esté utilizando, generalmente es la carta de viscosidad la que indica los rangos de temperaturas a los que se debe elevar el ligante asfáltico (ligante para pavimentación) para obtener una reducción en la viscosidad del asfalto lo suficientemente baja para ser trabajable y que todas las partículas queden recubiertas por el ligante de forma homogénea.

Existen diferentes tipos de mezclas asfálticas, todas ellas se diferencian entre sí por el rango de temperatura a la cual es producida la mezcla. Los estudios indican que para producir mezclas asfálticas calientes se debe aumentar la temperatura a un rango que oscile entre 150° C – 155°C. A estas se reduce la viscosidad del asfalto a un valor deseado para mezclado.

Es importante mencionar que las mezclas asfálticas calientes constituyen el tipo de mezclas bituminosas más generalizado y comercializado en El Salvador, además pueden ser producidas con diferentes tipos de ligante asfáltico y un amplio rango de combinaciones de agregados, cada uno con sus características particulares adecuadas al diseño específico y a sus usos en la construcción.

2.2.1.2 COMPONENTES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CALIENTE.

La mezcla asfáltica caliente, se compone de agregados pétreos, ligante asfáltico para pavimentación y en ciertos casos algún tipo de aditivo que mejore sus propiedades, tal como se ha definido con anterioridad en el apartado 2.2.2.2

Los componentes de toda mezcla asfáltica se deterioran con el tiempo. Uno de los efectos del tiempo y de la exposición a la intemperie que incrementa por las temperaturas de producción de la mezcla asfáltica caliente, es el envejecimiento del asfalto.

2.2.1.2.1 Envejecimiento del asfalto en mezclas asfálticas calientes.

El envejecimiento es un fenómeno de los asfaltos que altera las propiedades físico-químicas del material y por ende la durabilidad de los pavimentos flexibles, ocasionando pérdidas económicas debido a deterioros prematuros de la carpeta asfáltica.¹⁵

Las propiedades del asfalto cambian con el tiempo. Debido a esto las especificaciones utilizadas para el diseño de las mezclas asfálticas basadas en las propiedades físicas iniciales no aseguran un buen desempeño después que el asfalto ha sido mezclado con el agregado, aplicado y puesto en marcha para soportar los esfuerzos mecánicos propios del tránsito.

Durante el proceso de elaboración de una mezcla asfáltica, los asfaltos se oxidan por acción del oxígeno del aire y de las altas temperaturas de mezclado, permitiendo que el

¹⁵ Definición tomada de “Ingeniería e investigación, Vol. 30 #3” (Vargas y Reyes, 2010).

fenómeno de envejecimiento inicie en forma inmediata, y posteriormente, es inducido por los diversos factores climáticos que inciden en el pavimento.

Las temperaturas de producción de la mezcla asfáltica caliente aceleran este fenómeno de la manera establecida anteriormente. Prueba de ello es la liberación de los elementos más volátiles del cemento asfáltico en forma de gas. Esta visible emisión de gases afecta negativamente al medio ambiente y provoca este deterioro prematuro de la calidad del cemento asfáltico.

2.2.1.3 PRODUCCION Y COLOCACION DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CALIENTE.

La producción y colocación de una mezcla asfáltica caliente, se encuentran definidas el apartado 2.2.2.4 de esta investigación.

2.2.1.4 PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CALIENTE.

Las propiedades y características de una mezcla asfáltica caliente, se encuentran definidas en el apartado 2.2.2.5 de esta investigación.

2.3 CARPETA DE RODADURA DE MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA.

2.3.1 GENERALIDADES.

2.3.1.1 DEFINICIÓN.

Una mezcla asfáltica tibia se define como aquella que es producida a temperaturas menores que las típicamente utilizadas en la producción de mezclas asfálticas calientes, aproximadamente 28 ° C menos¹⁶.

¹⁶ Las mezclas calientes se producen típicamente a temperaturas entre 150-155°C.

El objetivo de las mezclas asfálticas tibias, es la producción de mezclas asfálticas con resistencia, durabilidad y características de desempeño similares a las mezclas asfálticas calientes, utilizando temperaturas de producción sustancialmente reducidas. Existen importantes beneficios ambientales y de salud relacionados con la producción de mezclas tibias, como la reducción de emisión de gases de efecto invernadero y la disminución de la exposición de los obreros a estos gases al momento de colocación. Puede inclusive existir un ahorro en el costo de la producción, debido a la necesidad de menores temperaturas de mezclado.

2.3.1.2 TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA.

Los tipos de mezcla asfáltica tibia que se pueden fabricar, son los mismos tipos existentes para la mezcla asfáltica caliente, si es que se toman como criterios de clasificación el tamaño máximo nominal, la granulometría, el porcentaje de vacíos de la mezcla y la estructura de su agregado. Sin embargo, para clasificar y establecer diferencias entre las mezclas asfálticas tibias, se utiliza como criterio la tecnología utilizada para su producción.

Para la producción de la mezcla asfáltica tibia, es necesario el uso de algún tipo de aditivo que reduzca la viscosidad del asfalto. En el año 2012, la NCHRP (*National Cooperative Highway Research Program*) reportó el uso de 22 diferentes procesos para la producción de mezclas asfálticas tibias en los Estados Unidos¹⁷. Sin embargo, en base al tipo de aditivo utilizado, todos estos procesos pueden dividirse en tres grandes grupos de mezclas: las que se producen con aditivos orgánicos (ceras), las que se producen con aditivos químicos y aquellas que usan métodos mecánicos para la generación de asfalto espumado.

¹⁷“Mix design practices for warm mix asphalt” Reporte 691(NCHRP, 2012) Estados Unidos.

Dado que esta investigación está orientada al uso de aditivos químicos, se profundiza en esta tecnología a continuación.

2.3.1.2.1 Mezclas asfálticas tibias producidas con aditivo químico.

El uso de aditivos químicos constituye el tercer tipo de tecnología que es comúnmente utilizada para la elaboración de mezclas asfálticas tibias. Usualmente incluyen una combinación de agentes emulsificados, surfactantes, polímeros y aditivos para mejorar el recubrimiento, trabajabilidad de la mezcla y compactación, así como agentes mejoradores de adherencia. La cantidad a agregar y la temperatura a implementar para el mezclado, dependerá de la combinación química respectiva.

El paquete de químicos, se utiliza con el asfalto en forma de emulsión o se agrega al asfalto en el proceso de producción de la mezcla. Posteriormente, se agrega al agregado caliente. Esto resulta en una menor necesidad de modificaciones a la planta de producción asfáltica y/o al diseño de la mezcla.

2.3.1.3 CONTENIDO DE ASFALTO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS.

Las bajas temperaturas de producción de las mezclas asfálticas tibias, producen un menor envejecimiento de asfalto. Se teme que la reducción en el envejecimiento podría incrementar la tendencia de la carpeta de rodadura a sufrir un ahuellamiento, debido a la flexibilidad que conserva el asfalto. De esa manera han surgido dudas sobre utilizar el mismo contenido de asfalto para una mezcla asfáltica tibia que para una mezcla asfáltica caliente, o utilizar un menor contenido.

Sin embargo, la NCHRP (*National Cooperative Highway Research Program*) ha demostrado en estudios recientes, que para una mezcla tibia debería utilizarse el mismo contenido de asfalto que para una mezcla caliente. Por otro lado, el riesgo de tener una

mezcla muy propensa a sufrir un ahuellamiento no se descarta, pues se manifiesta en temperaturas de producción extremadamente bajas.¹⁸

2.3.1.4 PARTICULARIDADES DE LA PRODUCCIÓN Y COLOCACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA.

En el apartado 2.2.2.4 de esta investigación, se define ampliamente lo referente a la producción y colocación de mezclas asfálticas. Sin embargo, las mezclas asfálticas tibias necesitan procedimientos especiales adicionales, sobre todo en su producción. A continuación se abordan estas particularidades del proceso productivo de mezclas asfálticas tibias.

2.3.1.4.1 Producción de mezclas asfálticas tibias.¹⁹

Dependiendo del tipo de aditivo, será necesaria la modificación de la planta y su proceso productivo. Sin importar el tipo de planta, los siguientes puntos son considerados críticos para la producción:

- **ADITIVOS.**

Los aditivos son una parte de vital importancia en la mayoría de las tecnologías de producción de mezclas asfálticas tibias, donde la viscosidad del ligante es modificada por la adición de diferentes paquetes de aditivos permitiendo una reducción en la temperatura de producción. A menudo los paquetes provistos por los proveedores son una combinación de sustancias reductoras de viscosidad y aditivos químicos que mejoran la adhesión y el recubrimiento de los agregados.

Existen muchas maneras de introducir los aditivos a la mezcla. En el primero, el asfalto es modificado por el productor, y se entrega a la planta un asfalto listo para usar. El segundo método involucra algún tipo de tecnología de aditivo que

¹⁸ Fuente: "Mix design practices for warm mix asphalt" Reporte 691(NCHRP, 2012) Estados Unidos.

¹⁹ El contenido de este apartado se basa en el documento "Warm Mix Asphalt Investigation" (Zaumanis, M., 2010) Dinamarca.

se agrega en la planta. Se entregan el aditivo y el asfalto a la planta por separado, y luego estos se mezclan con el resto de los agregados. Existen dos métodos para la adición por separado del aditivo:

- Método húmedo.
- Método seco.

La diferencia entre los métodos es la adición en el sistema de producción de la planta. En el método húmedo, el aditivo es mezclado homogéneamente junto con el asfalto y después es mezclado con los agregados en la cámara de mezclado. En el método seco, el aditivo es inyectado en la línea de asfalto justo antes o directamente en la cámara de mezclado, mezclándose de esa manera junto con los demás materiales de la mezcla.

La elección del tipo de tecnología para la introducción de aditivo tiene que hacerse considerando todos los aspectos concernientes a la calidad. Dado que, inicialmente el aditivo se agrega solo a una pequeña parte de la mezcla, el mezclado homogéneo de todos los materiales involucrados se convierte en un tema de mucha importancia cuando se quiere elegir el método de adición.

El uso de tiempos de mezclado relativamente bajos, puede en algunos casos ser insuficiente para la obtención de una distribución homogénea para los aditivos de la mezcla tibia y puede conducir a resultados insatisfactorios para el desempeño del asfalto. El tipo de planta que se posea, el año de producción y las tecnologías de adición de material ya instaladas, determinarán las modificaciones que necesite la planta para la producción de mezclas tibias.

- EQUIPO PARA ADICIÓN DE ADITIVOS.
 - Aditivos líquidos.

Si el aditivo se introduce en el tanque de asfalto, será necesaria una unidad de mezclado. Se reportan como adecuadas aquellas de mezclado lento.

Se puede utilizar una bomba para introducir los aditivos en el tanque de almacenamiento de asfalto o para una adición en la línea inyectora de asfalto.

Es necesario un sistema de medición de alta precisión.

- Aditivos granulares o en forma de pastilla.

El equipo original para la mezcla de fibra en la mezcla puede ser ajustado para la introducción de aditivos en la mezcla, siempre que sea posible en la planta. Si no se cuenta con este equipo, se puede utilizar una tolva para su introducción. En cualquier caso, deberá utilizarse un sistema de adición adecuado.

- TIEMPO DE MEZCLADO ADICIONAL.

El tiempo de mezclado utilizado para las mezclas asfálticas calientes puede ser insuficiente para la obtención de una distribución homogénea cuando los aditivos son introducidos directamente en la mezcladora. Por lo tanto será necesario prolongar el tiempo de mezclado. Esto puede reducir la productividad de la planta y elevarlos costos de producción, dependiendo del aditivo utilizado.

2.3.1.4.2 Colocación de mezclas asfálticas tibias.

El proceso de colocación de una mezcla asfáltica tibia, debe seguir el procedimiento establecido para las mezclas asfálticas calientes. Es importante recordar, que al momento de colocar una mezcla tibia, la diferencia básica entre esta y una mezcla asfálticas caliente es la temperatura. Esto puede implicar, que se cuente con menor tiempo para su puesta en la obra.

El procedimiento a seguir es el mismo. La mezcla asfálticas tibia es transportada a intervalos periódicos al lugar de colocación. Una máquina pavimentadora es alimentada generalmente por camiones cargados de mezcla, y es esta máquina la encargada de

colocarla, formando una capa de ancho y espesor predeterminado. Posteriormente, la capa ya colocada por la pavimentadora, es compactada por rodillos lisos hasta lograr la densidad necesaria. Siempre se debe efectuar los respectivos controles de calidad.

Es notable al momento de colocación, que la mezcla tibia prácticamente no emite gases nocivos para el ambiente y la salud de los obreros. En este sentido, la mezcla tibia provee condiciones laborales más cómodas que la mezcla caliente.

2.3.2 COMPONENTES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA.

Los componentes de una mezcla asfáltica tibia no varían tanto si se les compara con la mezcla asfáltica caliente. La diferencia es marcada por el tipo de aditivo utilizado. Se establecen así los siguientes componentes:

- Agregados pétreos.
- Asfalto.
- Aditivo.

Lo referente a los agregados pétreos y el asfalto, se trata en apartado 2.2.2 “Componentes de la mezcla asfáltica”. A continuación se trata lo referente a los aditivos utilizados en las mezclas asfálticas tibias.

2.3.2.1 ADITIVOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS.

El NCHRP (*National Cooperative Highway Research Program*), en el reporte 691 de su proyecto 09-43, titulado “Mix Design Practices for Warm Mix Asphalt” (Prácticas de diseño de mezclas para mezclas asfálticas tibias), contabilizó veintidós tipos de aditivos que se utilizaban en el año 2012 en los Estados Unidos. La tabla 2-5, contiene el

resumen de los aditivos contabilizados en la investigación hecha. A continuación se describen algunos de los aditivos mencionados en la tabla anterior.²⁰

Nombre	Proceso/Aditivo	Compañía
Accu-Shear Dual Warm Mix Additive System	Sistema de espumado	Stansteel
Adesco/Madsen Inline Vortex Mixer	Sistema de espumado	Adesco/Madsen
Advera	Zeolita	PQ Corporation
AQUABLACK	Sistema de espumado	Maxam Equipment Company, Inc.
AquaFoam	Sistema de espumado	Reliable Asphalt Products
Asphaltan –B	Cera de lignita y carbón	Romonta
Aspha-min	Zeolita	Eurovia
Cecabase RT	Aditivo no especificado	Ceca
Double Barrel Green	Sistema de espumado	Astec, Inc.
Evotherm ET	Emulsión con aditivos no especificados	MeadWestvaco
Evotherm DAT	Aditivo no especificado	
Evotherm 3G	Aditivo no especificado	
Licomont BS-100	Derivado de ácido graso	Clariant
Low Emission Asphalt	Recubrimiento secuencial usando aditivo fino húmedo y aditivos no especificados	McConnaughay Technologies
Meeker Warm Mix Asphalt System	Sistema de espumado	Meeker Equipment
Rediset WMX	Aditivo no especificado	Akzo Nobel
Sasobit	Cera de Fischer Tropsch	Sasobit
Terex Warm Mix	Sistema de espumado	Terex Roadbuilding
Thipoave	Azufre más compactación	Shell
TLA-X	Asfalto del lago de Trinidad más modificadores	Lake Asphalt of Trinidad and Tobago
Ultrafoam GX	Sistema de espumado	Gencor Industries, Inc.
WAM Foam	Ligante suave seguido por ligante duro espumado	Kolo Veidekke, Shell Bitumen

Tabla 2-5: Resumen de tecnologías encontradas en el proyecto 09-43 de la NCHRP

²⁰ La descripción de aditivos que sigue, se basa en el documento “Warm Mix Asphalt Investigation” (Zaumanis. M.,2010) Dinamarca.

2.3.2.1.1 Tecnologías de asfaltos espumados.

Las tecnologías de asfaltos espumado disponibles pueden ser subcategorizadas en dos grupos: basadas en agua y contenedoras de agua.

2.3.2.1.1.1 Contenedoras de agua.

- **Aspha-Min y Advera.**

Hoy en día se encuentran disponibles dos tipos de aditivos contenedores de agua, el Aspha-Min y el Advera. Estas tecnologías funcionan de manera similar. Usan zeolita sintética finamente pulverizada que ha sido hidro-térmicamente cristalizada. Contiene alrededor de 21% de agua cristalizada que es liberada al incrementar la temperatura por encima de los 85°C.

Cuando el aditivo se agrega a la mezcla al mismo tiempo que el ligante, el agua es liberada como una neblina fina, lo que provoca el espumado del asfalto. La viscosidad del asfalto a altas temperaturas se reduce y se hace posible la reducción de la temperatura de mezclado del asfalto y los agregados. El uso de estos materiales pretende que no se modifique el grado de desempeño del asfalto.

2.3.2.1.1.2 Basados en agua.

Las tecnologías basadas en agua utilizan un proceso de espumado que es creado por medio de la inyección de agua helada en el asfalto caliente usando equipo y tecnología especial. El agua rápidamente se evapora, produciendo el efecto de espumado que colapsa lentamente.

- **Aquablack.**

Los procesos de esta tecnología utilizan un tipo de inyector para introducir el agua en la corriente de asfalto. El flujo es controlado desde una cabina por computadora para ajustar la tasa de espumado.

- **WAM Foam.**

Esta tecnología difiere un poco de la mayoría de tecnologías de inyección. Utiliza dos sistemas distintos de introducción de asfalto. Con uno se introduce asfalto suave y con otro asfalto espumado duro en diferentes tiempos en el proceso de mezclado. Se calienta el agregado a aproximadamente 130°C y se agrega el asfalto suave, que representa de 20 a 30 por ciento de contenido total de asfalto de la mezcla. Posteriormente el asfalto duro se espuma por medio de la adición de agua fría, y se agrega a la mezcla. La introducción inicial de asfalto suave, pretende satisfacer la necesidad de absorción del agregado grueso, cosa que no ocurriría con el asfalto duro bajas temperaturas.

2.3.2.1.2 Aditivos orgánicos o ceras.

- **Sasobit.**

Es una cera en forma de polvo blanco granulado. Se define como un hidrocarbonato alipático de cadena larga en forma de cera, de alta viscosidad a bajas temperaturas y baja viscosidad a altas temperaturas. Posee una temperatura de fusión entre los 85 y 115°C. A una temperatura de servicio del pavimento, el Sasobit forma una estructura de enrejado que proporciona estabilidad a la mezcla.

- **Asphaltan B.**

El Asphaltan B es una cera de Montan refinada, que ha sido mezclada con amida de ácidos grasos. Su punto de fusión se encuentra justo por debajo de los 100°C. Esta cera mejora la estabilidad del asfalto a bajas temperaturas, al igual que el Sasobit pero en menor grado. El distribuidor reporta un incremento en la facilidad de compactado, resistencia ante el ahuellamiento y resistencia ante la humedad en las mezclas asfálticas.

2.3.2.1.3 Aditivos químicos.

Entre los aditivos químicos disponibles, se encuentran los siguientes:

- **Evotherm ET.**

El Evotherm ET (“Emulsión Technology”, tecnología de emulsión) usa un paquete químico de agentes emulsificadores y agentes mejoradores de adherencia para mejorar el recubrimiento del agregado, la trabajabilidad de la mezcla y su facilidad de compactación. El Evotherm conforma un 30% de la masa del asfalto y disminuye la viscosidad del ligante a bajas temperaturas de mezclado, lo cual conduce a un recubrimiento total de los agregados a la misma temperatura. Es entregado en forma de emulsión asfáltica.

Se encuentran disponibles diferentes paquetes químicos para diferentes tipos de agregados (con diferentes agentes de adhesión). La mayoría del agua en la emulsión se evapora cuando la emulsión es mezclada con los agregados. Este proceso reduce la temperatura de producción en un 30%.

- **Evotherm DAT.**

El Evotherm DAT (“Dispersed Asphalt Technology”, tecnología de asfalto dispersado) es el mismo paquete químico diluido con una pequeña cantidad de agua que es inyectada en la línea de asfalto justo antes de que este entre a la cámara de mezclado. Disminuye la viscosidad del ligante a bajas temperaturas, lo que produce un recubrimiento total de los agregados. Este proceso disminuye la temperatura de producción en un 30%.

- **Evotherm 3G.**

El Evotherm 3G es una forma del Evotherm libre de agua. El procedimiento de producción con este aditivo permite su adición con el asfalto en una terminal de mezclado separada de la planta. Esto conlleva la posibilidad de ser distribuido a las plantas de producción de la misma manera que se distribuye el asfalto corriente. Debido a su conveniente proceso, ha reemplazado al Evotherm ET.

2.3.3 PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS TIBIAS.

Las propiedades que poseen las mezclas tibias son las mismas que se describen en el apartado 2.2.2.4, que son las que posee toda mezcla asfáltica. Sin embargo a continuación se muestran ciertas particularidades que presentan las propiedades de las mezclas asfálticas tibias.

2.3.3.1 PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS TIBIAS.²¹

2.3.3.1.1 Compactado.

Estudios indican que la mezcla asfáltica tibia posee mejor potencial de compactación, pues se necesita un menor número de pasadas con el rodillo compactador para obtener una densidad especificada. Lo anterior se atribuye a que la mezcla tibia posee menor viscosidad y su cemento asfáltico tiene un menor grado de envejecimiento. El envejecimiento provoca que el cemento asfáltico de la mezcla se rigidice, en consecuencia la mezcla será también más rígida y se necesitarán más pasadas de rodillo para lograr una densidad deseada. Todo ello permite un ahorro en el tiempo de compactación.

2.3.3.1.2 Tiempo de apertura al tráfico.

La reducción de las temperaturas de producción y de compactación puede dar lugar a que la mezcla alcance la rigidez necesaria para soportar el tráfico en un periodo más corto de tiempo. Esto puede ser un factor importante para la rapidez de apertura al tráfico después de la colocación de la mezcla en el sitio de construcción, evitando que la carpeta sufra problemas de ahuellamiento o grietas longitudinales después de la construcción.

El tiempo de apertura al tráfico también puede ser importante para efectuar pruebas en laboratorio a la mezcla, pues se debería esperar ese mismo tiempo para efectuar

²¹ La descripción de aditivos que sigue, se basa en el documento “Warm Mix Asphalt Investigation” (Zaumanis. M.,2010) Dinamarca.

cualquier ensayo de laboratorio. Si bien no existen requisitos para el tiempo de apertura al tráfico de una mezcla asfáltica caliente convencional²², la mayoría de las investigaciones de las mezclas asfálticas tibias aconsejan al menos 2 horas de espera para realizar cualquier prueba.

2.3.3.1.3 Sensibilidad a la humedad.

Debido a las bajas temperaturas de mezclado, existe el temor que el contenido de agua presente en el agregado no se evapore. El agua retenida podría traducirse en una alta susceptibilidad de la mezcla a ser dañada por la humedad. Esto es mucho más crítico cuando la tecnología de mezcla tibia involucra el espumado como método de reducción de la viscosidad del asfalto, debido a la humedad residual resultante del espumado microscópico de ciertas tecnologías de mezcla tibia.

La humedad presente en el agregado, puede provocar que el asfalto no se adhiera adecuadamente al agregado. Al ser sometido a cargas, puede esperarse entonces una rápida falla por parte del ligante. La prueba AASHTO T283 permite establecer la influencia de la humedad presente en el agregado en la resistencia ante esfuerzos de tensión en la mezcla asfáltica. Esta prueba permite establecer el TSR (“Tensile Strength Ratio”, grado de resistencia a la tensión).

De acuerdo con el método Superpave, el TSR mínimo esperado es de 0.8. A causa de la humedad, se espera que este valor tienda a disminuir. En el apartado 2.5.6 de esta investigación, se muestran resultados de pruebas hechas en Estados Unidos por el NCHRP para probar esta posible falla en las mezclas tibias.

2.3.3.1.4 Rigidez de la mezcla.

La rigidez de la mezcla asfáltica depende tanto de las propiedades del asfalto como del esqueleto mineral, en donde el asfalto es el responsable de las propiedades visco-

²² En nuestro país se espera que la carpeta de rodadura hecha de mezcla caliente alcance la temperatura ambiente para su apertura al tráfico.

elásticas, mientras que el esqueleto mineral es el responsable de las propiedades elásticas y plásticas. La proporción de cada uno depende del tiempo de carga y la temperatura a la que será sometida la mezcla una vez abierta la carpeta de rodadura al tráfico.

Uno de los factores principales que influyen en la rigidez definitiva de una mezcla es la rigidez del asfalto, este es un problema importante en relación con las diferencias entre las mezclas asfálticas calientes y las mezclas asfálticas tibias, ya que, la rigidez del asfalto en las mezclas asfálticas tibias es afectada por las diferencias de temperatura de producción, por el proceso de la mezcla y por los cambios en el diseño de la mezcla.

Hay varios métodos de predicción para la rigidez del asfalto que podrían ser utilizados para determinar las diferencias entre las mezclas asfálticas calientes y las mezclas asfálticas tibias, y ayudar para el diseño de la mezcla o para la elección del asfalto correcto.

2.3.3.1.5 Deformaciones permanentes.

El comportamiento de las deformaciones permanentes que sufre el asfalto se produce a las altas temperaturas o periodos largos de carga y es mucho más complejo de lo que se encuentra en la zona elástica de la mezcla.

La rigidez en esta fase está en función de los vacíos en el agregado mineral, el tipo de agregado, la forma, la clasificación y la textura, etc. Además en función de la compactación.

Existe una preocupación general en el rendimiento de las mezclas asfálticas tibias que está conectado con la disminución de temperatura, con esto puede ocurrir un secado incompleto de los agregados y un recubrimiento insuficiente del asfalto.

Un aspecto más que puede influir en la disminución de la resistencia a las deformaciones permanentes es la disminución del endurecimiento del asfalto debido a la menor temperatura producción y de compactación.

2.4 COMPARACIÓN TEÓRICA DE LAS PROPIEDADES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CALIENTES Y MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS.

Este apartado se basa en la investigación hecha en el año 2011 hecha por la NCHRP (National Cooperative Highway Research Program) en Estados Unidos, titulada: “Warm Mix Design Practices” (Proyecto 09-43, Reporte 691). El propósito de esta investigación, fue establecer un método estándar para el diseño de mezclas asfálticas tibias. Para ese entonces, se aplicaban más de 22 técnicas distintas para la elaboración de mezclas asfálticas tibias, por lo que se aplicaban diversos métodos de diseño.

A continuación, se muestran diferentes aspectos abarcados en la investigación, donde se contrastan resultados de pruebas hechas a una mezcla asfáltica caliente denominada mezcla “control”, y a mezclas asfálticas tibias hechas con los tres tipos de aditivo: químico, zeolitas sintéticas para asfalto espumado y ceras o aditivos orgánicos.

A través de estos seis aspectos, se puede establecer las características en las que aventaja un tipo de mezcla a otra. Principalmente, se puede observar el comportamiento de las mezclas tibias en comparación con el de las mezclas calientes.

Aunque el objetivo de este reporte fue verificar si es adecuado diseñar mezclas asfálticas tibias de la misma manera que se diseñan las mezclas asfálticas calientes, los resultados de los ensayos de laboratorio pueden ser aprovechados para comparar teóricamente una mezcla con la otra y descubrir debilidades y ventajas de una en comparación de la otra.

2.4.1 PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS.

Para una combinación específica de agregados y asfalto, se determinó que la diferencia de absorción del asfalto entre las mezclas calientes y las mezclas tibias es en promedio de 1.0% o menor. La figura 2-9 muestra esta diferencia en porcentaje de absorción.

Esta diferencia de 1.0% resultó en el incremento de aproximadamente 0.2% del VMA (vacíos en el agregado mineral) de diseño para mezclas tibias como se muestra en la figura 2-10.

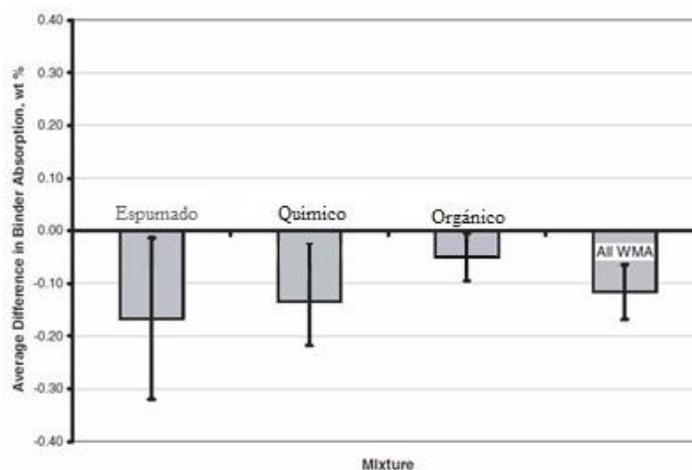


Figura 2-9: Diferencia promedio de absorción de asfalto (% en mezcla tibia – % en mezcla caliente).

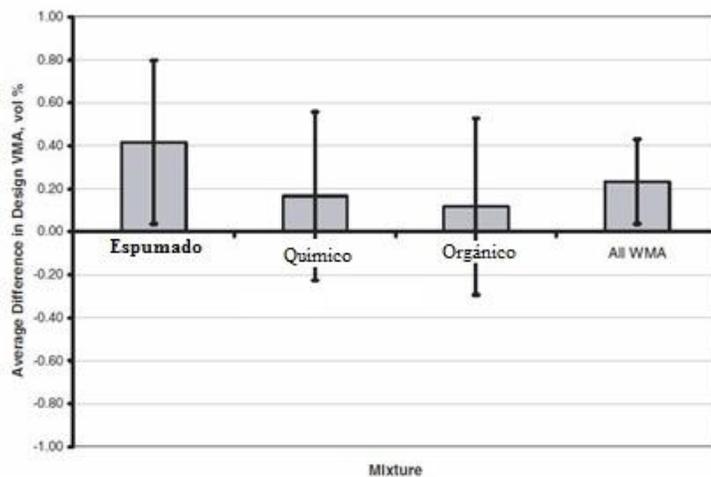


Figura 2-10: Diferencia promedio en VMA de diseño (% en mezcla tibia – % en mezcla caliente).

Sin embargo esto tuvo muy poco efecto en el contenido de asfalto de diseño y el volumen efectivo de asfalto (“VBE”, effective volumen of binder) para las mezclas. Este efecto se muestra en las figuras 2-11 y figuras 2-12.

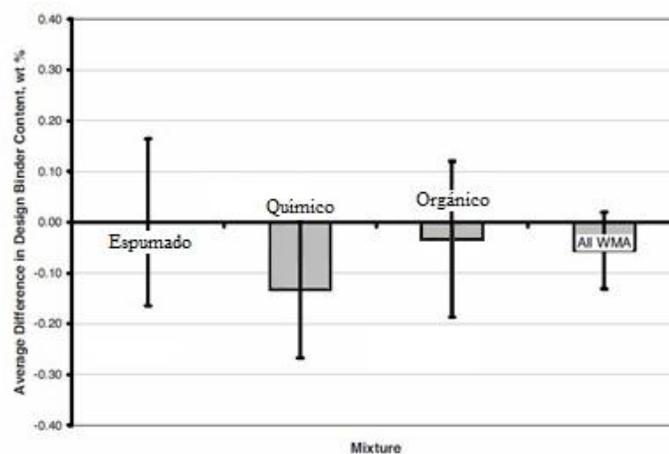


Figura 2-11: Diferencia promedio entre el contenido de asfalto de diseño (% en mezcla tibia – % en mezcla caliente).

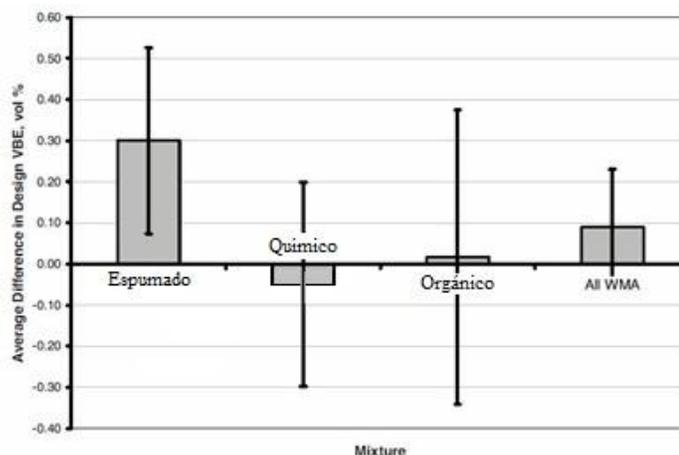


Figura 2-12: Diferencia promedio en el volumen efectivo de ligante “VBE” (% en mezcla tibia – % en mezcla caliente).

Es notable en la figura 2-12, el incremento del volumen efectivo de ligante en la mezcla creada con asfalto espumado.

Se puede concluir por lo anterior, que las propiedades volumétricas de las mezclas tibias y las mezclas calientes son muy similares. Sin embargo, en lo referente a compactación, sensibilidad a la humedad, y resistencia al ahuellamiento, puede existir una diferencia significativa, por lo que los resultados de estas pruebas se tratan en los apartados 2.5.5, 2.5.6 y 2.5.7 de esta investigación.

2.4.2 SELECCIÓN DEL GRADO DE ASFALTO.

Debido al uso de bajas temperaturas de producción de mezclas tibias, se produce un menor envejecimiento del asfalto, en comparación con las mezclas calientes. Esto puede traducirse en un asfalto menos rígido que el utilizado en la mezcla caliente, provocando que la mezcla tenga una menor resistencia frente al ahuellamiento, pero mejorando sus propiedades contra la fatiga y la ruptura por bajas temperaturas.

Esto hace dudar del grado de asfalto que deba estar presente en la mezcla. Cualquier tipo de mezcla, ya sea tibia o caliente, al tener un contenido de asfalto excesivo, poseerá menor resistencia ante el ahuellamiento, pues la falta de contacto entre los agregados pétreos provoca a su vez, un exceso de flexibilidad en la mezcla. Fácilmente, podría concluirse entonces, que una mezcla tibia debe poseer menor contenido de asfalto que la mezcla caliente, pues la falta de envejecimiento del asfalto podría provocar que el asfalto sea demasiado flexible, incluso cuando exista un buen contacto de los agregados.

El reporte 691 aclara ante esta situación, que debería utilizarse el mismo contenido de asfalto para ambos tipos de mezcla, la tibia y la caliente. Se evaluaron tres proyectos distintos donde se elaboró mezcla asfáltica caliente y mezclas asfálticas tibias de diversos aditivos. Los proyectos en cuestión están ubicados en la carretera interestatal Colorado I-70, otro en el Yellowstone National Park y el último en la New York Route 11.

Utilizando la prueba AASHTO PP61 para generar las curvas maestras de módulo de elasticidad, y una hoja de cálculo especializada, se produjeron proyecciones sobre los ahuellamientos que sufrirían a diferentes cargas los diferentes proyectos. Se ha tomado en cuenta el proyecto de Colorado debido a la presencia cuatro tipos de mezcla distintas, la caliente (denominada mezcla de control), y tres mezclas con distintos aditivos para mezcla asfáltica tibia. La figura 2-13 muestra los resultados obtenidos de esta proyección.

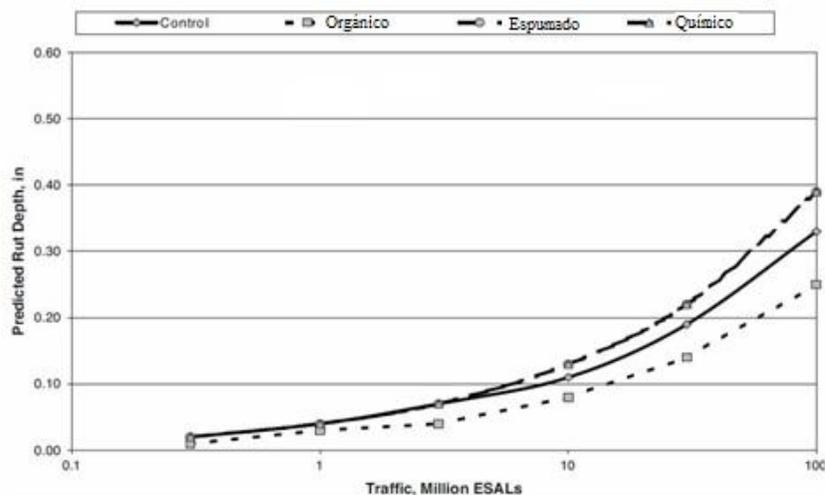


Figura 2-13: Ahuellamiento predicho para el proyecto sobre la Colorado I-70.

Puede notarse que la diferencia máxima entre los ahuellamientos estimados, es de un 25%. Se concluye por lo tanto que el mismo grado de asfalto debería de ser utilizado tanto para una mezcla asfáltica tibia como para una mezcla asfáltica caliente en una misma ubicación.

2.4.3 RAP EN MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS.

La preocupación principal en cuanto al uso de RAP con mezclas tibias, es si el asfalto presente en el RAP se mezclará efectivamente con el asfalto de la mezcla tibia a causa de las bajas temperaturas de mezclado. En el proyecto 09-43 de la NCHRP se efectuaron dos tipos de ensayos de laboratorio. En el primero se evaluó por medio de un microscopio atómico, la interfaz entre asfalto reciclado y el asfalto nuevo de la mezcla tibia. En el segundo se midieron los módulos dinámicos para la mezcla de los asfaltos.

Los resultados de los experimentos realizados, indican que el ligante nuevo proveniente de la mezcla tibia y el ligante envejecido proveniente del RAP se mezclan en una manera similar a la manera en que se mezcla el RAP con una mezcla caliente. El factor clave para el mezclado efectivo es el tiempo. Para las mezclas tibias, se consideran dos

etapas de tiempo de mezclado, la inicial consiste en el mezclado en el tambor, la final en el tiempo que permanece almacenada la mezcla, ya sea en la planta esperando a ser transportada, o en el camión que la transporta.

En la prueba, se utilizó un asfalto proveniente de RAP que poseía una alta rigidez, su valor de viscosidad ascendía a los 22,000P (220 Pa*s) y se sostuvo una temperatura de compactación de 105°C. La mezcla se sometió a un condicionamiento máximo de 2h, para simular el envejecimiento que sufre el asfalto en una mezcla tibia.

El estudio concluye que el RAP y los nuevos ligantes si se mezclan en el procedimiento de producción de mezclas tibias, siempre que se mantengan las temperaturas de mezclado por suficiente tiempo. Sin embargo se recomienda, que para garantizar el buen mezclado del RAP y el asfalto nuevo, el grado de temperatura de ablandamiento a los 7 días (haciendo uso de la clasificación por grado de desempeño del asfalto) del RAP sea menor que el del asfalto nuevo que se utilizará para la mezcla tibia.

2.4.4 RECUBRIMIENTO, TRABAJABILIDAD Y COMPACTACIÓN.

2.4.4.1 TRABAJABILIDAD Y COMPACTABILIDAD.

Se debe entender como trabajabilidad a la capacidad de la mezcla asfáltica, a ser colocada y consolidada apropiadamente en el lugar de emplazamiento.

Para determinar la capacidad que poseen los diferentes tipos de mezclas asfálticas, el NCHRP, realizó una variedad de pruebas de laboratorios con diferentes dispositivos para medir las características de trabajabilidad, recubrimiento y la facilidad de compactación. El procedimiento preliminar propuso evaluar todas las características directamente, durante la evaluación de las mezclas de prueba y durante la selección del contenido del asfalto óptimo.

Las pruebas de laboratorio, se realizaron con la ayuda de distintos dispositivos que miden propiedades de trabajabilidad de mezcla, que van desde una simple cubeta unida a un taladro de mano hasta un compactador giratorio con medición de corte.

Los primeros resultados obtenidos de la evaluación realizada a las mezclas asfálticas en estudio, demostraron que si es posible medir o determinar diferencias en las propiedades de trabajabilidad y compactabilidad de las mezclas asfálticas tibias (WMA) en comparación a la mezcla asfáltica caliente (HMA).

Los resultados de la prueba de trabajabilidad se muestran en la figura 2-14. Al comparar las mezclas control a 300 °F (temperatura típica de mezclado para mezcla caliente) con las mezclas hechas con aditivo orgánico y asfalto espumado a 250°F (temperatura de mezclado para mezcla tibia), se concluye que las mezclas calientes tienen mayor trabajabilidad que las mezclas tibias, pues es necesario aproximadamente 30 in-lb de torque necesarias para obtener un mezclado adecuado, lo que prueba una mayor rigidez de la mezcla tibia al momento de trabajar con ella.

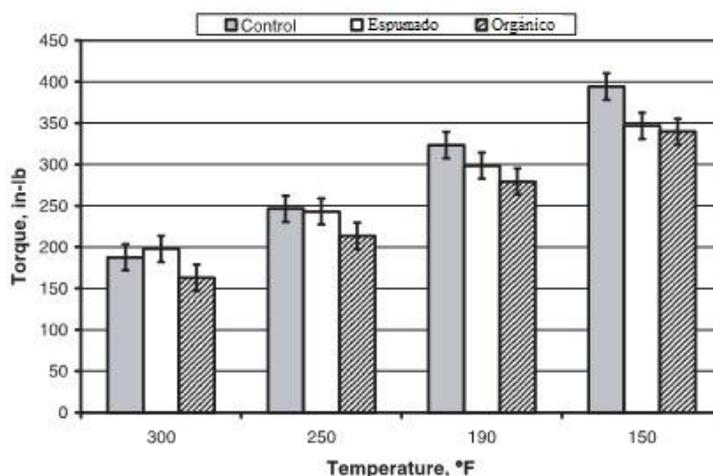


Figura 2-14: Efecto de la temperatura y los aditivos para mezclas asfálticas tibias, en la medición de la torsión en el dispositivo de trabajabilidad UMass.

La compactación pueden ser evaluada utilizando el compactador giratorio para determinar los giros para un 8% de vacíos de aire, a la temperatura de compactación de campo establecida para cada muestra y una segunda temperatura que es aproximadamente 30 ° C (55 ° F) menor que la temperatura de compactación de campo establecida. Esto permitirá una evaluación de la sensibilidad a la temperatura de la trabajabilidad y compactación de la mezcla.

Es importante destacar que las características de trabajabilidad y compactibilidad pueden ser obtenidas utilizando un compactador giratorio, para determinar los giros a una densidad relativa de 92% en campo a temperatura de compactación. Esto permitirá una evaluación del efecto de la temperatura sobre la trabajabilidad y capacidad de compactación de la mezcla.

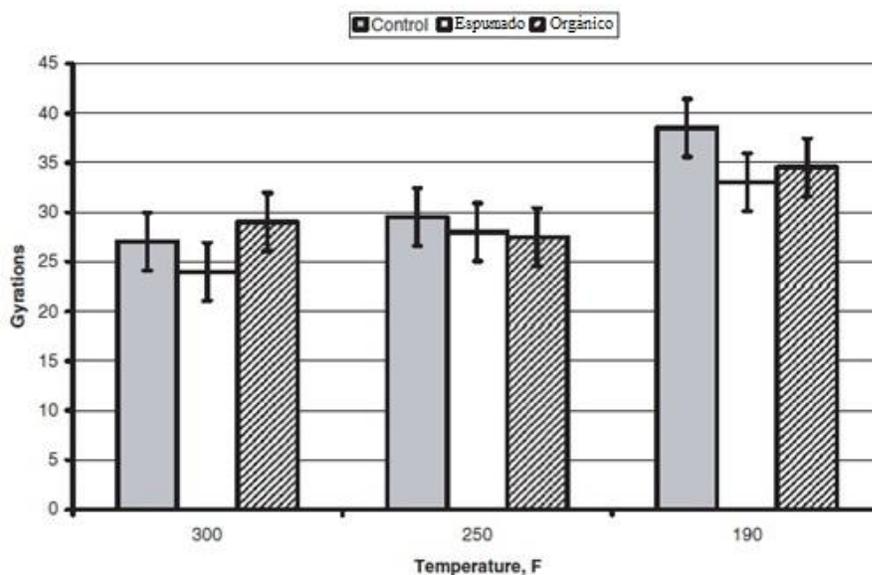


Figura 2-15: Efecto de la temperatura y la mezcla asfáltica tibia con aditivo en los giros para alcanzar el 92 por ciento de la densidad relativa.

La figura 2-15 muestra el efecto de la temperatura de mezclado en la compactibilidad de la muestra. Para la temperatura típica de mezclado de la mezcla tibia (250°F), se puede

apreciar que la diferencia entre los giros necesarios para alcanzar un 92% de la densidad relativa, es aproximadamente de 3 giros (se ha de comparar los gráficos de la temperatura de 300°F vrs 250°F). Por ello se concluye que las mezclas asfálticas tibias poseen un grado de compatibilidad muy similar al de las mezclas asfálticas calientes.

2.4.4.2 RECUBRIMIENTO.

Se deberá entender como recubrimiento a la acción y efecto de revestir, cubrir, aglomerar o envolver, de ligante asfáltico a todo agregado pétreo.

El revestimiento fue de un 100% para todas las mezclas que se mezclaron usando mezclador con batidor de alambre. El porcentaje de recubrimiento fue menor para las mezclas que se elaboraron con diferentes dispositivos de mezclado, los cuales no permitían una homogenización adecuada entre los cuales están los mezcladores de cubos, aparentemente es menos eficiente y requiere de tiempos más largos de mezcla para recubrimiento total de las partículas.

Es así como queda evidenciado por medio de las pruebas realizadas por el NCHRP, que el recubrimiento exitoso de los agregados dependerá más de los instrumentos de mezclado que de las propiedades del asfalto utilizado.

2.4.5 SENSIBILIDAD A LA HUMEDAD.

La sensibilidad a la humedad es una de las principales preocupaciones cuando se habla de mezclas asfálticas tibias. Debido a las bajas temperaturas de mezclado y compactación puede suceder que el agregado conserve un porcentaje de humedad, lo que provocaría un problema de adherencia entre el asfalto y el agregado pétreo.

La sensibilidad a la humedad fue evaluada en cada una de los modelos de mezclas asfálticas tibias y mezcla asfáltica caliente (espécimen de control), encontrando que el coeficiente de sensibilidad a la humedad de las mezclas asfálticas tibias es diferente a las

mezclas asfálticas calientes, aun cuando estas utilicen los mismos agregados pétreos y mismo el cemento asfáltico.

La diferencia en los procesos de elaboración de mezclas asfálticas tibias, radica en aquellas cuyo diseño contempla el uso de aditivo anti-strip, pues este aditivo conduce a un mejoramiento en la resistencia a la tracción. Para aquellas mezclas asfálticas que incluyen en su diseño aditivos anti-strip, el estudio reveló que la resistencia a la tracción se mantuvo igual o mejoró en el 67% de los especímenes de ensayo, mientras que para todas aquellas mezclas asfálticas que no incluían aditivos anti-strip, la relación de resistencia a la tracción no mejoró y en algunos casos disminuyó en un 79% de todas las mezclas en estudio.

2.4.6 RESISTENCIA AL AHUELLAMIENTO.

Para hacer una evaluación de la resistencia al ahuellamiento en las mezclas asfálticas tibias, se emplearon ensayos para determinar el número de flujo de la mezcla. El número de flujo es un parámetro que indica la deformación por esfuerzo cortante de la capa de rodadura, entre más alto sea el número de flujo más resistente será la mezcla. Los especímenes de mezcla tibia se sometieron a un condicionamiento de 2h a 135°C, mientras que los de mezcla caliente a uno de 4h a 135°C²³.

La resistencia al ahuellamiento en el diseño de la mezcla preliminar se evaluó mediante el número de flujo, utilizando la prueba de desempeño de la mezcla asfáltica (AMPT²⁴). Debido a que el número de flujo es insignificante y muy diferente para los distintos niveles de giro, la diferencia del análisis estadístico utilizó diferencias normalizadas definidas de la siguiente manera:

²³ Se les considera como período de acondicionamiento acelerado, por darle al asfalto el mismo grado de envejecimiento que alcanza durante todo el tiempo de fabricación, transporte, colocación y compactación de la mezcla.

²⁴ A.M.P.T “Asphalt Mixture Performance Test”.

$$D = \left(\frac{Nf_{WMA} - Nf_{HMA}}{Nf_{HMA}} \right) * 100$$

Donde:

- ND: Diferencia Normalizada
- Nfwma= Número de Flujo de las mezclas asfálticas tibias
- Nfhma= Número de Flujo de las mezclas asfálticas calientes

Para el análisis estadístico del número de flujo de las mezclas asfálticas tibias en comparación al de las mezclas asfálticas calientes, se puede mencionar que el número de flujo de las tibias era insignificante con respecto al de las calientes.

La figura 2-16 muestra el efecto del proceso de las mezclas asfálticas tibias con respecto al número de flujo. Se puede apreciar que la diferencia promedio fue aproximadamente de un 40% y fue muy similar para todos los procesos de mezcla asfáltica tibia, procesos con aditivos como el Advera (Zeolita sintética), Evotherm (Aditivo Químico tensoactivo) y Sasobit (Cera orgánica).

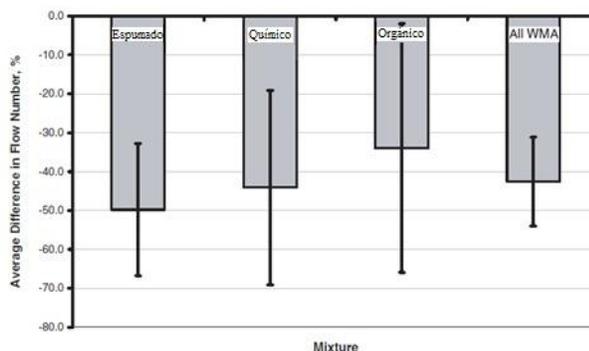


Figura 2-16: Efecto del proceso de las Mezclas Asfálticas Tibias con relación al Número de Flujo.

A partir de lo anterior se puede concluir, que las mezclas tibias poseen una resistencia al ahuellamiento menor que las mezclas calientes, pues gracias al asfalto a su menos envejecido, el número de flujo es generalmente menor que el de las mezclas calientes.

**CAPITULO III:
PRUEBAS DE CAMPO
Y LABORATORIO.**

3.1 PARÁMETROS A DETERMINAR.

A continuación se describen brevemente los parámetros que han de determinarse por medio de pruebas de campo y laboratorio. Los parámetros a determinar son de uso común en nuestro país, pues son los utilizados para el diseño de mezclas de acuerdo con el método vigente en El Salvador. Estos parámetros serán utilizados en los capítulos V y VI para establecer el desempeño de las mezclas asfálticas tibias y calientes.

Para realizar una evaluación más completa del desempeño de la carpeta de rodadura, se evaluarán parámetros de carácter superficial y parámetros de carácter interno que definen las propiedades físicas de la carpeta a determinada edad del pavimento.

3.1.1 PARÁMETROS SUPERFICIALES.

Por medio de estos parámetros se establecerá la calidad superficial de las carpetas de rodadura en estudio. Se obtendrán por medio de ensayos de campo el índice de rugosidad internacional (IRI) y el índice de condición de pavimento (PCI).

3.1.2 PARÁMETROS INTERNOS.

Por medio de estos parámetros se establecerán las propiedades internas de las carpetas de rodadura. Se obtendrá por medio de los ensayos de laboratorio los valores de la gravedad específica bulk, la gravedad específica teórica máxima, el porcentaje de vacíos en la mezcla compactada, la estabilidad y flujo Marshall de la carpeta de rodadura y su resistencia a la tensión indirecta.

3.2 ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓN.

En este apartado se define la logística a seguir para la etapa de investigación experimental de esta investigación. El procedimiento se ha dividido en tres etapas, como se muestra a continuación:

- ETAPA I: *Evaluación superficial de los tramos en campo.*
- ETAPA II: *Obtención y elaboración de especímenes de campo y laboratorio.*
- ETAPA III: *Ensayos de laboratorio a especímenes de mezcla asfáltica.*

Dentro de estas etapas se evaluarán experimentalmente los tramos de mezcla asfáltica tibia y caliente seleccionados como aptos para la evaluación de desempeño.

3.2.1 ETAPA I: EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE LOS TRAMOS EN CAMPO.

Para poder determinar la importancia del daño que sufre la carpeta de rodadura del pavimento flexible, es necesario conocer cuál es la clase de deterioro, la severidad y la cantidad del mismo.

Estos datos antes mencionados se pueden obtener mediante la aplicación de dos ensayos de campo que se realizarán en esta investigación, para los cuales se mencionará una breve descripción de cómo se llevarán a cabo y cuáles son los equipos necesarios para su ejecución.

Los ensayos de campos para la evaluación superficial del pavimento flexible a describir son el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y el Índice de Condición del Pavimento (PCI), de los cuales se obtendrán valores con los que se determinará qué nivel de daño han tenido las dos carpetas de rodadura construidas, después de un periodo de tiempo establecido.

3.2.1.1 Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

El Índice de Rugosidad Internacional surge con la necesidad de establecer un valor que permita hacer una evaluación de las deformaciones verticales de una carretera, que afectan la dinámica de los vehículos que transitan sobre él. Con este índice se pretende establecer criterios de calidad y comportamiento de los pavimentos que indicarán las condiciones actuales y futuras del estado superficial.

EL procedimiento de cálculo para determinar el valor del IRI en ambos tramos de carretera, tanto de mezcla asfáltica caliente como de mezcla asfáltica tibia, se rige por la norma AASHTO PP 37. Sin embargo los métodos para la obtención de datos son muy variados, por ello se dividen en dos grandes grupos: métodos estáticos y métodos dinámicos. Para esta investigación se hará uso de un método dinámico.

Dentro de los métodos dinámicos existe una amplia variedad de tecnologías disponibles, unas más precisas que otras. Se hará uso de un perfilómetro dinámico inercial, modelo SSI-COX CS8800 PROFILING SYSTEM, que proporciona un resultado de calidad clase 1 (según la clasificación del Banco Mundial). La norma AASHTO PP50 establece los requisitos mínimos que debe cumplir un perfilómetro inercial para que los resultados de la medición tengan validez. El procedimiento a seguir para medir el perfil longitudinal con un perfilómetro inercial se basa en la norma ASTM E 950, el cual se detalla en el apartado 3.4.1.1 de esta investigación.

Este equipo determina de manera automática el valor del IRI, el cual se expresa en una de las siguientes unidades: mm/m, m/km o in/mi. El rango de valores de la escala del IRI va de 0 a 12 m/Km, donde 0 es una superficie perfectamente uniforme y 12 un camino intransitable.

3.2.1.2 Índice de Condición del Pavimento (PCI).

Para poder conocer el Índice de Condición del Pavimento para los dos tramos de carretera a evaluar, se seguirá el procedimiento establecido en el “Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras” y en el documento titulado “Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras”, el cual está descrito en el apartado 3.4.1.2 de esta investigación.

El primer paso a seguir en esta evaluación superficial, es la inspección visual en campo de los diferentes tipos de daños que se pueden llegar a presentar en ambos tramos.

Luego de esto, se observa el estado del daño y su nivel de severidad para ver que tan afectado se encuentra el pavimento, registrando estos datos en un formato específico.

Es importante mencionar que un pavimento flexible puede presentar 4 categorías distintas de daños: fisuras, deformaciones, pérdida de capas estructurales y daños superficiales.

Una vez obtenida la recolección de datos se procede a calcular el PCI, el cual es un índice numérico que varía entre valores de 0 a 100, donde 0 es el valor para un pavimento en muy mal estado y 100 para un pavimento en perfecto estado.

3.2.2 ETAPA II: OBTENCIÓN Y ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES DE CAMPO Y LABORATORIO.

Los especímenes obtenidos en campo serán utilizados para establecer las propiedades envejecidas de las carpetas asfálticas, que han estado en funcionamiento durante aproximadamente dos años. Para la obtención de las propiedades originales de las carpetas asfálticas (es decir al momento de su apertura al tráfico) se elaborarán especímenes nuevos en laboratorio, utilizando diseños que estén de acuerdo a la mezcla colocada sobre el tramo de mezcla asfáltica tibia y el tramo de mezcla asfáltica caliente.

3.2.2.1 OBTENCIÓN DE ESPECÍMENES DE CAMPO.

Una vez finalizada la evaluación en campo de la calidad superficial de los tramos seleccionados, se procederá a la obtención de los especímenes para las respectivas pruebas de laboratorio. Los especímenes serán núcleos de carpeta de rodadura extraídos de los tramos construidos. El procedimiento a seguir se basa en la norma ASTM D 5361-14 y se detalla en el apartado 3.4.1.3 de este trabajo de investigación.

Las normas no establecen una distancia de separación para los muestreos. Sin embargo se ha realizado un sondeo con profesionales de experiencia en vías terrestres, para establecer una distribución representativa de acuerdo a los intereses de la investigación.

Para el tramo ubicado en la carretera CA-08W Ateos, La Libertad se dividirá el tramo en 4 secciones, las cuales han sido identificadas por la diferencia en la temperatura de compactación, y se extraerán 3 especímenes de cada una de estas 4 secciones. Para el tramo ubicado sobre el Boulevard San Bartolo se efectuarán 9 extracciones distribuidas en 3 puntos a lo largo de todo el tramo a evaluar (Dos puntos a los extremos y uno al centro del tramo).

La figura 3-1 muestra de manera esquemática la distribución de puntos de extracción de núcleos en el tramo de la carretera CA-08W, mientras que la figura 3-2 muestra las extracciones en el tramo del Boulevard San Bartolo.

Cada núcleo será identificado colocando inicialmente una letra “N” para indicar que se trata de un núcleo de carpeta asfáltica. Luego se colocará una letra “T” o “C” para indicar el tipo de mezcla del que está hecho, siendo “T” para la mezcla asfáltica tibia y “C” para la mezcla asfáltica caliente. Dependiendo del tramo del que provenga el espécimen se continuará con la identificación del mismo de una de las siguientes maneras:

- Para los especímenes de mezcla asfáltica tibia, se colocará a continuación un número 1, 2, 3 ó 4 para indicar la sección del sondeo, y finalmente se le asignará un número entre 1 y 3, para diferenciar los tres núcleos extraídos en esa sección del tramo.
- Para los especímenes de mezcla asfáltica caliente, se colocará un número 1, 2 ó 3 para indicar el punto del sondeo, donde 1 y 3 indicarán el inicio y final del tramo respectivamente, mientras que 2 indica que pertenece al sondeo de la parte central. Finalmente se le asignará un número entre 1 y 3, para diferenciar los tres núcleos extraídos en ese punto del tramo.

El sentido del tráfico marcará el punto de inicio y finalización del tramo de acuerdo a lo establecido en la figura 3-1 y figura 3-2, de manera que el punto de sondeo 1 será el más cercano al inicio del tramo y el punto de sondeo 3 ó 4 el más cercano al punto de

finalización del tramo. Por ejemplo, el “NT32” será el núcleo de mezcla asfáltica tibia #2 extraído en la tercera sección del tramo.

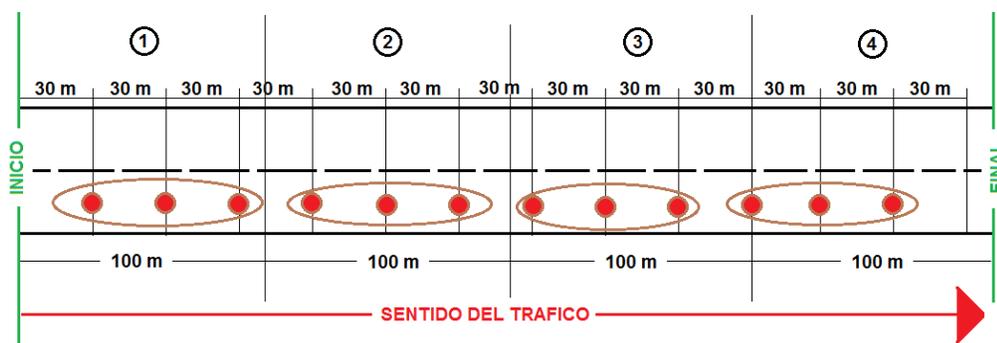


Figura 3-1: Esquema de la distribución de puntos de extracción de núcleos en la carretera CA-08W, Ateos, La Libertad.



Figura 3-2: Esquema de la distribución de puntos de extracción de núcleos en el Boulevard San Bartolo, Ilopango, San Salvador.

3.2.2.2 ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES DE LABORATORIO.

Los especímenes de laboratorio se elaborarán con el objetivo de determinar las propiedades originales de cada tramo de mezcla asfáltica. El procedimiento a seguir para la elaboración de estos especímenes se basa en la norma AASHTO T 245-97 y se detalla en el apartado 3.4.2.4.

Se elaborarán especímenes de mezcla asfáltica caliente y tibia. Para ambos casos, se obtendrán los agregados pétreos de una misma cantera.

3.2.2.2.1 Materiales para la elaboración de especímenes de laboratorio.

- **Agregados pétreos.**

Los agregados pétreos con los que se han de elaborar los especímenes se tomarán de una misma cantera. La caracterización de los materiales pétreos a utilizar no forma parte de los objetivos de este trabajo de investigación. Los tamaños de agregado y el proporcionamiento para la mezcla de estos agregados se tomarán del diseño de las mezclas colocadas en cada uno de los tramos. En el capítulo 4, se encuentran los diseños de estas mezclas y la proporción de los agregados a utilizar.

- **Asfalto.**

El tipo de asfalto y el contenido de asfalto a utilizar para la elaboración de especímenes nuevos, será el establecido en el diseño utilizado para cada una de las mezclas construidas que forman las carpetas de rodadura a evaluarse.

- **Aditivo (únicamente para los especímenes de mezcla asfáltica tibia).**

El aditivo a utilizar para la elaboración de especímenes de mezcla tibia, será un aditivo químico tenso activo. La dosificación de este, se establece en el Capítulo IV apartado 4.3.2.3. Porcentaje de Aditivo Químico Tenso Activo.

3.2.3 ETAPA III: ENSAYOS DE LABORATORIO A ESPECÍMENES OBTENIDOS EN CAMPO Y ELABORADOS EN LABORATORIO.

En este apartado se establecen los ensayos de laboratorio a llevar a cabo para evaluar las propiedades originales y envejecidas de los dos tipos de mezcla en cuestión. Los procedimientos que involucra cada uno de estos ensayos se encuentran en el apartado 3.4 de este capítulo. El orden en que se muestran los ensayos, muestra la logística a seguir en el laboratorio una vez se hayan obtenido todos los especímenes de campo y de laboratorio.

3.2.3.1 ENSAYOS A ESPECÍMENES OBTENIDOS EN CAMPO.

Los ensayos de laboratorio y el orden en que han de efectuarse a los especímenes de campo obtenidos en un tramo de mezcla asfáltica caliente y en un tramo de mezcla asfáltica tibia, se muestran a continuación.

1. Gravedad específica Bulk. Su procedimiento se detalla en el apartado 3.4.2.1
2. Estabilidad y Flujo Marshall. Su procedimiento se detalla en el apartado 3.4.2.4
3. Resistencia a la Tensión Indirecta. Su procedimiento se detalla en el apartado 3.4.2.5
4. Gravedad Específica Teórica Máxima. Su procedimiento se detalla en el apartado 3.4.2.2
5. Porcentaje de vacíos en la mezcla compactada. Su procedimiento se detalla en el apartado 3.4.2.3

El orden de elaboración de los ensayos, obedece al estado en que se necesita la muestra para cada ensayo. Debido a que la mezcla a evaluar se encuentra compactada en forma de núcleos de carpeta, se comienza por la gravedad específica bulk, la estabilidad y flujo Marshall y la resistencia a la tensión indirecta, pues estos ensayos necesitan que la muestra se encuentre compactada en forma de briqueta.

Terminadas las pruebas de carácter destructivo, se procederá a la obtención de la gravedad específica teórica máxima y al porcentaje de vacíos presente en cada una de las mezclas, pues estos ensayos requieren que la muestra se encuentre desintegrada. El porcentaje de vacíos de la mezcla compactada, se obtiene por medio de cálculos, por lo que este valor puede ser obtenido una vez se tenga la gravedad específica bulk y la gravedad específica teórica máxima.

3.2.3.2 ENSAYOS A ESPECÍMENES ELABORADOS EN LABORATORIO

Una vez elaborados los especímenes de laboratorio (de acuerdo con lo establecido en el apartado 3.3.2.2) los ensayos de laboratorio y el orden en que han de efectuarse a los especímenes de laboratorio se muestran a continuación.

1. Gravedad específica Bulk. Su procedimiento se detalla en el apartado 3.4.2.1
2. Gravedad Específica Teórica Máxima. Su procedimiento se detalla en el apartado 3.4.2.2
3. Porcentaje de vacíos en la mezcla compactada. Su procedimiento se detalla en el apartado 3.4.2.3
4. Estabilidad y Flujo Marshall. Su procedimiento se detalla en el apartado 3.4.2.4
5. Resistencia a la Tensión Indirecta. Su procedimiento se detalla en el apartado 3.4.2.5

3.3 ENSAYOS DE CAMPO Y LABORATORIO A ELABORAR.

3.3.1 ENSAYOS DE CAMPO.

3.3.1.1 ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL.

A continuación se muestra la metodología utilizada para la medición del perfil longitudinal en el cual se basará el cálculo para determinar el IRI. Como se mencionó en el apartado 3.3.1.1, se hará uso de un perfilómetro inercial para la determinación del perfil longitudinal de los tramos. La norma ASTM E 950 rige el procedimiento a seguir para esta medición. Sin embargo debido a la variedad de perfilómetros inerciales existentes, la norma establece un lineamiento a seguir donde cualquier tipo de perfilómetro pueda cumplir con los parámetros de calidad necesarios.



Fuente: Propia

Figura 3-3: Perfilómetro inercial SSI-COX CS8800 PROFILING SYSTEM.

Por lo anterior, la metodología a seguir dependerá del tipo de equipo que se utilice y sus características. Los pasos a continuación se aplican para el uso de un perfilómetro inercial, modelo SSI-COX CS8800 PROFILING SYSTEM.²⁵

1. La primera fase de medición consistirá en pasar un equipo mecánico o un equipo manual para barrer y limpiar la superficie del pavimento existente.
2. La segunda fase consistirá en medir el IRI con el perfilógrafo Clase I y se pasará en la huella interna y externa a una distancia de 0.65m a partir de la orilla del pavimento y en cada uno de los carriles por sentido de circulación a una velocidad de operación del equipo no mayor de 4.5 km/h. Las mediciones por carril se harán en el sentido de circulación vehicular.
3. La tercera fase consistirá en el procesamiento de la información, en donde con la ayuda del software de computadora previamente instalado por el fabricante del equipo de medición, se promediaron los resultados de ambas huellas por carril de circulación obtenidos a cada 100 m, cuyos resultados serán tabulados y se presentarán en el formato que se detalla en la tabla.

²⁵ La metodología y el cuadro de presentación de datos han sido proporcionados por la empresa encargada de la medición LETOM S.A de C.V. Esta metodología se basa en las especificaciones del equipo y los parámetros de la norma ASTM E950.

3.3.1.2.1 División del tramo en secciones de análisis.

Existen procedimientos para calcular el número de secciones y la longitud de las mismas en que se ha de dividir el tramo a evaluar, con el objetivo de garantizar la representatividad de la evaluación. Sin embargo, conviene utilizar estos procedimientos cuando la longitud del tramo a evaluar es considerablemente grande. Lejos de evaluar toda la longitud del tramo, se determina la longitud de una unidad de muestreo y el número mínimo de unidades de muestreo a efectuar sobre la vía.

Para este trabajo de investigación, los tramos poseen una longitud de 400 metros por lo que es posible evaluar toda la extensión del tramo. El criterio a utilizar, consiste en dividir ambos tramos en cuatro unidades de muestreo de 100 metros de longitud. La figura 3-4 muestra un esquema de la distribución.

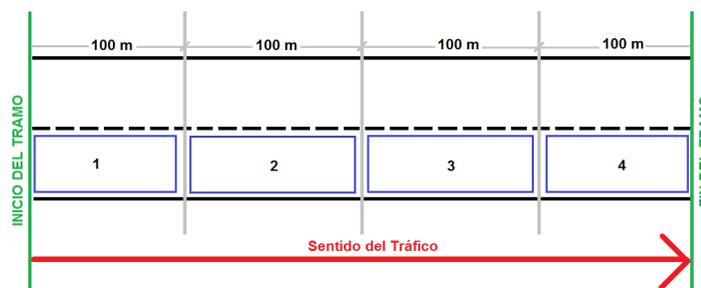


Figura 3-4: Esquema de las unidades de muestreo a analizar

3.3.1.2.2 Evaluación visual de los tipos de daños existentes y estimación del nivel de severidad.

A continuación se muestra un listado de los daños superficiales que pueden llegar a presentarse de acuerdo a las condiciones de carga y de clima de nuestra región. Existen daños debido a cambios extremos de temperatura (hielo y deshielo) que no suceden en nuestra región, por lo que no se consideran en este trabajo de investigación. Por lo anterior los daños a considerar son los existentes en el “MANUAL CENTROAMERICANO DE MANTENIMIENTO DE CARRETERAS” de la Secretaria de Integración Económica Centroamericana (SIECA).

Los daños que presentan los tramos de carretera se evalúan de manera visual en campo y se mide su magnitud en unidades de longitud o superficie. Posteriormente, se establece el grado de severidad que puede ser alto, medio o bajo dependiendo que tan deteriorada se encuentra la carpeta de rodadura.

Para cada tipo de daño se menciona la descripción, las posibles causas, los niveles de severidad y una fotografía descriptiva de cómo se manifiesta el daño.

3.3.1.2.2.1 Tipo de daños que puede sufrir la carpeta de rodadura de un pavimento flexible.

1. Fisura Piel de Cocodrilo

Descripción: Serie de grietas interconectadas, formando pequeños polígonos irregulares de ángulos agudos, generalmente con diámetros promedios de 30 cm, con longitudes variables que pueden cubrir la totalidad de la sección de rodadura.

Medición: Se miden en metros cuadrados de superficie afectada. La mayor dificultad en la medición radica en que dos o hasta tres niveles de severidad pueden existir dentro de una misma área fallada. Si estas porciones pueden ser distinguidas fácilmente, una de otra, se miden y registran separadamente. Si los distintos niveles de severidad no pueden ser divididos fácilmente, la totalidad del área se califica con la mayor severidad observada.



Figura 3-5: Fisura Piel de Cocodrilo

Fuente Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras, SIECA, edición 2010

2. Fisura en bloque

Descripción: Series de grietas interconectadas, formando piezas aproximadamente rectangulares, cubriendo partes separadas de la rodadura.

Medición: Se miden en metros cuadrados de superficie afectada. Normalmente ocurre a un nivel de severidad en una sección del pavimento, pero cuando se observe diferentes niveles de severidad se miden y registran separadamente, en caso que no se puedan diferenciar, la totalidad del área se califica con la mayor severidad observada.



Figura 3-6: Fisura en Bloque

Fuente Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras, SIECA, edición 2010

3. Fisuras en arco

Descripción: Son grietas en forma de media luna (o más precisamente de cuarto creciente) que pueden apuntar en ambas direcciones, derivadas de las fuerzas de tracción de las ruedas sobre el pavimento o de frenado sobre la misma.

Medición: Se miden en metros cuadrados de superficie afectada, calificándolo de acuerdo con el máximo nivel de severidad observado en dicha área. Se totalizan los metros cuadrados afectados en la sección o muestra, separadamente según el nivel de severidad.

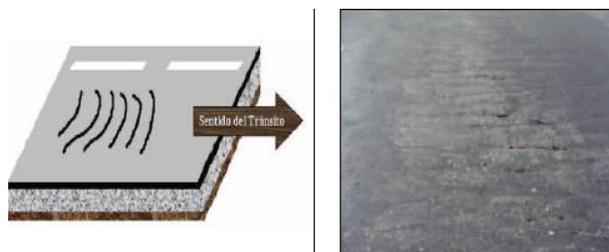


Figura 3-7: Fisuras en Arco

Fuente Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras, SIECA, edición 2010

4. Fisura transversal

Descripción: Serie de fisuras o grietas que se forman en sentido transversal a la rodadura de la carretera, generalmente aisladas y que pueden afectar todo el ancho de la sección de la misma.

Medición: Se miden en metros lineales. La longitud y severidad de cada fisura debe registrarse después de su identificación. Si la fisura no tiene el mismo nivel de severidad en toda su extensión, cada porción evidenciando un diferente nivel de severidad, debe ser registrada separadamente. Se totaliza el número de metros lineales observados en la sección o muestra.



Figura 3-8: Fisura Transversal

Fuente Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras, SIECA, edición 2010

5. Fisura longitudinal

Descripción: Serie de fisuras o grietas que se forman en sentido paralelo a la rodadura de la carretera, pudiendo ir aisladas o en grupos, cuyas longitudes son variables.

Medición: Se miden en metros lineales. La longitud y severidad de cada fisura debe registrarse después de su identificación. Si la fisura no tiene el mismo nivel de severidad en toda su extensión, cada porción que este evidenciando un diferente nivel de severidad, debe ser observada en cada sección o muestra.



Figura 3-9: Fisura Longitudinal

Fuente Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras, SIECA, edición 2010

6. Fisuras por reflexión de juntas

Descripción: Fisuras o grietas que se observan en la superficie de sobrecapas que tienden a reproducir las fallas y juntas que se producen en la capa de abajo.

Medición: Se miden en metros lineales. La longitud y nivel de severidad de cada fisura se registra separadamente; se totalizan los metros lineales registrados para cada nivel de severidad en la sección.

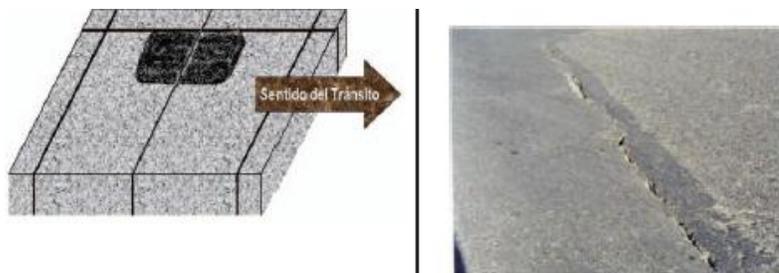


Figura 3-10: Fisura por reflexión de junta

Fuente Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras, SIECA, edición 2010

7. Ahuellamiento

Descripción: Deformación longitudinal continua a lo largo de la rodadura, pudiendo aparecer cordones laterales a cada lado.

Medición: Se miden en milímetros, siendo la profundidad máxima en la rodadura, a partir de una regla colocada transversalmente, midiendo cada 20 metros y sacando un promedio por tramo o sección de carretera.



Figura 3-11: Ahuellamiento

Fuente Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras, SIECA, edición 2010

8. Corrimiento

Descripción: Distorsiones de la superficie del pavimento por desplazamiento de la mezcla asfáltica, a veces acompañadas por levantamientos de material, formando cordones laterales.

Medición: Se miden en metros cuadrados, registrando separadamente, de acuerdo a su severidad, el área total afectada en la muestra o sección.



Figura 3-12: Corrimiento

Fuente Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras, SIECA, edición 2010

9. Corrugación

Descripción: Serie de ondulaciones, constituidas por crestas y depresiones, perpendiculares a la dirección del tránsito, las cuales se suceden muy próximas unas de otras, a intervalos regulares.

Medición: Se miden en metros cuadrados, registrando separadamente, de acuerdo a su severidad, el área total afectada en la muestra o sección.



Figura 3-13: Corrugación

Fuente Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras, SIECA, edición 2010

10. Hinchamiento

Descripción: Abultamiento o levantamiento localizado en la superficie del pavimento, generalmente en la forma de una onda que distorsiona el perfil de la carretera.

Medición: Se miden en metros cuadrados, registrando separadamente, de acuerdo a su severidad, el área total afectada en la muestra o sección.



Figura 3-14: Hinchamiento

Fuente Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras, SIECA, edición 2010

11. Hundimiento

Descripción: Depresión o descenso de la superficie del pavimento en un área localizada, sin tener definido un tamaño específico.

Medición: Se miden en metros cuadrados, registrando separadamente, de acuerdo a su severidad, el área total afectada en la muestra o sección.



Figura 3-15: Hundimiento

Fuente Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras, SIECA, edición 2010

12. Bache

Descripción: Desintegración total de la superficie de rodadura, que puede extenderse a otras capas del pavimento, formando una cavidad de bordes y profundidades irregulares.

Medición: Pueden medirse alternativamente:

- Contando el número de baches con niveles de severidad baja, moderada y alta, registrando estos separadamente.
- Computando éstos en metros cuadrados de superficie afectada, registrando separadamente las áreas, según su nivel de severidad.



Figura 3-16: Bache

Fuente Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras, SIECA, edición 2010

13. Desintegración de bordes

Descripción: Consiste en la progresiva destrucción de los bordes del pavimento, principalmente en carreteras que no cuentan con hombros o que no son pavimentados.

Medición: Se miden en metros cuadrados, totalizados separadamente, de acuerdo a su severidad, las longitudes dañadas en la muestra o sección.



Figura 3-17: Desintegración de Bordes

Fuente Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras, SIECA, edición 2010

14. Presencia de agregados

Descripción: Consiste en la existencia de agregados parcialmente expuestos, fuera del elemento ligante con los materiales finos que forman la estructura del pavimento.

Medición: Se miden en metros cuadrados, totalizados ya sea separadamente o en secciones continuas, de acuerdo a su severidad, las longitudes dañadas en la muestra o sección.



Figura 3-18: Presencia de Agregados

Fuente Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras, SIECA, edición 2010

15. Desprendimiento de capa de rodadura

Descripción: Consiste en el desprendimiento de las últimas capas de agregados finos de las lechadas y/o tratamientos superficiales.

Medición: Se miden en metros cuadrados, totalizados ya sea separadamente o en secciones continuas, de acuerdo a su severidad, las longitudes dañadas en la muestra o sección.



Figura 3-19: Desprendimiento de capa de rodadura

Fuente Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras, SIECA, edición 2010

16. Exudación del asfalto

Descripción: Afloramiento del ligante de la mezcla asfáltica a la superficie del pavimento formando una película continua de bitumen.

Medición: Se miden en metros cuadrados de superficie afectada, registrando separadamente ésta según su severidad.



Figura 3-20: Exudación del Asfalto

Fuente Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras, SIECA, edición 2010

A continuación se muestra un cuadro resumen con cada uno de los tipos de daños presentes antes mencionados con sus respectivas posibles causas y niveles de severidad:

Tipo de Daños	Posibles Causas	Niveles de Severidad
Fisura Piel de Cocodrilo	1. Fatiga por repetición de cargas.	(B): Fisuras muy finas menores de 2 mm de ancho.
	2. Fin de su vida útil.	(M): Fisuras finas a moderadas, ancho menor a 5 mm.
	3. Envejecimiento del asfalto.	(A): Red de fisuras con una malla cerrada de pequeños polígonos bien definidos
Fisura en Bloque	1. Cambios de temperatura.	(B): Fisuras sin sellar, de ancho promedio a 2 mm.
	2. Repetición de cargas.	(M): Fisuras sin sellar, ancho promedio entre 2 y 5 mm.
	3. Endurecimiento del asfalto.	(A): Fisuras sin sellar, de ancho promedio a 5 mm.
Fisuras en Arco	1. Frenado de vehículos de carga.	(B): Fisuras de ancho promedio inferiores a 3 mm.
	2. Falta de asfalto.	(M): Fisuras sin sellar, entre 3 y 6 mm
	3. Exceso de riego.	(A): Fisuras sin sellar, de ancho promedio a 6 mm.
Fisura Transversal	1. Contracción de la Mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad.	(B): Fisuras sin sellar, de ancho promedio inferiores a 3 mm.
	2. Defectuosa ejecución de juntas transversales.	(M): Fisuras sin sellar, de ancho promedio entre 3 y 6 mm.
		(A): Fisuras sin sellar, de ancho promedio superior a 6 mm.
Fisura Longitudinal	1. Fatiga por debilidad estructural	(B): Fisuras sin sellar, de ancho promedio inferiores a 3 mm.
	2. Contracción de la Mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad.	(M): Fisuras sin sellar, de ancho promedio entre 3 y 6 mm.
		(A): Fisuras sin sellar, de ancho promedio superior a 6 mm.
Fisura por reflexión de juntas	1. Movimiento de las losas de concreto hidráulico, por diversas causas, bajo la carpeta asfáltica.	(B): Fisuras sin sellar, de ancho promedio inferiores a 5 mm.
		(M): Fisuras sin sellar, de ancho promedio entre 5 y 15 mm.
		(A): Fisuras sin sellar, de ancho promedio superior a 15 mm.
Ahuellamiento	1. Capas estructurales pobremente compactadas	(B): Profundidad promedio menor de 10 mm.
	2. Inestabilidad en bases y sub-bases granulares.	(M): Profundidad promedio entre 10 y 25 mm.
	3. Baja capacidad estructural del pavimento	(A): Profundidad promedio mayor a 25 mm.
Corrimiento	1. Desplazamiento ocasionado por cargas del tránsito	(B): Corrimiento perceptible, causa vibración en el vehículo.
	2. Falta de vacíos o confinamiento lateral	(M): Corrimiento que genera cierta incomodidad.
		(A): Corrimiento genera riesgo para la seguridad de circulación.
Corrugación	1. Desplazamiento ocasionado por cargas del tránsito	(B): Corrimiento perceptible, causa vibración en el vehículo.
		(M): Corrimiento que genera cierta incomodidad.
		(A): Corrimiento genera riesgo para la seguridad de circulación.
Hinchamiento	1. Expansión de los suelos de la sub-rasante	(B): Baja incidencia en la comodidad de manejo.
	2. Fisuramiento de la superficie.	(M): Moderada incidencia en la comodidad de manejo.
		(A): Alta incidencia en la comodidad de manejo.
Hundimiento	1. Asentamientos de la fundación de las capas subyacentes.	(B): Baja incidencia en la comodidad de manejo.
	2. Deficiencias durante el proceso constructivo.	(M): Moderada incidencia en la comodidad de manejo.
	3. Falta de mantenimiento de los drenajes.	(A): Alta incidencia en la comodidad de manejo.
Bache	1. Fundaciones y capas inferiores inestables	(B): Diámetro: Menos de 70 cm y Profundidad: Menos de 2.5 cm.
	2. Defectos constructivos.	(M): Diámetro: Entre 70 y 100 cm y Profundidad: Entre 2.5 y 5.0 cm.
	3. Retención de agua en zonas hundidas.	(A): Diámetro: Mayor de 100 cm y Profundidad: Mayor de 5 cm.

Desintegración de Bordes	1. Acción localizada del tránsito, sobre el extremo débil de la estructura	(B): Se observan fisuras paralelas al borde, de severidad baja.
		(M): Se observan fisuras paralelas al borde, de severidad alta.
		(A): Se observa una considerable desintegración total de los bordes.
Presencia de agregados	1. Distribución granulométrica deficiente en el rango de las arenas	(B): Se observan agregados expuestos en áreas menores del 20% del total del tramo a evaluar.
	2. Segregación de los agregados durante su manejo en obra.	(M): Se observan agregados expuestos en áreas entre el 20% y el 50% del total del tramo a evaluar.
	3. Circulación vehicular durante el proceso de colocación de la estructura del pavimento	(A): Se observan agregados expuestos en áreas mayores del 50% del total del tramo a evaluar.
Desprendimiento de capa de rodadura	1. Limpieza insuficiente previa al tratamiento superficial	(B): Se observan agregados expuestos en áreas menores del 5% del total del tramo a evaluar.
	2. Asfalto inadecuado	(M): Se observan agregados expuestos en áreas entre el 5% y el 30% del total del tramo a evaluar.
	3. Colocación con lluvia o exceso de agua en la capa de apoyo	(A): Se observan agregados expuestos en áreas mayores del 30% del total del tramo a evaluar.
Exudación del asfalto	1. Excesivo contenido de asfalto en las mezclas asfálticas	(B): Se hace visible la coloración algo brillante de la superficie, por efecto de pequeñas migraciones de asfalto.
		(M): Apariencia característica, la superficie se torna pegajosa a los zapatos y neumáticos de los vehículos en días cálidos.
		(A): Presencia de una cantidad significativa de asfalto libre, le da a la superficie un aspecto "húmedo", de intensa coloración negra y superficie pegajosa

Tabla 3-2: Tabla resumen de los tipos de daños en una carpeta de rodadura de pavimento flexible con sus respectivas posibles causas y niveles de severidad.

3.3.1.2.2.2 Formato para reporte de daños por tramo.

A continuación se presenta el formato con el que se reportarán los daños presentes en los tramos de carretera seleccionados. El tipo de daño corresponde a la numeración con la que se identifican en el apartado 3.4.1.2.2.1.

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTOS DE SUPERFICIE ASFALTICA (HOJA 1)																									
Tramo:																									
Depto:																									
Fecha:																									
Realizó:																									
		Area:																							
Estación	Deterioro	1 (m2)			2 (m2)			3 (m2)			4 (m)			5 (m)			6 (m)			7 (mm)			8 (m2)		
		Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja			
Tramo 1	0+000	0+100																							
Tramo 2	0+100	0+200																							
Tramo 3	0+200	0+300																							
Tramo 4	0+300	0+400																							

Tabla 3-3: Formato para reporte de daños superficiales, hoja 1.

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTOS DE SUPERFICIE ASFALTICA (HOJA 2)																									
Tramo:		Estación Inicial:																							
Depto:		Estación Final:																							
Fecha:		Ancho de Calzada:																							
Realizó:		Área:																							
Estación	Deterioro	9 (m ²)			10 (m ²)			11 (m ²)			12 (cm, cm)			13 (m ²)			14 (m ²)			15 (m ²)			16 (m ²)		
		Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja			
Tramo 1	0+000	0+100																							
Tramo 2	0+100	0+200																							
Tramo 3	0+200	0+300																							
Tramo 4	0+300	0+400																							

NOTA: Para la medición del daño superficial número 12, denominado "Bache", se reporta primero la profundidad máxima y luego el diámetro promedio del bache en cm.

Tabla 3-4: Formato para reporte de daños superficiales, hoja 2.

3.3.1.2.3 Cálculos para la determinación del PCI

A continuación se muestra el procedimiento a seguir para el cálculo de condición de índice de pavimento con capa de rodadura asfáltica.

- Paso 1: Para el cálculo del índice de condición del pavimento será necesario realizar un cuadro resumen de los daños relevados de campos, con su respectivo código asignado así por el departamento del Ejército de los Estados Unidos, como se muestra en la siguiente tabla.

	Código	Severidad	Cantidades Parciales	Total	Densidad (Porcentaje)	Valor deducido
Tramo N°1						
	3	Baja		211.51		
	8	Baja		6.02		
	15	Baja		2.00		
	11	Media		87.90		
	11	Baja		12.30		
					Sub Total=	
Tramo N°2						
	1			2.67		
	1			187.31		
	10			11.86		
	13			1.33		
					Subtotal=	
					Total=	

Tabla 3-5: Ejemplo de cuadro resumen de los daños presentes en la superficie del pavimento asfáltico a utilizar para el cálculo.

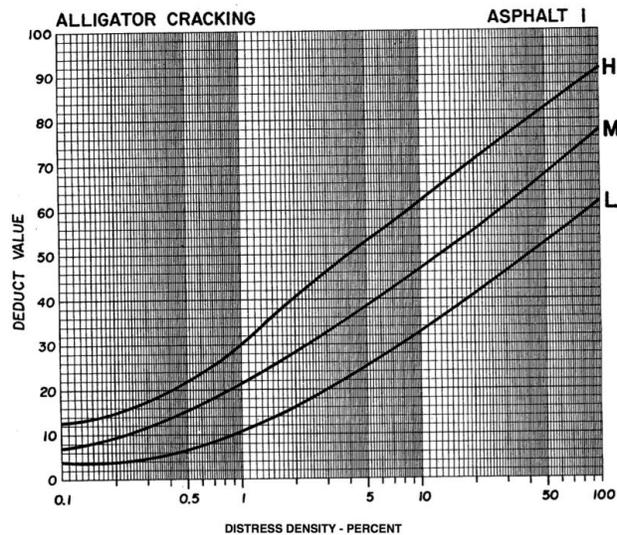
- Paso 2: El siguiente paso corresponde al cálculo de las densidades de todos los diferentes tipos de daños correspondiente a cada sección evaluada, el valor de la densidad se calcula con la ecuación siguiente:

$$Densidad = \frac{(Longitud\ del\ daño)}{(Area)} \times 100$$

- Paso 3: Una vez se ha completado el levantamiento de daños de la carretera, se procede a calcular los Valores Deducidos (V.D.) sin corregir, para cada uno de los tipos de daños de las secciones en estudio.

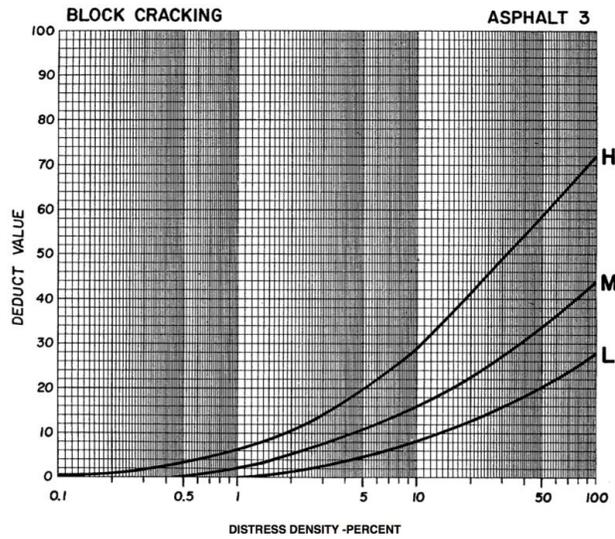
Para cada tipo de daño en la superficie de rodadura, el Cuartel General del Departamento del Ejército de los Estados Unidos de Norte América, diseñó por medio de pruebas y análisis estadísticos, un conjunto de gráficas que permiten determinar los valores deducidos para cada tipo de deterioro del pavimento.

Las gráficas a utilizar para cada tipo de daño, se extrajeron de la *sección "C"* (Deduct Value Curves for Asphalt-Surfaced Pavements), del Manual Técnico, de la "Gestión de Mantenimiento de Pavimentos" del Departamento del Ejército de los Estados Unidos, para el cual se requiere los valores de las Densidades en porcentaje y la Condición del daño. Estas se muestran a continuación:



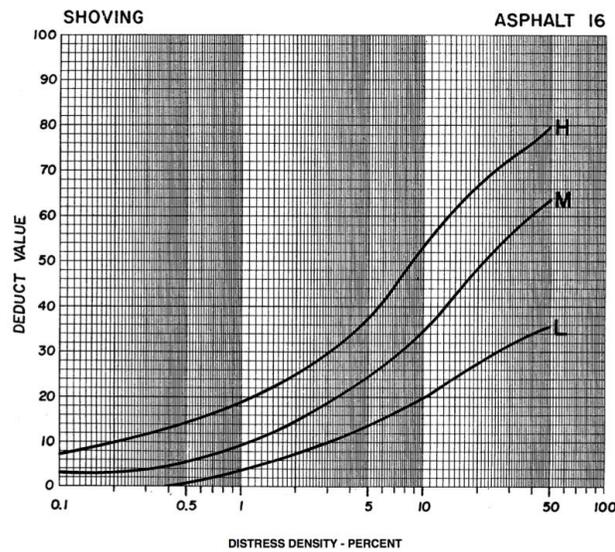
Fuente: *Technic Manual, "Pavement Maintenance"* (Department of the Army, 1982). USA

Figura 3-21: Curva de valor deducido para piel de cocodrilo.



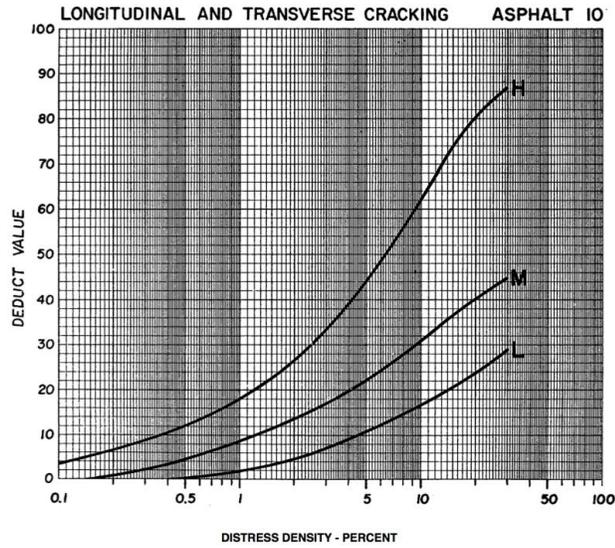
Fuente: *Technic Manual, "Pavement Maintenance"* (Department of the Army, 1982). USA

Figura 3-22: Curva de valor deducido para fisura en bloque.



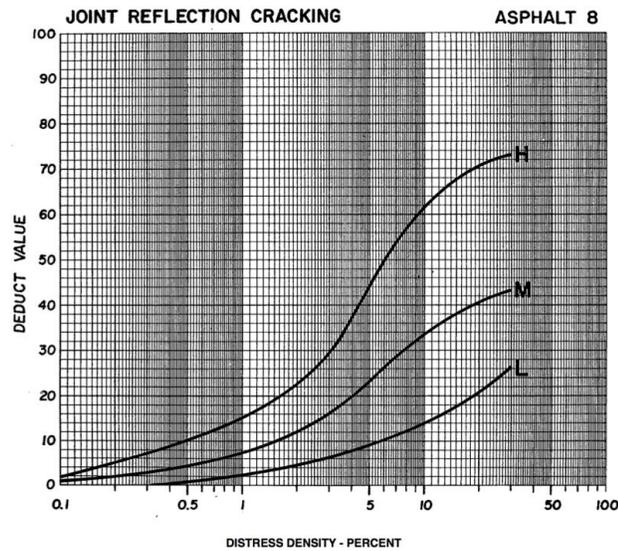
Fuente: *Technic Manual, "Pavement Maintenance"* (Department of the Army, 1982). USA

Figura 3-23: Curva de valor deducido para fisura en arco



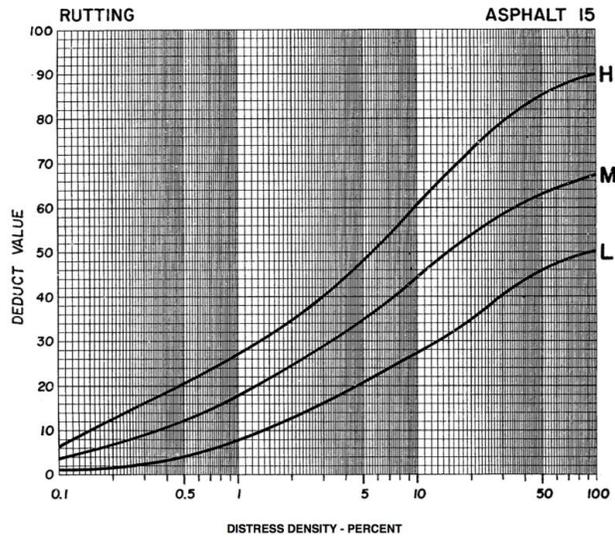
Fuente: Technic Manual, "Pavement Maintenance" (Department of the Army, 1982). USA

Figura 3-24: Curva de valor deducido para fisura transversal y longitudinal.



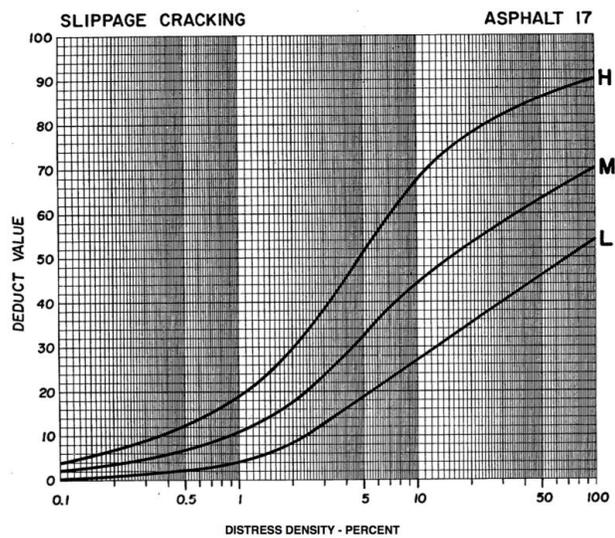
Fuente: Technic Manual, "Pavement Maintenance" (Department of the Army, 1982). USA

Figura 3-25: Curva de valor deducido para fisura por reflexión por junta.



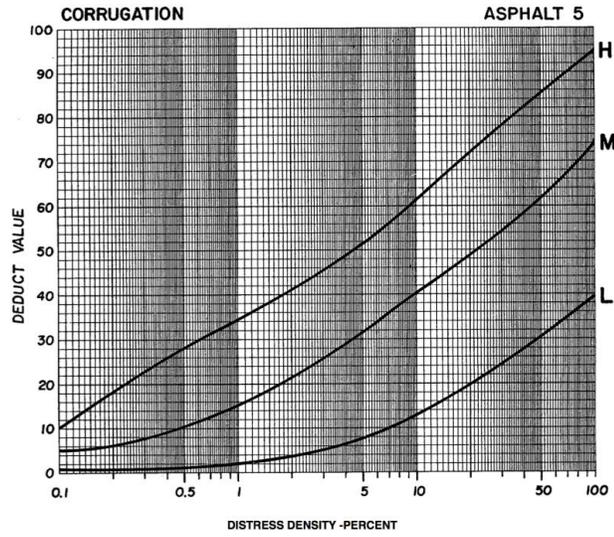
Fuente: *Technic Manual, "Pavement Maintenance"* (Department of the Army, 1982). USA

Figura 3-26: Curva de valor deducido para ahuellamiento.

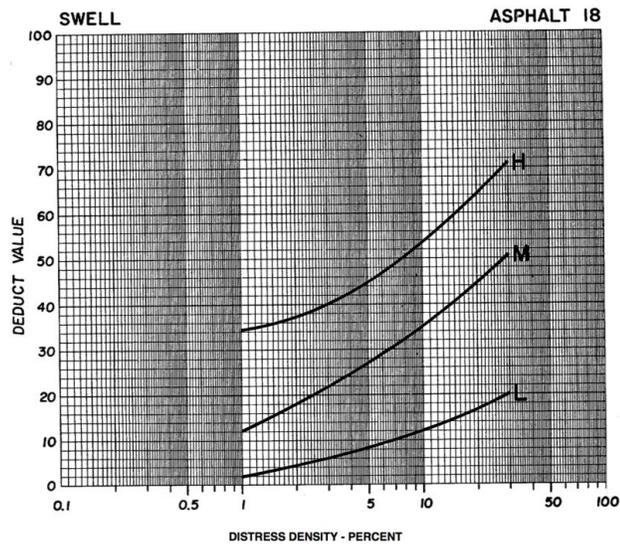


Fuente: *Technic Manual, "Pavement Maintenance"* (Department of the Army, 1982). USA

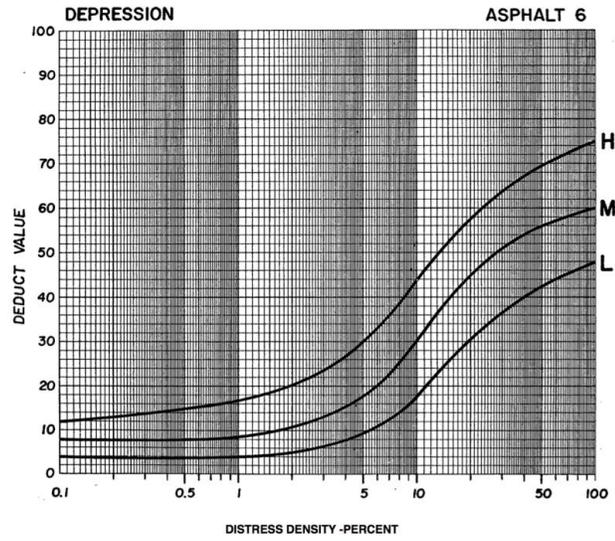
Figura 3-27: Curva de valor deducido para corrimiento.



Fuente: *Technic Manual, "Pavement Maintenance"* (Department of the Army, 1982). USA
 Figura 3-28: Curva de valor deducido para corrugación.

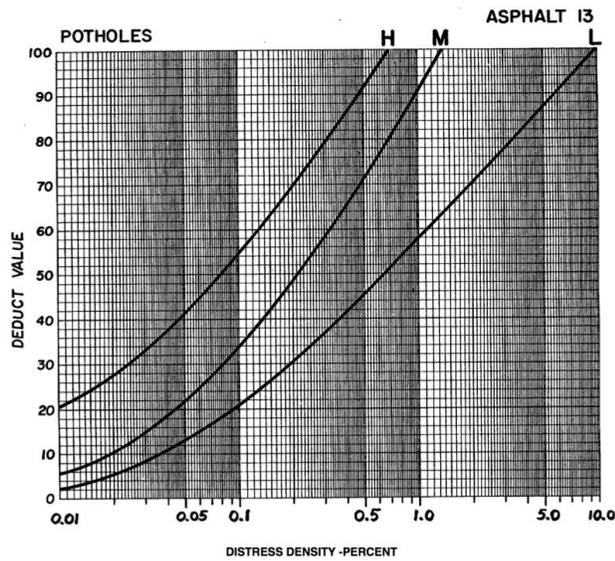


Fuente: *Technic Manual, "Pavement Maintenance"* (Department of the Army, 1982). USA
 Figura 3-29: Curva de valor deducido para hinchamiento.



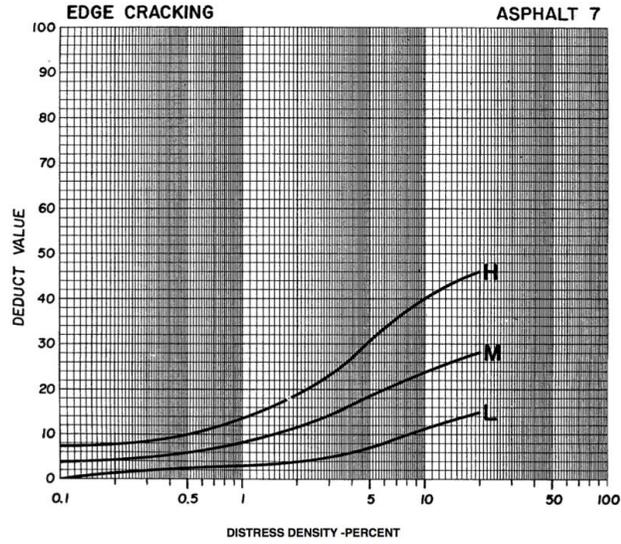
Fuente: *Technic Manual, "Pavement Maintenance"* (Department of the Army, 1982). USA

Figura 3-30: Curva de valor deducido para hundimiento.



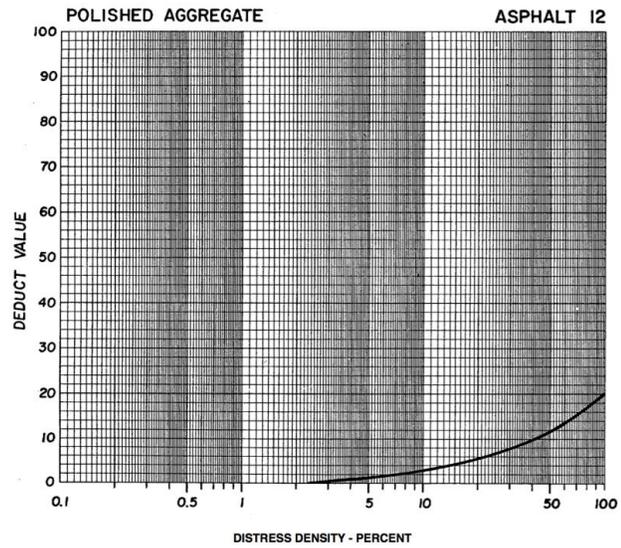
Fuente: *Technic Manual, "Pavement Maintenance"* (Department of the Army, 1982). USA

Figura 3-31: Curva de valor deducido para bache.



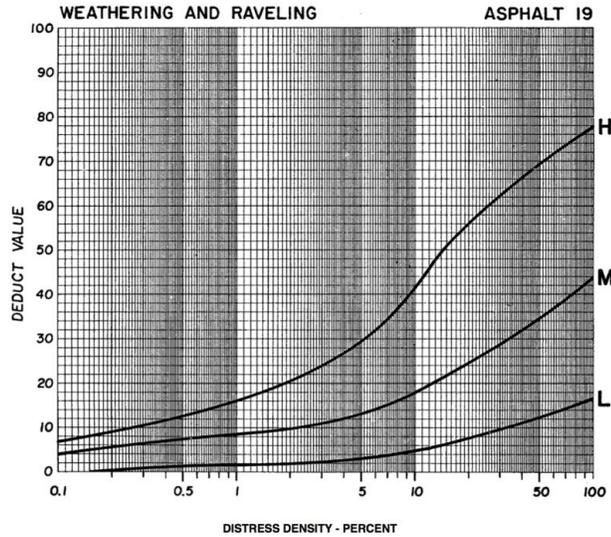
Fuente: Technic Manual, "Pavement Maintenance" (Department of the Army, 1982). USA

Figura 3-32: Curva de valor deducido para desintegración de bordes.



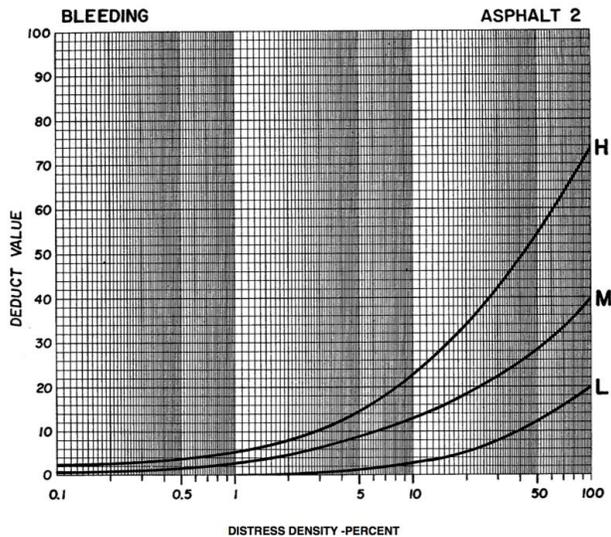
Fuente: Technic Manual, "Pavement Maintenance" (Department of the Army, 1982). USA

Figura 3-33: Curva de valor deducido para presencia de agregados.



Fuente: *Technic Manual, "Pavement Maintenance"* (Department of the Army, 1982). USA

Figura 3-34: Curva de valor deducido para desprendimiento de capa de rodadura



Fuente: *Technic Manual, "Pavement Maintenance"* (Department of the Army, 1982). USA

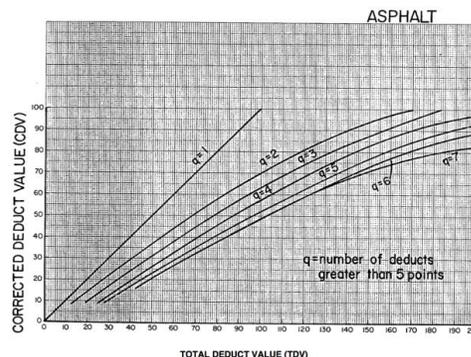
Figura 3-35: Curva de valor deducido para exudación.

- Paso 4: Proceder al cálculo de “EL NUMERO MÁXIMO ADMISIBLE DE VALORES DEDUCIDOS” para determinarlo se procede con la siguiente expresión.

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98} (100 - HDV_i)$$

○ Dónde:

- m_i : Número máximo admisible de “valores deducidos”, incluyendo fracción para la unidad de muestreo i .
 - HDV_i : El mayor valor deducido individual para la unidad de muestreo i .
- Paso 5: El último paso para determinar el Índice de Condición de Pavimento (PCI) de una superficie de mezcla asfáltica, consiste en calcular el Máximo Valor Deducido Corregido (CVD), el cual se determina mediante un proceso iterativo, para el cual se debe seguir la secuencia de pasos que se indican a continuación:
 1. Determinar el número de valores deducidos, “q” mayores a 5.0
 2. Determinar el “valor Deducido Total” sumando TODOS los valores deducidos individuales para cada sección en estudio.
 3. Determinar el Máximo Valor Deducido Corregido (CVD), con “q” y el “Valor Deducido Total” en la curva de corrección pertinente al tipo de pavimento.



Fuente: *Technic Manual, "Pavement Maintenance"* (Department of the Army, 1982). USA

Figura 3-36: Curva de corrección de valor deducido.

4. Reduzca a 5.0 el menor de los “Valores Deducidos” individuales que sea mayor a 5.0 y repita los pasos 1-3, hasta que el valor de “q” sea igual a 1.0.
5. Una vez encontrados los diferentes CVD, se escogerá el que tenga menor valor de estos el cual será restado de 100 para poder encontrar el Índice de Condición del Pavimento. Una vez se tenga el valor del PCI tendremos la clasificación de este de acuerdo a la tabla 3-6 donde se encuentran los rangos de clasificación.

$$PCI = 100 - CVD_{menor}$$

RANGO	CLASIFICACION
100-85	Excelente
85-70	Muy Bueno
70-55	Bueno
55-40	Regular
40-25	Malo
25-10	Muy Malo
10-0	Fallado

Tabla 3-6: Rangos de clasificación del PCI.

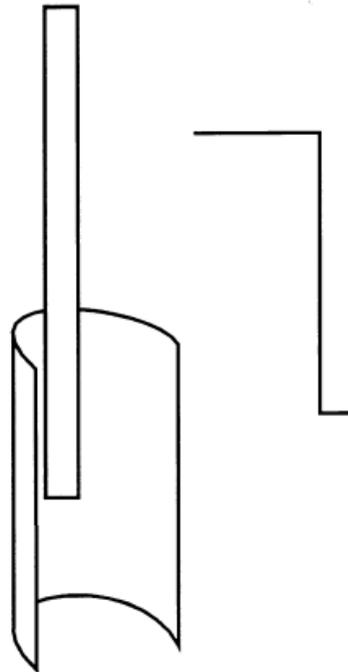
3.3.1.3 EXTRACCIÓN DE ESPECÍMENES DE MEZCLA BITUMINOSA COMPACTADA EN CAMPO.

Basado en norma ASTM: D 5361-14

3.4.1.3.1 EQUIPO.

- 3.4.1.3.1.1 Para minimizar la distorsión en la dirección de la perforación de la mezcla asfáltica compactada, se utilizara equipo mecánico pudiendo ser un taladro de base o una sierra eléctrica.
- 3.4.1.3.1.2 El filo de la broca utilizada para la perforación deberá ser de acero endurecido u otro material adecuado con dientes de diamante embebidos en el filo de la broca.
- 3.4.1.3.1.3 Una fuente de abastecimiento de agua para reducir el calor producido por la fricción de la broca es normalmente requerida, sin embargo puede omitirse en caso de extraer una sola muestra.

- 3.4.1.3.1.4 Deberá utilizarse un dispositivo que separe al espécimen de las capas subyacentes. Si tal dispositivo es empleado, deberá ser un semicírculo metálico sujetado por un mango con radio interior igual al radio exterior del núcleo.
- 3.4.1.3.1.5 Un dispositivo elevador para remover las muestras del agujero preservará la integridad del núcleo. El dispositivo consistirá en una varilla de acero de longitud adecuada y con un diámetro que encajará en el espacio entre el núcleo y el resto de la carpeta de rodadura. Deberá tener un dobléz de 90° en la parte superior para ser utilizado como mango sujetador y de la misma manera un dobléz de 90° en la parte inferior de 50 mm de largo para conformar el elevador. La figura 3-37 muestra de manera esquemática estos dispositivos.



Fuente: ASTM D 5361-14

Figura 3-37: Dispositivos de extracción de especímenes cilíndricos.

3.4.1.3.2 PROCEDIMIENTO.

3.4.1.3.2.1 MUESTREO DE MEZCLA ASFALTICA COMPACTADA.

3.4.1.3.2.1.1 Las muestras obtenidas del pavimento compactado por medio de un taladro cilíndrico deberán tener un diámetro nominal mínimo de 100 mm (4 pulg) y una longitud equivalente al espesor de la carpeta asfáltica en estudio. Si los resultados de la extracción aparentan tener errores en una forma atribuible al tamaño de la muestra, tómesese muestras más grandes.

3.4.1.3.2.1.1.1 Cuando los núcleos extraídos son utilizados para modulo dinámico y de resiliencia, la muestra debe tener una forma cilíndrica exacta con una superficie y un fondo perpendiculares al eje.

3.4.1.3.2.1.1.2 Para separar la muestra de las capas subyacentes, inserte el dispositivo descrito 3.4.1.3.1.4 en la ranura y ejerza una presión suave hacia la muestra. No se debe intentar realizar una maniobra de palanca sobre la muestra. Si la muestra no se separa por si sola de la estructura del pavimento será necesario extraer una muestra con profundidad equivalente al espesor de la estructura del pavimento.

3.4.1.3.2.1.1.3 Para remover la muestra del agujero inserte el dispositivo descrito 3.4.1.3.1.5 en la ranura, gire el aparato aproximadamente 90° y levante gentilmente hasta que la muestra pueda ser tomada con la mano.

3.4.1.3.2.1.2 Transporte la muestras obtenidas en una superficie suave con la parte superior en contacto con la superficie para preservar la forma original de la superficie. El manejo inadecuado de la muestra podría anular los resultados obtenidos.

3.4.1.3.2.2 SEPARACION Y DIVISION DE LA MUESTRA.

3.4.1.3.2.2.1 Cuando se vuelve necesario separar una o varias capas de la carpeta, primero se debe congelar para posteriormente cortar con sierra o con otro medio aprobado. Como método alternativo al congelamiento de la muestra rocíese agua fría sobre la hoja de la sierra para minimizar la generación de calor excesivo.

3.4.1.3.2.2.2 La separación de dos carpetas de rodadura puede lograrse por medio de un golpe rápido con cincel en el punto de unión de las dos carpetas. La separación con este procedimiento puede alcanzarse con mayor efectividad si la muestra es enfriada por debajo de los 0°C.

3.4.1.3.2.3 IDENTIFICACION DE ESPECIMENES.

Los especímenes extraídos deberán identificarse de acuerdo a lo establecido en el apartado 3.3.2.1.

3.3.2 ENSAYOS DE LABORATORIO.

3.3.2.1 GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CALIENTES COMPACTADAS UTILIZANDO ESPECIMENES SATURADOS SUPERFICIALMENTE SECOS.²⁷

Basado en norma ASTM D 2726-13

Con equivalencia en norma AASHTO: T 166-13.

3.4.2.1.1. ENSAYO DE LOS ESPECIMENES

3.4.2.1.1.1. Los especímenes de ensayo pueden ser ya sea mezclas asfálticas moldeadas en laboratorio o de pavimentos de mezclas asfálticas. Las mezclas pueden ser de capas superficiales de la capa de rodadura, capas de ligante o capas de nivelación, o base de mezclas en caliente.

3.4.2.1.1.2. Tamaño de especímenes - Es recomendado que: a) el diámetro de especímenes moldeados cilíndricamente o de núcleos extraídos, debe ser equivalente a la longitud de los lados de especímenes cortados, es decir, al menos igual a cuatro veces el tamaño máximo del agregado; y b) el espesor de especímenes será al menos una y media veces el tamaño máximo del agregado.

3.4.2.1.1.3. Los especímenes de pavimento serán tomados de una forma adecuada con un extractor de núcleos, con broca de diamante o de carbono.

3.4.2.1.1.4. Evitar las deformaciones, desintegración, o agrietamiento de los especímenes durante y después de la extracción del pavimento o el molde. Los especímenes serán almacenados en un lugar seguro y fresco.

3.4.2.1.1.5. Los especímenes deberán estar libres de materiales extraños como capa de sello, capa de liga, materiales de la fundación, suelo, papel o aceite.

²⁷ El contenido del apartado 3.4.2.1 de esta investigación, está basado en el trabajo de graduación denominado "Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente". (Cortez et al., 2007: 514 - 532) Tesis de Ingeniería, Universidad de El Salvador.

3.4.2.1.1.6. Si se desea, los especímenes pueden ser muestreados de otras capas del pavimento o cortando con sierra otras formas adecuadas. Se debe tener el cuidado para asegurar la extracción, sin hacer daño a los especímenes.

3.4.2.1.1.7. **La norma establece tres métodos para la realización del ensayo. Para este trabajo de investigación se utilizará el método A debido al equipo disponible y a la precisión que ofrece el método.**

3.4.2.1.2. EQUIPO.

3.4.2.1.2.1. *Dispositivo de pesado.* El dispositivo de pesado tendrá suficiente capacidad, será legible a 0.1 por ciento de la masa de la muestra, o mejor. El dispositivo de pesado estará acondicionado con un accesorio adecuado de suspensión y una agarradera para permitir tomar el peso del espécimen mientras está suspendido el centro de la canastilla del dispositivo de pesado.

3.4.2.1.2.2. *Equipo de Suspensión.* El alambre para suspender la canastilla será delgado para minimizar cualquier efecto posible de una longitud de inmersión variable. El equipo de suspensión será construido de manera que la canasta permita sumergir la muestra a una profundidad suficiente para cubrirla durante el proceso de pesado. Teniendo cuidado de no dejar burbujas de aire atrapadas debajo del espécimen.

3.4.2.1.2.3. *Baño de María.* Para sumergir el espécimen en el agua mientras está suspendido en el dispositivo de pesado, el equipo deberá tener un conducto de rebose a manera de mantener un nivel constante de agua.



Fuente: Propia.

Figura 3-38: Dispositivo de pesado: Balanza de 0.1g, Canastilla metálica, Alambre suspensor y Baño de Agua.

3.4.2.1.3. PROCEDIMIENTO

3.4.2.1.3.1. Secar el espécimen hasta una masa constante (NOTA 1). Dejar enfriar el espécimen a temperatura del cuarto de 25 ± 5 °C (77 ± 9 °F), pese y registre como masa seca A.



Fuente: Propia.

Figura 3-39: Registrando como masa seca A

3.4.2.1.3.2. Sumerja cada espécimen en la canasta, en agua a 25 ± 1 °C (77 ± 1.8 °F) por 4 ± 1 minuto, registre como masa sumergida C. (Figura 3-40.).



Fuente: Propia.

Figura 3-40: Procedimiento de cálculo de masa por inmersión. Colocación del espécimen, Especimen sumergido por 4 min y Registro de masa sumergida como C.

3.4.2.1.3.3. Remueva el espécimen del agua, secando la humedad del espécimen con papel toalla o una toalla húmeda tan rápido como sea posible, y registre la masa superficialmente seca como B. (Ver Figura 3-41). Cada espécimen será sumergido y pesado individualmente.



Fuente: Propia

Figura 3-41: Procedimiento de secado superficial del espécimen y peso de masa B.

NOTA 1- La masa constante será definida como la masa en la cual adicionalmente secada a $52 \pm 3 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($125 \pm 5 \text{ } ^\circ\text{F}$) no cambia la masa por más de 0.05 por ciento. Las muestras saturadas inicialmente con agua serán secadas durante la noche a $52 \pm 3 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($125 \pm 5 \text{ } ^\circ\text{F}$) y entonces pesadas en intervalos de secado de dos horas. Las muestras del laboratorio recientemente moldeadas, las cuáles no han estado expuestas a la humedad, no requieren el proceso de secado.

3.4.2.1.6. CALCULOS

3.4.2.1.6.1. Calcule la gravedad específica bulk del espécimen como sigue (redondee y reporte colocando el valor con aproximaciones de tres decimales):

$$\text{Gravedad Especifica Masa} = \frac{A}{B - C}$$

Donde:

A = Masa al aire del espécimen en gramos.

B = Masa al aire del espécimen saturado superficialmente seco en gramos, y

C = Masa sumergida en el agua en gramos.

3.4.2.1.6.2. Calcule el porcentaje de agua absorbida por el espécimen (basado en un volumen) como sigue:

$$\text{Absorción} = \left[\frac{B - A}{B - C} \right] \times 100$$

3.4.2.1.6.3. Si el porcentaje de agua absorbida por el espécimen calculado como en la Sección 3.4.2.1.6.2 excede el 2%, entonces determine la gravedad específica bulk utilizando la AASHTO T 275.

3.4.2.1.7. REPORTE DE ENSAYO.

Los resultados de la gravedad específica bulk se registraran en el formato que se presenta a continuación:

	<p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE ASFALTOS DE CENTRO AMERICA</p>			
Solicitante: _____ Proyecto: _____ Ubicación: _____ Fecha de Muestreo: _____ Material: _____				
<p>GRAVEDAD ESPECIFICA BULK DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2726-13 AASHTO T 166-13</p>				
Codigo de Especimen				
Temperatura (°C)	25			
Peso seco en aire (g)	A			
Peso saturado superficialmente seco (g)	B			
Peso sumergido en agua (g)	C			
Gravedad Especifica Bulk	$\frac{A}{B - v \cdot C}$			
Porcentaje de Absorción	$Abs = \left[\frac{B - A}{B - v \cdot C} \right] \times 100$			
<p>Observaciones: _____ _____</p>				

Tabla 3-8: Formato para ensayo de gravedad específica bulk

3.3.2.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA Y DENSIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS DE PAVIMENTACIÓN.²⁸

Basado en norma ASTM: D 2041-11

Con equivalencia en norma AASHTO: T 209-12.

3.4.2.2.1. RESUMEN DEL MÉTODO DE ENSAYO.

3.4.2.2.1.1. Una muestra pesada de mezcla de pavimentación secada en horno en condición suelta es colocada en un contenedor de vacío tarado. Se agrega suficiente agua a una temperatura de 25 ± 0.5 °C (77 ± 0.9 °F) hasta sumergir completamente la muestra.

3.4.2.2.1.2. El vacío es aplicado por 15 ± 2 min para reducir gradualmente la presión residual en el contenedor de vacío a 3.7 ± 0.3 kPa (27.5 ± 2.5 mm Hg). Al final del período de vacío, el vacío es gradualmente liberado. El volumen de la muestra de mezcla de pavimentación es obtenido ya sea sumergiendo el contenedor de vacío con la muestra en un baño maría y pesándolo o llenando el contenedor de vacío completamente de agua y pesándolo en el aire. En el tiempo de pesado, la temperatura es medida así como también la masa. De las mediciones de masa y volumen, la gravedad específica o densidad a 25 °C (77 °F) es calculada. Si la temperatura utilizada es diferente de 25 °C (77 °F), es aplicada una corrección apropiada.

3.4.2.2.2. EQUIPO

3.4.2.2.2.1. *Contenedor de Vacío:*

3.4.2.2.2.1.1. Deben de resistir el vacío aplicado, la abertura del contenedor que conduce a la bomba de vacío estará cubierto por una pieza de malla de 75 – μ m (N° 200) para minimizar la pérdida de material fino. El tamaño deberá estar entre 2,000 y 10,000 ml. Evitar usar una muestra pequeña en un contenedor grande.

²⁸ El contenido del apartado 3.4.2.2 de esta investigación, está basado en el trabajo de graduación denominado “Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente”. (Cortez et al., 2007: 514 - 532) Tesis de Ingeniería, Universidad de El Salvador.

3.4.2.2.1.2. *Tazón de Vacío*: Ya sea uno de metal o plástico con un diámetro aproximadamente de 180 a 260 mm (7.1 a 10.2 pulg.) y una altura de tazón de al menos 160 mm (6.3 pulg.) estará equipado con una tapadera transparente que se acomoda a un empaque de hule y una conexión para la línea de vacío.

3.4.2.2.1.3. *Frasco para trampa*: Un frasco volumétrico de vidrio grueso y amurallado y un tapón de hule, con una conexión para la línea de vacío.

3.4.2.2.2. *Balanza*: Que tenga la precisión de 1 g.

3.4.2.2.3. *Bomba de Vacío*: Capaz de evacuar aire del contenedor de vacío a una presión residual de 4.0 kPa (30 mm Hg).

3.4.2.2.4. *Manómetro de Presión Residual*: Capaz de medir la presión residual hasta 4.0 kPa (30 mm de Hg) o menos (preferiblemente a cero). Debe estar conectado al final de la línea de vacío usando un tubo apropiado, ya sea un conector "T" en lo alto del contenedor o usando una abertura separada (de la tubería de vacío) en la parte superior del contenedor para pegar la manguera. Para evitar daño, el manómetro mismo no debe estar situado encima del contenedor, pero adyacente a él.

3.4.2.2.5. *Termómetros*: Termómetros calibrados de vidrio con líquido, de rango adecuado con subdivisiones y máxima escala de error de 0.5 °C (0.9 °F), o cualquier otro dispositivo termométrico de igual exactitud, precisión y sensibilidad serán usados.

3.4.2.2.6. *Válvula de Sangrado*: Pegada a la línea de vacío para facilitar el ajuste del vacío que está siendo aplicado al contenedor de vacío.

3.4.2.2.7. *Guantes protectores*: Para usar cuando se maniobra el equipo de vidrio bajo vacío. El equipo completo se muestra en la Figura 3-42.



Fuente: Propia

Figura 3-42: Equipo para gravedad teórica máxima (Bomba de vacío, Picnómetro plástico, Manómetro, Línea de vacío y balanza de capacidad de 20 Kg).

3.4.2.2.3. MUESTREO.

3.4.2.2.3.1. Obtenga la muestra de conformidad con AASHTO T 168 (Muestreo de Mezclas Bituminosas para Pavimentación).

3.4.2.2.3.2. El tamaño de la muestra estará conforme a los requisitos de la Tabla 3-9. Muestras más grandes que la capacidad del contenedor pueden ser ensayadas una porción a la vez.

Tamaño de la partícula más grande de agregado en la mezcla, mm (pulg)	Tamaño mínimo de la muestra, g.
50.0 (2)	6000
37.5 (1 ½)	4000
25.0 (1)	2500
19.0 (¾)	2000
12.5 (½)	1500
9.5 (¾)	1000
4.75 (No. 4)	500

Fuente: "GUÍA BÁSICA DE DISEÑO, CONTROL DE PRODUCCIÓN Y COLOCACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE" (Cortez, J. et. al, 2007) Tesis UES, San Salvador

Tabla 3-9: Requisitos para el tamaño mínimo de la muestra.

3.4.2.2.4. PROCEDIMIENTO

3.4.2.2.4.1. Separe las partículas de la muestra de mezcla de pavimentación a mano (tal como se muestra en la Figura 3-43), esforzándose por evitar fracturar el agregado; a fin de que las porciones de partículas de agregado fino no sean mayores de 6.3 mm (1/4 pulg). Si una muestra de mezcla de pavimentación no es suficientemente suave para

ser separada manualmente, colóquela en una charola plana, y caliéntela en un horno hasta que pueda ser separada tal como se describe.



Fuente: Propia

Figura 3-43: Separación de la mezcla a mano.

3.4.2.2.4.2. Muestras preparadas en un laboratorio deberán ser curadas y secadas en un horno a $135 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ($275 \pm 9 \text{ }^\circ\text{F}$) por un mínimo de dos horas, o como sea apropiado para el procedimiento de diseño de mezcla que está siendo usado. Tiempo de secado más largos puede ser necesario para que la muestra logre una masa constante (diferencia de masa de 0.1 %). Mezclas de pavimentación que no se han preparado en un laboratorio con agregados secados en horno serán secadas a masa constante a una temperatura de $105 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$.

3.4.2.2.4.3. Enfríe la muestra a temperatura del ambiente y colóquela en un frasco calibrado y tarado, tazón ó picnómetro (como se muestra en la Figura 3-44). La muestra debe ser colocada directamente en un contenedor de vacío. Pese (ver Figura 3-44) y designe la masa neta de la muestra como A. Añada suficiente agua a una temperatura aproximadamente de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ($77 \text{ }^\circ\text{F}$) para cubrir totalmente la muestra (como se muestra en Figura 3-45).

3.4.2.2.4.4. Remueva el aire atrapado en la muestra aplicando gradualmente incrementos de vacío hasta que el manómetro de presión residual registre $3.7 \pm 0.3 \text{ kPa}$. ($27.5 \pm 2.5 \text{ mm Hg}$) (ver Figura 3-45). Mantenga esta presión residual por $15 \pm 2 \text{ min}$. Agite el contenedor y contenidos durante el periodo de vacío ya sea continuamente por un dispositivo mecánico, o manualmente (como se muestra en Figura 3-46) por sacudidas vigorosas a intervalos alrededor de dos minutos. Los contenedores

de vidrio deberán ser sacudidos en una superficie elástica como un caucho o una alfombra plástica, y no en una superficie dura, para evitar impactos excesivos mientras está bajo vacío.



Fuente: Propia

Figura 3-44: Colocación de la muestra y pesado de muestra en el picnómetro.



Fuente: Propia

Figura 3-45: Proceso de la aplicación de vacío. Muestra sumergida en agua, aplicación de vacío y manómetro registrando 26 mm Hg.



Fuente: Propia

Figura 3-46: Proceso de agitación manual o mecánica durante la aplicación de vacíos.

3.4.2.2.4.5. Al final del período de vacío, libere el vacío a una razón de decrementos de vacío que no exceda a 8 kPa por segundo y proceda a pesar en aire:

3.4.2.2.4.5.1. *Pesado en Aire:* Llene el frasco o cualquiera de los picnómetros con agua y ajuste los contenidos a una temperatura de 25 ± 1 °C (77 ± 1.8 °F). Determine la masa del contenedor y contenidos, completamente lleno en 10 ± 1 min.. Designe esta masa como “E”. Determinar la masa del picnómetro lleno con agua a una temperatura de 25°C en gramos y designarla como “D”.

3.4.2.2.5. CÁLCULOS.

3.4.2.2.5.1. Calcule la gravedad específica teórica máxima de la muestra a 25 °C (77 °F) como sigue:

3.4.2.2.5.1.1. Pesado en Aire:

$$\text{Gravedad Específica Teórica Máxima} = \frac{A}{A+D-E}$$

Donde:

A = Masa de muestra seca en horno, en aire, g

D = Masa de picnómetro llenó con agua a 25 °C (77 °F), g, y

E = Masa de picnómetro lleno con agua y muestra a 25 °C (77 °F), g.

3.4.2.2.6. REPORTE DE ENSAYO.

Los resultados de la gravedad específica teórica máxima se registraran en el formato que se presenta a continuación:

		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE ASFALTOS DE CENTRO AMERICA			
Solicitante:		_____			
Proyecto:		_____			
Ubicación:		_____			
Fecha de Muestreo:		_____			
Material:		_____			
GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041-11 AASHTO T 209-12					
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
Peso del Picnometro vacio (g):					
Peso del Picnometro + Muestra (g)					
Peso de la Muestra en el Aire (g):		A			
Peso del Picnometro + Agua (25°C) (g):		D			
Peso del Picnometro + Agua + Muestra		E			
Volumen del Agua		$V=A+D-E$			
Gravedad Especifica Teorica Máxima		$Gem= A/V$			
PROMEDIO					
Observaciones: _____					

Tabla 3-10: Formato para registrar datos del ensayo de gravedad específica teórica máxima.

3.3.2.3 MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE EN MEZCLAS COMPACTADAS DENSAS O ABIERTAS PARA PAVIMENTOS BITUMINOSOS.

Basado en la norma ASTM D-3203-11

Con equivalencia en norma AASHTO: T 269-11.

3.4.2.2.7. MUESTREO.

3.4.2.3.1.1. Las muestras para el ensayo consistirán en especímenes de laboratorio conformados por especímenes de mezcla moldeados en laboratorio o núcleos de mezcla compactada en campo.

3.4.2.3.1.2. Para mezclas bituminosas densas, determinar la gravedad específica bulk ya sea por el método D 1188 o el método D 2726. Determinar la gravedad específica teórica máxima de la mezcla por el método D 2041 en una mezcla bituminosa comparable para evitar la influencia de diferencias en graduación, contenido de asfalto, etc.

3.4.2.3.1.3. Una mezcla será catalogada como mezcla abierta, si por el método establecido en el numeral 3.4.2.3.2 es 10% o más.

3.4.2.3.1.4. Para motivos de estudio, determinar la gravedad específica bulk y la gravedad específica teórica máxima de la misma mezcla bituminosa compactada.

3.4.2.2.8. CÁLCULO.

El porcentaje de vacíos de una mezcla asfáltica se calcula como se describe en la siguiente ecuación:

$$\% \text{ vacíos de aire} = 100 * \left[1 - \left(\frac{\text{Gravedad específica bulk}}{\text{Gravedad específica teórica máxima}} \right) \right]$$

3.4.2.3.2. REPORTE DE ENSAYO.

Los resultados del porcentaje de vacíos se registraran en el formato que se presenta a continuación:



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE
ASFALTOS DE CENTRO AMERICA



Solicitante: _____

Proyecto: _____

Ubicación: _____

Fecha de Muestreo: _____

Material: _____

PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE EN MEZCLAS COMPACTADAS DENSAS O ABIERTAS PARA PAVIMENTOS BITUMINOSOS ASTM D 3203-11 AASHTO T 269-

Código de la Muestra	Energía de Compactación (Golpes)	Gravedad Bulk (Kg/m3)	Gravedad Teórica Máxima (Kg/m3)	% Vacios

Observaciones: _____

Tabla 3-11: Formato para registrar datos del porcentaje de vacios.

3.3.2.4 RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS AL FLUJO PLÁSTICO DE MEZCLAS BITUMINOSAS UTILIZANDO EL APARATO MARSHALL.²⁹

Basado en norma ASTM D-1559-89 Y ASTM D 6927-06

Con equivalencia en norma AASHTO: T 245-13

3.4.2.4.1. EQUIPO.

3.4.2.4.1.1. EQUIPO PARA ELABORACION DE BRIQUETAS.

3.4.2.4.1.1.1. *Molde de Compactación:* Conformado por un plato base, molde cilíndrico con diámetro de 101.6 mm (4 pulg) por 76.2 mm (3 pulg) de altura, y collar de extensión (collarín) (Ver Figura 3-47).



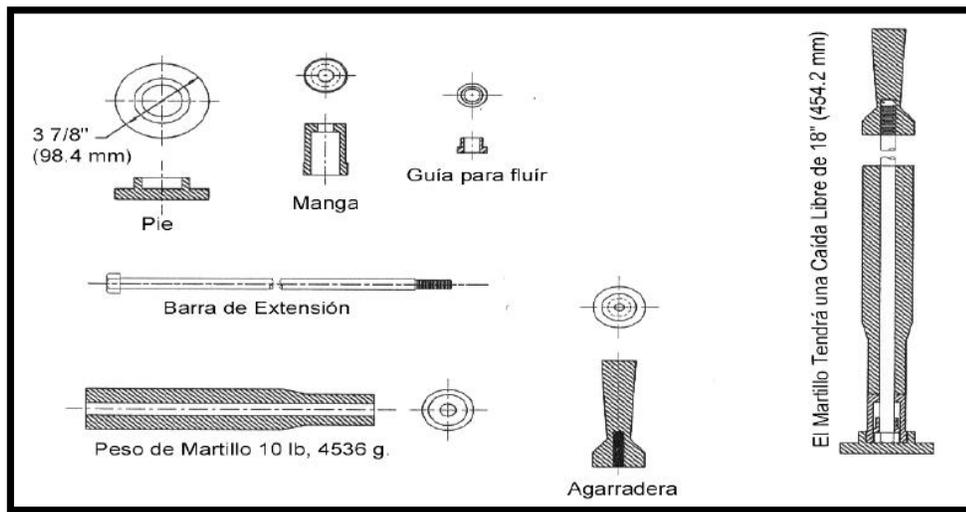
Fuente: Propia

Figura 3-47: Molde de compactación. Collar de Extensión, molde y plato base.

3.4.2.4.1.1.2. *Extractor de briqueta:* De acero, con la forma de un disco con un diámetro no menor que 100 mm (3.95 pulg.) y un espesor de 12.7 mm (1/2 pulg.), para extraer la briqueta compactada del molde de compactación con el uso del collar de extensión. Una barra adecuada es requerida para transferir la carga del anillo de carga acomodándose al collar de extensión mientras se extrae la briqueta.

²⁹ El contenido del apartado 3.4.2.4 de esta investigación, está basado en el trabajo de graduación denominado "Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente". (Cortez et al., 2007: 514 - 532) Tesis de Ingeniería, Universidad de El Salvador.

3.4.2.4.1.1.3. *Martillo de compactación*: El martillo de compactación tendrá una superficie plana circular de apisonamiento y un peso deslizante de 4536 ± 9 g (10 ± 0.02 lb) con una caída libre de 457.2 ± 1.524 mm (18 ± 0.06 pulg.). También puede utilizarse un martillo mecanizado siempre que haya sido calibrado para dar resultados comparables con el martillo operado manualmente.



Fuente: "GUÍA BÁSICA DE DISEÑO, CONTROL DE PRODUCCIÓN Y COLOCACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE" (Cortez, J. et. al, 2007) Tesis UES, San Salvador.

Figura 3-48: Elementos que conforman el martillo de compactación.

3.4.2.4.1.1.4. *Pedestal de Compactación*: El pedestal de compactación consistirá en un poste de madera sellado con medidas de 203.2 x 203.2 x 457.2-mm (8 x 8 x 18 pulg.) con una placa de acero de 304.8 x 304.8 x 25.4 -mm (12 x 12 x 1 pulg.). El poste de madera será de roble, pino u otra madera que tenga un peso seco promedio de 0.67 a 0.77 g/cm³ (42 a 48 lb/ft³). El poste de madera será asegurado por cuatro soportes angulares a una losa de concreto sólido. La placa de acero estará firmemente sujeta al poste. El pedestal armado será instalado de tal manera que el poste este vertical (a plomo) y la placa este nivelada.

3.4.2.4.1.1.5. *Sujetador del Molde de Compactación*: Montado en el pedestal de compactación de tal manera que permita centrar el molde de compactación sobre el

centro del poste. Este sujetará el molde de compactación, collar, y el plato base en una posición segura durante la compactación del espécimen.

3.4.2.4.1.1.6. *Horno o Plato Calentador:* Horno o plato calentador serán proporcionados para calentar agregados, material bituminoso, moldes de compactación, martillo compactador y otro equipo para alcanzar las temperaturas requeridas de mezclado y compactación. Es recomendable que las unidades de calentamiento sean termostáticamente controlados para mantener la temperatura requerida entre 2.8 °C (5 °F).

3.4.2.4.1.1.7. *Equipo de Calefacción:* Un plato calentador pequeño con una tasa de calefacción variable, un baño de arena, lámpara infrarroja, u otro dispositivo adecuado estará disponible para suministrar suficiente calor en la parte baja del tazón de la mezcladora para mantener el agregado y material bituminoso a la temperatura de mezclado establecida. Si se utiliza un plato calentador, es necesario hacer uso de una tela metálica o un material similar, la cual será colocado sobre el plato calentador para prevenir contacto directo entre el plato calentador y el tazón de la mezcladora.

3.4.2.4.1.1.8. *Equipo Mezclador:* Una mezcladora mecánica es recomendada. Cualquier tipo de mezclador mecánico podrá ser usado si puede mantener la temperatura de mezclado requerida y producir una mezcla completamente recubierta y homogénea en la cantidad establecida y tiempo permisible, y adicionalmente que toda la carga pueda ser recuperada. También puede utilizarse una bandeja de metal ó un tazón de suficiente capacidad para realizar el mezclado manualmente.

3.4.2.4.1.1.9. *Equipo misceláneo:*

3.4.2.4.1.1.9.1. *Contenedores para Calentar Agregados.* Bandejas de metal de fondo plano u otros contenedores adecuados.

3.4.2.4.1.1.9.2. *Contenedores para Calentar Material Bituminoso.* Cualquier recipiente de lata, beaker, jarrón de verter ó bandejas pueden ser utilizados.

3.4.2.4.1.1.9.3. *Herramienta para Mezclar.* Una espátula de acero (tipo de jardín) o espátula para revolver y mezclar manualmente.

3.4.2.4.1.1.9.4. *Termómetros.* Para determinar temperaturas de agregados, asfalto y mezclas bituminosas. De vidrio acorazado, tipo dial, o termómetros digitales con vástagos de metal son recomendados. Con un rango de 9.9 a 204 °C (50 a 400 °F) con sensibilidad de 2.8 °C (5 °F) son requeridos. Termómetros para baño maría y aire con una sensibilidad de 0.2 °C (0.4 °F) con un rango suficiente para determinar la temperatura especificada del baño.

3.4.2.4.1.1.9.5. *Balanza.* Con capacidad de 2-kg, con una sensibilidad de 0.1 g, para pesar especímenes moldeados (briquetas). Con capacidad de 5 Kg, con una sensibilidad de 1.0 g, para dosificar mezclas.

3.4.2.4.1.1.9.6. *Guantes.* Para maniobrar equipo caliente. Guantes de hule. Para remover las briquetas del baño maría.

3.4.2.4.1.1.9.7. *Crayón.* Para identificar las briquetas.

3.4.2.4.1.1.9.8. *Cucharón.* Fondo plano, para dosificar agregados.

3.4.2.4.1.1.9.9. *Cuchara.* Larga para colocar la mezcla en los moldes de compactación.

3.4.2.4.1.2. EQUIPO PARA ENSAYO DESTRUCTIVO DE BRIQUETAS.

3.4.2.4.1.2.1. *Cabezales (quijadas):* Constará de un segmento cilíndrico superior e inferior ó quijadas de ensayo tendrán un radio de curvatura interno de 50.8 mm (2 pulg.) exactamente elaborado a máquina. El segmento inferior estará montado en una base que tendrá dos barras guías perpendiculares ó postes extendidos hacia arriba. Los tubos guía en el segmento superior serán internos tal posición le permitirá dirigir los dos segmentos verticales conjuntamente sin resistencia apreciable o movimiento libre en las barras guía.

3.4.2.4.1.2.2. *Marco de Carga:* El marco de carga consistirá de un gato (jack) atornillado montado en un marco de ensayo y producirá un movimiento vertical uniforme de 50.8 mm/min (2 pulg/min.). Un motor eléctrico puede estar adjunto al mecanismo elevador.

3.4.2.4.1.2.3. *Medidor de Flujo:* El medidor de flujo consistirá de una manga guía y un medidor. El pin que activa el medidor se deslizará en el interior de la manga guía con

una leve resistencia de fricción. La manga guía se deslizará libremente sobre la barra guía del cabezal. El medidor de flujo será ajustado a cero cuando se coloque en posición sobre el cabezal cuando cada espécimen individual a ensayar esté colocado entre los segmentos de los cabezales. Las graduaciones del medidor de flujo estarán en divisiones de 0.25-mm (0.01-pulg.).

3.4.2.4.1.2.4. *Baño María:* El baño maría tendrá por lo menos una profundidad de 152.4 mm (6 pulg) y será termostáticamente controlado para mantener el agua en 60 ± 1 °C (140 ± 2 °F) o 37.8 ± 1 °C (100 ± 2 °F). El tanque estará equipado con un fondo perforado o equipado con un estante para soportar especímenes con 50.8 mm (2 pulg.) por encima del fondo del tanque.

3.4.2.4.2. PROCEDIMIENTO PARA ELABORACION DE BRIQUETAS.

3.4.2.4.2.1. *Número de especímenes.* Preparar 18 briquetas para cada tipo de mezcla asfáltica (9 de mezcla asfáltica tibia y 9 de mezcla asfáltica caliente) de acuerdo al diseño correspondiente.

3.4.2.4.2.2. *Preparación de agregados:*

3.4.2.4.2.2.1. Identificar la gradación de los agregados disponibles en la planta asfáltica y obtener su granulometría. Obtenida esta información, proceder a la combinación de los agregados de acuerdo a la metodología establecida por el Instituto del asfalto (Asphalt Institute) para cumplir con los rangos de tolerancia establecidos en el diseño original de la mezcla correspondiente (ver Capítulo IV de esta investigación).

3.4.2.4.2.2.2. Obtenida la proporción de los agregados de acuerdo con el numeral anterior, determinar una cantidad ligeramente mayor a la masa total de las briquetas, para evitar la necesidad de reabastecerse de agregados al momento de la elaboración de las briquetas. Secar los agregados hasta masa constante entre 105 a 110 °C (221 a 230 °F) (Figura 3-49) y separe a los agregados por tamizado seco en las fracciones de tamaño deseadas (ver Figura 3-50). Las siguientes fracciones de tamaño son recomendadas:

- 25.0 a 19.0 mm (1 a $\frac{3}{4}$ pulg.)
- 19.0 a 9.5 mm ($\frac{3}{4}$ a $\frac{3}{8}$ pulg.)

- 9.5 mm a 4.75 mm (3/8 pulg. a No. 4)
- 4.75 mm a 236 mm (No. 4 a No. 8)
- Pasa 2.36 mm (No. 8)

3.4.2.4.2.3. *Determinación de la temperatura de mezcla y de compactación.*

3.4.2.4.2.3.1. Las temperaturas a las cuales el cemento asfáltico y asfaltos rebajados deben ser calentados para producir una viscosidad de 170 ± 20 centistoke (cSt) será la temperatura de mezcla. Utilice la carta de viscosidad del asfalto correspondiente para obtener la temperatura de mezclado.

3.4.2.4.2.3.2. Las temperaturas a las cuales el cemento asfáltico debe ser calentado para producir una viscosidad de 280 ± 30 cSt será la temperatura de compactación. Utilice la carta de viscosidad del asfalto correspondiente para obtener la temperatura de compactado.



Fuente: Propia

Figura 3-49: Agregados secados en horno.



Fuente: Propia

Figura 3-50: Agregados separados en fracciones. 3/4" a 3/8", 3/8" a No.4, No.4 a No.8 y Pasante No.8

3.4.2.4.2.4. Preparación de mezclas:

3.4.2.4.2.4.1. Una cantidad inicial de carga será mezclada con el propósito de cebar el tazón de la mezcladora y el mezclador. Esta cantidad (bachada) será vaciada después de ser mezclada y los lados del tazón y los mezcladores serán limpiados del residuo de mezcla raspando con una espátula pequeña pero no serán limpiados con solvente o una tela con solvente, excepto cuando un cambio de cemento asfáltico debe ser realizado ó al finalizar el mezclado de diferentes dosificaciones.

3.4.2.4.2.4.2. Pese en charolas separadas para cada espécimen a ensayar la cantidad de cada tamaño de fracción requerida (ver Figura 3-51) para producir una dosificación que resultará en un espécimen compactado con una altura de 63.5 ± 1.27 mm (2.5 ± 0.05 pulg) (con peso aproximado de 1200 g). Mezcle el agregado en cada bandeja y coloque las bandejas en un plato calentador o en el horno y caliente a una temperatura que no exceda la temperatura de mezcla establecida en el apartado 3.4.2.4.2.3 aproximadamente por más de 28°C (50°F). Caliente a la temperatura de mezcla establecida, en un contenedor separado sólo el material bituminoso suficiente para la dosificación (ver Figura 3-52). Deposite en el tazón de la mezcladora el agregado caliente. Formar un cráter en el agregado seco combinado y pese la cantidad requerida de asfalto precalentado en la mezcla. Tenga cuidado para prevenir pérdida de la mezcla durante el mezclado y el subsiguiente manejo. En este punto la temperatura del agregado y el material bituminoso estarán dentro del límite de la temperatura de mezclado establecida en el apartado 3.4.2.4.2.3. Mezclar el agregado y material bituminoso rápidamente hasta que quede completamente revestido. Para mantener una temperatura correcta de mezclado, uno de los métodos escritos en el apartado 3.4.2.4.1.1.7 puede ser utilizado.



Fuente: Propia.

Figura 3-51: Pesado de agregados y dosificación de agregados para cada fracción según pesos establecidos.



Fuente: Propia.

Figura 3-52: Chequeo de temperatura de mezclado en los materiales.

3.4.2.4.2.5. Compactación de Especímenes:

3.4.2.4.2.5.1. Limpie totalmente el molde ensamblado para espécimen y la superficie del martillo de compactación y caliéntelos en el plato calentador, a una temperatura entre 93.3 y 148.9 °C (200 y 300 °F). Coloque una pieza de papel filtro o papel recortado en el fondo del molde antes de introducir la mezcla. Introduzca la cantidad dosificada (bachada) completa en el molde, compacte vigorosamente con una espátula caliente 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces en el interior (ver Figura 3-53). Remueva el collar y alise la superficie de la mezcla con una espátula para dar una forma ligeramente redondeada. Las temperaturas de la mezcla antes de la compactación (Figura 3-54) estarán dentro del límite de la temperatura de compactación establecida en la Sección 3.4.2.4.2.3.



Fuente: Propia.

Figura 3-53: Colocación de la mezcla en el molde de compactación y varillado con una espátula (15 veces alrededor del perímetro y 10 en el centro).



Fuente: Propia.

Figura 3-54: Temperatura dentro del límite de compactación, Martillo Marshall de compactación y Hot Plate, Martillo en caída libre).

3.4.2.4.2.5.2. Colocar nuevamente el collar, luego coloque una pieza de papel filtro o papel recortado sobre la mezcla y coloque el molde ensamblado en el sujetador de molde en el pedestal de compactación, y salvo indicación contraria, ejercer 75 golpes con el martillo de compactación con caída libre de 457.2 mm (18 pulg) (ver Figura 3-54). Mantenga la línea central del martillo de compactación perpendicular a la base del molde ensamblado durante la compactación. Remueva el plato base y el collar, y coloque el molde en una posición inversa (como se muestra en Figura 3-55), el molde se invierte y luego se le coloca de nuevo el collar. Ejercer el mismo número de golpes de compactación a la cara del espécimen que se invirtió. Después de la compactación, remueva el plato base y colocar el molde en el extractor de muestra en contacto con una cara de la briqueta (tal como se muestra en la Figura 3-56). Colocar el molde armado con el collar de extensión sobre este, en la máquina de ensayo, ejerza presión por medio de la barra de transferencia de carga, e introduzca la briqueta a la fuerza en el collar de extensión. Retire el collar de la briqueta. Cuidadosamente transfiera la briqueta a una superficie plana, fina y permita reposar toda una noche a temperatura del cuarto. Mida, pese y ensaye la briqueta.



Fuente: Propia.

Figura 3-55: Molde con mezcla asfáltica invertido y Briquetas compactadas y desmoldadas.



Fuente: Propia.

Figura 3-56: Equipo de extracción y extracción de una briqueta.

3.4.2.4.3. PROCEDIMIENTO PARA ENSAYO DESTRUCTIVO DE BRIQUETAS.

3.4.2.4.3.1. Lleve los especímenes preparados con cemento asfáltico (Figura 3-55) a la temperatura especificada por inmersión en el baño de maría de 30 a 40 minutos. Mantenga la temperatura del baño de maría a 60 ± 1 °C (140 ± 1.8 °F) para especímenes con cemento asfáltico y 37.8 ± 1 °C (100 ± 1.8 °F). Limpie completamente las barras guía y las superficies interiores de los cabezales de ensayo antes de iniciar el ensayo, y lubrique las barras guía a fin de que el cabezal de ensayo superior se deslice libremente sobre ellas. La temperatura del cabezal de ensayo deberá mantenerse entre 21.1 a 37.8 °C (70 a 100 °F) usando un baño de maría en caso de necesitarlo. Remover la briqueta del baño de maría y colóquela en la parte interna del cabezal de ensayo inferior. Colocar el segmento superior del cabezal de ensayo sobre la briqueta, y ponga el ensamble completo en posición en la máquina de ensayo.



Fuente: Propia.

Figura 3-57: Equipo para ensayo de estabilidad y flujo.

3.4.2.4.3.2. Aplique carga a la briqueta a una razón de un movimiento constante del gato de carga o el cabezal de la máquina de ensayo de 50.8 mm/min (2 pulg/min) hasta que la carga máxima es alcanzada y la carga decrece como es indicada por el dial. Registre la carga máxima que indica la máquina de ensayo o convierta la lectura máxima leída del dial del micrómetro. Lea y registre el valor de flujo indicado. El tiempo transcurrido para la realización del ensayo desde la extracción de la briqueta del baño de maría hasta la determinación de la carga máxima no excederá 30 segundos.

3.4.2.4.3.3. Con base en lo establecido en el inciso anterior, el marco de carga descrito en el apartado 3.4.2.4.1.2.2, es capaz de registrar un listado de lecturas de carga a compresión con su correspondiente flujo desde el momento en que la carga y flujo son cero, hasta obtener la lectura de carga máxima. Es de vital importancia registrar todas las lecturas de carga y flujo Marshall correspondientes para cada espécimen de ensayo, puesto que se debe con dichos valores generar una grafica de estabilidad vs flujo.

Para poder determinar el valor de estabilidad y flujo Marshall, es necesario seguir el procedimiento mostrado en la figura 3-58 de la norma de ensayo Método de prueba estándar para la Estabilidad Marshall y flujo de mezclas bituminosas ASTM D 6927-06.

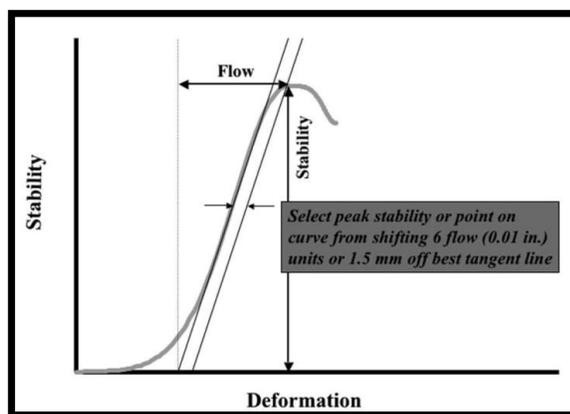


Figura 3-58: Grafico para determinación de Estabilidad y Flujo Marshall.

3.4.2.4.3.4. Debido que los especímenes extraídos en campo y los especímenes de laboratorio no poseen uniformidad en sus dimensiones y volúmenes, es necesario aplicar la razón de corrección establecida así en la norma ASTM D6927-06, para la cual el valor de volumen de especímenes es indispensable como se observa en la figura 3-59, una vez determinado la razón de corrección por volumen este se aplica, al valor de estabilidad deducido del grafico.

Volume of Specimen, cm ³	Thickness of Specimen		Correlation Ratio
	mm	in.	
200 to 213	25.4	1.00 (1)	5.56
214 to 225	27.0	1.06 (1 7/8)	5.00
226 to 237	28.6	1.12 (1 7/8)	4.55
238 to 250	30.2	1.19 (1 7/8)	4.17
251 to 264	31.8	1.25 (1 7/8)	3.85
265 to 276	33.3	1.31 (1 5/8)	3.57
277 to 289	34.9	1.38 (1 5/8)	3.33
290 to 301	36.5	1.44 (1 7/8)	3.03
302 to 316	38.1	1.50 (1 7/8)	2.78
317 to 328	39.7	1.56 (1 5/8)	2.50
329 to 340	41.3	1.62 (1 5/8)	2.27
341 to 353	42.9	1.69 (1 7/8)	2.08
354 to 367	44.4	1.75 (1 5/8)	1.92
368 to 379	46.0	1.81 (1 7/8)	1.79
380 to 392	47.6	1.88 (1 7/8)	1.67
393 to 405	49.2	1.94 (1 5/8)	1.56
406 to 420	50.8	2.00 (2)	1.47
421 to 431	52.4	2.06 (2 7/8)	1.39
432 to 443	54.0	2.12 (2 7/8)	1.32
444 to 456	55.6	2.19 (2 7/8)	1.25
457 to 470	57.2	2.25 (2 7/8)	1.19
471 to 482	58.7	2.31 (2 5/8)	1.14
483 to 495	60.3	2.38 (2 7/8)	1.09
496 to 508	61.9	2.44 (2 7/8)	1.04
509 to 522	63.5	2.50 (2 7/8)	1.00
523 to 535	65.1	2.56 (2 5/8)	0.96
536 to 546	66.7	2.62 (2 5/8)	0.93
547 to 559	68.3	2.60 (2 7/8)	0.89
560 to 573	69.8	2.75 (2 7/8)	0.86
574 to 585	71.4	2.81 (2 5/8)	0.83
586 to 598	73.0	2.88 (2 7/8)	0.81
599 to 610	74.6	2.94 (2 5/8)	0.78
611 to 626	76.2	3.00 (3)	0.76

[^]The measured stability of a specimen multiplied by the ratio for the thickness of the specimen equals the corrected stability for a 2.7-in. (63.5 mm) specimen.
[^]Volume-thickness relationship is based on a specimen diameter of 4 in. (101.6 mm).

Figura 3-59: Factor de corrección para Estabilidad Marshall.

3.4.2.4.4. REPORTE DE ENSAYO.

Los resultados de la estabilidad y flujo Marshall se registrarán en el formato que se presenta a continuación:

	<p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE ASFALTOS DE CENTRO AMERICA</p>					
Solicitante: _____ Proyecto: _____ Ubicación: _____ Fecha de Muestreo: _____ Material: _____						
RESISTENCIA AL FLUJO PLASTICO DE MEZCLAS BITUMINOSAS UTILIZANDO EL APARATO MARSHALL ASTM D 1559-89 AASHTO T 245-13						
BRIQUETA	VOL. (cm3)	CORRECCION POR VOLUMEN	FLUJO (mm)	CARGA MAXIMA (Lb)	ESTABILIDAD (Lb)	ESTABILIDAD CORREGIDA (Lb)
PROMEDIO						
Observaciones: _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____						

Tabla 3-12: Formato de ensayo de estabilidad y flujo.

3.3.2.5 MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA PRUEBA DE TENSIÓN INDIRECTA PARA MÓDULO DE RESILIENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS.

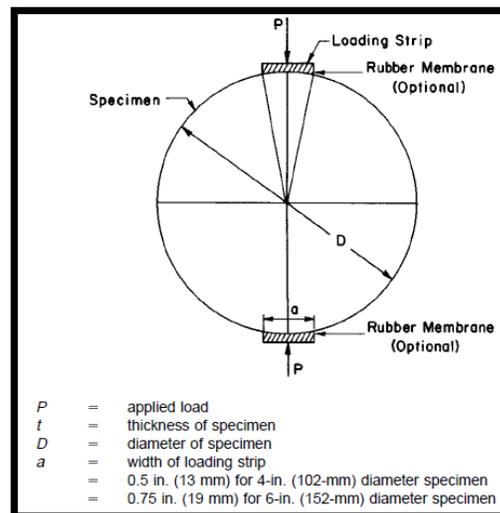
Basado en norma ASTM: D 4123 – 82 (1995)

Con equivalencia en norma AASHTO: T 283-07

3.4.2.5.1. EQUIPO.

3.4.2.5.1.1. *Maquina de Prueba.* La máquina de prueba debe tener la capacidad de aplicar un impulso de carga sobre una gama de frecuencias, cargar duraciones, y los niveles de carga.

3.4.2.5.1.2. *Sistema de Control de Temperatura.* El sistema de control de temperatura debe ser capaz de controlar sobre un rango de temperatura de 5 a 40 ° C y $\pm 1.1^{\circ}\text{C}$ de la temperatura especificada dentro del rango. El sistema debe incluir un gabinete de control de temperatura lo suficientemente grande como para contener al menos tres muestras durante un periodo de 24 h antes de la prueba.



Fuente: Norma ASTM D 4123 – 82 (1995)

Figura 3-60: Dispositivo para la aplicación de la carga.

3.4.2.5.1.2.1. *Bolsas plásticas y cinta adhesiva.*

3.4.2.5.1.3. *Contenedor de Vacío:*

3.4.2.5.1.3.1. Deben de resistir el vacío aplicado, la abertura del contenedor que conduce a la bomba de vacío estará cubierto por una pieza de malla de 75 μm (N° 200) para minimizar la pérdida de material fino. El tamaño deberá estar entre 2,000 y 10,000 ml. Evitar usar una muestra pequeña en un contenedor grande.

3.4.2.5.1.3.2. *Tazón de Vacío:* Ya sea uno de metal o plástico con un diámetro aproximadamente de 180 a 260 mm (7.1 a 10.2 pulg.) y una altura de tazón de al menos 160 mm (6.3 pulg.) estará equipado con una tapadera transparente que se acomoda a un empaque de hule y una conexión para la línea de vacío.

3.4.2.5.1.3.3. *Frasco para trampa:* Un frasco volumétrico de vidrio grueso y amurallado y un tapón de hule, con una conexión para la línea de vacío.

3.4.2.5.1.4. *Quijadas para la aplicación de carga.* Es necesario un dispositivo de carga de metal con una superficie cóncava que tenga un radio de curvatura igual al radio nominal de la muestra de ensayo a aplicar la carga a la muestra. Las muestras serán normalmente un valor nominal de 4 o 6 pulgadas de diámetro. El dispositivo de carga deberá ser de 0.5 o 0.75 pulgadas de ancho para estos diámetros, respectivamente. Los bordes deben ser redondeados para eliminar el borde afilado con el fin de no cortar la muestra durante la prueba.

3.4.2.5.1.5. *Misceláneos.*

3.4.2.5.2. PROCEDIMIENTO.

3.4.2.5.2.1. *Resumen.* Utilizar seis especímenes cilíndricos según el procedimiento Marshall AASHTO T245 o utilizar especímenes extraídos de carpeta de rodadura con un extractor que iguale las dimensiones de los especímenes elaborados según el procedimiento de la norma AASHTO T245. Tres especímenes serán ensayados luego de

un acondicionamiento en seco y tres especímenes serán ensayados luego de un acondicionamiento húmedo. Todos los especímenes deberán tener un porcentaje de vacíos de aire entre 6% y 8%. Para garantizar este porcentaje de vacíos de aire en los especímenes, será necesario elaborar inicialmente una curva de compactación.

3.4.2.5.2.2. *Elaboración de curva de compactación.* En la curva de compactación se gráfica el porcentaje de vacíos de los especímenes (eje "Y") versus el número de golpes recibidos por los especímenes durante la compactación con el martillo MARSHALL (eje "X"). Para este propósito será necesario elaborar especímenes para cuatro puntos de compactación como mínimo.

Por cada punto podrían elaborarse Hasta tres especímenes. Los puntos de compactación recomendados son para 12, 25, 50 y 75 golpes de compactación. Una vez elaborados los especímenes es necesario obtener el porcentaje de vacíos de aire utilizando el procedimiento establecido por la norma ASTM D 3203, y obtenidos estos valores se elabora la gráfica. Elaborado el gráfico, es necesario plotear el número de golpes con martillo Marshall que garantice un porcentaje de vacíos de aire entre 6% y 8%.

3.4.2.5.2.3. *Elaboración de especímenes.* Obtenida la cantidad de golpes necesarios para obtener el porcentaje de vacíos de aire necesario, elaborar 6 especímenes como mínimo.

3.4.2.5.2.4. *Selección de especímenes para acondicionamiento.* Una vez obtenidos los seis especímenes, es necesario determinar su porcentaje de vacíos de aire por medio del procedimiento ASTM D 3203. Separar en dos grupos de tres a los seis especímenes. Los tres con menor porcentaje de vacíos de aire serán utilizados para ensayarse luego de un acondicionamiento en seco, mientras que aquellos con mayor porcentaje de vacíos serán acondicionados en húmedo.

Una vez elaborados los especímenes es necesario medir sus dimensiones con el uso de un calibrador Vernier. Registrar el diámetro como el promedio de dos mediciones perpendiculares en la superficie inferior y dos mediciones perpendiculares en la superficie superior del espécimen. Registrar el espesor de cada espécimen como el promedio de cuatro mediciones separadas a $\frac{1}{4}$ del perímetro del espécimen.

3.4.2.5.2.5. Acondicionamiento de especímenes.

3.4.2.5.2.5.1. Acondicionamiento en seco. Conservar los especímenes elaborados a temperatura ambiente durante 24 horas o hasta que estén fríos. Dado que han de ensayarse a 25 °C, puede aprovecharse este tiempo para garantizar que los especímenes alcancen la temperatura de ensayo.

3.4.2.5.2.5.2. Acondicionamiento en húmedo. Los tres especímenes seleccionados serán sometidos a un ciclo de saturación como se detalla a continuación.

- a) Utilizar la maquinaria del ensayo de gravedad específica teórica máxima para extraer el aire de los especímenes y garantizar un porcentaje de saturación entre 55% y 80%. Se recomienda que los especímenes permanezcan dentro de la máquina de extracción durante dos minutos, sin embargo es necesario chequear el porcentaje de saturación del espécimen antes de que este período de tiempo transcurra, pues el porcentaje de saturación necesario puede alcanzarse antes de los dos minutos.

De no alcanzarse en los dos minutos el porcentaje de saturación necesario, será necesario aplicar más tiempo en la máquina de extracción de vacíos. La presión de vacío a aplicar deberá ser la misma utilizada para la obtención de gravedad específica teórica máxima.

- b) Garantizado el porcentaje de absorción necesario, se introducen los especímenes en un baño maría a 60 °C durante 24h.

Finalizado este tiempo, se extraen los especímenes y se obtiene su porcentaje de saturación, que deberá ser mayor a 80% luego de tiempo en el baño maría. Para lo anterior será necesario obtener el porcentaje de vacíos de aire por medio del procedimiento de la norma ASTM D 3203.

Luego de este procedimiento es necesario medir nuevamente sus dimensiones con el uso de un calibrador Vernier. Registrar el diámetro “D” como el promedio de dos mediciones perpendiculares en la superficie inferior y dos mediciones perpendiculares en la superficie superior del espécimen. Registrar el espesor “t” de cada espécimen como el promedio de cuatro mediciones separadas a ¼ del perímetro del espécimen. Utilizar estos valores para determinación de la resistencia a la tensión de los especímenes húmedos.

3.4.2.5.2.6. *Ensayo de especímenes.* Finalizados los acondicionamientos de los especímenes, llevar su temperatura a 25 °C. Garantizada está temperatura, ensayar los especímenes hasta su ruptura y registrar este valor como “Pult”.

3.4.2.5.3. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A LA TENSIÓN.

Determinar la resistencia a la tensión por medio de la siguiente ecuación:

$$S_T = \frac{2 \cdot P_{ult}}{\pi \cdot t \cdot D}$$

Donde:

- S_T = Resistencia a la tensión (N/mm²).
- P_{ult} = Carga última aplicada requerida para hacer fallar al espécimen, lbf (N).
- t = Espesor de la muestra, pulg (mm), *utilizar los valores luego de acondicionamiento húmedo para aquellos especímenes húmedos.*
- D = Diámetro de la muestra, pulg (mm), *utilizar los valores luego de acondicionamiento húmedo para aquellos especímenes húmedos.*

3.4.2.5.4. CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE RESISTENCIA A LA TENSIÓN.

Determinar la relación de resistencia a la tensión por medio de la siguiente ecuación:

$$\textit{Relación de resistencia a tensión indirecta} = \frac{S_{T_{hum}}}{S_{T_{seco}}} * 100$$

Donde:

- $S_{T_{hum}}$ = Promedio de resistencia a la tensión de tres especímenes acondicionados en húmedo.
- $S_{T_{seco}}$ = Promedio de resistencia a la tensión de tres especímenes acondicionados en seco.

3.4.2.5.5. REPORTE DE ENSAYO.

Los resultados del ensayo se registrarán en el formato que se presenta a continuación:

PARAMETROS DE ANALISIS DE ENTRADA		MEZCLA DE CAMPO	
	COD	CONDICION SECA	CONDICIÓN HUMEDA
Nº de Especimen	Nº		
Diametro, (mm)	D		
Espesor, (mm)	t		
Peso Seco Aire, (grs)	A		
Peso Saturado Superficialmente Seco, (grs)	B		
Peso Sumergido, (grs)	C		
Volumen del Especimen, (B - C)	E		
Gravedad Especifica Bulk (Gmb), (A / E)	F		
Gravedad Especifica Teorica Maxima, (Gmm)	G		
% Vacios Aire (Va), (100*(G - F) / G)	H		
Volumen de Vacios Aire, (H*E) / 100	J		
Carga Resultante Especimenes en Seco, (lb-f)	P		
Saturación a vacío parcial: (5 min a una presión de 20 in de Hg, en agua destilada a 25° C.)			
Especimen seleccionado			
Peso Saturado Superficialmente Seco, (grs)	B'		
Peso Sumergido, (grs)	C'		
Volumen del Especimen, (B'-C')	E'		
Volumen Agua Absorbida, (B'-A)	J'		
% Saturacion, (100 * (J') / J)			
% Hinchamiento (100 * (E' - E) / E)			
Acondicionamiento en Condición Humeda: (Baño de María a 60° C por 24 h (140 F))			
Especimen seleccionado			
Espesor, plg	t''		
Peso Saturado Superficialmente Seco, (grs)	B''		
Peso Sumergido, (grs)	C''		
Volumen (B''-C'')	E''		
Volumen Agua Absorbida (B''-A)	J''		
% Saturacion (100 J''/J)			
% Hinchamiento (100(E''-E)/E)			
Carga Resultante Especimenes en Condición Humeda	P''		
Calculo del TSR (Tensil Strength Ratio), Relación de Esfuerzo de Tensión=			
Código del espécimen			
Esfuerzo Especimenes en Seco (kPa), (2 * P / π * t * D)	S _{td}		
Esfuerzo Especimenes en Condición Humeda, (kPa) (2 * P' / π * t' * D)=	S _{tm}		
Promedio de Esfuerzo Especimenes en Seco			
Promedio de Esfuerzo Especimenes en Condición Humeda			
Relación de Esfuerzo de Tension (TSR), (100 * (S_{tm} / S_{td}))=		NOTA: Las Especificaciones Tecnicas del Proyecto requieren un valor de TSR igual o mayor al 75% para una HMA diseñada por el Metodo Marshall.	

Tabla 3-13: Formato de ensayo de resistencia a la tensión indirecta.

**CAPITULO IV:
CARACTERIZACIÓN
DE LOS TRAMOS DE
MEZCLA ASFÁLTICA
A EVALUAR.**

4.1 CRITERIOS DE COMPARACIÓN.

Esta investigación se basa en la comparación de la carpeta de rodadura de dos tramos de carretera construidos con dos tipos de mezcla asfáltica distinta: mezcla asfáltica caliente y mezcla asfáltica tibia. Dado que el objetivo es determinar el desempeño de ambos tramos y luego compararlos, es necesario que los tramos que han de seleccionarse no tengan ventaja uno sobre otro para que esta comparación tenga validez.

Las carpetas de rodadura se enfrentan a muchos factores externos que afectan la vida útil que éstas pueden llegar a tener, por ello existen carreteras que resultan ser más duraderas que otras (considerando que no existen vicios ocultos en el proceso constructivo de la carretera). Los factores externos que han de considerarse para validar la comparación de los tramos seleccionados en esta investigación son los siguientes:

1. Clima.
2. Edad.
3. Carga Vehicular.
4. Topografía.

A continuación se define cada uno de estos parámetros, la importancia de su acción sobre las carreteras y los valores de tolerancia máxima que deben de cumplir los tramos seleccionados para poder ser considerados como comparables entre ambos. Dado que el tramo de mezcla asfáltica tibia es actualmente único en su tipo, se buscará que el tramo de mezcla asfáltica caliente posea valores de clima, edad, carga vehicular y topografía comparables al de la mezcla asfáltica tibia (de acuerdo con las tolerancias establecidas a continuación).

4.1.1 CLIMA.

El clima se define como un conjunto de fenómenos meteorológicos que hacen referencia al estado de las condiciones atmosféricas de una región sobre la superficie terrestre.

Indicando valores promedio los cuales se obtienen con la recopilación de la información meteorológica durante periodos de tiempo los suficientemente largos. El término clima, se vincula generalmente a la temperatura y al registro de precipitación, (lluvia, nieve, rocío, etc.), además de parámetros de presión, humedad y viento.

4.1.1.1 EL CLIMA EN EL SALVADOR.

El Salvador está situado en la parte norte del cinturón tropical de la Tierra, cuenta con un clima tropical húmedo y seco. A diferencia de países cercanos a los polos, donde es más apreciable la diferencia entre las 4 estaciones del año, en El Salvador es posible apreciar únicamente 2 diferentes estaciones en el año debido a su gran vegetación y su ubicación en la cadena volcánica de América. Las estaciones que se diferencian son:

- *Verano:* Estación del año caracterizada por su baja humedad relativa, y temperaturas atmosféricas altas, con cielos despejados, donde la luz solar brilla por más tiempo, en El Salvador esta estación comprende regularmente desde Noviembre hasta Abril.
- *Invierno:* Estación del año caracterizada por su alta humedad relativa, presencia de chubascos, lluvias regulares y temporales (precipitación de lluvia por días seguidos). Esta época del año comprende desde el mes de Mayo al mes de Octubre.

4.1.1.2 INFLUENCIA DEL CLIMA EN EL DESEMPEÑO DE LA CARPETA DE RODADURA.

Las condiciones climáticas afectan directamente el comportamiento de la estructura del pavimento, debido a esto la carpeta de rodadura eventualmente podría llegar a presentar evaluaciones negativas en su desempeño. Muchos de los materiales que se encuentran en las capas subyacentes, poseen sensibilidad al contacto con el agua, esto podría llegar a alterar las propiedades mecánicas y el comportamiento de los materiales.

La exposición a la radiación solar, también provoca daños severos a la superficie del pavimento, debido a los materiales como el asfalto los cuales son sensibles a los cambios

de temperatura, y la capacidad de absorber el calor es mayor, debido a su color y al fenómeno de albedo. La exposición a altas temperaturas también tiene como consecuencia, un envejecimiento y un deterioro en las propiedades elásticas del asfalto.

Se puede observar como el invierno en El Salvador, año con año, provoca un aumento en el impacto negativo del territorio salvadoreño, esto se debe a diferentes agentes como: El cambio climático, la erosión de las tierras, deforestación de los bosques, etc. lo que se traduce en mayores esfuerzos en la protección de construcciones vulnerables a las condiciones climáticas.

4.1.1.3 CONSIDERACIONES CLIMÁTICAS PARA EL ANÁLISIS DE COMPARACIÓN.

Para esta investigación se considerarán principalmente los parámetros de precipitación máxima, humedad relativa y variación de la temperatura (temperatura máxima y mínima), pues se considera que entre todos los elementos climáticos, son estos los que más afectan a la carpeta de rodadura.

Además, debido a la extensión territorial del país, no se espera que exista una amplia variación entre los rangos de valores de precipitación, humedad relativa y temperatura entre los tramos a seleccionar.

4.1.2 CARGA VEHICULAR.

A la circulación de vehículos por las vías se le conoce como tránsito. El pavimento es la estructura responsable de soportar todas las cargas que sean producto del tránsito de vehículos sobre una vía. Estas cargas pueden ser de carácter dinámico (vehículos en movimiento) y estático (vehículos estacionados). En las zonas urbanas, ambos tipos de carga tienen lugar, mientras que en las zonas rurales se destacan más las cargas dinámicas.

La intensidad de las cargas sobre las vías varía de acuerdo tipo de vehículo que la produce, pues existen vehículos dedicados al transporte masivo de personas, materiales y recursos así como también vehículos de transporte personal.

Para las instituciones encargadas del control del tráfico vehicular, es importante establecer la cantidad de vehículos que transitan en una vía durante un período de tiempo, este valor permite establecer prioridad de una vía sobre otra y es útil para el diseño de la estructura del pavimento. Este valor es conocido como Transito Promedio Diario Anual (TPDA).

Sin embargo, el TPDA, establece únicamente la cantidad promedio de vehículos que circulan sobre una vía. Si lo que se desea es establecer el valor de la carga que ha de soportar el pavimento durante un período de tiempo, el TPDA no es el parámetro adecuado. Por lo que, para esta investigación se considerará como parámetro de comparación de carga vehicular la cantidad de ESAL's que haya soportado la vía desde su apertura al tráfico.

Un ESAL ("*Equivalent Single Axial Load*", carga axial por eje equivalente) es un valor que representa la carga que recibe la estructura del pavimento y equivale a 80 kN. Sin importar el tipo de vehículo, su carga puede expresarse en unidades de ESAL's.

4.1.2.1 CARGA VEHICULAR EN EL SALVADOR

La posición geográfica de El Salvador ha provocado que el país se convierta en un corredor para el tránsito de vehículos pesados que transportan artículos varios, que pueden ser para consumo nacional, para exportación e importación. Al salir de las zonas urbanas es común encontrar en las carreteras una mezcla de vehículos livianos y pesados. La carga vehicular en las carreteras está comúnmente conformada por vehículos livianos, camiones, buses y furgones.

4.1.2.2 INFLUENCIA DE LA CARGA VEHICULAR EN EL DESEMPEÑO DE LA CARPETA DE RODADURA.

La carga vehicular es la responsable de los esfuerzos y deformaciones que debe de soportar la carpeta de rodadura (excepto aquellos esfuerzos y deformaciones provocados por efectos de la temperatura). En un pavimento flexible la carpeta de rodadura es la responsable de recibir la carga y distribuirla a toda la estructura del pavimento. Esta capa es capaz de deformarse y regresar a su condición original gracias a las propiedades elásticas del asfalto.

Sin embargo, la exposición prolongada y en ciertos casos excesiva de cargas sobre la carpeta de rodadura produce deformaciones permanentes a causa de la fatiga. Estas deformaciones se manifiestan por medio ahuellamientos, grietas longitudinales, transversales y otros tipos de daños.

4.1.2.3 CONSIDERACIONES DE LA CARGA VEHICULAR PARA EL ANÁLISIS DE COMPARACIÓN.

Para esta investigación, se establecerá una tolerancia de más o menos 2.5×10^6 ESAL's a partir del momento de apertura al tráfico. En el apartado 4.5 se mostrará la diferencia de ESAL's que pueda existir entre los tramos seleccionados, así como la compatibilidad de los mismos bajo la tolerancia de ESAL's establecida.

La carga vehicular se definirá a través del número de ESAL's que ha soportado el tramo desde su apertura al tráfico. Sin embargo debido a que el conteo vehicular data del año 2010, se determinará el número de ESAL's que ha soportado el tramo desde ese año. Posteriormente se considerará solamente el porcentaje de ESAL's que haya recibido el tramo desde su momento a la apertura del tráfico.

El número de ESAL's es un parámetro de diseño que depende de factores que establecerán la calidad de la carpeta de rodadura. Debido a que en este caso el cálculo de los ESAL's no tiene un propósito de diseño, si no de comparación de dos tramos con

condiciones similares de carga, se asumieron los siguientes valores para los factores involucrados en el proceso de cálculo que dependen del criterio del diseñador:

- Numero Estructural (SN) = 3.
- Índice de Serviciabilidad (Pt) = 2.5.
- Factor de Crecimiento para Vehículos Livianos = 2%.
- Factor de Crecimiento para Vehículos Pesados = 3%.
- Periodo de Diseño = 4 años (desde 2010 hasta la fecha).

El procedimiento de cálculo se efectuara de acuerdo a lo establecido en el capítulo 3 del “Manual Centroamericano de Diseño de Pavimentos” (SIECA, Noviembre 2002).

4.1.3 EDAD.

Se ha definido anteriormente la acción que el clima y la carga vehicular ejercen sobre las carpetas de rodadura de los pavimentos flexibles. Un tercer parámetro a considerar es la edad que la carpeta de rodadura posea, esta se medirá a partir del momento en que fue abierta al tráfico.

En sí, el paso del tiempo no es lo que afecta a la carpeta de rodadura, sino lo que sucede durante ese tiempo, pues el daño que pueda presentar una carpeta debido a la acción del clima y la carga vehicular durante 5 años, será mucho menor que el que pueda presentar esta misma para un período de 10 años, bajo las mismas condiciones. La edad tiene entonces una relación directamente proporcional a los daños que presenta la carpeta de rodadura.

En nuestro país las carreteras se diseñan para una vida útil de 20 años. Sin embargo, es necesario dar un mantenimiento a las vías para que puedan cumplir con este tiempo de servicio. Las instituciones gubernamentales responsables del mantenimiento de las vías, proporcionan dos tipos de mantenimiento:

- *Mantenimiento rutinario*: Consiste en todas aquellas actividades de carácter permanente realizadas en las vías para conservar sus niveles de servicio. Estas actividades pueden ser manuales o mecánicas y están referidas principalmente a labores de limpieza, bacheo, perfilado, roce, eliminación de derrumbes de pequeña magnitud; así como, limpieza o reparación de juntas de dilatación.
- *Mantenimiento periódico*: Consiste en todas aquellas actividades programables cada cierto periodo, que son realizadas en las vías para conservar sus niveles de servicio. Estas actividades pueden ser manuales o mecánicas y están referidas principalmente a intervenciones mayores como por ejemplo: sustitución de capas de rodadura, colocación de capas nivelantes y sello, reparación o reconstrucción puntual de capas inferiores del pavimento.

4.1.3.1 CONSIDERACIONES DE LA EDAD PARA EL ANÁLISIS DE COMPARACIÓN.

Para esta investigación, se establecerá una tolerancia de más o menos seis meses a partir del momento de apertura al tráfico. En el apartado 4.5 se mostrará la diferencia de edad que pueda existir entre los tramos seleccionados, así como la compatibilidad de los mismos bajo la tolerancia de edad establecida.

4.1.4 TOPOGRAFÍA.

La topografía es una ciencia que permite localizar e identificar todos los elementos del terreno que influyen en el proyecto sea este de construcción, rehabilitación o apertura de carretera; además tiene la versatilidad de utilizarse como una herramienta para elaborar el diseño geométrico de una vía, técnica que consiste en elaborar el trazado de una carretera, calle o vía del terreno.

La topografía del terreno es indispensable al momento de diseñar la capacidad estructural de las carreteras, a través del establecimiento del ancho de la calzada, número de carriles, espesor de carpeta de rodadura, base y sub-base.

4.1.4.1 INFLUENCIA DE LA TOPOGRAFÍA EN EL DESEMPEÑO DE LA CARPETA DE RODADURA.

La posición en la que un tramo de pavimento recibe la carga vehicular determina los esfuerzos que surgen internamente en la estructura del pavimento. Si la estructura del pavimento recibe la carga vehicular en una dirección perpendicular a su eje longitudinal, los esfuerzos que surgirían internamente en la carpeta de rodadura podrían ser representados por esfuerzos de flexión, mientras que si la carga vehicular es recibida con algún grado de inclinación con respecto al eje longitudinal de la carretera, los esfuerzos pueden representarse por un esfuerzo de flexo-compresión.

La carpeta de rodadura por ser la capa más externa y la más rígida de la estructura del pavimento, es la encargada de recibir las cargas y transmitir las a las otras capas del pavimento. Por ser una capa continua en el caso de los pavimentos flexibles, es muy complejo establecer con precisión la distribución de esfuerzos dentro de ella, sin embargo resulta claro entender, que dependiendo de la pendiente que tenga la capa de rodadura así será el comportamiento estructural de ella y por lo tanto los daños que se manifiesten debido a deformaciones permanentes.

Se espera que la carpeta de rodadura absorba la mayor cantidad de los esfuerzos que la carga vehicular le induce a la estructura del pavimento, por ello puede decirse que la carpeta de rodadura tiene la función de proteger a las capas subyacentes. Es por esto que la carpeta de rodadura crece en espesor a medida que crece la carga vehicular que ha de soportar. Los procedimientos de diseño se enfocan en establecer el espesor de esta capa en base a la carga vehicular a la que será sometido el pavimento durante un periodo establecido de tiempo.

4.1.4.2 CONSIDERACIONES DE LA TOPOGRAFÍA PARA EL ANÁLISIS DE COMPARACIÓN.

Para este trabajo de investigación el elemento de la configuración geométrica que ha de tomarse en cuenta para establecer la compatibilidad de los tramos a seleccionar, será el

espesor de la carpeta de rodadura. Se considerará que la carpeta de rodadura en los tramos seleccionados debe tener el mismo espesor.

Idealmente ambos tramos de carretera deberían tener la misma configuración geométrica en lo que respecta a curvas horizontales y verticales, sin embargo debido a la disponibilidad de tramos que cumplan con los parámetros mencionados en los apartados 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3 se tratara con flexibilidad este aspecto de la topografía del terreno de los tramos en comparación.

4.2 CARACTERIZACIÓN DE TRAMO DE MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA COLOCADA Y COMPACTADA.

4.2.1 DESCRIPCIÓN DE LA VÍA.

4.2.1.1 GENERALIDADES.

El tramo de mezcla asfáltica tibia seleccionado para esta investigación es el primero que se ha construido en El Salvador utilizando tecnología de aditivo químico tenso activo. Este se encuentra ubicado en el municipio de Ateos en el departamento de La Libertad sobre la carretera CA-08W, en el sentido de Oriente a Occidente en ambos carriles, con una longitud aproximada de 400 metros. El tramo abarca desde el estacionamiento 32+420 hasta 32+795. Fue construido en Marzo de 2012 por la empresa constructora Equipos de Construcción S.A de C.V (ECON) y supervisado por la empresa Asfaltos de Centroamérica S.A de C.V (ASFALCA) y con la colaboración del Fondo de Conservación Vial (FOVIAL).



Fuente: "Google maps" 2014.

Figura 4-1: Ubicación del tramo de mezcla asfáltica tibia, Ateos, La Libertad.

En el sentido que conduce de este a oeste se colocaron 428 toneladas de mezclas asfáltica tibia con aditivo químico tenso activo (Evotherm 3G). La construcción de este tramo tuvo por objetivo la implementación de tecnología novedosa para el país y la ganancia de experiencia en su proceso de fabricación y colocación, así como la verificación de ventajas técnicas que conlleva el uso de esta tecnología. La capa de mezcla asfáltica tibia se colocó sobre una capa de mezcla asfáltica caliente ya existente.



Fuente: Propia

Figura 4-2: Tramo de estudio de mezcla asfáltica tibia (izquierda). Espesor del tramo en estudio (derecha).

4.2.1.2 DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE INTERES.

El tramo de interés a evaluar se ubica sobre la carretera CA-08W, entre el desvío de Jayaque y el desvío a Sacacoyo, siendo con exactitud los estacionamientos 32+420 al 32+795. La vía en el sector de interés, posee cuatro carriles, dos para cada sentido; la mezcla fue colocada en los carriles de sentido Este hacia Oeste. Se decidió que el estudio se realizará sobre el carril externo del sentido, por motivos de seguridad y facilidad de cierre de la vía.



Fuente: Propia

Figura 4-3: Inicio (izquierda) y final (derecha) del tramo de mezcla asfáltica tibia, Ateos, La Libertad.

Se efectuó una visita de campo para señalar el inicio y el fin del tramo en estudio. La figura 4-3 muestra las señales colocadas sobre la vía.

4.2.1.3 CLIMA SOBRE TRAMO DE MEZCLA ASFALTICA TIBIA.

Como se definió anteriormente en el apartado 4.2.1.3 los parámetros climáticos que se utilizaran para la comparación de los tramos a evaluar son la precipitación máxima, la humedad relativa y la variación de la temperatura. A continuación se presentan los datos que se han obtenido del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) tanto de precipitación (mostrados en mm), como de humedad relativa (porcentaje) y además de la temperatura (mostrados en °C) para el periodo en cual se ha construido el tramo en estudio así como también para un año antes y después de su colocación.

La tabla 4-1 muestra el informe meteorológico de la estación pluviométrica San Andrés, esta es la estación más cercana al tramo ubicado en Ateos y es a la que le corresponde controlar todo lo referente a las variaciones en el estado meteorológico de la zona.

DATOS MENSUALES DE TEMPERATURA, HUMEDAD RELATIVA Y PRECIPITACION DE 2011 A 2013 DE LA ESTACION DE SAN ANDRÉS							
Índice	Estación	Año	Mes	T.Máx°C	T.Mín°C	Hum. Rel %	Lluvia mm
L-04	San Andrés	2011	1	33.2	15.9	71	1
L-04	San Andrés	2011	2	34.1	17.2	71	42.9
L-04	San Andrés	2011	3	33.8	16.6	71	27.8
L-04	San Andrés	2011	4	34.6	19.6	75	47.3
L-04	San Andrés	2011	5	34.7	20.8	75	36.5
L-04	San Andrés	2011	6	32.3	20.9	83	280.7
L-04	San Andrés	2011	7	31.3	20.6	87	336
L-04	San Andrés	2011	8	31.4	20.5	89	339.4
L-04	San Andrés	2011	9	31.1	20.6	89	243.8
L-04	San Andrés	2011	10	28.6	19.1	88	769.3
L-04	San Andrés	2011	11	31.4	16.5	78	14.6
L-04	San Andrés	2011	12	31.8	15.4	73	0
L-04	San Andrés	2012	1	32.4	16.2	69	15.2
L-04	San Andrés	2012	2	33.6	17.3	68	0
L-04	San Andrés	2012	3	35	17	65	2.3
L-04	San Andrés	2012	4	34.4	18.1	69	24.4
L-04	San Andrés	2012	5	32	20.3	83	193.4
L-04	San Andrés	2012	6	31.2	20	84	161.4
L-04	San Andrés	2012	7	31.9	19.1	81	291.2
L-04	San Andrés	2012	8	31.3	19.5	85	284.9
L-04	San Andrés	2012	9	31.8	19.1	84	253.1
L-04	San Andrés	2012	10	31.2	18.4	84	190.2
L-04	San Andrés	2012	11	31.4	14.8	73	0
L-04	San Andrés	2012	12	32.8	14.6	72	42
L-04	San Andrés	2013	1	33.2	15.4	69	0
L-04	San Andrés	2013	2	34.6	15.8	71	5.8
L-04	San Andrés	2013	3	34.9	16	64	0
L-04	San Andrés	2013	4	35.4	19.2	72	90.3
L-04	San Andrés	2013	5	33.1	19.6	79	139.9
L-04	San Andrés	2013	6	31.5	19.4	85	371.6
L-04	San Andrés	2013	7	31.2	20.2	84	307.7
L-04	San Andrés	2013	8	31.4	20.3	84	342.4
L-04	San Andrés	2013	9	30.7	20.8	88	138
L-04	San Andrés	2013	10	31.2	20.5	87	235
L-04	San Andrés	2013	11	30.9	19.4	82	148
L-04	San Andrés	2013	12	31.5	17.1	77	2

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador.

Tabla 4-1: Informe de temperatura, humedad relativa y precipitación mensual estación San Andrés del año 2011 a 2013.

De la tabla anterior se han extraído datos como la precipitación máxima, la humedad relativa y la temperatura máxima y mínima para los años 2011, 2012 (año de construcción del tramo) y 2013, para cada uno de estos años se ha obtenido el mes en el cual se presentan estos parámetros. A continuación se presentan esos resultados:

AÑO	MES	Precipitación Máxima (mm)
2011	Octubre	769.3
2012	Julio	291.2
2013	Junio	371.6

Tabla 4-2: Datos de precipitación máxima para los años 2011,2012 y 2013.

La tabla 4-2 presenta para cada año del informe el valor de la precipitación máxima, mencionando el mes en donde se ha producido la mayor cantidad de precipitación por año. Se observa que para el mes de Octubre del año 2011 se ha dado una precipitación máxima de 769.3 mm, mientras que para el mes de Julio de 2012 un valor de 291.2 mm y para el mes de Junio de 2013 un valor de precipitación de 371.6 mm. Lo anterior nos indica que la precipitación en la zona es muy variable, por lo que no se puede decir que es una precipitación constante para este periodo.

AÑO	MES	T.Máx (°C)	MES	T.Min (°C)
2011	Mayo	34.7	Diciembre	15.4
2012	Marzo	35	Diciembre	14.6
2013	Abril	35.4	Enero	15.4

Tabla 4-3: Datos de temperatura máxima y mínima para los años 2011, 2012 y 2013.

En la tabla 4-3 se puede observar la temperatura máxima y mínima expresada en grados centígrados para cada uno de los años del informe, mencionando para cada uno de estos el mes donde se da el valor máximo y mínimo respectivamente. Por lo anterior se puede deducir que la carpeta de rodadura de mezcla asfáltica tibia soporta para este periodo una temperatura promedio máxima de 35.1°C y una temperatura promedio mínima de 15.1°C.

AÑO	MES	Humedad Relativa Máxima (%)
2011	Agosto y Septiembre	89
2012	Agosto	85
2013	Septiembre	88

Tabla 4-4: Datos de humedad relativa máxima para los años 2011, 2012 y 2013.

La tabla 4-4 presenta para cada año del informe el valor del porcentaje de humedad relativa máxima, mencionando el mes en donde se ha producido la mayor humedad relativa por año. Se observa que para el mes de Agosto y Septiembre del año 2011 se ha dado una humedad relativa máxima de un 89%, mientras que para el mes de Agosto de 2012 un valor de 85% y para el mes de Septiembre de 2013 un valor de un 88%. Lo anterior nos indica que se tiene una variación de un 4% en la humedad relativa para este tramo, por lo que es muy poco variable para los 3 años de este periodo.

4.2.1.4 CARGA VEHICULAR SOBRE TRAMO DE MEZCLA ASFALTICA TIBIA.

La carga vehicular del municipio de Ateos, se caracteriza por presentar vehículos pesados de transporte de carga, esto debido a que la carretera sirve como medio de conexión entre el área metropolitana de San Salvador y el puerto de Acajutla.

A continuación se presenta el conteo que se ha obtenido del Ministerio de Obras Publicas (MOP) del tránsito promedio diario anual (TPDA) para el año 2010, el cual es el más actualizado a la fecha.

DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD		LIVIANOS		PESADOS									TOTAL
LISTADO DE LA RED PAVIMENTADA		PASJ	CARG.	PASAJEROS			CARGA						
CODIGO VIA	TRAMO	AUTO	PICK-UP	M. BUS	BUS	C2	C3	T2-S1	T2-S2	T2-S3	T3-S2	T3-S3	
CA08W	Dv Jayaque - Dv Sacacoyo	6375	4657	406	808	1575	269	9	3	0	1374	507	15983

Fuente: Ministerio de Obras Públicas de El Salvador.

Tabla 4-5: Transito promedio diario anual para el tramo de mezcla asfáltica tibia, 2010

La tabla 4-5 muestra los diferentes valores de tránsito que circulan sobre la carretera CA-08W tanto para vehículos livianos como para vehículos pesados. Se observa que hay una mayor cantidad de vehículos livianos que de vehículos pesados, teniendo un conteo total de 15,983 vehículos para el tramo que va desde el desvío de Jayaque hasta el desvío de Sacacoyo, donde se encuentra el tramo en estudio.

Tomando en cuenta los valores de la tabla 4-5 y las consideraciones para el procedimiento de cálculo hechas en el apartado 4.2.2.3 se han obtenido los siguientes resultados para la cantidad de ESAL's correspondientes al tramo de mezclas asfáltica tibia ubicado en Ateos desde el año 2010.

MEZCLA ASFALTICA TIBIA					
Tipo de Vehículo	Cantidad de Vehículos Diarios "A"	Factor de Crecimiento "B"	Tránsito de Diseño "C"	ESAL's Factor "D"	ESAL's de Diseño "E"
		3%			
Auto	6375	4.185	9737971.875	0.00134	13048.88231
Pick-UP	4657	4.185	7113683.925	0.01442	102579.3222
		2%			
M.Bus	406	4.120	610542.8	0.18725	114324.1393
Bus	808	4.120	1215070.4	1.6145	1961731.161
C2	1575	4.120	2368485	2.3435	5550544.598
C3	269	4.120	404522.2	1.6	647235.52
T2-S1	9	4.120	13534.2	3.0555	41353.7481
T2-S2	3	4.120	4511.4	2.8865	13022.1561
T2-S3	0	4.120	0	2.3955	0
T3-S2	1374	4.120	2066221.2	2.7175	5614956.111
T3-S3	507	4.120	762426.6	2.2265	1697542.825
TOTAL DE VEHICULOS	15,983			TOTAL	15,756,338.46

Tabla 4-6: Resumen del cálculo efectuado para la determinación del número de ESAL's del tramo de mezcla asfáltica tibia.

Según la tabla 4-6 el tramo de mezcla asfáltica tibia ha soportado una cantidad total de 15.76×10^6 ESAL's desde el año 2010 a la fecha. Sin embargo la mezcla fue colocada y compactada en marzo de 2012, por lo que para esta investigación se considerarán los ESAL's soportados a partir de esa fecha, que equivalen aproximadamente a la mitad de los mostrados en la tabla 4-6. **El número de ESAL's a considerar será entonces de 7.88×10^6 .**

4.2.1.5 EDAD DEL TRAMO DE MEZCLA ASFALTICA TIBIA.

De acuerdo a los registros proporcionados por Asfaltos de Centroamérica S.A de C.V (ASFALCA) en el documento “MEZCLAS ASFÁLTICAS DE TEMPERATURA REDUCIDA EN EL SALVADOR”, el tramo fue colocado y compactado en el mes de marzo de 2012.

4.2.1.6 TOPOGRAFÍA DEL TRAMO DE MEZCLA ASFALTICA TIBIA.

La planimetría del tramo ubicado en Ateos refleja que está conformado por un tramo recto de aproximadamente 160 metros finalizando por una curva horizontal muy abierta. Cabe mencionar que la curva horizontal de la que el tramo forma parte posee una apertura tal que para el ojo del conductor el tramo luce aparentemente recto.



Fuente: Propia.

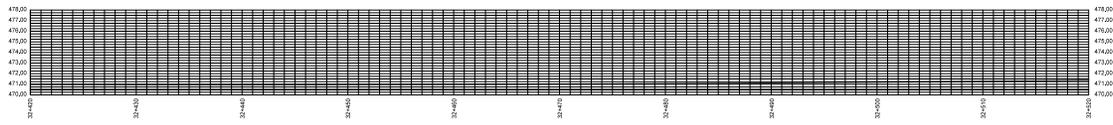
Figura 4-4: Carretera CA-08W, Ateos, La Libertad.

En lo que respecta a pendientes y variaciones de nivel, el tramo posee una leve pendiente que provoca una variación en la elevación de menor a mayor al transitarse de Este a Oeste. El suave valor de la pendiente desde su estacionamiento inicial hasta su estacionamiento final vuelve imperceptible la variación de nivel en el tramo.

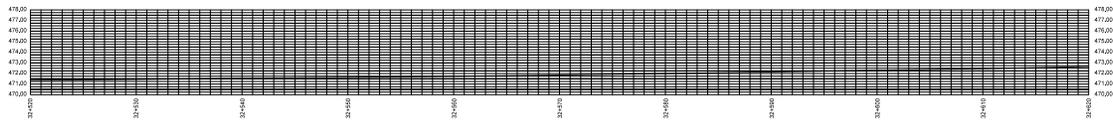
La sección transversal del tramo está compuesta por la calzada que tiene un ancho de 16 metros aproximadamente, además posee un hombro a ambos lados con un ancho de 2.15 metros, un separador tipo New Jersey a lo largo de todo el tramo y también con una pendiente de bombeo a lo largo del sentido a evaluar no mayor a 5%.

Internamente se conoce que la estructura del pavimento está conformada por una carpeta de rodadura de 10 cm de espesor, de los cuales los 5 cm inferiores son de mezcla asfáltica caliente y los 5 cm superiores son de mezcla asfáltica tibia. Para esta investigación los 5 cm de mezcla asfáltica tibia son los de interés.

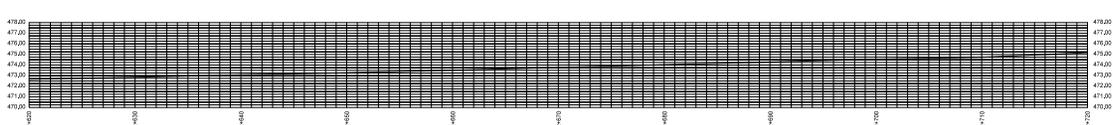
A continuación se muestra el siguiente plano que contiene los detalles de planimetría, altimetría y sección transversal del tramo a evaluar.



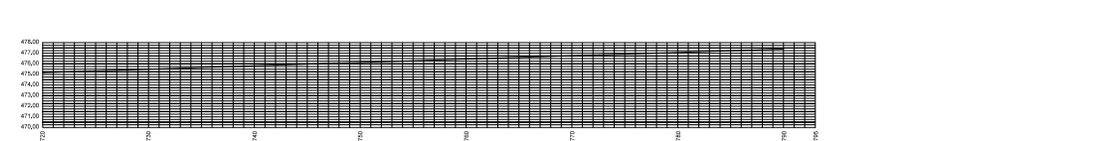
PERFIL DE ELEVACIONES DEL TRAMO.
EST 32+420 - 32+520
ESC. 1:200



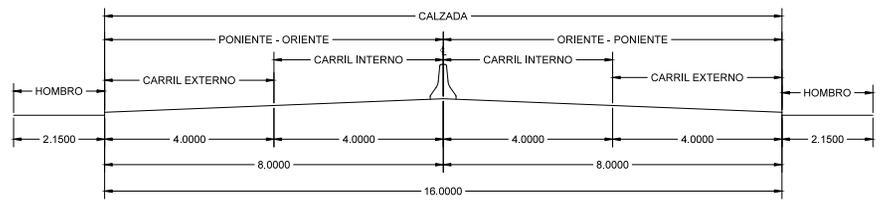
PERFIL DE ELEVACIONES DEL TRAMO.
EST 32+520 - 32+620
ESC. 1:200



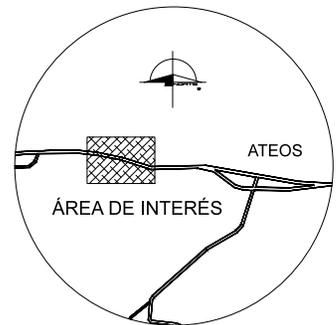
PERFIL DE ELEVACIONES DEL TRAMO.
EST 32+620 - 32+720
ESC. 1:200



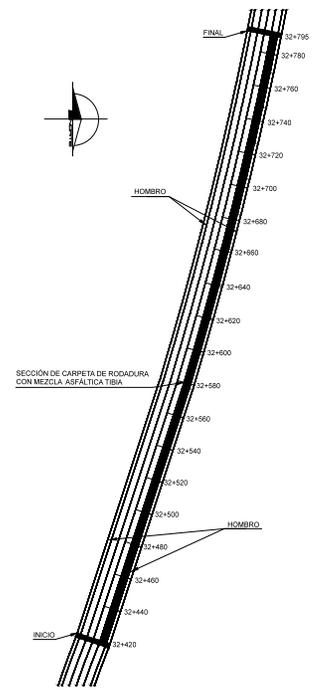
PERFIL DE ELEVACIONES DEL TRAMO.
EST 32+720 - 32+795
ESC. 1:200



ESQUEMA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL TÍPICO DE
CARRETERA CA-08W EST 32+720 - 32+795
ESC. 1:50



ESQUEMA DE UBICACIÓN
TRAMO DE MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA, ATEOS LA LIBERTAD
SIN ESCALA



VISTA EN PLANTA DE CARRETERA CA-08W
TRAMO DE MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA, ATEOS LA LIBERTAD
ESC. 1:1250

PROYECTO
"EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA CARPETA DE RODADURA DE MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA EN COMPARACIÓN CON EL DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CALIENTE"

PROPIETARIO
REPÚBLICA DE EL SALVADOR

UBICACIÓN
KM 32, RUTA LOS NARANJOS, CA08W, ATEOS, LA LIBERTAD.

CONTENIDO
- ESQUEMA DE UBICACIÓN.
- VISTA EN PLANTA DEL TRAMO SOBRE CA08W.
- PERFILES DE ELEVACIÓN DEL TRAMO SOBRE CA08W.
- DETALLE DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL TRAMO SOBRE CA08W.

ESCALA INDICADAS	FECHA JUNIO 2014	Hojas 1/1
---------------------	---------------------	--------------

PRESENTA
- CAMPOS CRUZ, CARLOS ANTONIO.
- GUZMÁN LÓPEZ, MANUEL RAMÓN.
- SÁNCHEZ BLANCO, RAFAEL EDUARDO

PROFESIONAL RESPONSABLE
SELLO Y FIRMA

SELLOS DE APROBACIÓN:

4.2.2 DISEÑO DE LA MEZCLA COLOCADA.

A continuación se muestran los detalles de la mezcla asfáltica tibia colocada y compactada sobre la ruta CA-08W en Marzo del año 2012. Los datos que se muestran han sido extraídos de forma textual del documento titulado: “DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE, TAMAÑO NOMINAL 3/4”, ASFALTO AC-30 (RASA)” y “REVISION DE DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA CON TECNOLOGIA PARA MEZCLAS TIBIAS, TAMAÑO NOMINAL 3/4”, ASFALTO BASE AC-30 (RASA)”, ambos elaborados en Febrero de 2012 por la empresa Equipos de Construcción S.A de C.V (ECON).

Para la producción de la mezcla asfáltica tibia en cuestión se tomo como base un diseño estándar de mezcla asfáltica caliente. Este diseño estándar está plasmado en el primer documento mencionado anteriormente, de él se han extraído la granulometría, contenido óptimo de asfalto y los criterios del instituto del asfalto para el método Marshall. Mientras que, el segundo documento mencionado fue utilizado para obtener los rangos óptimos de temperatura de mezclado y de compactación (en laboratorio) que se utilizaron para la colocación en el tramo de prueba.

GRANULOMETRIA CON TOLERANCIAS PARA MEZCLA DE AGREGADOS TMN 3/4"					
MALLA (mm)	BANDA ORIGINAL	TOLERANCIAS	GRANULOMETRIA DE LA COMBINACION DE MATERIALES	% MEZCLA DE PRUEBA	BANDA DE TRABAJO
19	100	±8%	99	100	91*100
12.5			88	87	78*93
9.5	56*80	±7%	75	76	68*80
4.76	35*65	±7%	50	55	43*57
2.36	23*49	±6%	38	40	32*44
1.18			26	28	20*32
0.6			18	19	12*24
0.3	5*19	±5%	12	12	7*17
0.15			9	8	4*14
0.076	2*8	±3%	5.8	6	9

Fuente: Equipos de Construcción SA de CV (ECON), Febrero 2012.

Tabla 4-7: Granulometría con tolerancias para mezcla de agregados, TMN 3/4".

PARAMETROS DE CONTROL DE LA MEZCLA			
DESCRIPCION	DATOS OBTENIDOS	PARAMETROS DE CONTROL	
		MINIMO	MAXIMO
ESTABILIDAD (Lbs)	3,494.00	1,800.00	4,500.00
FLUJO EN 0.25 mm, (0.01 pulg)	11.67	10	14
FLUJO EN mm	3.2	2	3.6
GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MEZCLA ASF.	2.307		
GRAVEDAD ESP. MAXIMA TEORICA DE LA MEZCLA	2.406		
GRAVEDAD ESP. DE MATERIALES COMBINADOS	2.532		
PESO VOL. SUELTO COMBINADO Kg/M3	1.571		
% DE ASFALTO OPTIMO DE DISEÑO 5.3 + 0.5 (4.8 a 5.8)	5.3	4.8	5.8
% DE VACIOS AIRE EN LA MEZCLA (VVA)	4.1	3	5
% DE VACIOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)	13.7	13	
% DE VACIOS LLENOS DE ASFALATO (VFA)	70	65	75
RELACION FILLER ASFALTO (% Pasa Malla 200/ % Asfalto Efectivo)	1.1	0.6	1.3

Fuente: Equipos de Construcción SA de CV (ECON), Febrero 2012.

Tabla 4-8: Parámetros de control de la mezcla asfáltica

CRITERIOS DEL INSTITUTO DEL ASFALTO PARA EL MÉTODO MARSHALL			
CRITERIOS DE DISEÑO	TRANSITO PESADO, CARPETA Y BASE		
	MIN		MAX
Compactación, número de golpes en cada cara	75		
Estabilidad (lb)	(1,800 a 4,500 lb)		
Flujo* 2.0 a 4.0 mm	2		4
0.01 pulgadas	8		16
Porcentaje de Vacíos	3		5
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA), (para agregado 3/4" al 4% de vacíos)	Min 13%		
Porcentajes de vacíos llenos de Asfalto (VFA)	65		75

Fuente: Equipos de Construcción SA de CV (ECON), Febrero 2012.

Tabla 4-9: Criterios del instituto del asfalto para el método Marshall.

Las tablas 4-7, 4-8 y 4-9 muestran el diseño estándar de una mezcla asfáltica caliente para una mezcla de agregados con tamaño nominal de 3/4", este diseño fue adaptado para ser utilizado con asfalto al que se le agregó un aditivo químico tenso activo (Evotherm 3G) y así elaborar el diseño de una mezcla asfáltica tibia. La tabla 4-10 muestra la comprobación de la funcionabilidad del diseño de mezcla asfáltica tibia

creado (nótese que los valores cumplen con los requisitos de diseños establecidos en las tablas 4-7, 4-8 y 4-9).

NORMA AASHTO 245 ESTABILIDAD Y FLUJO													
BRIQUETAS						DENSIDAD BULK	VACIOS CON AIRE (%)	LECTURA DEL ANILLO	ESTABILIDAD MARSHALL (LIBRAS)			FLUJO (mm)	FLUJO (pulg)
No.	V.	PESO AIRE	PESO AGUA	PESO S.S	VMA				MEDIDA	FACTOR	CORREGIDA		
1	496	1145.2	650.8	1146.9	13.7	2.308	3.5	326	3121	1.04	3121.7	3.3	13
2	528	1216.7	688.9	1217	13.8	2.304	3.7	320	3064	0.96	3065.3	3.6	14
3	504	1159.1	658.3	1162.5	14	2.299	3.9	360	3440	1.04	3441	3.6	14
PROMEDIOS					13.8	2.304	3.7	335	3209			3.5	13.67
PARAMETROS MINIMO					13		3	5	MIN 1800			2.0 A 4.0	8 A 16
VOLUMEN DE HUECOS LLENOS DE ASFALTO						65 A 75	73.50%	ESTABILIDAD Kg.			1456		
RELACION ESTABILIDAD FLUJO 400 A 600 Kg/mm						419.5		ECUACION DEL ANILLO			9.3886 (X) + 60.024		
RELACION FILLER ASFALTO						0.60 A 1.30		1.31					
% DE ABSORCION DE AGUA EN LA MEZCLA						0.36							

Fuente: Equipos de Construcción S.A de C.V (ECON), Febrero 2012.

Tabla 4-10: Resultados del análisis de briquetas

GRANULOMETRIA						
TAMIZ	PESO RET	% RET	% RET. ACUMULADO	RANGOS DE TOLERANCIA		% QUE PASA
		0		MIN	MAX	100
1 1/2"		0		100	100	100
1"	0	0		100	100	100
3/4"	0	0	0	100	100	100
1/2"	281.3	13.4	13.4	75	93	86.6
3/8"	179.7	8.5	21.9	68	80	78.1
N°4	490.8	23.3	45.3	43	57	54.7
N°8	238.7	11.4	56.6	32	44	43.4
N°16	255	12.1	68.8			31.2
N°30	217.1	10.3	79.1			20.9
N°50	150.5	7.2	86.3	7	17	13.7
N°100	84.2	4	90.3	4	14	9.7
N°200	79.4	3.8	94	3	8	6
PXL	117.9	5.6	99.6			0.4
P200	7.1	0.3	100			0
PESO ESPECIFICO MAXIMO MEDIDO METODO DE RICE, AASHTO T 209						
PESO MUESTRA EN EL AIRE						2500.4
PESO FRASCO CALIBRADO + AGUA A 25°C						7313
PESO FRASCO + MATERIAL + AGUA 25°C						9813.4
PESO DESPUES DESAIRADO						8767.8
VOLUMEN DE LA MUESTRA						1045.6
GRAVEDAD ESPECIFICA MAX. MEDIDA						2.391

Fuente: Equipos de Construcción S.A de C.V (ECON), Febrero 2012.

Tabla 4-11: Porcentajes promedios que pasan de la granulometría utilizada y gravedad específica teórica máxima.

4.2.2.1 GRANULOMETRÍA Y CALIDAD DE LOS AGREGADOS.

4.2.2.1.1 CONTROL DE CALIDAD PARA AGREGADOS EMPLEADOS EN LA FABRICACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA MODIFICADA CON ADITIVO QUÍMICO TENSO ACTIVO.

- Solicitante: **Equipo de Construcción S.A. de C.V.**
- Proyecto: **Diseño de Mezcla Asfáltica Modificada con Evotherm.**
- Procedencia: **Banco de Materiales La Cantera.**
- Ubicación: **Planta Asfáltica San Andrés.**
- Fecha de Ensayo: **La Libertad, Septiembre 2011.**
- Material: **Agregado Pétreo Tamaño Máximo Nominal 3/4”**
- Asfalto: **Asfalto AC-30 (RASA).**

La mezcla asfáltica tibia a la que se le agrego un aditivo químico tenso activo, establece una configuración en porcentaje de masa para cada uno de los diferentes agregados que conforman la mezcla asfáltica, se muestra en la siguiente tabla.

MATERIAL	PROCEDENCIA	PORCENTAJE DE MEZCLA
Grava 3/4”	Banco La Cantera	23%
Grava 1/2”	Banco La Cantera	25%
Arena Triturada	Banco La Cantera	52%

Tabla 4-12: Porcentaje de agregados utilizados en la mezcla.

A continuación se presentan los resultados de pruebas de control de calidad, realizados a los agregados utilizados en la mezcla asfáltica tibia modificada con aditivo químico tenso activo.

MATERIAL	PROCEDENCIA	ENSAYO DE CONTROL DE CALIDAD	RESULTADO
Grava 3/4"	Banco La Cantera	Gravedad Especifica Seca	2.549
Grava 1/2"	Banco La Cantera	Gravedad Especifica Seca	2.542
Arena Triturada	Banco La Cantera	Gravedad Especifica Seca	2.520
Combinación de agregados.	Banco La Cantera	$G_{sb (combo)} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{\frac{P_1}{G_{sb}} + \frac{P_2}{G_{sb}} + \frac{P_3}{G_{sb}}}$ <p> G_{sb} = Gravedad Especifica Seca. $G_{sb(combo)}$ = Gravedad Especifica Seca del combo. P_1 = Masa en porcentaje de mezcla </p>	2.532

Tabla 4-13: Resultados de gravedad especifica seca para tipos de agregados.

ENSAYOS A AGREGADO GRUESO, GRAVA 3/4"		
ENSAYO	RESULTADO.	PARÁMETRO.
Gravedad Especifica seca. ASTM C 127	2.549	N/A
Absorción de agua. ASTM C-127	1.8%	N/A
Ensayo de resistencia a la abrasión en Maquina de Los Angeles, ASTM C 131	16.0 %	40 % máx.
Caras fracturadas ASTM D 5821	100%	90% min.
Partículas Planas y Alargadas ASTM D 4791	1.35%	10% máx.
ENSAYO DE SANIDAD (SULFATO DE SODIO) ASTM C 88	0.30%	12% máx.
ÍNDICE DE DURABILIDAD ASTM D 3744	93.0%	35.0 min.

Fuente: Equipos de Construcción S.A. de C.V.

Figura 4-5: Calidad de agregado grueso 3/4", Mezcla asfáltica tibia, CA08W.

ENSAYOS A GRAVA 1/2"		
ENSAYO	RESULTADO.	PARÁMETRO.
Gravedad Específica seca. ASTM C 127	2.542	N/A
Absorción de agua. ASTM C-127	1.90%	N/A
Ensayo de resistencia a la abrasión en Máquina de Los Angeles, ASTM C 131	22.0 %	40 % máx.
Caras fracturadas ASTM D 5821	100%	90% min.
Partículas Planas y Alargadas ASTM D 4791	0.34%	10 % máx.
ENSAYO DE SANIDAD (SULFATO DE SODIO) ASTM C 88	0.39 %	12% máx.
INDICE DE DURABILIDAD ASTM D 3744	93.0	35 % min

Fuente: Equipos de Construcción S.A. de C.V.

Figura 4-6: Calidad de agregado grueso 1/2", Mezcla asfáltica tibia, CA08W.

ENSAYOS A LA ARENA TRITURADA		
ENSAYO	RESULTADO.	PARÁMETRO.
Gravedad Específica seca. ASTM C 127	2.520	N/A
Absorción de agua. ASTM C-127	2.37%	N/A
Equivalente de Arena, ASTM D 2419	82.50%	MIN. 45. %
Índice Plasticidad	N/P	4.0%
Ensayo de Sanidad (Sulfato de Sodio) ASTM C 88	2.56%	12.0% max.
% GRUMOS DE ARCILLA Y PARTICULAS FRIABLES EN LA MEZCLA DE AGREGADOS ASTM C 142	0.91	1.0% Max

Fuente: Equipos de Construcción S.A. de C.V.

Figura 4-7: Calidad de arena triturada. Mezcla asfáltica tibia, CA08W.

4.2.2.1.2 GRANULOMETRÍA.

La tabla 4-7 muestra cada una de las tolerancias establecidas para los tamaños de malla de la granulometría para el diseño de la mezcla que fueron colocadas en el tramo en cuestión. De la tabla 4-14 se han extraído los porcentajes promedios que pasan de cada una de las mallas de las diferentes briquetas elaboradas.

ANÁLISIS DE GRANULOMETRÍA PROMEDIO				
Tamiz	Abertura en mm	Tolerancias		% Que Pasa Promedio
		Lim. Inferior	Lim. Superior	
1"	25.4	100	100	100
3/4"	19	91	100	100
3/8"	9.5	68	82	78.1
N°4	4.75	43	57	54.7
N°8	2.36	32	44	43.4
N°50	0.3	7	17	13.7
N°200	0.075	2.8	8.8	6

Tabla 4-14: Análisis de granulometría promedio.

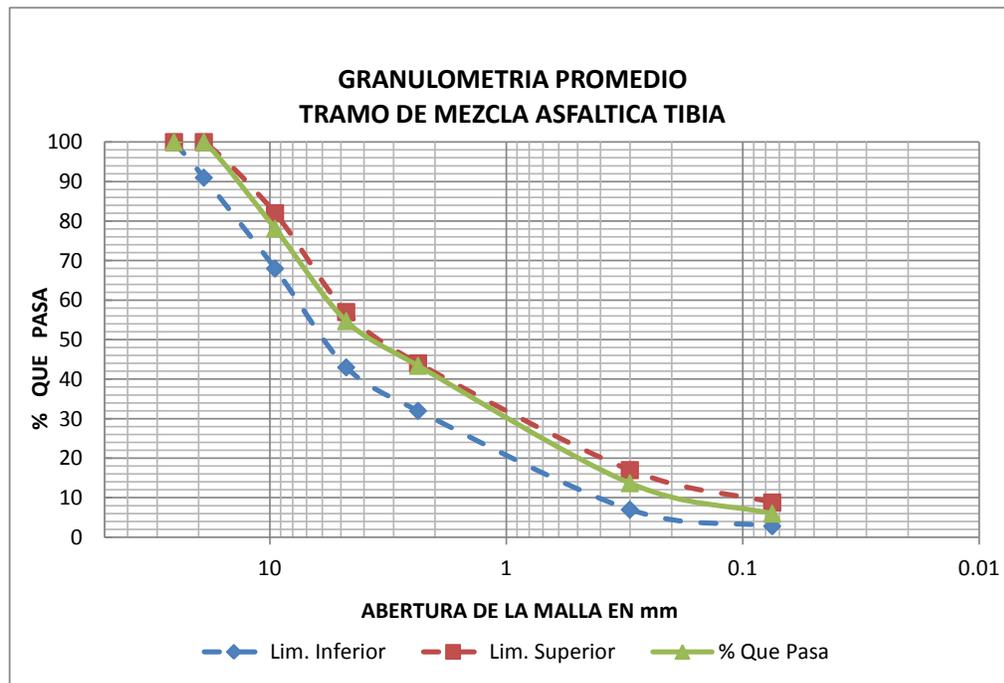


Figura 4-8: Granulometría promedio tramo de mezcla asfáltica tibia

4.2.2.2 PORCENTAJE DE ASFALTO.

De acuerdo con el documento titulado: “REVISION DE DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA CON TECNOLOGIA PARA MEZCLAS TIBIAS, TAMAÑO NOMINAL 3/4””, se utilizo un asfalto base tipo “AC-30”, de acuerdo con la clasificación de viscosidad establecida por la norma AAHSTO M 226 (ver tabla 2-1).

En la tabla 4-8 se puede observar que el porcentaje optimo a utilizar es de 5.3% de acuerdo al diseño estándar de la mezcla, mientras que la tolerancia considerada establece que los valores debían variar entre 4.8% y 5.8%.

4.2.2.3 PORCENTAJE DE ADITIVO QUÍMICO TENSO ACTIVO.

El asfalto utilizado para la elaboración de la mezcla asfáltica tibia, es un asfalto base tipo AC-30, modificado con aditivo químico tenso activo “Evotherm 3G”, el cual se agrega al asfalto antes de mezclarlo con los agregados. La planta asfáltica recibe el asfalto modificado y lo agrega en la misma proporción que lo haría para una mezcla asfáltica caliente, sin necesidad de modificar el diseño de la mezcla.

Este tipo de aditivo químico consiste en un paquete de elementos, que al mezclarse con el asfalto, permiten la reducción de las temperaturas de mezclado y compactación de la mezcla disminuyendo la viscosidad del asfalto sin necesidad de elevar las temperaturas al momento de estas actividades, mejorando además la adherencia entre los agregados y el asfalto.

La cantidad de aditivo químico tenso activo “Evotherm 3G” a utilizar para modificar el asfalto dependerá del criterio del comprador, sin embargo la compañía que fabrica el aditivo (MeadWestvaco Corporation) recomienda que no se utilice un porcentaje mayor 1% del volumen de asfalto de la mezcla.

4.2.2.4 TEMPERATURA DE MEZCLADO Y DE COMPACTACIÓN.

Mientras que para la mezcla asfáltica caliente basta buscar en la carta de viscosidad del asfalto respectivo las temperaturas que garanticen una viscosidad adecuada para un mezclado y una compactación efectiva, al utilizar asfalto modificado se utilizaron los siguientes criterios:

- **Temperatura de Mezclado:** Se ha de considerar como mínima, aquella temperatura que produzca un recubrimiento de al menos 95% (muchas temperatura pueden lograr este recubrimiento, se debe considerar la menor).
- **Temperatura de Compactación:** Aquellas temperaturas de compactación que generen un porcentaje de vacios entre 3% y 5% (de acuerdo a los criterios de diseño establecidos en la tabla 4-8) serán consideradas como adecuadas; mientras que se ha de tomar como ideal la temperatura que genere un porcentaje de vacios más cercano al 4%.

Para lo anterior el productor Equipos de Construcción S.A de C.V (ECON), elaboró una serie de pruebas de laboratorio con el objetivo de determinar estos rangos de temperatura. Inicialmente se determinó el recubrimiento para 6 distintos tipos de temperatura según la prueba AASHTO T-195 (Ensayo estándar para la determinación del porcentaje de recubrimiento). Los resultados se muestran a continuación:

RECUBRIMIENTO	
110 °C	<90.0%
115 °C	<95.0%
120 °C	>95.0%
125 °C	>95.0%
130 °C	>95.0%
140 °C	>95.0%

Fuente: Equipos de Construcción S.A de C.V (ECON), Febrero 2012.

Tabla 4-15: Temperaturas de mezclado con sus respectivos recubrimientos.

De acuerdo con la tabla 4-15, la temperatura mínima de mezclado que garantiza un recubrimiento superior a 95% es de 120°C por lo que esta será considerada como la temperatura mínima de mezclado. En cuanto a la temperatura máxima de mezclado se recomienda no superar los 130°C para que la mezcla asfáltica siga clasificándose como tibia, de acuerdo a lo establecido en el apartado 2.4.1.1 de esta investigación.

Una vez definida la temperatura de mezclado, se elaboraron 4 briquetas y una muestra para teórica máxima para puntos diferentes de temperatura de compactación, con el objeto de determinar el porcentaje de vacios para muestras compactadas a esas temperaturas, los resultados de las pruebas se muestran a continuación:

DETERMINACION DE TEMPERATURA DE COMPACTACION DE ASFALTO MODIFICADO CON EVOTHERM 3G								
PUNTO DE ASFALTO ANALIZADO:			5.30%		OBSERVACIONES: LAS ESTABILIDADES OBSERVADAS EN LAS			
QUE CORRESPONDE AL OPTIMO DE DISEÑO					TEMPERATURAS DE 110°C A 130°C SON SATISFACTORIAS			
FORMULA DE TRABAJO 3/4" 23.0%; 1/2" 25%; ArenaT. 52.0%					TEMPERATURA DE MEZCLADO 120°C 130°C			
TEMPERATURA DE COMPACTACION	DENSIDAD BULK	PROM DE DENSIDAD BULK	TEORICA MAXIMA	% DE VACIOS	ESTABILIDADES (Lbsf)	ESTABILIDADES PROMEDIO	FLUJO (mm)	PROMEDIOS DE FLUJOS
80	2.227	2.228	2.405	7.9	1872	1806.3	3.81	3.68
	2.229				1740.6		3.56	
90	2.264	2.2635	2.405	6.3	2651.3	2538.6	3.05	3.18
	2.263				2426		3.3	
100	2.277	2.277	2.405	5.6	2435	2618.4	3.05	3.18
	2.277				2801.5		3.3	
110	2.307	2.307	2.405	4.2	2979.9	3163	3.05	3.18
	2.307				3346		3.3	
120	2.309	2.3095	2.405	4.1	3590.1	3500.9	3.3	3.18
	2.31				3411.8		3.05	
130	2.322	2.321	2.405	3.6	3252.1	3486.9	3.3	3.3
	2.32				3721.6		3.3	
140	2.301	2.301	2.405	4.5	3975.1	3749.7	3.56	3.68
	2.301				3524.4		3.81	

Fuente: Equipos de Construcción S.A de C.V (ECON), Febrero 2012.

Tabla 4-16: Determinación de temperatura de compactación de asfalto modificado con Evotherm 3G.

Como se puede apreciar en la tabla 4-16, la temperatura de compactación que produce el porcentaje de vacios más cercano al 4% es la de 120°C, además cumple con los rangos de estabilidad y flujo establecidos en la tabla 4-8. Sin embargo la empresa constructora (ECON) optó por utilizar una temperatura de compactación de 110°C, que como se

puede apreciar en la tabla genera un porcentaje de vacios muy cercano al 4% y también cumple con los criterios de diseño de la tabla 4-8.

Por lo anterior ha de utilizarse un rango de 120°C – 130°C como temperatura de mezclado y un rango de 110°C – 120°C como temperatura de compactación.

4.2.2.5 PROPIEDADES VOLUMETRICAS.

La tabla 4-17 muestra los resultados de las diferentes propiedades volumétricas, estabilidad y flujo utilizando las temperaturas de mezclado y de compactación establecidas para el proceso de producción de la mezcla asfáltica tibia. Los siguientes, son los valores promedio de todas las mezclas así como las tolerancias consideradas.

PROPIEDADES VOLUMETRICAS	TOLERACIAS		RESULTADOS
	MIN	MAX	
Gravedad Especifica Bulk	-	-	2.304
Gravedad Especifica Teórica Máxima	-	-	2.391
Porcentaje de Vacios de Aire	3%	5%	3.7%
Porcentaje de Vacios en el Agregado Mineral (VMA)	13%	-	13.8%
Porcentaje de Vacios Llenos de Asfalto (VFA)	65%	75%	73.5%
Estabilidad (Lb/ml)	1800	4500	3,209
Flujo (mm)	2	4	3.5
Relación de tensión indirecta, TSR	75%	-	87.68%

Tabla 4-17: Resultados de propiedades volumétricas.

4.3 CARACTERIZACIÓN DE TRAMO DE MEZCLA ASFÁLTICA CALIENTE COLOCADA Y COMPACTADA.

4.3.1 DESCRIPCION DE LA VÍA.

4.3.1.1 GENERALIDADES.

El tramo de mezcla asfáltica caliente seleccionado para esta investigación es el que se ha construido utilizando la tecnología tradicional en El Salvador. Este se encuentra ubicado en el municipio de Ilopango, en el departamento de San Salvador, sobre el Boulevard San Bartolo en el sentido de Sur a Norte, con una longitud aproximada de 400 metros.

En Noviembre de 2011, se desarrolló sobre esta vía el contrato FOVIAL: CO-108/2011, denominado: “MANTENIMIENTO PERIODICO DE LA RUTA SAL 02W: CA01E – BOULEVARD SAN BARTOLO – SAL03E, UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE SAN SALVADOR”. Este proyecto fue efectuado por la empresa constructora Equipos de Construcción S.A de C.V (ECON) y supervisado por la empresa CACISA S.A de C.V y con la colaboración del Fondo de Conservación Vial (FOVIAL).

El contrato (FOVIAL CO-108/2011) de mantenimiento periódico tuvo por objetivo fortalecer la vía con una nueva carpeta de rodadura. En el sentido que conduce de Sur a Norte se elaboraron varias actividades, como construcción de base para bacheo, perfilado de capas asfálticas y colocación y compactación de mezcla asfáltica caliente. Se colocaron dos capas de mezcla asfáltica caliente, cada una de 5 cm de espesor, para conformar la nueva carpeta de rodadura de la vía.



Fuente: “Google Maps”, 2014.

Figura 4-9: Ubicación del tramo de mezcla asfáltica caliente Ilopango, San Salvador.



Fuente: Propia.

Figura 4-10: Tramo de estudio de mezcla asfáltica caliente (izquierda). Espesor del tramo en estudio (derecha).

4.3.1.2 DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE INTERES.

El tramo de interés a evaluar se ubica sobre el Boulevard San Bartolo (que tiene por código), entre la carretera CA01E y la carretera SAL03E, ubicada en el departamento de San Salvador, siendo con exactitud los estacionamientos 00+250 al 00+650. La vía en el sector de interés, posee cuatro carriles, dos para cada sentido. Se decidió que el estudio se realizará sobre el carril externo del sentido Sur a Norte, por motivos de seguridad y facilidad de cierre de la vía.

Se efectuó una visita de campo para determinar y señalar el inicio y el final del tramo en estudio. La figura 4-11 muestra las señales colocadas sobre la vía.



Fuente: Propia.

Figura 4-11: Inicio (izquierda) y final (derecha) del tramo de mezcla asfáltica caliente, Ilopango, San Salvador.

4.3.1.3 CLIMA SOBRE TRAMO DE MEZCLA ASFALTICA CALIENTE.

Como se definió anteriormente en el apartado 4.2.1.3 los parámetros climáticos que se utilizarán para la comparación de los tramos a evaluar son la precipitación máxima, la humedad relativa y la variación de la temperatura.

A continuación se presentan los datos que se han obtenido del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) tanto de precipitación (mostrados en mm), como de humedad relativa (mostrados en %) y de temperatura máxima y mínima (mostrados en °C) para el periodo en cual se ha construido el tramo en estudio así como también para un año antes y después de su colocación.

La tabla 4-18 muestra el informe meteorológico de la estación pluviométrica Aeropuerto de Ilopango, esta es la estación más cercana al tramo ubicado en San Bartolo, Ilopango y

es a la que le corresponde controlar todo lo referente a las variaciones en el estado meteorológico de la zona.

DATOS MENSUALES DE TEMPERATURA, HUMEDAD RELATIVA, LLUVIA Y PRESIÓN ATMOSFÉRICA DE 2011 A 2013 DE LA ESTACION DE ILOPANGO							
Índice	Estación	Año	Mes	T.Máx°C	T.Mín°C	Hum. Rel %	Lluvia mm
S-10	Aeropuerto de Ilopango	2011	1	32.3	18.2	72	6.9
S-10	Aeropuerto de Ilopango	2011	2	33	18.9	76	0
S-10	Aeropuerto de Ilopango	2011	3	32.5	18.4	73	47.8
S-10	Aeropuerto de Ilopango	2011	4	32.1	20.5	81	52.7
S-10	Aeropuerto de Ilopango	2011	5	31.6	21.3	81	259.6
S-10	Aeropuerto de Ilopango	2011	6	31.1	20.9	84	208.9
S-10	Aeropuerto de Ilopango	2011	7	30.6	20.5	83	398.3
S-10	Aeropuerto de Ilopango	2011	8	30.3	20.6	86	330
S-10	Aeropuerto de Ilopango	2011	9	30.7	20.7	86	274.5
S-10	Aeropuerto de Ilopango	2011	10	28.6	19.1	84	509.3
S-10	Aeropuerto de Ilopango	2011	11	31.1	18.4	75	32.5
S-10	Aeropuerto de Ilopango	2011	12	31.3	17.8	72	1
S-10	Aeropuerto de Ilopango	2012	1	31.8	18.2	72	0
S-10	Aeropuerto de Ilopango	2012	2	33.2	19.1	73	2.7
S-10	Aeropuerto de Ilopango	2012	3	34	19.2	67	8.4
S-10	Aeropuerto de Ilopango	2012	4	32.5	19.4	75	144.1
S-10	Aeropuerto de Ilopango	2012	5	30.8	21.2	86	183.3
S-10	Aeropuerto de Ilopango	2012	6	30.5	20.8	85	149.3
S-10	Aeropuerto de Ilopango	2012	7	32.2	20.1	83	350.2
S-10	Aeropuerto de Ilopango	2012	8	30.9	20.4	87	194.6
S-10	Aeropuerto de Ilopango	2012	9	31.1	20.3	87	263.6
S-10	Aeropuerto de Ilopango	2012	10	30.8	19.9	87	216.2
S-10	Aeropuerto de Ilopango	2012	11	31	18.4	82	3.9
S-10	Aeropuerto de Ilopango	2012	12	31.8	18	81	6.6
S-10	Aeropuerto de Ilopango	2013	1	32.4	18.8	72	1.3
S-10	Aeropuerto de Ilopango	2013	2	33	18.8	72	0.8
S-10	Aeropuerto de Ilopango	2013	3	33.4	19	61	0
S-10	Aeropuerto de Ilopango	2013	4	32.5	21.3	73	71.8
S-10	Aeropuerto de Ilopango	2013	5	31.4	21.1	80	161.7
S-10	Aeropuerto de Ilopango	2013	6	31.1	20.6	84	292.3
S-10	Aeropuerto de Ilopango	2013	7	31.3	20.2	83	358.5
S-10	Aeropuerto de Ilopango	2013	8	30.6	20.1	85	331.7
S-10	Aeropuerto de Ilopango	2013	9	29.6	20.7	90	139
S-10	Aeropuerto de Ilopango	2013	10	30.8	20.4	87	311
S-10	Aeropuerto de Ilopango	2013	11	30.8	19.7	83	64
S-10	Aeropuerto de Ilopango	2013	12	32.1	18.4	77	4

Tabla 4-18: Informe de temperatura, humedad relativa y precipitación mensual estación Aeropuerto de Ilopango del año 2011 a 2013.

De la tabla anterior se han extraído datos como la precipitación máxima, humedad relativa y temperatura máxima y mínima para los años 2011, 2012 (año de construcción del tramo) y 2013, para cada uno de estos años se ha obtenido el mes en el cual se presentan estos parámetros. A continuación se presentan esos resultados:

AÑO	MES	Precipitación Máxima (mm)
2011	Octubre	509.3
2012	Julio	350.2
2013	Julio	358.5

Tabla 4-19: Datos de precipitación máxima para los años 2011, 2012 y 2013.

La tabla 4-19 presenta para cada año del informe el valor de la precipitación máxima, mencionando el mes en donde se ha producido la mayor cantidad de precipitación por año. Se observa que para el mes de Octubre del año 2011 se ha dado una precipitación máxima de 509.3 mm, mientras que para el mes de Julio de 2012 un valor de 350.2 mm y para el mes también de Julio de 2013 un valor de precipitación de 358.5 mm. Lo anterior nos indica que la precipitación también en esta zona es muy variable, por lo que no se puede decir que la precipitación constante para este periodo de 3 años.

AÑO	MES	T.Máx (°C)	MES	T.Min (°C)
2011	Febrero	33	Diciembre	17.8
2012	Marzo	34	Diciembre	18
2013	Marzo	33.4	Diciembre	18.4

Tabla 4-20: Datos de temperatura máxima y mínima para los años 2011, 2012 y 2013.

En la tabla 4-20 se puede observar la temperatura máxima y mínima expresada en grados centígrados para cada uno de los años del informe, mencionando para cada uno de estos, el mes donde se da el valor máximo y mínimo respectivamente. Por lo anterior se puede concluir que la carpeta de rodadura de mezcla asfáltica caliente soporta para este periodo de 3 años una temperatura promedio máxima de 33.5°C y una temperatura promedio mínima de 18.1°C.

AÑO	MES	Humedad Relativa %
2011	Agosto y Septiembre	86
2012	Agosto, Septiembre y Octubre	87
2013	Septiembre	90

Tabla 4-21: Datos de humedad relativa máxima para los años 2011, 2012 y 2013.

La tabla 4-21 presenta para cada año del informe el valor del porcentaje de humedad relativa máxima, mencionando el mes en donde se ha producido la mayor humedad relativa por año. Se observa que para el mes de Agosto y Septiembre del año 2011 se ha dado una humedad relativa máxima de un 86%, mientras que para el mes de Agosto, Septiembre y Octubre de 2012 un valor de 87% y para el mes de Septiembre de 2013 un valor de un 90%. Lo anterior nos indica que se tiene una variación de un 4% en la humedad relativa para este tramo, por lo que es muy poco variable para los 3 años de este periodo.

4.3.1.4 CARGA VEHICULAR SOBRE TRAMO DE MEZCLA ASFALTICA CALIENTE.

La carga vehicular que pasa sobre el Boulevard San Bartolo se caracteriza por presentar vehículos pesados que llevan pasajeros, como lo son buses y microbuses, esto debido a que el boulevard sirve como vía de acceso para que la población que habita en la zona pueda transportarse hasta sus lugares de destino. Además de los vehículos pesados también existe una gran cantidad de vehículos livianos que abordan esta ruta, el motivo de esto es que el tramo seleccionado se encuentra en una zona donde existen alrededor de él muchas viviendas y locales de servicio.

A continuación se presenta el conteo que se ha obtenido del Ministerio de Obras Publicas (MOP) del tránsito promedio diario anual (TPDA) para el año 2010, el cual es el más actualizado a la fecha.

DEPARTAMENTO DE SAN SALVADOR LISTADO DE LA RED PAVIMENTADA		L I V I A N O		PESADOS									TOTAL	
AÑO 2010	TRAMO	PASJ	CARG.	PASJ	CARGA									
CODIGO VIA		AUTO	PICK-UP	M. BUS	BUS	C2	C3	T2-S1	T2-S2	T2-S3	T3-S2	T3-S3		
	CA01E - Blvd. San Bartolo - SAL03E (Incluye Accesos Paso a Desnivel)	7739	7796	2347	4023	2092	256	10	211	39	39	78	24630	

Fuente: Ministerio de Obras Públicas de El Salvador.

Tabla 4-22: Transito promedio diario anual para el tramo de mezcla asfáltica caliente, 2010

La tabla 4-22 muestra los diferentes valores de transito que circulan sobre el Boulevard San Bartolo tanto para vehículos livianos como para vehículos pesados. Se observa que

hay una mayor cantidad de vehículos livianos que vehículos pesados, teniendo un conteo total de 24,630 vehículos para el tramo que va desde la carretera CA01E hasta la carretera SAL03E, donde se encuentra el tramo en estudio.

Tomando en cuenta los valores de la tabla 4-22 y las consideraciones para el procedimiento de cálculo hechas en el apartado 4.2.2.3 se han obtenido los siguientes resultados para la cantidad de ESAL's correspondientes al tramo de mezclas asfáltica caliente ubicado en San Bartolo, Ilopango desde el año 2010.

MEZCLA ASFALTICA CALIENTE					
Tipo de Vehículo	Cantidad de Vehículos Diarios "A"	Factor de Crecimiento "B"	Transito de Diseño "C"	ESAL's Factor "D"	ESAL's de Diseño "E"
		3%			
Auto	7739	4.185	11821515.98	0.00134	15840.83141
Pick-UP	7796	4.185	11908584.9	0.01442	171721.7943
		2%			
M.Bus	2347	4.120	3529418.6	0.18725	660883.6329
Bus	4023	4.120	6049787.4	1.6145	9767381.757
C2	2092	4.120	3145949.6	2.3435	7372532.888
C3	256	4.120	384972.8	1.6	615956.48
T2-S1	10	4.120	15038	3.0555	45948.609
T2-S2	211	4.120	317301.8	2.8865	915891.6457
T2-S3	39	4.120	58648.2	2.3955	140491.7631
T3-S2	39	4.120	58648.2	2.7175	159376.4835
T3-S3	78	4.120	117296.4	2.2265	261160.4346
TOTAL DE VEHICULOS	24,630			TOTAL	20,127,186.32

Tabla 4-23: Resumen del cálculo efectuado para la determinación del número de ESAL's del tramo de mezcla asfáltica caliente.

Según la tabla 4-23 el tramo de mezcla asfáltica caliente ha soportado una cantidad total de 20.13×10^6 ESAL's desde el año 2010 a la fecha. Sin embargo la mezcla fue colocada y compactada en Noviembre de 2011, por lo que para esta investigación se considerarán los ESAL's soportados a partir de esa fecha, que equivalen aproximadamente a la mitad de los mostrados en la tabla 4-23. **El número de ESAL's a considerar será entonces de 10.06×10^6 .**

4.3.1.5 EDAD DE TRAMO DE MEZCLA ASFALTICA CALIENTE.

De acuerdo a los registros proporcionados por el Fondo de Conservación Vial (FOVIAL) en el contrato: CO-108/2011 proyecto denominado: “MANTENIMIENTO PERIODICO DE LA RUTA SAL 02W: CA01E – BOULEVARD SAN BARTOLO – SAL03E, UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE SAN SALVADOR”, el tramo fue colocado y compactado en el mes de Noviembre de 2011.

4.3.1.6 TOPOGRAFÍA DE TRAMO DE MEZCLA ASFALTICA CALIENTE.

La planimetría del tramo ubicado en San Bartolo, Ilopango, refleja que está conformado inicialmente por el tramo final de una curva de una longitud aproximada de 27 metros sucedido por un tramo recto de 39 metros. El tramo continúa con una sucesión de dos curvas de concavidad opuesta con una longitud de 137 metros y 85 metros, que generan una sinuosidad moderadamente perceptible para el conductor. Finalmente se encuentra un tramo recto de una longitud de 111 metros.



Fuente: Propia.

Figura 4-12: Boulevard San Bartolo, Ilopango, San Salvador.

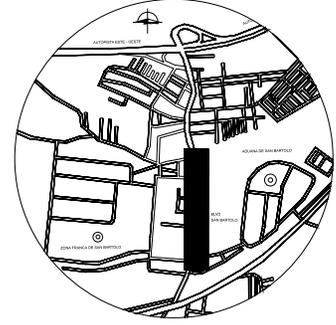
En lo que respecta a pendientes y variaciones de nivel, el tramo posee una variación en la elevación de menor a mayor al transitarse de Sur a Norte. El tramo se encuentra

ubicado a una altura aproximada de 633 metros sobre el nivel del mar. La variación de nivel desde su estacionamiento inicial hasta su estacionamiento final vuelve necesaria la aparición de curvas verticales con pendiente moderadamente pronunciada.

La sección transversal del tramo está compuesta por la calzada que tiene un ancho de 12 metros aproximadamente, además posee bordillos a lo largo de toda su longitud que limitan la calzada y la separan de la acera y que funcionan como elementos de drenaje antes las lluvias. Para separar ambos sentidos la vía cuenta con la presencia de delineadores tipo I y “súper sapos” tal como lo establecen las condiciones técnicas contractuales del FOVIAL para la partida MR0914 titulada “DELINEADORES DE TRAFICO TIPO-I Y TIPO-II”. También con una pendiente de bombeo a lo largo del sentido a evaluar no mayor a 5%.

Internamente se conoce que la estructura del pavimento está conformada por una carpeta de rodadura de 10 cm de espesor, de los cuales los 5 cm fueron colocados y compactados inicialmente para luego colocar y compactar la segunda capa de 5 cm, ambas de mezcla asfáltica caliente. Para esta investigación los 5 cm de mezcla asfáltica caliente mas externos son los de interés.

A continuación se muestra el siguiente plano que contiene los detalles de planimetría, altimetría y sección transversal del tramo a evaluar.



ESQUEMA DE UBICACIÓN TRAMO DE MEZCLA ASFÁLTICA CALIENTE, SAN BARTOLO, SAN SALVADOR

PROYECTO
"EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA CARPETA DE RODADURA DE MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA EN COMPARACIÓN CON EL DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CALIENTE"

PROPIETARIO
REPÚBLICA DE EL SALVADOR

UBICACIÓN
CA01E - Blvd. SAN BARTOLO, RUTA SAL02W, SAN BARTOLO, SAN SALVADOR.

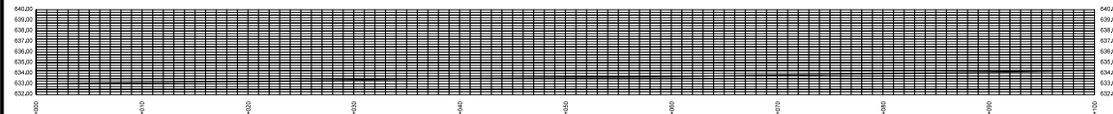
CONTENIDO
- ESQUEMA DE UBICACIÓN
- VISTA EN PLANTA DEL TRAMO SOBRE Blvd. SAN BARTOLO.
- PERFILES DE ELEVACIÓN DEL TRAMO SOBRE Blvd. SAN BARTOLO.
- DETALLE DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL TRAMO Blvd. SAN BARTOLO.

ESCALA INDICADAS
FECHA JUNIO 2014
HOJA 1/1

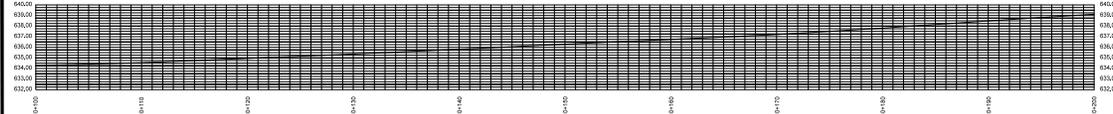
PRESENTA
- CAMPOS CRUZ, CARLOS ANTONIO.
- GUZMÁN LÓPEZ, MANUEL RAMÓN.
- SÁNCHEZ BLANCO, RAFAEL EDUARDO

PROFESIONAL RESPONSABLE
SELLO Y FIRMA

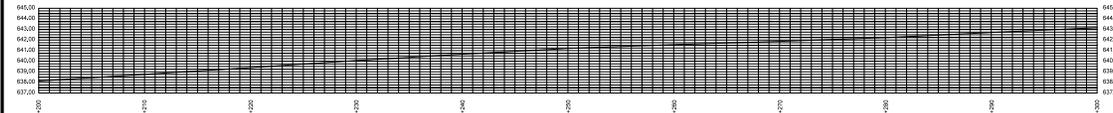
SELLOS DE APROBACIÓN:



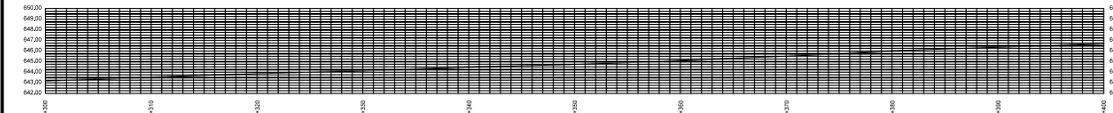
PERFIL DE ELEVACIONES DEL TRAMO EST. 0+250 - 0+350
ESC. 1:200



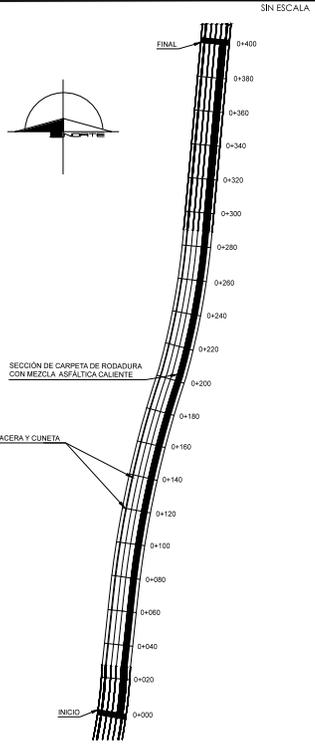
PERFIL DE ELEVACIONES DEL TRAMO EST. 0+350 - 0+450
ESC. 1:200



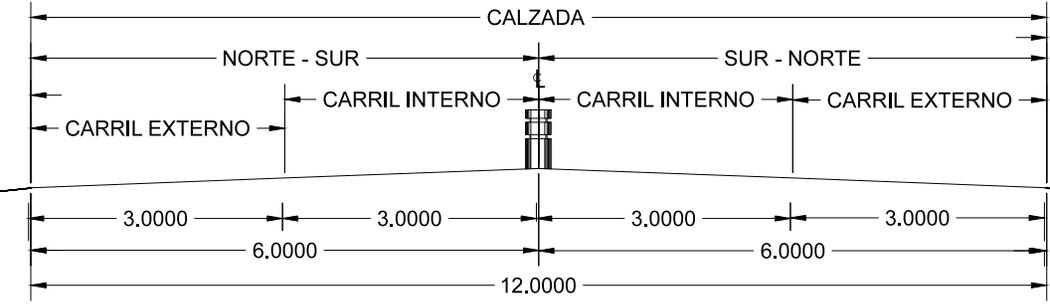
PERFIL DE ELEVACIONES DEL TRAMO EST. 0+450 - 0+550
ESC. 1:200



PERFIL DE ELEVACIONES DEL TRAMO EST. 0+550 - 0+650
ESC. 1:200



VISTA EN PLANTA DE BOULEVARD SAN BARTOLO TRAMO DE MEZCLA ASFÁLTICA CALIENTE, SAN BARTOLO, SAN SALVADOR.
ESC. 1:1250



ESQUEMA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL TÍPICO DEL Blvd. SAN BARTOLO
ESC. 1:50

4.3.2 DISEÑO DE LA MEZCLA COLOCADA.

A continuación se muestran los detalles de la mezcla asfáltica caliente colocada y compactada sobre la ruta SAL 02W en Noviembre del año 2011. Los datos que se muestran han sido extraídos de forma textual del documento titulado: “INFORME DE CONTROL DE CALIDAD N°2, PERIODO: DEL 01 AL 30 DE NOVIEMBRE DE 2011” para el proyecto denominado: “MANTENIMIENTO PERIODICO DE LA RUTA SAL 02W: CA01E – BOULEVAARD SAN BARTOLO – SAL03E, UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE SAN SALVADOR”.

CUADRO RESUMEN DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES																					
N° Ensayo	Fecha	Flujo		Estabilidad	Bulk	Maxima Teorica	Vacios		Asfalto		GRANULOMETRIA, TMN 3/4"								VMA	Polvo/Asfalto	VFA
		AASHTO 167	AASHTO 165	AASHTO 165	AASHTO 245	ASSTHO T209	3.0 - 5.0 %	4.8 - 5.8 %	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	N°4	N°8	N°50	N°200	%	0.60 - 1.30	%		
		20 - 40 cm	1800 Lbs/mi	1800 Lbs/mi					100 - 100	100 - 100	92-100	68-80	45-59	30-42	6-16	2-7	Min 13		65 - 75		
1	14/11/11	29.6	2995	2.302	2.407	4.4	5.57	100	100	100	79	53	38	11	4.3	14.1	0.97	69.2			
2	18/11/11	26.6	3558	2.305	2.407	4.3	5.36	100	100	100	74	49	36	11	4.2	13.8	0.98	69.3			
3	20/11/11	30.5	3556	2.31	2.419	4.5	5.77	100	100	100	80	55	39	11	4	14	0.93	67.9			
4	21/11/11	28.8	3318	2.308	2.402	3.9	5.33	100	100	100	76	48	35	12	5	13.7	1.15	71.5			
5	22/11/11	24.6	3206	2.31	2.405	3.9	5.22	100	100	100	73	50	35	10	3.8	13.5	0.89	70.8			
6	23/11/11	29.6	3256	2.314	2.41	4.4	5.19	100	100	100	80	52	38	12	4.5	13.7	1.08	67.9			
7	24/11/11	23.7	3049	2.308	2.415	4.5	5.23	100	100	100	72	48	34	11	4.4	13.6	1.08	67.3			
8	25/11/11	24.6	3072	2.3	2.412	4.6	5.36	100	100	100	75	50	36	11	4.9	14	1.15	67			
9	26/11/11	28.8	3382	2.3	2.396	4	5.52	100	100	100	81	56	41	13	5.9	14.2	1.3	71.6			
10	28/11/11	32.2	3189	2.294	2.407	4.7	5.49	100	100	100	76	50	36	9	3.6	14.4	0.84	67.4			
11	29/11/11	28.8	3042	2.304	2.408	4.3	5.3	100	100	100	79	51	36	11	4.1	13.8	0.96	68.8			
12	30/11/11	30.5	3185	2.303	2.407	4.3	5.48	100	100	100	78	51	35	11	4.9	14	1.12	69.3			
PROMEDIO		28.44	3,217	2.304	2.408	4.3	5.4	100	100	100	76.9	51.1	36.6	11.1	4.5	13.9	1.04	69			
DESV. ESTANDAR		2.68	166.47	0.005	0.006	0.251	0.17	0	0	0	2.999	2.539	2.021	0.996	0.63	0.263	0.132	1.606			
COEF. DE VARIACION		0.09	0.05	0	0	0.06	0.03	0	0	0	0.04	0.05	0.06	0.09	0.14	0.02	0.13	0.02			
% FUERA LI		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.26	0.21	0.76	0.14	0.8	0	0	0.01			
% DENTRO LS		1	1	1	1	1	0.99	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1			
PWL		1	1	1	1	1	0.99	1	1	1	0.74	0.79	0.24	0.86	0.2	1	0	0.99			

Tabla 4-24: Cuadro resumen de mezclas asfálticas calientes colocadas sobre el Boulevard San Bartolo, Noviembre 2011.

4.3.2.1 GRANULOMETRÍA.

4.3.2.1.1 CONTROL DE CALIDAD PARA AGREGADOS EMPLEADOS EN LA FABRICACIÓN DE MEZCLA ASÁLTICA CALIENTE.

- Solicitante: **Equipo de Construcción S.A. de C.V.**
- Proyecto: **Diseño de Mezcla Asfáltica Modificada con Evotherm.**
- Procedencia: **Banco de Materiales La Cantera.**
- Ubicación: **Planta Asfáltica San Andrés.**
- Fecha de Ensayo: **La Libertad, Febrero de 2012.**
- Material: **Agregado Pétreo Tamaño Máximo Nominal 3/4”**
- Asfalto: **Asfalto AC-30 (RASA).**

La configuración de mezcla asfáltica caliente, establece una proporción en porcentaje de masa de los diferentes agregados, que la conforman, como se muestra en la siguiente tabla.

MATERIAL	PROCEDENCIA	PORCENTAJE DE MEZCLA
Grava 3/4”	Banco La Cantera	22%
Grava 1/2”	Banco La Cantera	28%
Arena Triturada	Banco La Cantera	50%

Tabla 4-25: Porcentajes de agregados utilizados en la mezcla.

Posteriormente se revelan los resultados de las pruebas de control de calidad, realizadas a los agregados empleados en el diseño de mezcla asfáltica caliente.

MATERIAL	PROCEDENCIA	ENSAYO DE CONTROL DE CALIDAD	RESULTADO
Grava 3/4"	Banco La Cantera	Gravedad Especifica Seca	2.546
Grava 1/2"	Banco La Cantera	Gravedad Especifica Seca	2.540
Arena Triturada	Banco La Cantera	Gravedad Especifica Seca	2.509
Combinación de agregados.	Banco La Cantera	$G_{sb (combo)} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{\frac{P_1}{G_{sb}} + \frac{P_2}{G_{sb}} + \frac{P_3}{G_{sb}}}$ $G_{sb} = \text{Gravedad Especifica Seca.}$ $G_{sb(combo)} = \text{Gravedad Especifica Seca del combo.}$ $P_1 = \text{Masa en porcentaje de mezcla}$	2.532

Tabla 4-26: Gravedad especifica seca de los tipos de agregados presentes en la mezcla.

ENSAYOS A AGREGADO GRUESO, GRAVA 3/4"		
ENSAYO	RESULTADO.	PARÁMETRO.
ENSAYO	RESULTADO.	PARÁMETRO.
Gravedad Especifica seca. ASTM C 127	2.546	N/A
Absorción de agua. ASTM C-127	1.9%	N/A
Ensayo de resistencia a la abrasión en Maquina de Los Ángeles, ASTM C 131	17.60 %	40 % máx.
Caras fracturadas ASTM D 5821	100%	90% min.
Partículas Planas y Alargadas ASTM D 4791	2.24%	10% máx.
ENSAYO DE SANIDAD (SULFATO DE SODIO) ASTM C 88	0.37%	12% máx.
ENSAYO DE DURABILIDAD ASTM D 3744	96.0%	35.0 min.

Fuente: Equipos de Construcción S.A. de C.V.

Figura 4-13: Calidad de agregado grueso 3/4", Mezcla caliente, SAL02W.

ENSAYOS A GRAVA 1/2"		
ENSAYO	RESULTADO.	PARÁMETRO.
Gravedad Específica seca. ASTM C 127	2.540	N/A
Absorción de agua. ASTM C-127	2.30%	N/A
Ensayo de resistencia a la abrasión en Maquina de Los Angeles, ASTM C 131	22.0	40 % máx.
Caras fracturadas ASTM D 5821	100%	90% min.
Partículas Planas y Alargadas ASTM D 4791	0.47%	10 % máx.
ENSAYO DE SANIDAD (SULFATO DE SODIO) ASTM C 88	0.42 %	12% máx.
INDICE DE DURABILIDAD ASTM D 3744	96.0	35 % min

Fuente: Equipos de Construcción S.A. de C.V.

Figura 4-14: Calidad de agregado grueso 1/2", Mezcla caliente, SAL02W.

ENSAYOS A ARENA TRITURADA		
ENSAYO	RESULTADO.	PARÁMETRO.
Gravedad Específica seca. ASTM C 127	2.509	N/A
Absorción de agua. ASTM C-127	2.39%	N/A
Equivalente de Arena, ASTM D 2419	82.50%	MIN. 45.%
Índice Plasticidad	N/P	4.0%
Ensayo de Sanidad (Sulfato de Sodio) ASTM C 88	1.38%	12.0% max.
% GRUMOS DE ARCILLA Y PARTICULAS FRIABLES ASTM C 142	0.23	1.0% Max

Fuente: Equipos de Construcción S.A. de C.V.

Figura 4-15: Calidad de arena triturada, Mezcla caliente, SAL02W.

4.3.2.1.2 GRANULOMETRÍA.

La tabla 4-24 muestra la variedad de granulometrías para las mezclas asfálticas calientes que fueron colocadas en el tramo en cuestión. Para todas las granulometrías fue establecido un rango de tolerancias que se encuentra presente tanto en la tabla 4-24 como en la tabla 4-27, esta última muestra el promedio de los porcentajes que pasan por malla de todas las mezclas colocadas.

ANÁLISIS DE GRANULOMETRÍA PROMEDIO				
Tamiz	Abertura en mm	Tolerancias		% Que Pasa Promedio
		Límite Inferior	Límite Superior	
1 1/2"	37.5	100	100	100
1"	25.4	100	100	100
3/4"	19	92	100	100
3/8"	9.5	68	80	76.9
N°4	4.75	45	59	51.1
N°8	2.36	30	42	36.6
N°50	0.3	6	16	11.1
N°200	0.075	2	7	4.5

Tabla 4-27: Análisis de granulometría promedio

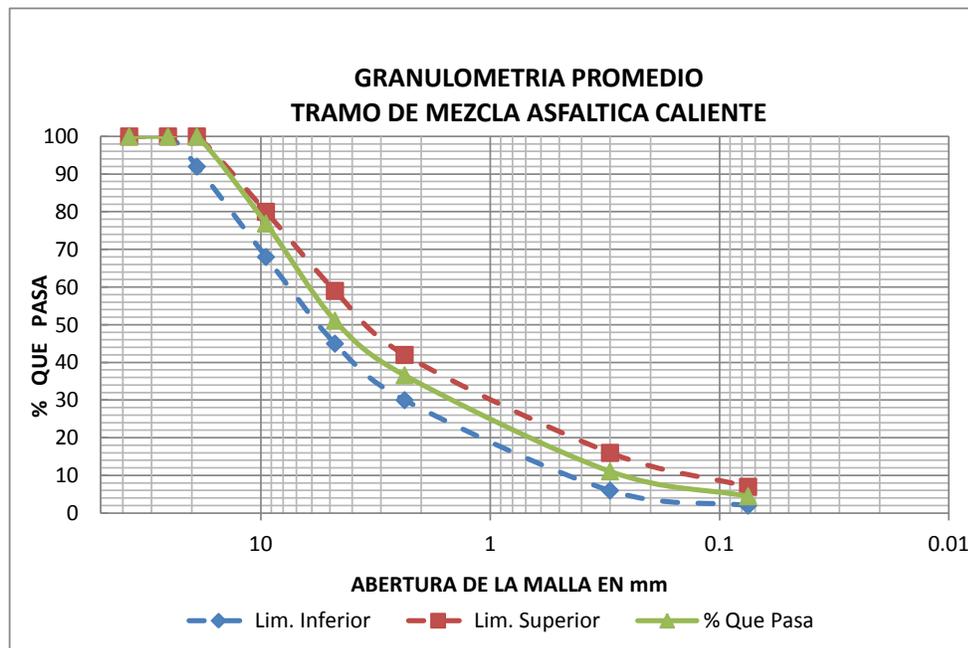


Figura 4-16: Gráfica de granulometría promedio del tramo de mezcla asfáltica caliente.

4.3.2.2 PORCENTAJE DE ASFALTO.

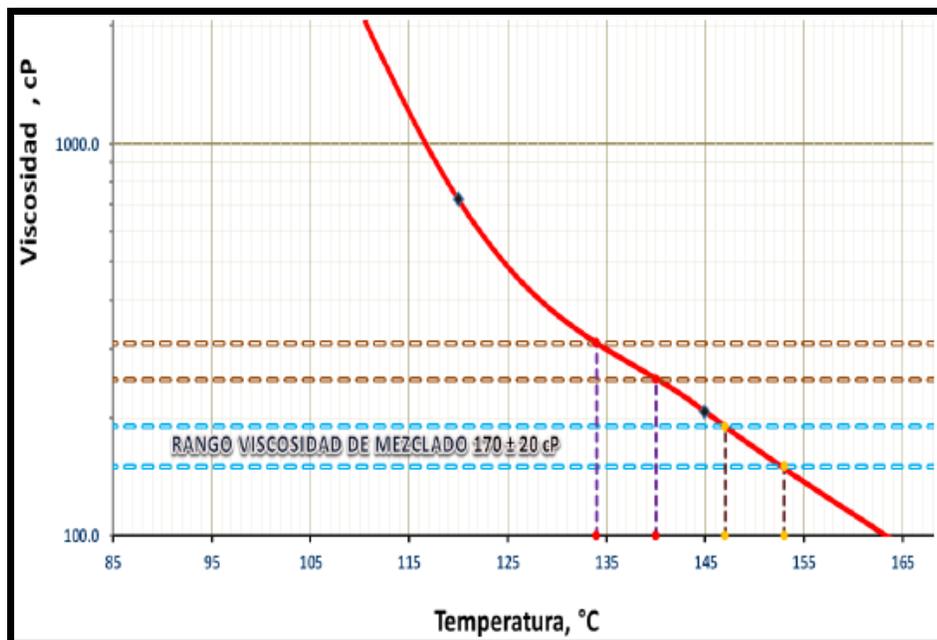
De acuerdo con el documento titulado: “INFORME DE CONTROL DE CALIDAD N°2, PERIODO: DEL 01 AL 30 DE NOVIEMBRE DE 2011” para el proyecto denominado: “MANTENIMIENTO PERIODICO DE LA RUTA SAL 02W: CA01E – BOULEVAARD SAN BARTOLO – SAL03E, UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE SAN SALVADOR”, se utilizo un asfalto tipo “AC-30”, de acuerdo con la clasificación de viscosidad establecida por la norma AAHSTO M 226 (ver tabla 2-1).

Se utilizaron diversos porcentajes para establecer el contenido de asfalto en la mezcla, esto debido a la variación en la granulometría de cada una de las mezclas colocadas. En la tabla 4-24 se puede observar esta variación en los porcentajes en la que el valor mínimo utilizado fue de 5.19% y el valor máximo fue de 5.77%. El valor promedio del porcentaje de asfalto utilizado fue de 5.4%, mientras que la tolerancia considerada estableció que los valores debían variar entre 4.8% y 5.8%.

4.3.2.1 TEMPERATURA DE MEZCLADO Y DE COMPACTACIÓN.

Para el diseño de la mezcla asfáltica caliente utilizado en el tramo del Boulevard San Bartolo, las temperaturas de mezclado y de compactación fueron las comúnmente usadas para un asfalto tipo AC-30. Estas se obtuvieron de la respectiva carta de viscosidad, donde de acuerdo al rango de viscosidad del asfalto, se determina la temperatura correspondiente. Para un mezclado adecuado, la viscosidad del asfalto ha de encontrarse entre 150 cP a 190 cP, mientras que una compactación adecuada el rango de viscosidad se encuentra entre 250 cP a 310 cP.

Cabe mencionar que estas viscosidades son las recomendadas para el diseño de una mezcla asfáltica caliente. Por lo antes mencionado se define que el rango de temperatura de mezclado está entre 147°C a 153°C y el rango de temperatura de compactación está concentrado entre 134°C a 140°C (ver figura 4-17).



Fuente: Asfaltos de Centroamérica (ASFALCA).

Figura 4-17: Carta de viscosidad para asfalto AC-30 (RASA).

4.3.2.2 PROPIEDADES VOLUMETRICAS Y ESTRUCTURALES.

La tabla 4-28 muestra los resultados de las diferentes propiedades volumétricas y estructurales, utilizando las temperaturas de mezclado y de compactación establecidas para el proceso de producción de la mezcla asfáltica caliente. Los siguientes, son los valores promedio de todas las mezclas así como las tolerancias consideradas.

PROPIEDADES VOLUMETRICAS y ESTRUCTURALES	TOLERANCIAS		RESULTADOS
	MIN	MAX	
Gravedad Especifica Bulk	-	-	2.304
Gravedad Especifica Teórica Máxima	-	-	2.408
Porcentaje de Vacíos de Aire	3.00%	5%	4.30%
Porcentaje de Vacíos en el Agregado Mineral (VMA)	13%	-	13.90%
Porcentaje de Vacíos Llenos de Asfalto (VFA)	65%	75%	69.00%
Estabilidad (Lb/mm)	1800	-	3217
Flujo (cm)	20	40	28.44
Relación de tensión indirecta, TSR	75%	-	99.25%

Tabla 4-28: Resultados de propiedades volumétricas y estructurales.

4.4 COMPATIBILIDAD DE TRAMOS A EVALUAR EN BASE A LOS CRITERIOS ESTABLECIDOS.

La tabla 4-29 muestra la verificación del grado de compatibilidad que poseen los tramos a evaluar de acuerdo a los criterios y tolerancias considerados en el apartado 4.2 de esta investigación. Los datos se han extraído de los apartados 4.3 y 4.4.

VERIFICACIÓN DE COMPATIBILIDAD DE TRAMOS SELECCIONADOS					
CRITERIOS ESTABLECIDOS	VALORES PARA TRAMO MAC: BLVD. SAN BARTOLO	VALORES PARA TRAMO MAT: CA-08W, ATEOS.	VARIACIÓN	TOLERANCIAS PARA "Δ"	VERIFICACIÓN
			$\Delta = \text{MAC-MAT} $	VALOR "Δ" PERMITIDO	$\Delta < \Delta \text{ PERMITIDO ?}$
1. CLIMA (VALORES MENSUALES MAS RELEVANTES)					
1.1 TEMPERATURAS					
1.1.1 T MAX (°C)					
2011	33 (FEBRERO)	34.7 (MAYO)	1.7	4°C	SI
2012	34 (MARZO)	35 (MARZO)	1	4°C	SI
2013	33.4 (MARZO)	35.4 (ABRIL)	2	4°C	SI
1.1.2 T MIN (°C)					
2011	17.8 (DICIEMBRE)	15.4 (DICIEMBRE)	2.4	4°C	SI
2012	18 (DICIEMBRE)	14.6 (DICIEMBRE)	3.4	4°C	SI
2013	18.4 (DICIEMBRE)	15.4 (ENERO)	3	4°C	SI
1.2 PRECIPITACIÓN (mm)					
2011	509.3 (OCTUBRE)	769.3 (OCTUBRE)	260	NO CONSIDERADA	NO
2012	350.2 (JULIO)	291.2 (JULIO)	59	NO CONSIDERADA	SI
2013	358.5 (JULIO)	371.6 (JUNIO)	13.1	NO CONSIDERADA	SI
1.3 HUMEDAD (%)					
2011	86 (AGOSTO, SEPTIEMBRE)	89 (AGOSTO, SEPTIEMBRE)	3	NO CONSIDERADA	SI
2012	87 (AGO, SEP, OCT)	85 (AGOSTO)	2	NO CONSIDERADA	SI
2013	90 (SEPTIEMBRE)	88 (SEPTIEMBRE)	2	NO CONSIDERADA	SI
2. EDAD (FECHA DE APERTURA AL TRAFICO)	Noviembre 2011	Marzo 2012	4 Meses	6 Meses	SI
3. CARGA VEHICULAR (ESAL'S)	10.06×10^6	7.88×10^6	2.18×10^6	2.50×10^6	SI
4. TOPOGRAFÍA					
4.1 Espesor de la carpeta	10 cm	10 cm	0 cm	0 cm	SI

Tabla 4-29: Verificación de compatibilidad de tramos seleccionados.

De acuerdo a lo establecido en la tabla 4-29 queda demostrada la compatibilidad de los tramos seleccionados para la evaluación a realizar en este trabajo de investigación, considerando las tolerancias ya establecidas.

**CAPITULO V:
RESULTADOS Y
ANALISIS DE
RESULTADOS.**

5.1 RESULTADOS DE ENSAYOS DE CAMPO Y MEMORIA DE CÁLCULO.

5.1.1 RESULTADOS DE IRI (ASTM E-90).

Determinación de Índice de Rugosidad Internacional basado en norma AASHTO PP37-04. El Índice de Rugosidad Internacional (I.R.I.) se determinó con el uso del perfilometro inercial de alta precisión, capaz de medir el perfil de la carretera, modelo CS 8800 clase 1, propiedad de la empresa LEG S.A. de C.V.

La medición del *Índice de Rugosidad Internacional*, se realizó a cabo el día 02 de mayo de 2014, en los siguientes tramos:

Carretera CA08W, departamento de La Libertad, Estacionamientos 32+450 – 32+780.

Carretera SAL02W, departamento de San Salvador, Estacionamientos 0+290 – 0+610.

El perfilometro inercial utilizado para el cálculo del índice de rugosidad internacional, consta de dos partes, el aparato físico que asume la función del modelo de cuarto de carro que exige la norma **ASTM E 950** y una computadora cuya función es traducir las señales, emitidas por el aparato físico, en lenguaje de software.

El software utilizado para la creación del perfil longitudinal de ambas carreteras es el **SSI PROFILER versión 2.2**, para la utilización de el software y con la finalidad de obtener datos reales, verídicos y de alta precisión, la empresa LEG S.A. de C.V. se asegura que antes de todo uso tanto el aparato como el software, estén en óptimas condiciones y calibrados respectivamente. Como se puede observar en la siguiente imagen.

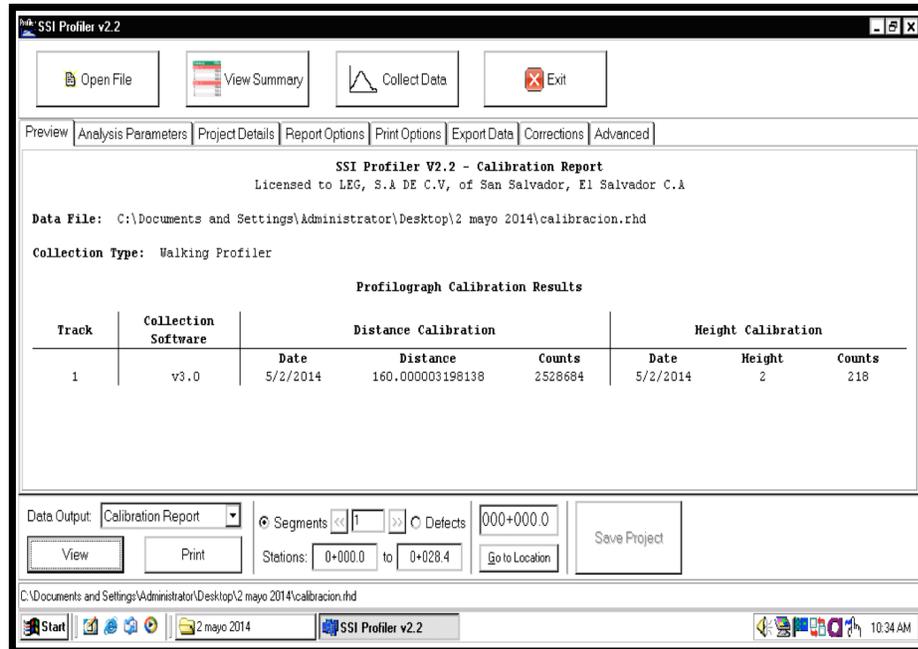


Figura 5-1: Calibración del Software SSI PROFILER versión 2.2 para encontrar el valor del IRI.

Los reportes presentados por la empresa LEG S.A. de C.V., reflejan una calidad de rugosidad internacional superior en el tramo construido con mezcla asfáltica tibia (CA-08W), respeto del tramo construido con mezcla asfáltica caliente (Blvd. San Bartolo).

Los resultados obtenidos para esta prueba de campo, refieren datos de la calidad de la carretera, los que normalmente son calculados para tramos de carreteras mayores a los mil metros de longitud, tanto para apertura, rehabilitación o reconstrucción de carreteras, así como también inspecciones rutinarias para intervenciones tempranas y preventivas. Los reportes generalmente extendidos por las empresas dedicadas a la realización de este ensayo de campo, plasman el valor de rugosidad internacional en intervalos de carreteras entre mil metros y dos mil metros, dependiendo de la extensión de la misma. Es así como debido a la peculiaridad del trabajo de investigación, en el cual los tramos de carreteras en estudio no exceden los 400 metros de longitud, se tomó la decisión de reportar el Índice de Rugosidad Internacional, cada cien metros como se muestran a continuación.

5.1.1.1 RESULTADOS PARA MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA (CA-08W) ATEOS, LA LIBERTAD.

LEG, S.A. DE C.V.		LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES								
		AVENIDA JAYAQUE Y CALLE COMASAGUA, N° 1-A, COLONIA JARDINES DE LA LIBERTAD, SANTA TECLA								
		TELS: 2556-0517, 2556-0521, 2556-0522			Fax = 2556-0523					
REPORTE DE INDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL IRI					AASHTO PP37-04					
Proyecto: TESIS UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR					Solicitado por:		Carlos Campos			
Fecha de medicion:	02/05/2014			Tipo de rodaje:	Concreto Asfaltico (Flexible)					
CADENAMIENTO ASUMIDO, SEGMENTO DE CARRETERA CA08.										
Inicio	Fin	IRI m/km				SINGULARIDAD	IRI m/km			SINGULARIDAD
		CARRIL INTERNO			CARRIL EXTERNO					
		Huella Externa, T-1	Huella Interna, T-2	Promedio	Huella Interna, T-1		Huella Externa, T-2	Promedio		
0+000	0+100					1.7	2	1.9		
0+100	0+200					1.7	1.7	1.7		
0+200	0+300					1.8	2.1	2.0		
0+300	0+375					1.5	1.5	1.5		
Observaciones:										
Realizo:		Lenin Vasquez				Reviso: Ing. Jorge Lopez				

Figura 5-2: Resultados del Índice de Rugosidad Internacional para el tramo de la carretera CA-08W, ATEOS, La Libertad.

5.1.1.2 RESULTADOS PARA MEZCLA ASFÁLTICA CALIENTE (SAL02W) SAN BARTOLO, ILOPANGO.

LEG, S.A. DE C.V.		LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES							
		AVENIDA JAYAQUE Y CALLE COMASAGUA, N° 1-A, COLONIA JARDINES DE LA LIBERTAD, SANTA TECLA							
		TELS: 2556-0517, 2556-0521, 2556-0522				Fax + 2556-0523			
REPORTE DE INDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL IRI					AASHTO PP37-04				
Proyecto: TESIS UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR					Solicitado por:		Carlos Campos		
Fecha de medicion:	02/05/2014		Tipo de rodaje:		Concreto Asfaltico (Flexible)				
BOULEVARD HUGO CHAVEZ, ILOPANGO.									
Inicio	Fin	IRI m/km			SINGULARIDAD	IRI m/km			SINGULARIDAD
		CARRIL INTERNO				CARRIL EXTERNO			
		Huella Externa, T-1	Huella Interna, T-2	Promedio		Huella Interna, T-1	Huella Externa, T-2	Promedio	
0+000	0+100					2.7	3.3	3.0	
0+100	0+200					2.8	3.1	3.0	
0+200	0+300					3.2	3.5	3.4	
0+300	0+400					3.1	3.2	3.2	
Observaciones:									
Realizo: Lenin Vasquez					Reviso: Ing. Jorge Lopez				

Figura 5-3: Resultados del Índice de Rugosidad Internacional para el tramo de la carretera SAL02W, SAN BARTOLO, Ilopango.

5.1.2 RESULTADOS DE PCI.

5.1.2.1 RESULTADOS PARA MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA (CA-08W) ATEOS, LA LIBERTAD.

5.1.2.1.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTOS DE SUPERFICIE ASFALTICA																									
Tramo:		Carretera CA08W										Estación Inicial:			32+450										
Depto:		Ateos, La Libertad										Estación Final:			32+825										
Fecha:		30 de Abril de 2014										Ancho de Calzada:			8.00 m										
Realizó:		UES										Área:			1500 m										
Estacion	Deterioro	Piel de Cocodrilo (m2)			Fisura en Bloque (m2)			Fisura en Arco (m2)			Fisura Transversal (m)			Fisura Longitudinal (m)			Fisura por Reflexión de Junta (m)			Ahuellamiento (mm)			Presencia de Agregados (m2)		
		Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja
Tramo 1	32+450	32+825	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	470.00

Tabla 5-1: Cuadro informativo para el PCI de la carretera CA08W, Ateos, La Libertad.

Datos Iniciales.

- Longitud por sección, $L_s = 375$ m Área ($L_s * A_t$) = 1500 m Ancho del tramo, $A_t = 4.00$ m

5.1.2.1.2 MEMORIA DE CÁLCULO.

Lo primero a realizar es ordenar toda la información en un cuadro resumen como el que se muestra a continuación.

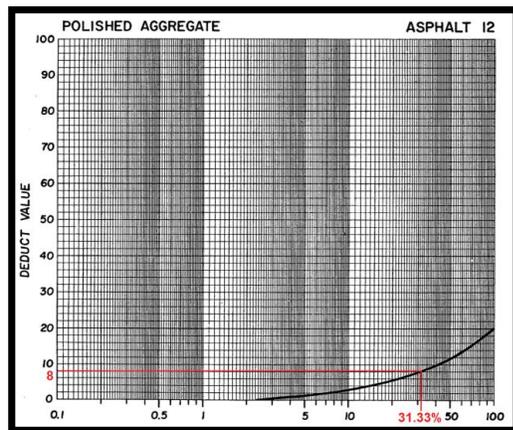
Carretera CA08W, Ateos La Libertad								
Carretera CA08W, Ateos La Libertad	Área del Tramo (m2)	Número Máximo Admisible de Valores Deducidos	Tipo de Daños	Código	Severidad	Cantidades Total	Densidad (%)	Valor Deducido
	1500	10.18	Presencia de Agregados	14	Baja	470		
Valor Deducido Total								0

Tabla 5-2: Tabla resumen de datos obtenidos para el PCI en el tramo CA08W, Ateos, La Libertad.

Luego de ordenar los datos recolectados la siguiente etapa corresponde al cálculo de las densidades para, cada tipo de daño a lo largo del tramo en estudio.

Daño Tipo 1 (Media) $Densidad = \frac{470}{1500} \times 100 = 31.33\%$

Una vez se obtengan los datos de densidad procedemos a calcular los Valores Deducidos (V.D.) sin corregir, para el tramo en estudio. Para cada tipo de daño y nivel de severidad será un valor deducido sin corregir diferente. Los datos para entrar a la curva de valor deducido sin corregir son las densidades y los niveles de severidad.



Fuente: Technic Manual, "Pavement Maintenance" (Department of the Army, 1982). USA.

Figura 5-4: Curva de Valores Deducidos sin Corregir, Presencia de Agregados.

Luego se procede a calcular el Número Máximo Admisible de Valores Deducidos para el tramo en estudio.

$$m_{1.0} = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - 8.0) = 9.45$$

Carretera CA08W, Ateos La Libertad								
Carretera CA08W, Ateos La Libertad	Área del Tramo (m2)	Número Máximo Admisible de Valores Deducidos	Tipo de Daños	Código	Severidad	Cantidades Total	Densidad (%)	Valor Deducido
	1500	9.45	Presencia de Agregados	14	Baja	470	31.33	8
Valor Deducido Total								8

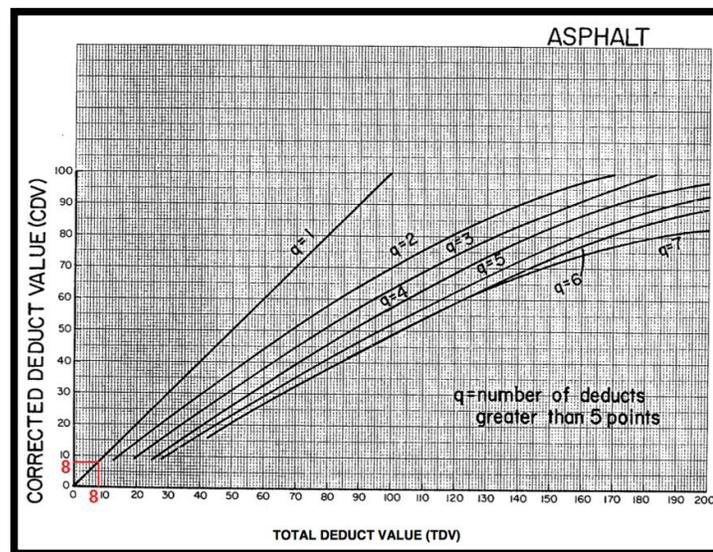
Tabla 5-3: Cuadro Resumen con datos actualizados.

El último paso para determinar el PCI es calcular el Máximo Valor Deducido Corregido (CVD).

$$\text{VDT} = 8 = 8$$

Valor Deducido (corregido): (VDT = 8, q = 1)

$$\text{CDV} = 8.0$$



Fuente: Technic Manual, "Pavement Maintenance" (Department of the Army, 1982). USA.

Figura 5-5: Curva del Máximo Valor Deducido Corregido.

5.1.2.1.3 VALOR DE PCI.

RANGO	CLASIFICACION
100-85	Excelente
85-70	Muy Bueno
70-55	Bueno
55-40	Regular
40-25	Malo
25-10	Muy Malo
10-0	Fallado

Tabla 5-4: Rangos de clasificación del PCI.

Q	VDT	CDV	PCI
1	8	8	92

Tabla 5-5: Resultados del PCI.

$$PCI = 100 - 8$$

PCI = 92, EXCELENTE

5.1.2.2 RESULTADOS PARA MEZCLA ASFÁLTICA CALIENTE (SAL02W) SAN BARTOLO, ILOPANGO.

5.1.2.2.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTOS DE SUPERFICIE ASFALTICA																									
Tramo:		Boulevard San Bartolo (SAL02W)										Estación Inicial:		0+250											
Depto:		Ilopango, San Salvador										Estación Final:		0+650											
Fecha:		02-Mayo-2014										Ancho de Calzada:		6.00 m											
Realizó:		UES										Área:		1200 m											
Estacion	Deterioro	Piel de Cocodrilo (m2)			Fisura en Bloque (m2)			Fisura en Arco (m2)			Fisura Transversal (m)			Fisura Longitudinal (m)			Fisura por Reflexión de Junta (m)			Ahuellamiento (mm)			Presencia de Agregados (m2)		
		Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja
Tramo 1	0+250	0+650	0.00	3.652	0.00	32.8506	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58	24.65	0.00	2.3	74.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.84

Tabla 5-6: Cuadro informativo para el PCI del Boulevard San Bartolo , Ilopango.

Datos Iniciales.

- Longitud por sección, $L_s = 400$ m
- Ancho del tramo, $A_t = 3.00$ m
- Área ($L_s * A_t = 1200$ m

5.1.2.2.2 MEMORIA DE CÁLCULO.

Lo primero a realizar es ordenar toda la información en un cuadro resumen como el que se muestra a continuación.

Boulevard San Bartolo , Ilopango, San Salvador								
	Área del Tramo (m2)	Número Máximo Admisible de Valores Deducidos	Tipo de Daños	Código	Severidad	Cantidades Total	Densidad (%)	Valor Deducido
Boulevard San Bartolo , Ilopango, San Salvador	1200	9.04	Fisura Piel de Cocodrilo	1	Media	3.652		
			Fisura en Bloque	2	Baja	32.8506		
			Fisura en Bloque	2	Media	3.605		
			Fisura Transversal	4	Baja	24.65		
			Fisura Transversal	4	Media	0.58		
			Fisura longitudinal	5	Baja	74.17		
			Fisura longitudinal	5	Media	2.3		
			Presencia de Agregados	14	Baja	13.84		
			Valor Deducido Total					

Tabla 5-7: Tabla resumen de datos obtenidos para el PCI en el tramo SAL 02W, San Bartolo, Ilopango.

Luego de ordenar los datos recolectados la siguiente etapa corresponde al cálculo de las densidades para cada tipo de daño a lo largo del tramo en estudio.

Daño Tipo 1 (Media)

$$Densidad = \frac{3.652}{1200} \times 100 = 0.30\%$$

Daño Tipo 2 (Baja)

$$Densidad = \frac{32.8506}{1200} \times 100 = 2.74\%$$

Daño Tipo 2 (Media)

$$Densidad = \frac{3.605}{1200} \times 100 = 0.30\%$$

Daño Tipo 4 (Baja)

$$Densidad = \frac{24.65}{1200} \times 100 = 2.05\%$$

Daño Tipo 4 (Media)

$$Densidad = \frac{0.58}{1200} \times 100 = 0.05\%$$

Daño Tipo 5 (Media)

$$Densidad = \frac{2.3}{1200} \times 100 = 0.19\%$$

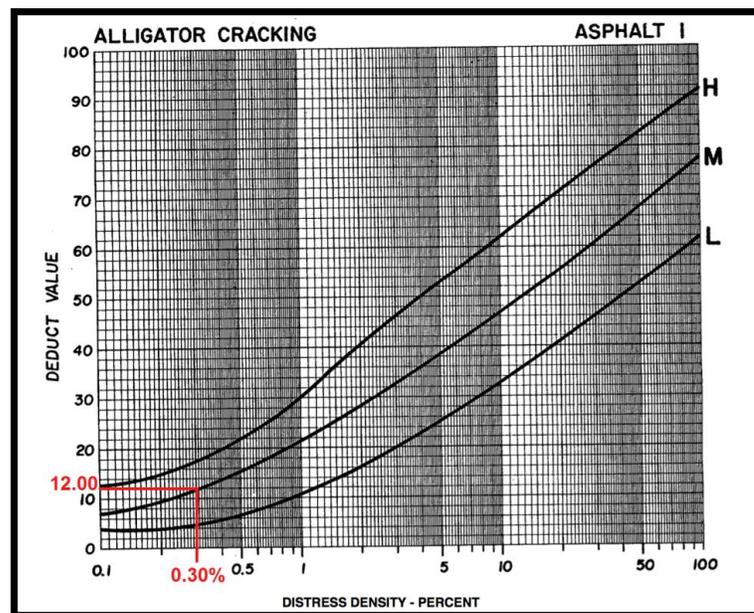
Daño Tipo 5 (Baja)

$$Densidad = \frac{74.17}{1200} \times 100 = 6.18\%$$

Daño Tipo 14 (Baja)

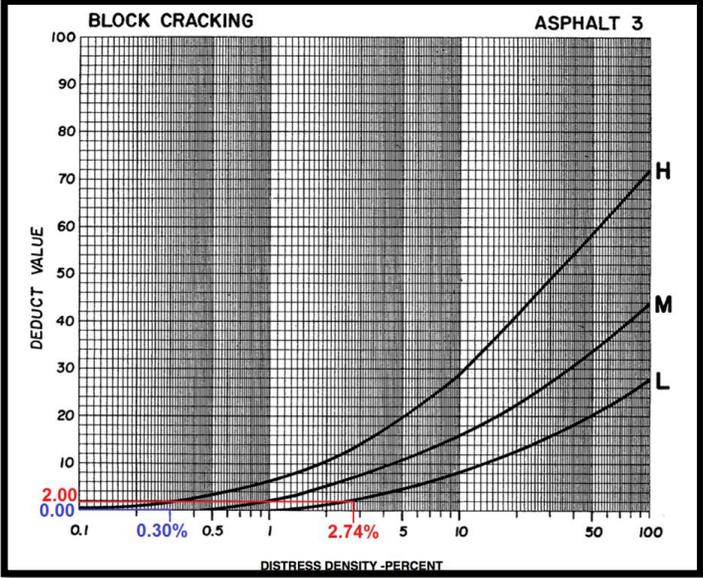
$$Densidad = \frac{13.84}{1200} \times 100 = 11.53\%$$

Una vez se obtengan los datos de densidad procedemos a calcular los Valores Deducidos (V.D.) sin corregir, para el tramo en estudio. Para cada tipo de daño y nivel de severidad será un valor deducido sin corregir diferente. Los datos para entrar a la curva de valor deducido sin corregir son las densidades y los niveles de severidad.



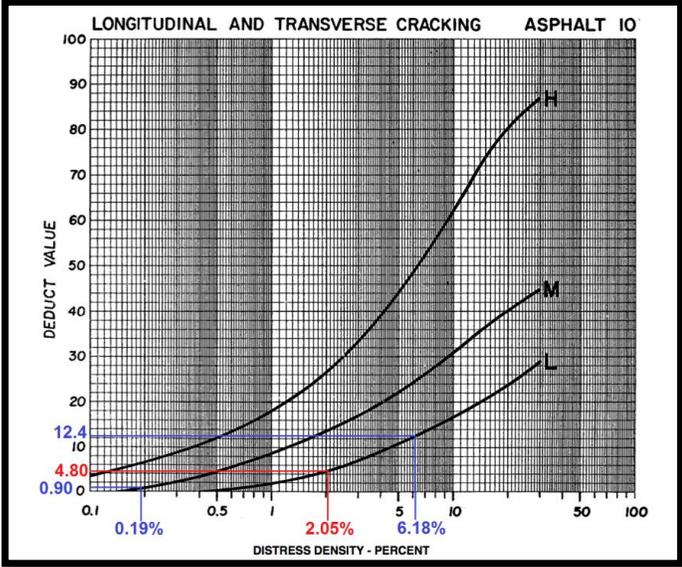
Fuente: Technic Manual, "Pavement Maintenance" (Department of the Army, 1982). USA.

Figura 5-6: Curva de Valores Deducidos sin Corregir, Piel de Cocodrilo



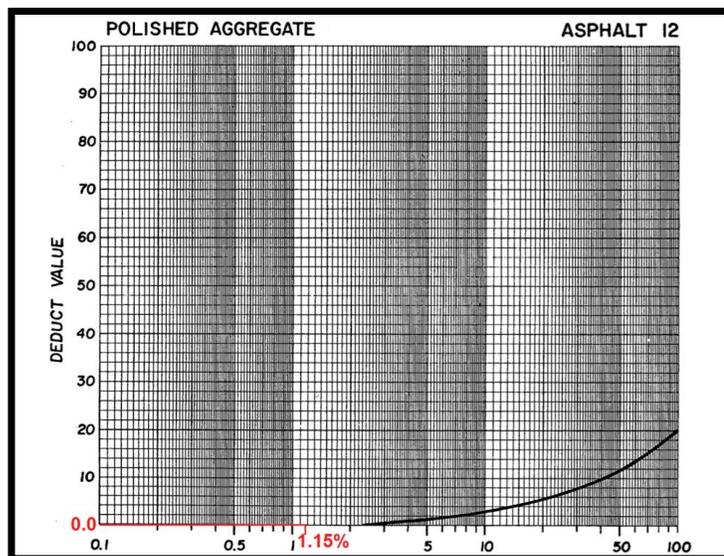
Fuente: Technic Manual, "Pavement Maintenance" (Department of the Army, 1982). USA.

Figura 5-7: Curva de Valores Deducidos sin Corregir, Fisura en Bloque.



Fuente: Technic Manual, "Pavement Maintenance" (Department of the Army, 1982). USA.

Figura 5-8: Curva de Valores Deducidos sin Corregir, Fisura Transversal y Longitudinal.



Fuente: Technic Manual, "Pavement Maintenance" (Department of the Army, 1982). USA.

Figura 5-9: Curva de Valores Deducidos sin Corregir, Presencia de Agregados.

Luego se procede a calcular el Número Máximo Admisible de Valores Deducidos para el tramo en estudio.

$$m_{1.0} = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - 12.4) = 9.04$$

Boulevard San Bartolo SAL02W, Ilopango, San Salvador								
	Área del Tramo (m2)	Número Máximo Admisible de Valores Deducidos	Tipo de Daños	Código	Severidad	Cantidades Total	Densidad (%)	Valor Deducido
Boulevard San Bartolo SAL03W, Ilopango, San Salvador	1200	9.04	Fisura Piel de Cocodrilo	1	Media	3.652	0.30	12
			Fisura en Bloque	2	Baja	32.8506	2.74	2
			Fisura en Bloque	2	Media	3.605	0.30	0
			Fisura Transversal	4	Baja	24.65	2.05	4.8
			Fisura Transversal	4	Media	0.58	0.05	0
			Fisura longitudinal	5	Baja	74.17	6.18	12.4
			Fisura longitudinal	5	Media	2.3	0.19	0.9
			Presencia de Agregados	14	Baja	13.84	1.15	0
			Valor Deducido Total					

Tabla 5-8: Cuadro Resumen con datos actualizados.

El último paso para determinar el PCI es calcular el Máximo Valor Deducido Corregido (CVD), para el cual se debe seguir un proceso iterativo como el siguiente.

- Determinar el número de valores deducidos sin corregir “q”, mayores que 5.0
 $q = 2$
- Determinar el “Valor Deducido Total”
 $VDT = 12 + 2 + 0 + 4.8 + 0 + 12.4 + 0.9 + 0 = 32.1$
- Determinar el CDV con “q” y “VDT”
- Proceso iterativo: Reducir a 5.0 el menor de los V.D. individuales que sea mayor que 5.0 y repetir el proceso hasta que “q” sea igual a 1.

$$VDT = 12 + 2 + 0 + 4.8 + 0 + 12.4 + 0.9 + 0 = 32.1$$

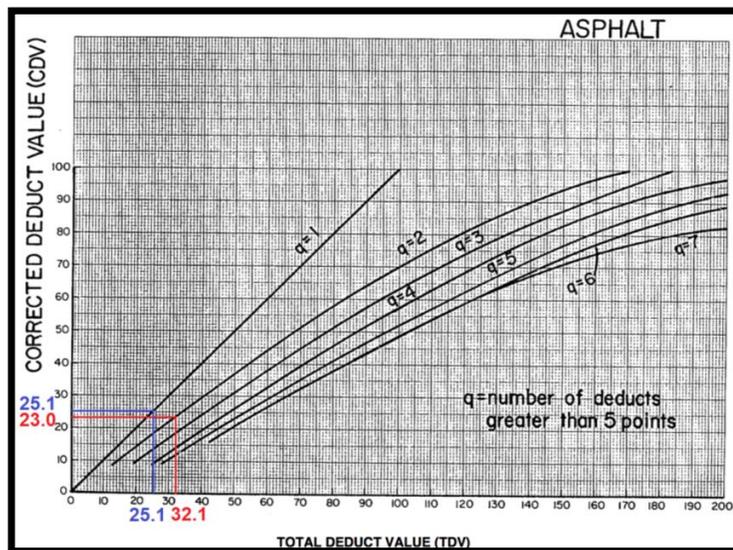
Valor Deducido (corregido): (VDT = 32.1, q = 2)

$$CDV = 23.0$$

$$VDT = 12.5 + 2 + 0 + 4.8 + 0 + 12.4 + 0.9 + 0 = 25.1$$

Valor Deducido (corregido): (VDT = 25.1, q = 1)

$$CDV = 25.1$$



Fuente: Technic Manual, "Pavement Maintenance" (Department of the Army, 1982). USA

Figura 5-10: Curva del Máximo Valor Deducido Corregido

5.1.2.2.3 VALOR DE PCI.

RANGO	CLASIFICACION
100-85	Excelente
85-70	Muy Bueno
70-55	Bueno
55-40	Regular
40-25	Malo
25-10	Muy Malo
10-0	Fallado

Tabla 5-9: Rangos de clasificación del PCI.

q	VDT	CDV	PCI
2	32.1	23	77
1	25.1	25.1	74.9

Tabla 5-10: Resultados del PCI.

$$PCI = 100 - 23$$

$$\underline{\underline{PCI = 77, MUY BUENO}}$$

5.1.3 RESULTADOS DE PRUEBAS DE LABORATORIO A ESPECÍMENES EXTRAÍDOS DE CAMPO.

5.1.3.1 RESULTADOS PARA MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA (CA-08W) ATEOS, LA LIBERTAD.

Los siguientes son los resultados de los ensayos hechos a los especímenes extraídos del tramo de mezcla asfáltica tibia ubicado en Ateos, La Libertad.

Para este tramo se planificó un total de 12 extracciones. Debido a que el tramo posee diferentes temperaturas de compactación que variaron entre 73°C y 116°C, se extrajeron tres especímenes cada 100 metros. Ciertos especímenes fueron cortados para poder ser utilizados en los ensayos, pues al momento de su extracción sufrieron daños debido a la alta adherencia existente entre la carpeta de rodadura de mezcla asfáltica tibia (superficial) y la de mezcla asfáltica caliente (subyacente).

**5.1.3.1.1 EXTRACCIÓN DE ESPECÍMENES DE MEZCLA BITUMINOSA
COMPACTADA EN CAMPO, ASTM D 5361-14.**

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE ASFALTOS DE CENTRO AMERICA																																																						
	Solicitante: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR Proyecto: TRABAJO DE GRADUACION Ubicación: CA-08W, ATEOS, LA LIBERTAD Fecha de Muestreo: 20 DE MAYO DE 2014 Material: MEZCLA ASFALTICA TIBIA																																																						
EXTRACCION DE ESPECIMENES DE MEZCLA BITUMINOSA COMPACTADA EN CAMPO ASTM D 5361-14																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Código</th> <th>Estacionamiento</th> <th>Altura (mm)</th> <th>Diámetro (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NT11</td> <td>32+450</td> <td>60.75</td> <td>100.88</td> </tr> <tr> <td>NT12</td> <td>32+480</td> <td>67.74</td> <td>100.93</td> </tr> <tr> <td>NT13</td> <td>32+510</td> <td>61.48</td> <td>100.48</td> </tr> <tr> <td>NT21</td> <td>32+540</td> <td>44.65</td> <td>101.13</td> </tr> <tr> <td>NT22</td> <td>32+570</td> <td>58.91</td> <td>100.70</td> </tr> <tr> <td>NT23</td> <td>32+600</td> <td>60.59</td> <td>101.18</td> </tr> <tr> <td>NT31</td> <td>32+630</td> <td>33.16</td> <td>100.90</td> </tr> <tr> <td>NT32</td> <td>32+660</td> <td>----</td> <td>----</td> </tr> <tr> <td>NT33</td> <td>32+690</td> <td>28.03</td> <td>100.58</td> </tr> <tr> <td>NT41</td> <td>32+720</td> <td>52.40</td> <td>100.68</td> </tr> <tr> <td>NT42</td> <td>32+750</td> <td>65.81</td> <td>100.68</td> </tr> <tr> <td>NT43</td> <td>32+780</td> <td>67.30</td> <td>100.75</td> </tr> </tbody> </table>				Código	Estacionamiento	Altura (mm)	Diámetro (mm)	NT11	32+450	60.75	100.88	NT12	32+480	67.74	100.93	NT13	32+510	61.48	100.48	NT21	32+540	44.65	101.13	NT22	32+570	58.91	100.70	NT23	32+600	60.59	101.18	NT31	32+630	33.16	100.90	NT32	32+660	----	----	NT33	32+690	28.03	100.58	NT41	32+720	52.40	100.68	NT42	32+750	65.81	100.68	NT43	32+780	67.30	100.75
Código	Estacionamiento	Altura (mm)	Diámetro (mm)																																																				
NT11	32+450	60.75	100.88																																																				
NT12	32+480	67.74	100.93																																																				
NT13	32+510	61.48	100.48																																																				
NT21	32+540	44.65	101.13																																																				
NT22	32+570	58.91	100.70																																																				
NT23	32+600	60.59	101.18																																																				
NT31	32+630	33.16	100.90																																																				
NT32	32+660	----	----																																																				
NT33	32+690	28.03	100.58																																																				
NT41	32+720	52.40	100.68																																																				
NT42	32+750	65.81	100.68																																																				
NT43	32+780	67.30	100.75																																																				
<p>Observacione o se reportan datos para el nucleo NT32 debido a que si extracción no fue posible.</p>																																																							

Tabla 5-11: Resultados de extracción de núcleos de mezcla asfáltica tibia, Ateos La Libertad.

5.1.3.1.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D2726-13, AASHTO T166-13.

 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE ASFALTOS DE CENTRO AMERICA 								
Solicitante:	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR							
Proyecto:	TRABAJO DE GRADUACION							
Ubicación:	PLANTA ASFALTICA DE ASFALCA, ARMENIA, SONSONATE KM 39 1/2							
Fecha de Muestreo:	20-may-14			Fecha de Ensayo:	01-jul-14			
Material:	MEZCLA ASFALTICA TIBIA CA-08W					Hoja:	1/2	
GRAVEDAD ESPECIFICA BULK DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2726-13 AASHTO T 166-13								
Codigo de Especimen	NT11	NT12	NT13	NT21	NT22	NT23	NT31	
Estacionamiento	32+450	32+480	32+510	32+540	32+570	32+600	32+630	
Temperatura (°C)	25 ± 1	25.1	25.1	25.1	25.1	25	25	
Peso seco en aire (g)	A	1104.3	1225.6	1102.8	807.4	1041.9	1084.1	626.1
Peso saturado superficialmente seco (g)	B	1105.5	1227.4	1107.4	808.3	1043.9	1087.2	626.5
Peso sumergido en agua (g)	C	625.2	692.9	629.9	459.4	589.3	613.8	363.6
Gravedad Especifica Bulk		2.30	2.29	2.31	2.31	2.29	2.29	2.38
Porcentaje de Absorcion	$\frac{B - C}{B - A} \times 100$	0.25	0.34	0.96	0.26	0.44	0.65	0.15
Observaciones:								

Tabla 5-12: Resultados de gravedad específica bulk de mezcla asfáltica tibia, Ateos La Libertad.
Hoja: 1/2.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE ASFALTOS DE CENTRO AMERICA



Solicitante: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
Proyecto: TRABAJO DE GRADUACION
Ubicación: PLANTA ASFALTICA DE ASFALCA, ARMENIA, SONSONATE KM 39 1/2
Fecha de Muestreo: 20-may-14 **Fecha de Ensayo:** 01-jul-14
Material: MEZCLA ASFALTICA TIBIA CA-08W **Hoja:** 2/2

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2726-13 AASHTO T 166-13

Codigo de Especimen		NT32	NT33	NT41	NT42	NT43		
Estacionamiento		32+660	32+690	32+720	32+750	32+780		
Temperatura (°C)	25 ± 1	----	25	24.7	24.8	24.8		
Peso seco en aire (g)	A	----	529.6	986.7	1239.6	1210.7		
Peso saturado superficialmente seco (g)	B	----	530.1	987.5	1240.5	1212.8		
Peso sumergido en agua (g)	C	----	308.4	574.1	719.1	684.9		
Gravedad Especifica Bulk		----	2.39	2.39	2.38	2.29		
Porcentaje de Absorcion		----	0.23	0.19	0.17	0.40		

Observaciones. No se reporta ensayo para el núcleo NT32 debido a que su extracción no fue posible.

*Tabla 5-13: Resultados de gravedad especifica bulk de mezcla asfáltica tibia, Ateos La Libertad.
 Hoja: 2/2.*

5.1.3.1.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D2041-11.

		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE ASFALTOS DE CENTRO AMERICA		
		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR TRABAJO DE GRADUACION PLANTA ASFALTICA, ARMENIA, SONSONATE, KM 39 1/2 17 DE JULIO DE 2014 MEZCLA ASFALTICA TIBIA		
Solicitante:	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR			
Proyecto:	TRABAJO DE GRADUACION			
Ubicación:	PLANTA ASFALTICA, ARMENIA, SONSONATE, KM 39 1/2			
Fecha de Muestreo:	17 DE JULIO DE 2014			
Material:	MEZCLA ASFALTICA TIBIA			
GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA DE MEZCLAS BITUMINOSAS				
ASTM D 2041-11				
		Muestra		
Peso del Picnometro vacio (g):		1681.1		
Peso del Picnometro + Muestra (g)		5085.3		
Peso de la Muestra en el Aire (g):		A	3404.2	
Peso del Picnometro + Agua (25°C) (g):		D	11767.2	
Peso del Picnometro + Agua + Muestra (g):		E	13772.6	
Volumen del Agua		V=A+D-E	1398.8	
Gravedad Especifica Teorica Máxima		Gem= A/V	2.434	
Observaciones:				
<p>La muestra utilizada para este ensayo se obtuvo a partir de la desintegración de los núcleos NT13, NT21, NT33 y NT41. Por su ubicación, estos núcleos garantizan un resultado representativo para todo el tramo de mezcla asfáltica tibia.</p> <p>La temperatura del agua en el ensayo fue de 25°C por lo que no se incluye un factor de corrección por temperatura del agua.</p>				

Tabla 5-14: Resultados de gravedad específica teórica máxima de mezcla asfáltica tibia, Ateos La Libertad.

5.1.3.1.4 PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE EN MEZCLAS COMPACTADAS DENSAS O ABIERTAS PARA PAVIMENTOS BITUMINOSOS, ASTM D3203-11, AASHTO T269-11.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE ASFALTOS DE CENTRO AMERICA																																																						
	Solicitante: <u>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</u> Proyecto: <u>TRABAJO DE GRADUACION</u> Ubicación: <u>PLANTA ASFALTICA, ARMENIA, SONSONATE, KM 39 1/2</u> Fecha de: <u>-----</u> Muestreo: <u>-----</u> Material: <u>MEZCLA ASFALTICA TIBIA</u>																																																						
PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE EN MEZCLAS COMPACTADAS DENSAS O ABIERTAS PARA PAVIMENTOS BITUMINOSOS ASTM D 3203-11 AASHTO T 269-																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Código de la Muestra</th> <th>Gravedad Bulk (Kg/m3)</th> <th>Gravedad Teórica Máxima (Kg/m3)</th> <th>% Vacios</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>NT11</td><td>2.299</td><td>2.434</td><td>5.546</td></tr> <tr><td>NT12</td><td>2.293</td><td>2.434</td><td>5.793</td></tr> <tr><td>NT13</td><td>2.310</td><td>2.434</td><td>5.094</td></tr> <tr><td>NT21</td><td>2.314</td><td>2.434</td><td>4.930</td></tr> <tr><td>NT22</td><td>2.292</td><td>2.434</td><td>5.834</td></tr> <tr><td>NT23</td><td>2.290</td><td>2.434</td><td>5.916</td></tr> <tr><td>NT31</td><td>2.382</td><td>2.434</td><td>2.136</td></tr> <tr><td>NT32</td><td>----</td><td>----</td><td>----</td></tr> <tr><td>NT33</td><td>2.390</td><td>2.434</td><td>1.808</td></tr> <tr><td>NT41</td><td>2.390</td><td>2.434</td><td>1.808</td></tr> <tr><td>NT42</td><td>2.380</td><td>2.434</td><td>2.219</td></tr> <tr><td>NT43</td><td>2.290</td><td>2.434</td><td>5.916</td></tr> </tbody> </table>	Código de la Muestra	Gravedad Bulk (Kg/m3)	Gravedad Teórica Máxima (Kg/m3)	% Vacios	NT11	2.299	2.434	5.546	NT12	2.293	2.434	5.793	NT13	2.310	2.434	5.094	NT21	2.314	2.434	4.930	NT22	2.292	2.434	5.834	NT23	2.290	2.434	5.916	NT31	2.382	2.434	2.136	NT32	----	----	----	NT33	2.390	2.434	1.808	NT41	2.390	2.434	1.808	NT42	2.380	2.434	2.219	NT43	2.290	2.434	5.916	<p>Observaciones: No se reportan datos para el nucleo NT32 debido a que su extracción no fue posible.</p> <p>A lo largo del tramo se utilizaron diferentes temperaturas de compactación una variación en los porcentajes de vacios por sección en el tramo era esperada. Por ello no se presenta un valor promedio.</p>		
Código de la Muestra	Gravedad Bulk (Kg/m3)	Gravedad Teórica Máxima (Kg/m3)	% Vacios																																																				
NT11	2.299	2.434	5.546																																																				
NT12	2.293	2.434	5.793																																																				
NT13	2.310	2.434	5.094																																																				
NT21	2.314	2.434	4.930																																																				
NT22	2.292	2.434	5.834																																																				
NT23	2.290	2.434	5.916																																																				
NT31	2.382	2.434	2.136																																																				
NT32	----	----	----																																																				
NT33	2.390	2.434	1.808																																																				
NT41	2.390	2.434	1.808																																																				
NT42	2.380	2.434	2.219																																																				
NT43	2.290	2.434	5.916																																																				

Tabla 5-15: Resultados de porcentaje de vacíos de mezcla asfáltica tibia, Ateos La Libertad.

**5.1.3.1.5 PORCENTAJE DE VACÍOS EN AGREGADO MINERAL Y
PORCENTAJE DE VACÍOS LLENOS DE ASFALTO.**

Como parte del cálculo del porcentaje de vacíos en agregado mineral y vacíos llenos de asfalto, se presenta la determinación de la gravedad específica bulk de la combinación de agregados para la mezcla colocada sobre la CA08W. Este valor es el utilizado para la determinación de VMA y VFA de la mezcla. Los datos de gravedad específica bulk para cada agregado se han extraído del Capítulo IV de esta investigación.

- Gravedad específica bulk de la combinación de agregados.
 - Gravedad específica bulk de agregado ¾” = 2.549, en 23%.
 - Gravedad específica bulk de agregados 3/8” = 2.542, en 25%.
 - Gravedad específica bulk de arena triturada = 2.520, en 52%.

$$G.E. Bulk_{comb.de agregados} = \frac{P1 + P2 + P3}{\frac{P1}{G.E. Bulk_1} + \frac{P2}{G.E. Bulk_2} + \frac{P3}{G.E. Bulk_3}}$$

$$G.E. Bulk_{comb.de agregados} = \frac{100}{\frac{23}{2.549} + \frac{25}{2.542} + \frac{52}{2.520}}$$

$$G.E. Bulk_{comb.de agregados} = \mathbf{2.532}$$

El siguiente cuadro muestra los resultados del cálculo de %VMA y %VFA para los núcleos de la mezcla asfáltica en la carretera CA08W, Ateos, La Libertad.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE ASFALTOS DE CENTRO AMERICA				
	Solicitante: _____ UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR				
Proyecto: _____ TRABAJO DE GRADUACION					
Ubicación: _____ PLANTA ASFALTICA, ARMENIA, SONSONATE, KM 39 1/2					
Fecha de Muestreo: _____ -----					
Material: _____ MEZCLA ASFALTICA TIBIA					
PORCENTAJE DE VACÍOS EN AGREGADO MINERAL Y PORCENTAJE DE VACÍOS LLENOS DE ASFALTO					
Código de la Muestra	Gravedad Bulk (Kg/m3)	% Vacios	% de asfalto	%VMA	%VFA
NT11	2.299	5.546	5.3	14.014	60.424
NT12	2.293	5.793	5.3	14.239	59.316
NT13	2.310	5.094	5.3	13.603	62.549
NT21	2.314	4.930	5.3	13.453	63.354
NT22	2.292	5.834	5.3	14.276	59.135
NT23	2.290	5.916	5.3	14.351	58.775
NT31	2.382	2.136	5.3	10.910	80.418
NT32	----	----	----	----	----
NT33	2.390	1.808	5.3	10.611	82.964
NT41	2.390	1.808	5.3	10.611	82.964
NT42	2.380	2.219	5.3	10.985	79.804
NT43	2.290	5.916	5.3	14.351	58.775
<p>Observaciones: No se reportan datos para el nucleo NT32 debido a que su extracción no fue posible.</p> <p>A lo largo del tramo se utilizaron diferentes temperaturas de compactación una variación en los porcentajes de vacios por sección en el tramo era esperada. Por ello no se presenta un valor promedio.</p> <p>El valor de la gravedad específica bulk de la combinación de agregados tiene un valor de 2.532</p> <p>El contenido de asfalto utilizado fue de 5.3% tal como indican los reportes de calidad inicial proporcionados por el constructor.</p>					

5-16: Porcentaje de vacíos en agregado mineral y porcentaje de vacíos llenos de asfalto para la mezcla asfáltica tibia, Ateos, La Libertad.

5.1.3.1.6 RESISTENCIA AL FLUJO PLÁSTICO DE MEZCLAS BITUMINOSAS UTILIZANDO EL APARATO MARSHALL, ASTM D 6927-06, AASHTO T245-13.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE ASFALTOS DE CENTRO AMERICA					
	Solicitante: <u>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</u> Proyecto: <u>TRABAJO DE GRADUACION</u> Ubicación: <u>PLANTA ASFALTICA, ARMENIA, SONSONATE, KM 39 1/2</u> Fecha de Muestreo: <u>07-jul-14</u> Material: <u>MEZCLA ASFALTICA TIBIA</u>					
RESISTENCIA AL FLUJO PLASTICO DE MEZCLAS BITUMINOSAS UTILIZANDO EL APARATO MARSHALL ASTM D 6927-06						
BRIQUETA	ALTURA (mm)	CORRECCION POR VOLUMEN	FLUJO (mm)	CARGA MAXIMA (Lb)	ESTABILIDAD (Lb)	ESTABILIDAD CORREGIDA (Lb)
NT11	480.30	1.14	3.30	3118	3071	3500.94
NT21	348.90	2.08	3.48	1959	1946	4047.68
NT31	262.90	3.85	2.67	868	814.29	3135.02
Observaciones: Dado que los nucleos provienen de secciones con diferente temperatura de compactación, no se presenta un valor promedio para estabilidad y flujo. De acuerdo con las especificaciones para la mezcla asfáltica tibia se esperaba un valor de estabilidad entre 1800 y 4500 lb. Mientras que para el valor de flujo es entre 2 y 4 mm.						

Tabla 5-17: Resultados de estabilidad y flujo Marshall para mezcla asfáltica tibia, Ateos La Libertad.

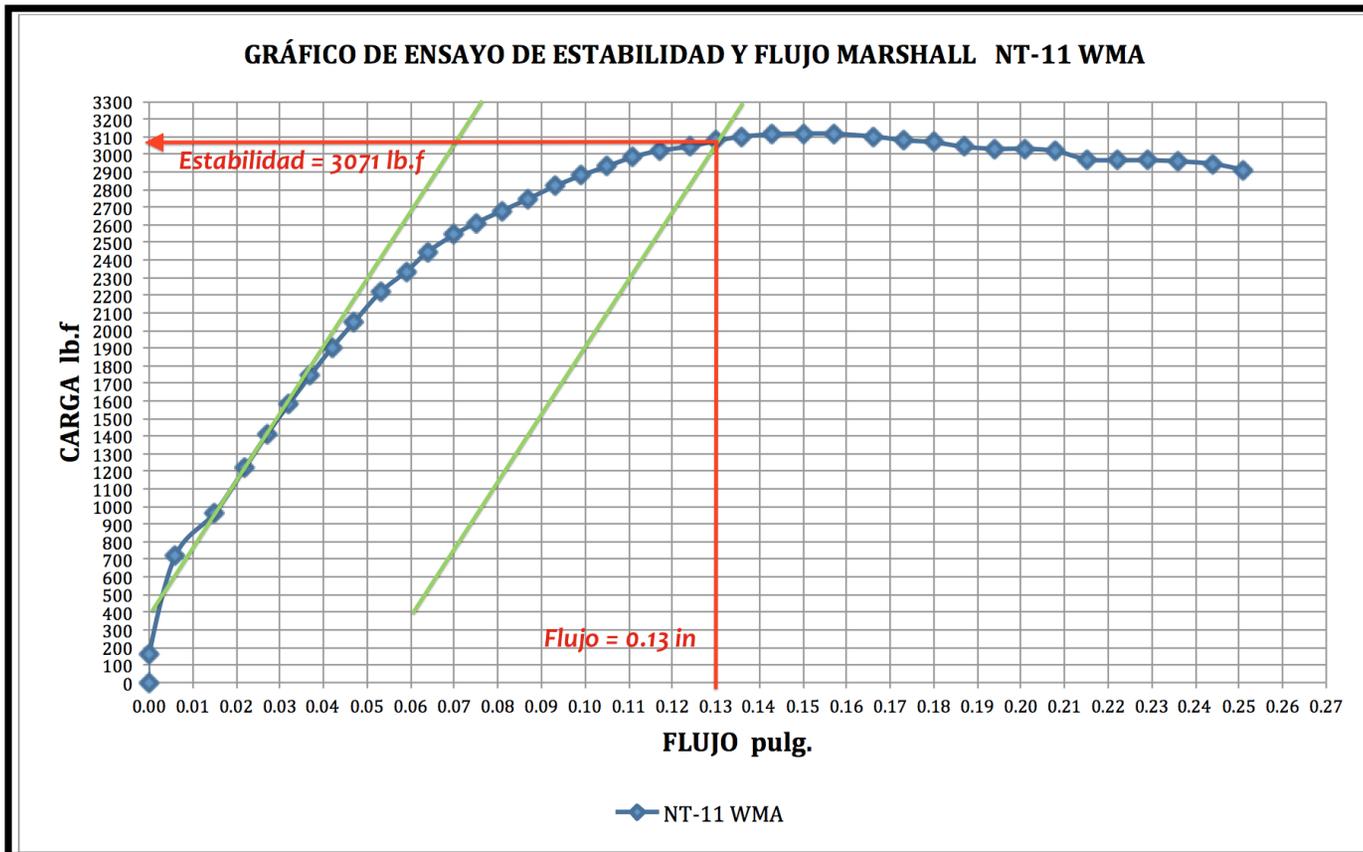


Figura 5-11: Gráfica de ensayo de estabilidad y flujo Marshall para el NT-11, mezcla asfáltica tibia, ATEOS La Libertad.

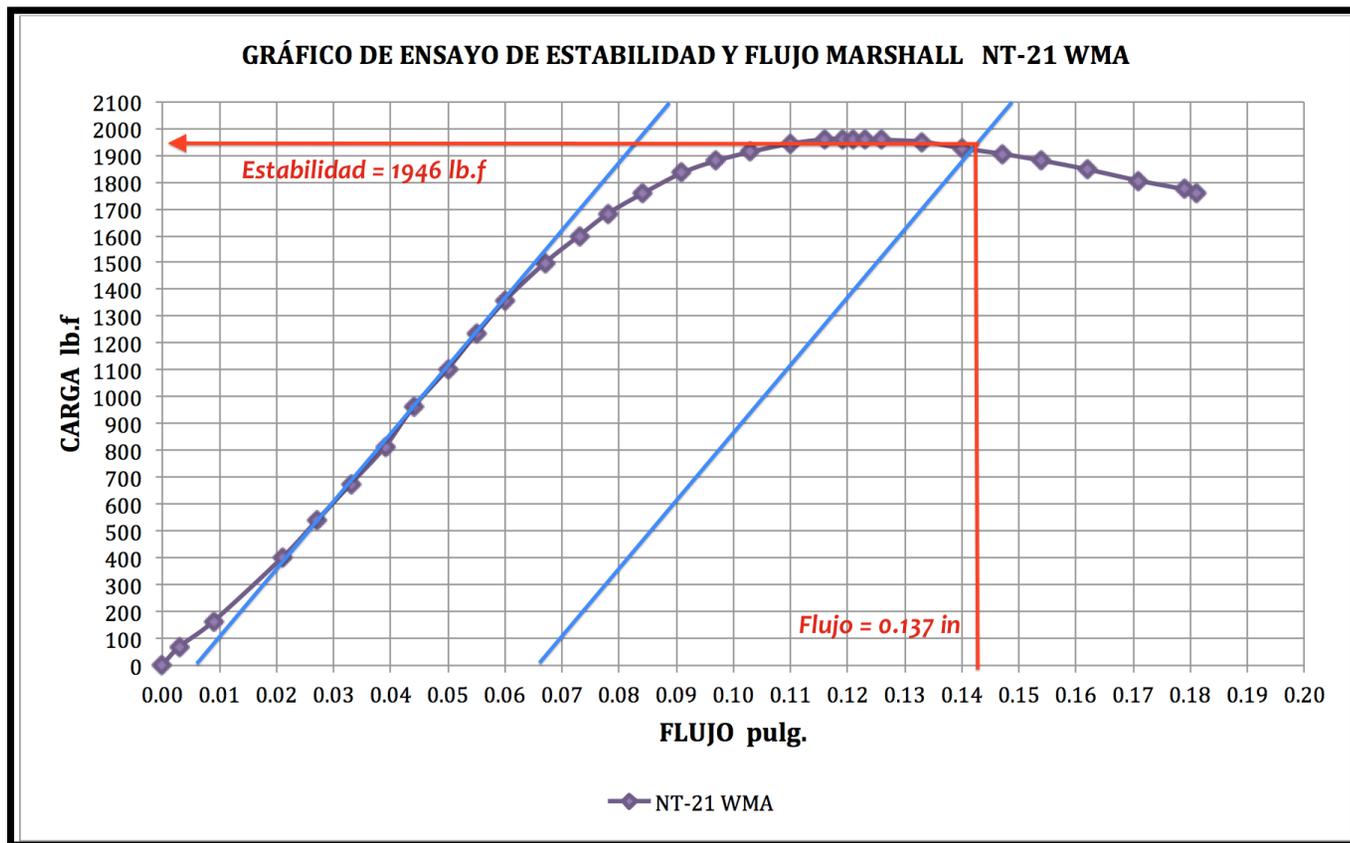


Figura 5-12: Grafica de ensayo de estabilidad y flujo Marshall para el NT-21, mezcla asfáltica tibia, ATEOS La Libertad.

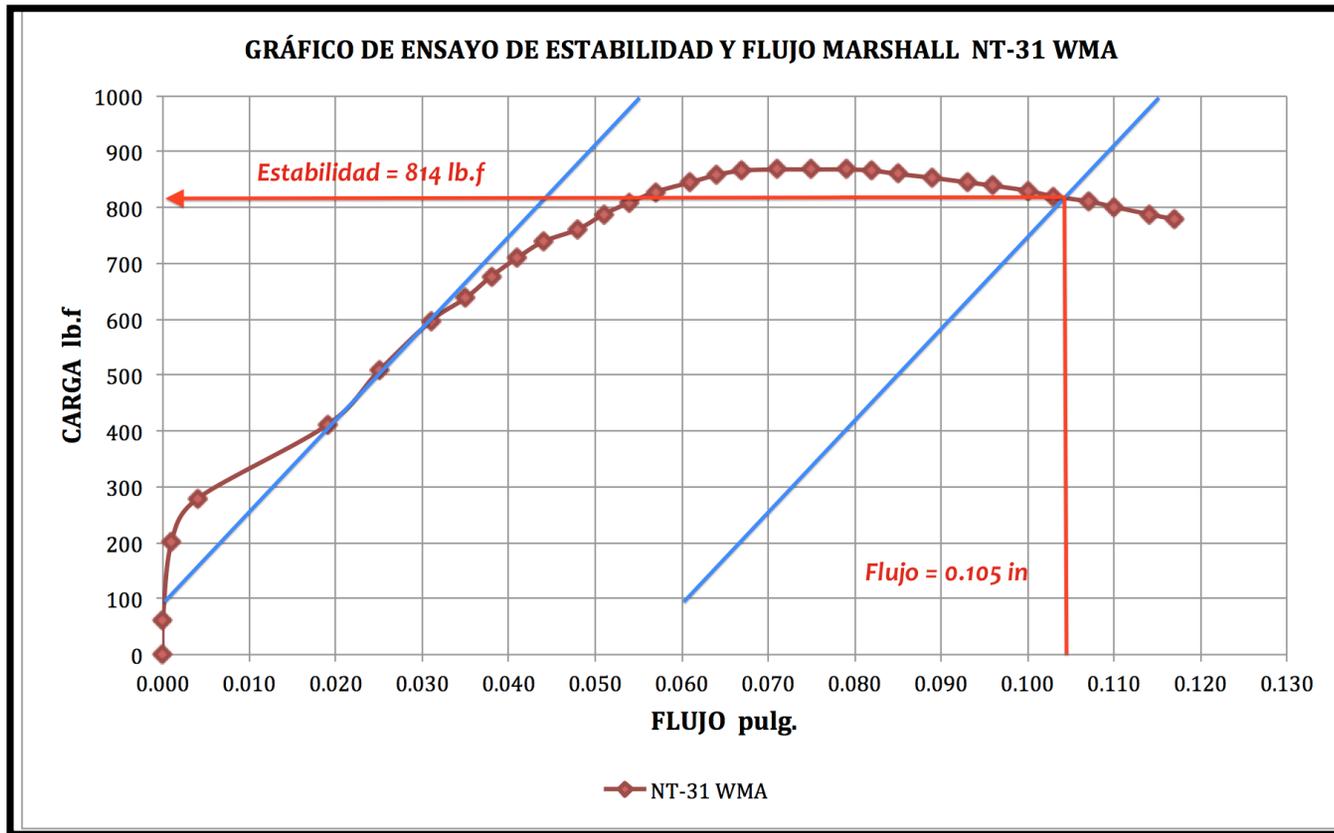


Figura 5-13: Gráfica de ensayo de estabilidad y flujo Marshall para el NT-31, mezcla asfáltica tibia, ATEOS La Libertad.

5.1.3.1.7 EFECTO DE LA HUMEDAD SOBRE EL CONCRETO ASFÁTICO DE MEZCLAS PARA PAVIMENTOS ASTM D4867, AASHTO T283.

PARAMETROS DE ANALISIS DE ENTRADA		MEZCLA DE CAMPO							
		CONDICION SECA.				CONDICIÓN HUMEDA			
Nº	COD	NT-12	NT-22	NT-33	NT-42	NT-13	NT-23	NT-41	NT-43
Nº de Especimen	D	100.93	100.70	100.58	100.68	100.48	101.18	100.68	100.75
Diametro, (mm)	D	100.93	100.70	100.58	100.68	100.48	101.18	100.68	100.75
Espesor, (mm)	i	67.74	58.91	28.03	65.81	61.48	60.59	52.40	67.30
Peso Seco Aire, (grs)	A	1225.60	1041.90	529.60	1239.60	1102.80	1084.10	986.70	1210.70
Peso Saturado Superficialmente Seco, (grs)	B	1227.40	1043.90	530.10	1240.50	1107.40	1087.20	987.50	1212.80
Peso Sumergido, (grs)	C	692.90	589.30	308.40	719.10	629.90	613.80	574.10	684.90
Volumen del Especimen, (B - C)	E	534.50	454.60	221.70	521.40	477.50	473.40	413.40	527.90
Gravedad Especifica Bulk (Gmb), (A / E)	F	2.29	2.29	2.39	2.38	2.31	2.29	2.39	2.29
Gravedad Especifica Teorica Maxima, (Gmm)	G	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42
% Vacios Aire (Va), (100*(G - F) / G)	H	5.40	5.29	1.45	1.92	4.72	5.53	1.53	5.39
Volumen de Vacios Aire, (H*E) / 100	J	28.89	24.06	3.22	10.01	22.55	26.16	6.35	28.44
Carga Resultante Especimenes en Seco, (lb-f)	P	2829.00	1875.00	512.00	2244.00				
Saturación a vacío parcial: (5 min a una presión de 20 in de Hg, en agua destilada a 25° C.)									
Especimen seleccionado		NT-13	NT-23	NT-41	NT-43	NOTA: Las Especificaciones Técnicas del Proyecto requieren un grado de Saturación del Especimen de 55 a 80% y un % de Va en los Especimenes de Prueba entre 6 a 8%.			
Peso Saturado Superficialmente Seco, (grs)	B'	1124.20	1106.00	989.20	1224.80				
Peso Sumergido, (grs)	C'	645.30	632.20	575.70	700.70				
Volumen del Especimen, (B'-C')	E'	478.90	473.80	413.50	524.10				
Volumen Agua Absorbida, (B'-A)	J'	21.40	21.90	2.50	14.10				
% Saturación, (100 * (J') / J)		94.90	83.70	39.40	49.58				
% Hinchamiento (100 * (E' - E) / E)		0.29	0.08	0.02	-0.72				
Acondicionamiento en Condición Humeda: (Baño de María a 60° C por 24 h (140 F))									
Especimen seleccionado		NT-13	NT-23	NT-41	NT-43	NOTA: Según la ASTM D-4867 en su Sección 8.9.1, un grado de Saturación Superior al 80%, después del Acondicionamiento en Humedo por 24 h, a 60° C, es considerado como Aceptable.			
Espesor, plg	i''	2.42	2.39	2.06	2.65				
Peso Saturado Superficialmente Seco, (grs)	B''	1127.00	1107.30	990.00	1224.80				
Peso Sumergido, (grs)	C''	645.30	632.20	575.20	700.60				
Volumen (B''-C'')	E''	481.70	475.10	414.80	524.20				
Volumen Agua Absorbida (B''-A)	J''	24.20	23.20	3.30	14.10				
% Saturación (100 J''/J)		107.32	88.67	52.00	49.58				
% Hinchamiento (100(E''-E)/E)		0.88	0.36	0.34	-0.70				
Carga Resultante Especimenes en Cond.	P''	2265.00	2150.00	2072.00	2240.00				
Calculo del TSR (Tensil Strength Ratio), Relación de Esfuerzo de Tensión=									
Código del especimen		NT-12	NT-22	NT-33	NT-42	NT-13	NT-23	NT-41	NT-43
Esfuerzo Especimenes en Seco (kPa), (2 * P / π * i)	S _{id}	169.95	129.82	139.10					
Esfuerzo Especimenes en Condición Humeda, (kPa) (2 * P'' / π * i'' * D)=	S _{im}					150.59	144.04	135.69	
Promedio de Esfuerzo Especimenes en Seco		146.29							
Promedio de Esfuerzo Especimenes en Condición Humeda		143.44							
Relación de Esfuerzo de Tension (TSR), (100 * (S _{im} / S _{id}))=		98.05	NOTA: Las Especificaciones Técnicas del Proyecto requieren un valor de TSR igual o mayor al 75% para una HMA diseñada por el Metodo Marshall.						

Tabla 5-18: Resultado de TSR sobre la mezcla asfáltica tibia, Ateos, La Libertad.

5.1.3.2 RESULTADOS PARA MEZCLA ASFÁLTICA CALIENTE (SAL02W) SAN BARTOLO, ILOPANGO.

Los siguientes son los resultados de los ensayos hechos a los especímenes extraídos del tramo de mezcla asfáltica caliente ubicado en el Boulevard San Bartolo, Ilopango, San Salvador.

Para este tramo se planificó un total de 9 extracciones, 3 extracciones por cada uno de los tres puntos a lo largo del tramo. Ciertos especímenes fueron cortados para poder ser utilizados en los ensayos, pues al momento de su extracción sufrieron daños debido a la alta adherencia existente entre la carpeta de rodadura de mezcla asfáltica caliente (superficial) y la de mezcla asfáltica caliente (subyacente).

**5.1.3.2.1 EXTRACCIÓN DE ESPECÍMENES DE MEZCLA BITUMINOSA
COMPACTADA EN CAMPO, ASTM D 5361-14.**

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE ASFALTOS DE CENTRO AMERICA																																										
	Solicitante: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR Proyecto: TRABAJO DE GRADUACION Ubicación: SAL03W, BOULEVARD SAN BARTOLO, ILOPANGO, SAN SALVADOR Fecha de Muestreo: 26 DE JUNIO DE 2014 Material: MEZCLA ASFALTICA CALIENTE																																										
EXTRACCION DE ESPECIMENES DE MEZCLA BITUMINOSA COMPACTADA EN CAMPO ASTM D 5361-14																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Código</th> <th>Estacionamiento</th> <th>Altura (mm)</th> <th>Diámetro (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NC11</td> <td>0+290</td> <td>51.09</td> <td>100.85</td> </tr> <tr> <td>NC12</td> <td>0+290</td> <td>49.13</td> <td>101.13</td> </tr> <tr> <td>NC13</td> <td>0+290</td> <td>47.65</td> <td>100.78</td> </tr> <tr> <td>NC21</td> <td>0+450</td> <td>42.21</td> <td>100.85</td> </tr> <tr> <td>NC22</td> <td>0+450</td> <td>43.49</td> <td>101.00</td> </tr> <tr> <td>NC23</td> <td>0+450</td> <td>42.28</td> <td>100.78</td> </tr> <tr> <td>NC31</td> <td>0+610</td> <td>49.53</td> <td>101.03</td> </tr> <tr> <td>NC32</td> <td>0+610</td> <td>----</td> <td>----</td> </tr> <tr> <td>NC33</td> <td>0+610</td> <td>48.40</td> <td>100.98</td> </tr> </tbody> </table>				Código	Estacionamiento	Altura (mm)	Diámetro (mm)	NC11	0+290	51.09	100.85	NC12	0+290	49.13	101.13	NC13	0+290	47.65	100.78	NC21	0+450	42.21	100.85	NC22	0+450	43.49	101.00	NC23	0+450	42.28	100.78	NC31	0+610	49.53	101.03	NC32	0+610	----	----	NC33	0+610	48.40	100.98
Código	Estacionamiento	Altura (mm)	Diámetro (mm)																																								
NC11	0+290	51.09	100.85																																								
NC12	0+290	49.13	101.13																																								
NC13	0+290	47.65	100.78																																								
NC21	0+450	42.21	100.85																																								
NC22	0+450	43.49	101.00																																								
NC23	0+450	42.28	100.78																																								
NC31	0+610	49.53	101.03																																								
NC32	0+610	----	----																																								
NC33	0+610	48.40	100.98																																								
<p>Observacione o se reportan datos para el nucleo NC32 debido a que s extracción no fue posible.</p>																																											

Tabla 5-19: Resultados de extracción de núcleos de mezcla asfáltica caliente, Blvd. San Bartolo, Ilopango.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE ASFALTOS DE CENTRO AMERICA



Solicitante: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
Proyecto: TRABAJO DE GRADUACION
Ubicación: PLANTA ASFALTICA DE ASFALCA, ARMENIA, SONSONATE, KM 39 1/2
Fecha de Muestreo: 26-jun-14 **Fecha de Ensayo:** 01-jul-14
Material: MEZCLA ASFALTICA CALIENTE SAL02W **Hoja:** 2/2

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2726-13 AASHTO T 166-13

Codigo de Especimen		NC23	NC31	NC32	NC33			
Estacionamiento		0+450	0+610	0+610	0+610			
Temperatura (°C)	25 ± 1	25.1	25	----	25.1			
Peso seco en aire (g)	A	731.8	886	----	864.5			
Peso saturado superficialmente seco (g)	B	735.9	888.3	----	865.6			
Peso sumergido en agua (g)	C	411.9	503.8	----	489.6			
Gravedad Especifica Bulk		2.26	2.30	----	2.30			
Porcentaje de Absorcion		1.27	0.60	----	0.29			

Observaciones: No se reporta ensayo para el núcleo NT32 debido a que su extracción no fue posible.

Tabla 5-21: Resultados de gravedad especifica bulk de mezcla asfáltica caliente, Blvd. San Bartolo, Ilopango. Hoja: 2/2.

5.1.3.2.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D2041-11, AASHTO T209-12.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE ASFALTOS DE CENTRO AMERICA			
	Solicitante:	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		
	Proyecto:	TRABAJO DE GRADUACION		
	Ubicación:	PLANTA ASFALTICA, ARMENIA, SONSONATE, KM 39 1/2		
	Fecha de Muestreo:	17 DE JULIO DE 2014		
Material:	MEZCLA ASFALTICA CALIENTE			
GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041-11				
			Muestra	
Peso del Picnometro vacio (g):			1681.1	
Peso del Picnometro + Muestra (g)			4146.6	
Peso de la Muestra en el Aire (g):	A		2465.5	
Peso del Picnometro + Agua (25°C) (g):	D		11767.2	
Peso del Picnometro + Agua + Muestra (g):	E		13215.5	
Volumen del Agua	V=A+D-E		1017.2	
Gravedad Especifica Teorica Máxima	Gem= A/V		2.424	
Observaciones:	<p>La muestra utilizada para este ensayo se obtuvo a partir de la desintegración de los núcleos NC12, NC22 y NC31. Por su ubicación, estos núcleos garantizan un resultado representativo para todo el tramo de mezcla asfáltica caliente.</p> <p>La temperatura del agua en el ensayo fue de 25°C por lo que no se incluye un factor de corrección por temperatura del agua.</p>			

Tabla 5-22: Resultados de gravedad específica teórica máxima de mezcla asfáltica caliente, Blvd. San Bartolo, Ilopango.

5.1.3.2.4 PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE EN MEZCLAS COMPACTADAS DENSAS O ABIERTAS PARA PAVIMENTOS BITUMINOSOS, ASTM D3203-11, AASHTO T269-11.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE ASFALTOS DE CENTRO AMERICA																																														
	Solicitante: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR Proyecto: TRABAJO DE GRADUACION Ubicación: PLANTA ASFALTICA, ARMENIA, SONSONATE, KM 39 1/2 Fecha de Muestreo: ----- Material: MEZCLA ASFALTICA CALIENTE																																														
PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE EN MEZCLAS COMPACTADAS DENSAS O ABIERTAS PARA PAVIMENTOS BITUMINOSOS ASTM D 3203-11 AASHTO T 269-																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Código de la Muestra</th> <th>Gravedad Bulk (Kg/m3)</th> <th>Gravedad Teórica Máxima (Kg/m3)</th> <th>% Vacios</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NC11</td> <td>2.256</td> <td>2.424</td> <td>6.931</td> </tr> <tr> <td>NC12</td> <td>2.212</td> <td>2.424</td> <td>8.746</td> </tr> <tr> <td>NC13</td> <td>2.240</td> <td>2.424</td> <td>7.591</td> </tr> <tr> <td>NC21</td> <td>2.270</td> <td>2.424</td> <td>6.353</td> </tr> <tr> <td>NC22</td> <td>2.260</td> <td>2.424</td> <td>6.766</td> </tr> <tr> <td>NC23</td> <td>2.259</td> <td>2.424</td> <td>6.807</td> </tr> <tr> <td>NC31</td> <td>2.304</td> <td>2.424</td> <td>4.950</td> </tr> <tr> <td>NC32</td> <td>----</td> <td>----</td> <td>----</td> </tr> <tr> <td>NC33</td> <td>2.300</td> <td>2.424</td> <td>5.116</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">PROMEDIO</td> <td style="text-align: center;">6.657</td> </tr> </tbody> </table>				Código de la Muestra	Gravedad Bulk (Kg/m3)	Gravedad Teórica Máxima (Kg/m3)	% Vacios	NC11	2.256	2.424	6.931	NC12	2.212	2.424	8.746	NC13	2.240	2.424	7.591	NC21	2.270	2.424	6.353	NC22	2.260	2.424	6.766	NC23	2.259	2.424	6.807	NC31	2.304	2.424	4.950	NC32	----	----	----	NC33	2.300	2.424	5.116	PROMEDIO			6.657
Código de la Muestra	Gravedad Bulk (Kg/m3)	Gravedad Teórica Máxima (Kg/m3)	% Vacios																																												
NC11	2.256	2.424	6.931																																												
NC12	2.212	2.424	8.746																																												
NC13	2.240	2.424	7.591																																												
NC21	2.270	2.424	6.353																																												
NC22	2.260	2.424	6.766																																												
NC23	2.259	2.424	6.807																																												
NC31	2.304	2.424	4.950																																												
NC32	----	----	----																																												
NC33	2.300	2.424	5.116																																												
PROMEDIO			6.657																																												
Observaciones: No se reportan datos para el nucleo NC32 debido a que su extracción no fue posible.																																															

Tabla 5-23: Resultados de porcentaje de vacíos de mezcla asfáltica caliente, Blvd. San Bartolo, Ilopango.

**5.1.3.2.5 PORCENTAJE DE VACÍOS EN AGREGADO MINERAL Y
PORCENTAJE DE VACÍOS LLENOS DE ASFALTO.**

Como parte del cálculo del porcentaje de vacíos en agregado mineral y vacíos llenos de asfalto, se presenta la determinación de la gravedad específica bulk de la combinación de agregados para la mezcla colocada sobre la SAL02W. Este valor es el utilizado para la determinación de VMA y VFA de la mezcla. Los datos de gravedad específica bulk para cada agregado se han extraído del Capítulo IV de esta investigación.

- Gravedad específica bulk de la combinación de agregados.
 - Gravedad específica bulk de agregado ¾” = 2.549, en 22%.
 - Gravedad específica bulk de agregados 1/2” = 2.542, en 28%.
 - Gravedad específica bulk de arena triturada = 2.520, en 50%.

$$G.E. Bulk_{comb.de agregados} = \frac{P1 + P2 + P3}{\frac{P1}{G.E. Bulk_1} + \frac{P2}{G.E. Bulk_2} + \frac{P3}{G.E. Bulk_3}}$$

$$G.E. Bulk_{comb.de agregados} = \frac{100}{\frac{22}{2.546} + \frac{28}{2.540} + \frac{50}{2.509}}$$

$$G.E. Bulk_{comb.de agregados} = \mathbf{2.532}$$

El siguiente cuadro muestra los resultados del cálculo de %VMA y %VFA para los núcleos de la mezcla asfáltica en el Blvd. San Bartolo, Ilopango.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE ASFALTOS DE CENTRO AMERICA				
Solicitante:	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR				
Proyecto:	TRABAJO DE GRADUACION				
Ubicación:	PLANTA ASFALTICA, ARMENIA, SONSONATE, KM 39 1/2				
Fecha de	-----				
Muestreo:					
Material:	MEZCLA ASFALTICA CALIENTE				
PORCENTAJE DE VACÍOS EN AGREGADO MINERAL Y PORCENTAJE DE VACÍOS LLENOS DE ASFALTO					
Código de la Muestra	Gravedad Bulk (Kg/m3)	% Vacíos	% de asfalto	%VMA	%VFA
NC11	2.256	6.931	5.4	15.712	55.889
NC12	2.212	8.746	5.4	17.356	49.608
NC13	2.240	7.591	5.4	16.310	53.458
NC21	2.270	6.353	5.4	15.189	58.172
NC22	2.260	6.766	5.4	15.562	56.525
NC23	2.259	6.807	5.4	15.600	56.365
NC31	2.304	4.950	5.4	13.918	64.432
NC32	----	----	----	----	----
NC33	2.300	5.116	5.4	14.068	63.637
PROMEDIO				15.464	57.261
<p>Observaciones: No se reportan datos para el nucleo NC32 debido a que su extracción no fue posible.</p> <p style="text-align: center;">El valor de la gravedad específica bulk de la combinación de agregados tiene un valor de 2.532</p> <p style="text-align: center;">El contenido de asfalto utilizado fue de 5.4% tal como indic reportes de calidad inicial proporcionados por el construct</p>					

5-24: Porcentaje de vacíos en agregado mineral y porcentaje de vacíos llenos de asfalto de mezcla asfáltica caliente, Blvd San Bartolo, Ilopango.

5.1.3.2.6 RESISTENCIA AL FLUJO PLÁSTICO DE MEZCLAS BITUMINOSAS UTILIZANDO EL APARATO MARSHALL, ASTM D 6927-06, AASHTO T245-13.

		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE ASFALTOS DE CENTRO AMERICA				
		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR TRABAJO DE GRADUACION PLANTA ASFALTICA, ARMENIA, SONSONATE, KM 39 1/2 07-jul-14 MEZCLA ASFALTICA CALIENTE				
RESISTENCIA AL FLUJO PLASTICO DE MEZCLAS BITUMINOSAS UTILIZANDO EL APARATO MARSHALL ASTM D 1559-89						
BRIQUETA	VOL. (cm3)	CORRECCION POR VOLUMEN	FLUJO (mm)	CARGA MAXIMA (Lb)	ESTABILIDAD (Lb)	ESTABILIDAD CORREGIDA (Lb)
NC11	394.60	1.56	3.94	1796	1780	2776.80
NC21	324.80	2.50	3.15	1581	1539.13	3847.83
NC31	384.50	1.67	4.24	2156	2152.17	3594.12
PROMEDIO			3.78			3406.25
<p>Observaciones: Dado que los nucleos provienen de secciones con diferente temperatura de compactación, no se presenta un valor promedio para estabilidad y flujo.</p> <p>De acuerdo con las especificaciones para la mezcla asfáltica caliente se esperaba un valor de estabilidad entre 1800 y 4500 lb. Mientras que para el valor de flujo es entre 2 y 4 mm.</p>						

Tabla 5-25: Resultados de estabilidad y flujo Marshall para mezcla asfáltica caliente, Blvd. San Bartolo, Ilopango.

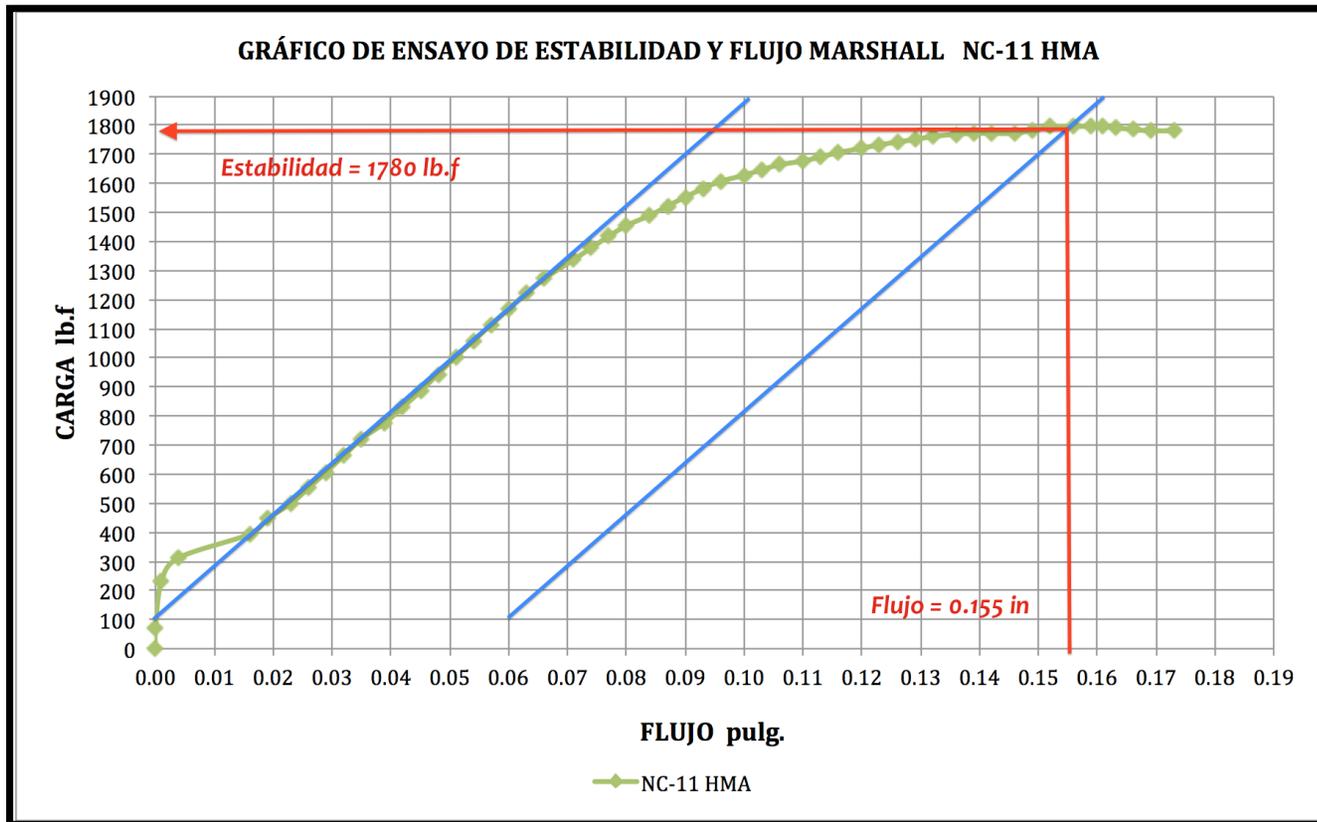


Figura 5-14: Gráfica de ensayo de estabilidad y flujo Marshall para el NC-11, mezcla asfáltica caliente, Blvd. San Bartolo, Ilopango.

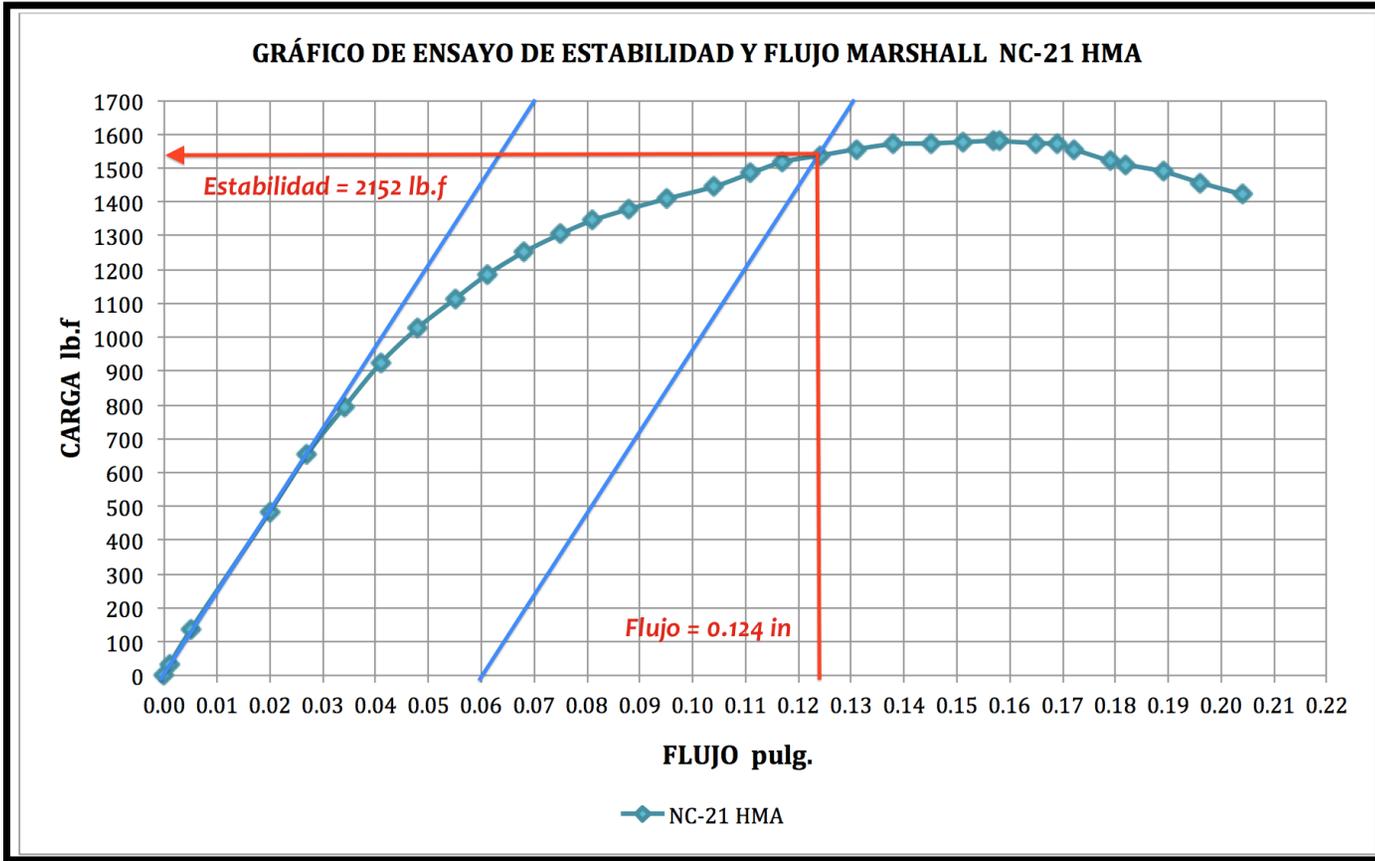


Figura 5-15: Grafica de ensayo de estabilidad y flujo Marshall para el NC-21, mezcla asfáltica caliente, Blvd. San Bartolo, Ilopango.

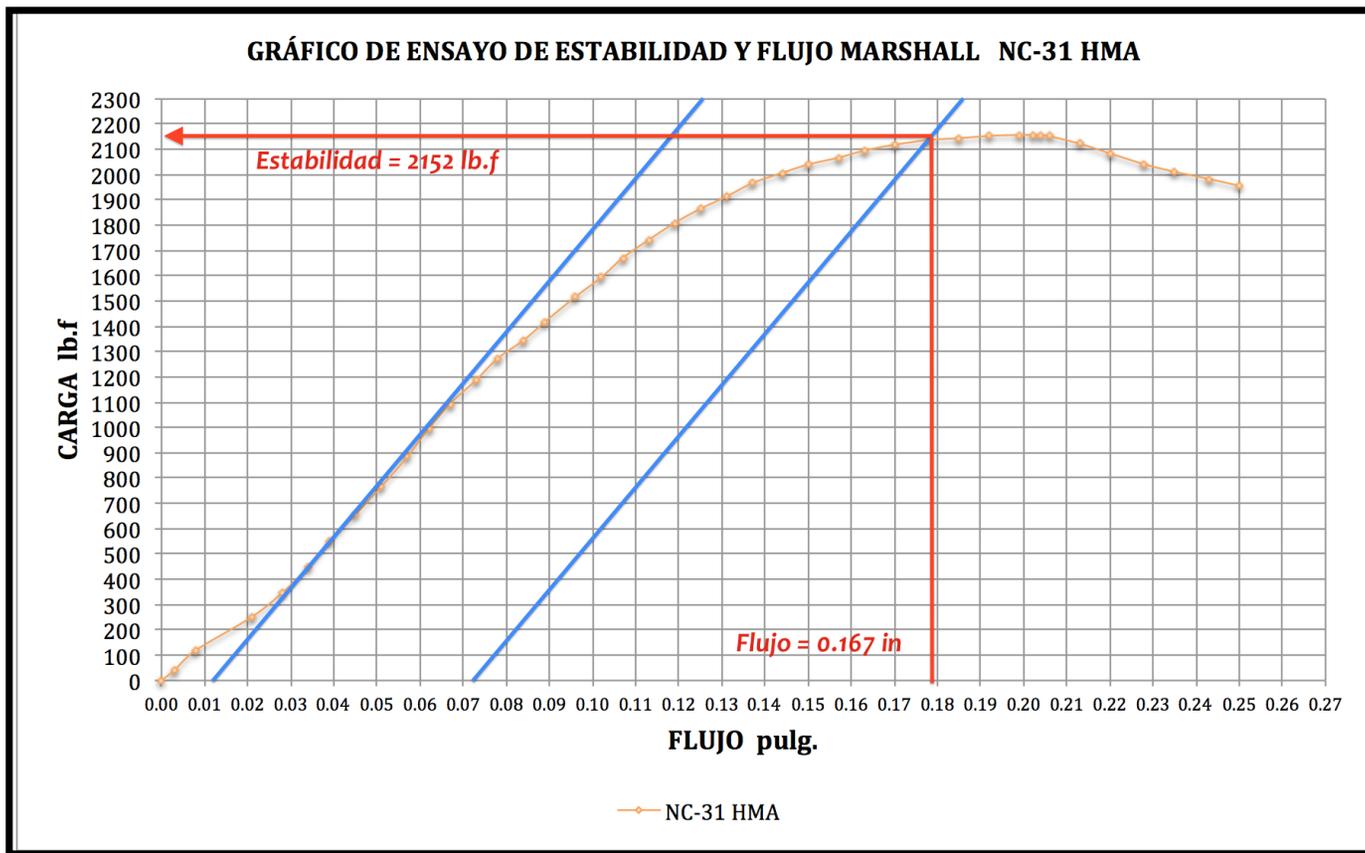


Figura 5-16: Grafica de ensayo de estabilidad y flujo Marshall para el NC-31, mezcla asfáltica caliente, Blvd. San Bartolo, Ilopingo.

5.1.3.2.7 EFECTO DE LA HUMEDAD SOBRE EL CONCRETO ASFÁTICO DE MEZCLAS PARA PAVIMENTOS ASTM D4867, AASHTO T283.

PARAMETROS DE ANALISIS DE ENTRADA		MEZCLA DE CAMPO				
		CONDICION SECA		CONDICIÓN HUMEDA		
N° de Especimen	N°	NC-12	NC-22	NC-13	NC-23	NC33
Diametro, (mm)	D	101.13	101.00	100.78	100.78	100.98
Espesor, (mm)	t	49.13	43.49	47.65	42.28	48.40
Peso Seco Aire, (grs)	A	852.90	755.50	829.30	731.80	864.50
Peso Saturado Superficialmente Seco, (grs)	B	857.00	762.30	835.10	735.90	865.60
Peso Sumergido, (grs)	C	471.50	428.00	464.80	411.90	489.60
Volumen del Especimen, (B - C)	E	385.50	334.30	370.30	324.00	376.00
Gravedad Especifica Bulk (Gmb), (A / E)	F	2.21	2.26	2.24	2.26	2.30
Gravedad Especifica Teorica Maxima, (Gmm)	G	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43
% Vacios Aire (Va), (100*(G - F) / G)	H	9.10	7.15	7.99	7.20	5.54
Volumen de Vacios Aire, (H*E) / 100	J	35.09	23.91	29.59	23.34	20.82
Carga Resultante Especimenes en Seco, (lb-f)	P	1506.0	1534.6			
Saturación a vacio parcial: (5 min a una presion de 20 in de Hg, en agua destilada a 25° C.)						
Especimen seleccionado		NC-13	NC-23	NC33	NOTA: Las Especificaciones Tecnicas del Proyecto requieren un grado de Saturación del Especimen de 55 a 80% y un % de Va en los Especimenes de Prueba entre 6 a 8%.	
Peso Saturado Superficialmente Seco, (grs)	B'	846.50	745.80	877.40		
Peso Sumergido, (grs)	C'	475.40	420.80	500.80		
Volumen del Especimen, (B'-C')	E'	371.10	325.00	376.60		
Volumen Agua Absorbida, (B'-A)	J'	17.20	14.00	12.90		
% Saturacion, (100 * (J') / J)		58.1	60.0	61.9		
% Hinchamiento (100 * (E' - E) / E)		0.22	0.31	0.16		
Acondicionamiento en Condición Humeda: (Baño de María a 60° C por 24 h (140 F))						
Especimen seleccionado		NC-13	NC-23	NC33	NOTA: Según la ASTM D-4867 en su Sección 8.9.1, un grado de Saturación Superior al 80%, despues del Acondicionamiento en Humedo por 24 h. a 60° C, es considerado como Aceptable.	
Espesor, plg	t''	1.88	1.66	1.91		
Peso Saturado Superficialmente Seco, (grs)	B''	846.50	745.20	878.60		
Peso Sumergido, (grs)	C''	475.40	420.80	500.80		
Volumen (B''-C'')	E''	371.10	324.40	377.80		
Volumen Agua Absorbida (B''-A)	J''	17.20	13.40	14.10		
% Saturacion (100 J''/J)		58.1	57.4	67.7		
% Hinchamiento (100(E''-E)/E)		0.22	0.12	0.48		
Carga Resultante Especimenes en Condición Humeda	P''	1066.0	1293.0	1711.0		
Calculo del TSR (Tensil Strength Ratio), Relación de Esfuerzo de Tensión=						
Código del especimen		NC-12	NC-22	NC-13	NC-23	NC33
Esfuerzo Especimenes en Seco (kPa), (2 * P / π * t * D)	S _{sd}	124.49	143.49			
Esfuerzo Especimenes en Condición Humeda, (kPa) (2 * P'' / π * t'' * D)=	S _{sm}			89.24	124.98	143.45
Promedio de Esfuerzo Especimenes en Seco		133.99				
Promedio de Esfuerzo Especimenes en Condición Humeda		119.22				
Relación de Esfuerzo de Tension (TSR), (100 * (S _{sm} / S _{sd}))=		88.98	NOTA: Las Especificaciones Tecnicas del Proyecto requieren un valor de TSR igual o mayor al 75% para una HMA diseñada por el Metodo Marshall.			

Tabla 5-26: Resultado de TSR sobre la mezcla asfáltica caliente, Blvd. San Bartolo, Ilopango.

5.2 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO A MEZCLA DE LABORATORIO.

5.2.1 DISEÑO UTILIZADO PARA MEZCLA DE LABORATORIO.

A continuación se presenta el diseño de mezcla asfáltica utilizado para la elaboración de especímenes de laboratorio. La mezcla de laboratorio ha de ser una réplica de la colocada en ambos tramos de carretera en cuestión.

Dado que los tramos de carretera construidos en la CA08W y la SAL02W, se elaboraron a partir de un diseño con igual contenido de asfalto óptimo y proporcionamiento granulométrico, se utilizaron los límites de granulometría de ambos diseños para elaborar un proporcionamiento de agregados pétreo que proporcionara un diseño de mezcla aplicable a ambos tipos de mezcla, variando únicamente en el tipo de asfalto utilizado. Por ello se utilizó un mismo proporcionamiento para los agregados pétreos de ambas mezclas de laboratorio (tibias y calientes).

El diseño inicial de agregados pétreos para ambos tramos de carretera, indica que la mezcla granulométrica fue hecha a partir de los siguientes tipos de agregados en las siguientes proporciones: Agregado $\frac{3}{4}$ " (23%), Agregado $\frac{1}{2}$ " (25%) y Arena Triturada (52%). Dado que la mezcla para ambos tramos proviene del mismo fabricante (Equipos de Construcción ECON S.A. de C.V.), se asume que poseen la misma cantera de origen.

Sin embargo, los agregados disponibles en la planta de mezclas asfálticas de Asfaltos de Centroamérica (ASFALCA S.A. de C.V.) durante el período de elaboración de mezclas de esta investigación fueron los siguientes: Agregado $\frac{3}{4}$ ", Agregado $\frac{3}{8}$ " y Arena Triturada. Este inconveniente hizo imposible utilizar el proporcionamiento de agregados que indica el diseño original (común para ambos tramos de carretera). Por lo anterior se procedió a elaborar un proporcionamiento para los agregados disponibles que replicase el diseño granulométrico de ambos tramos y cumpliera con sus límites de diseño.

5.2.1.1 CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS.

5.2.1.1.1 GRANULOMETRIA DE AGREGADOS

- Agregado 3/4"

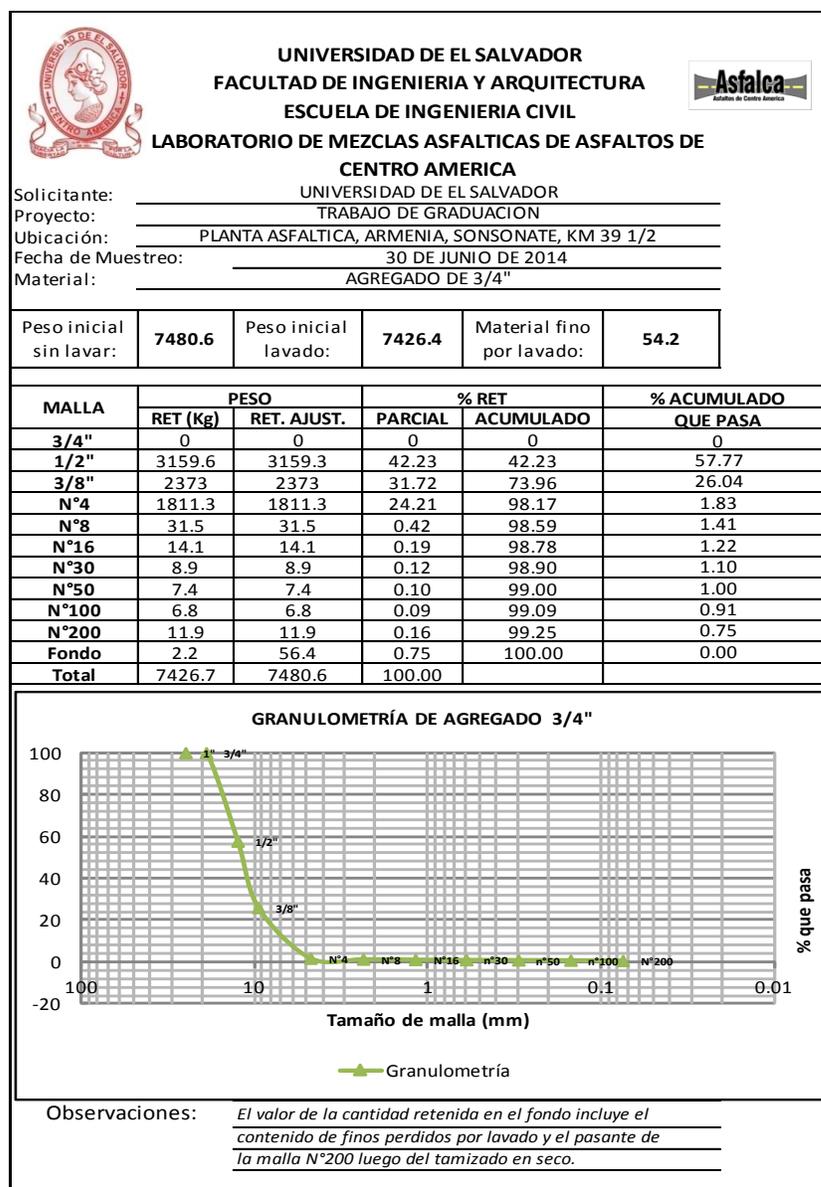


Tabla 5-27: Resultados de la granulometría de agregado 3/4".

Asfalca		PESOS VOLUMETRICOS Y VACIOS EN EL AGREGADO ASTM C 29			
PROYECTO: Control de Calidad materiales de la cantera "La Hulera"					
MATERIAL: Material denominado Grava con tamaño máximo de 19.0 mm (3/4")					
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: Procedente de el acopio de planta "La Hulera"					
FECHA DE MUESTREO: 12/03/2014		MUESTREADO POR:		pers. La Hulera	
FECHA DE ENSAYO: 24/03/2014		ENSAYADO POR:		C. Contreras	
TAMAÑO NOMINAL DE LA MUESTRA (mm): 3/4"		DIAMETRO MOLDE (cm):		15.21	
PESO DEL MOLDE (gr): 6294.5		ALTURA MOLDE (cm):		11.65	
		VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³):		2116.78	
SUELTO <input checked="" type="checkbox"/>		VARILLADO <input type="checkbox"/>		GOLPEADO <input type="checkbox"/>	
Ensayo No	Peso Muestra + Molde (gr)	Peso Molde (gr)	Peso Neto (gr)	Volumen	Peso Volumétrico (gr/cm ³)
1	9254.4	6294.5	2959.9	2116.8	1.398
2	9265.4	6294.5	2970.9	2116.8	1.404
3	9251.8	6294.5	2957.3	2116.8	1.397
PROMEDIO				1.400	gr/cm ³
				1400	Kg/m ³
CALCULO DE % DE VACIOS INTERPARTICULAS					
$\% \text{ Vacios} = 100 [(S \times W) - M] / (S \times W)$					
S =	Gravedad específica de acuerdo a ASTM C 127 =		2.563		
W =	Densidad del agua a 25 °C =		1000 Kg/m ³		
M =	Peso volumétrico =		1399.63 Kg/m ³		
% Vacios = 45.4					
OBSERVACIONES: El ensayo se ejecuto con el agregado seco al 100%.					
				 Asfalca Asfaltos de Centroamérica S.A. DE C.V.	
Revisado por:				 Ing. Erick Daniel Calidonio Control de Calidad ASFALCA S.A de C.V	

Fuente: Asfaltos de Centroamérica, ASFALCA S.A de C.V

Tabla 5-28: Pesos volumétricos y vacíos en el agregado grueso de 3/4".

 Asfalca Asfaltos de Centro América Laboratorio de Control de Calidad, suelos, emulsiones y mezclas asfálticas.		Gravedad Específica y Absorción de Agregado Grueso (ASTM C-127 Y AASHTO T-85)		
FECHA DE REPORTE : 21-julio-14	PROYECTO: REVISION CMA			
TIPO DE MATERIAL: Grava 3/4" proveniente de cantera "San Diego" acopiado en planta ASFALCA	FECHA DE ENSAYO: 21 de julio de 2014			
LABORATORISTA: Joaquín Contreras	MUESTRA PARA: Control de Calidad de muestras de la cantera			
Grava: 3/4"				
DETALLE	VALORES			UNIDAD
A: PESO AL AIRE DEL MATERIAL SECO AL HORNO.	2970.3	2969.4		grs.
B: MASA DEL AGREGADO S.S.S =	3003.3	3003.3		grs.
C: MASA APARENTE DEL AGREGADO SATURADO EN AGUA =	1845.4	1843.8		grs.
CALCULO DE VALORES DE GRAVEDAD ESPECIFICA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIOS
Gravedad Especifica Bulk: $G_s(s) = A / (B - C)$	2.565	2.561		2.563
Gravedad Especifica Bulk sss: $G_s(sss) = B / (B - C)$	2.594	2.590		2.592
Gravedad Especifica Aparente: $G_s(a) = A / (A - C)$	2.641	2.638		2.639
Absorción Ponderada: $A\% = (B - A) / A * 100$	1.111	1.142		1.126
Revisó:  Ing. Erick Daniel Calidonio				
				

Fuente: Asfaltos de Centroamérica, ASFALCA S.A de C.V

Tabla 5-29: Gravedad específica y absorción del agregado grueso 3/4".

- Granulometría Agregado 3/8"

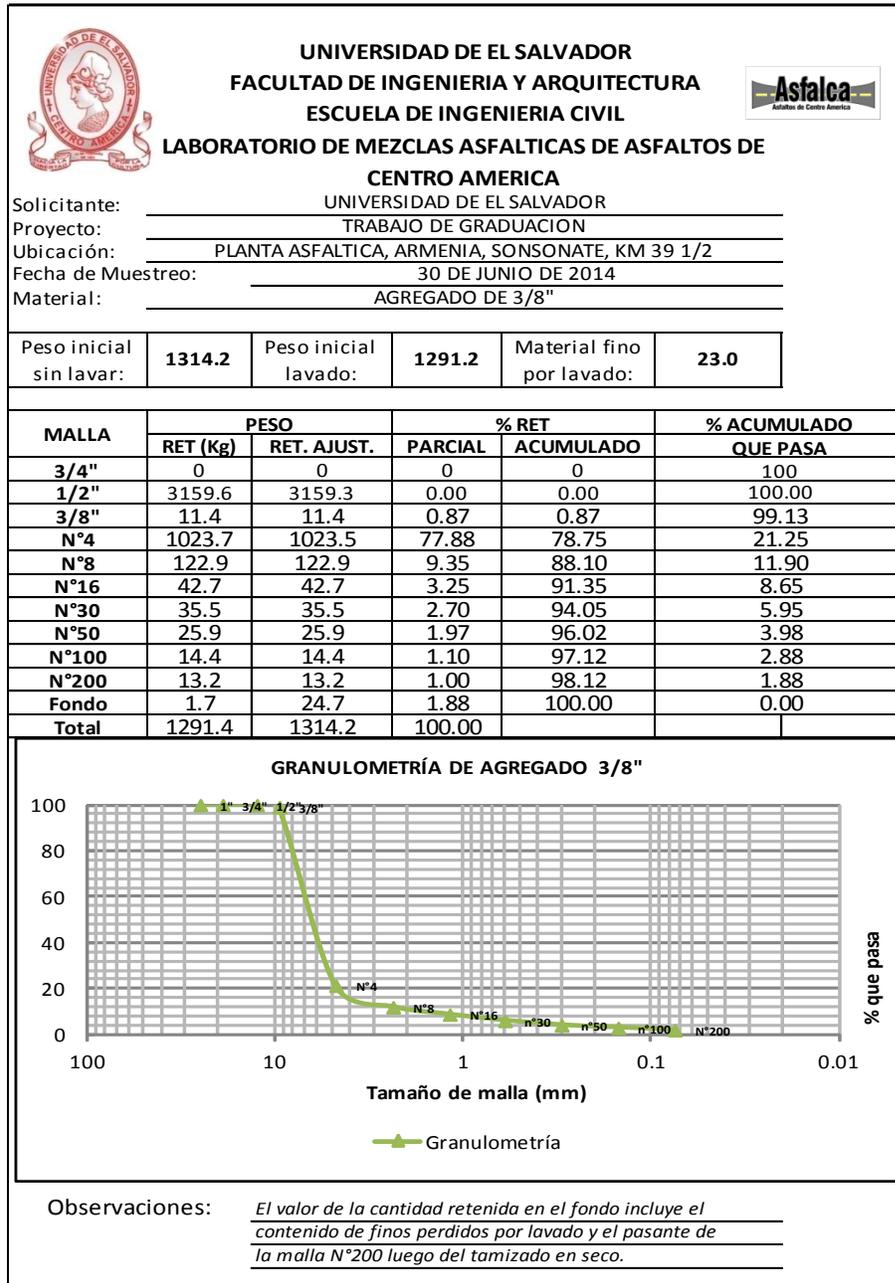


Tabla 5-30: Resultados de la granulometría de agregado 3/8".

Asfalca		PESOS VOLUMETRICOS Y VACIOS EN EL AGREGADO ASTM C 29			
PROYECTO: Doble Tratamiento ECON S.A de C.V					
MATERIAL: Material denominado Grava con tamaño maximo de 9.50 mm (3/8")					
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: ECON S.A de C.V					
FECHA DE MUESTREO:		13/06/2014		MUESTREADO POR: pers. ECON	
FECHA DE ENSAYO:		14/06/2014		ENSAYADO POR: C. Contreras	
TAMAÑO NOMINAL DE LA MUESTRA (mm):		3/8"		DIAMETRO MOLDE (cm): 15.21	
PESO DEL MOLDE (gr):		6294.5		ALTURA MOLDE (cm): 11.65	
				VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³): 2116.78	
SUELTO <input checked="" type="checkbox"/>		VARILLADO <input type="checkbox"/>		GOLPEADO <input type="checkbox"/>	
Ensayo No	Peso Muestra + Molde (gr)	Peso Molde (gr)	Peso Neto (gr)	Volumen	Peso Volumétrico (gr/cm ³)
1	9287.5	6294.5	2993.0	2116.8	1.414
2	9300.0	6294.5	3005.5	2116.8	1.420
3	9312.5	6294.5	3018.0	2116.8	1.426
PROMEDIO					1.420 gr/cm ³
					1420 Kg/m³
CALCULO DE % DE VACIOS INTERPARTICULAS					
% Vacios = 100 [(S x W) - M] / (S x W)					
S =	Gravedad especifica de acuerdo a ASTM C 127 =	2.569			
W =	Densidad del agua a 25 °C =	1000 Kg/m ³			
M =	Peso volumetrico =	1419.85 Kg/m ³			
% Vacios =					44.7
OBSERVACIONES:					
El ensayo se ejecuto con el agregado seco al 100%.					
 Revisado por:  Ing. Erick Daniel Calidonio Control de Calidad ASFALCA S.A de C.V					

Fuente: Asfaltos de Centroamérica, ASFALCA S.A de C.V

Tabla 5-31: Pesos volumétricos y vacíos en el agregado 3/8" Hoja 1/2.



PESOS VOLUMETRICOS Y VACIOS EN EL AGREGADO
ASTM C 29

PROYECTO: Doble Tratamiento ECON S.A de C.V

MATERIAL : Material denominado Grava con tamaño maximo de 9.50 mm (3/8")

PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: ECON S.A de C.V

FECHA DE MUESTREO:	13/06/2014	MUESTREADO POR:	pers. ECON
FECHA DE ENSAYO:	14/06/2014	ENSAYADO POR:	C. Contreras

TAMAÑO NOMINAL DE LA MUESTRA (mm):	3/8"	DIAMETRO MOLDE (cm) :	15.21
PESO DEL MOLDE (gr) :	6294.5	ALTURA MOLDE (cm) :	11.65
		VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³):	2116.78

SUELTO VARILLADO GOLPEADO

Ensayo No	Peso Muestra + Molde (gr)	Peso Molde (gr)	Peso Neto (gr)	Volumen	Peso Volumétrico (gr/cm ³)
1	9587.0	6294.5	3292.5	2116.8	1.555
2	9600.0	6294.5	3305.5	2116.8	1.562
3	9595.0	6294.5	3300.5	2116.8	1.559
PROMEDIO					1.559 gr/cm ³

1559 Kg/m³

CALCULO DE % DE VACIOS INTERPARTICULAS

% Vacios = 100 [(S x W) - M] / (S x W)

S =	Gravedad especifica de acuerdo a ASTM C 127 =	2.569
W =	Densidad del agua a 25 °C =	1000 Kg/m ³
M =	Peso volumetrico =	1558.74 Kg/m ³

% Vacios = 39.3

OBSERVACIONES:
El ensayo se ejecuto con el agregado seco al 100%.



Revisado por: 
Ing/ Erick Daniel Calidonio
Control de Calidad ASFALCA S.A de C.V

Fuente: Asfaltos de Centroamérica, ASFALCA S.A de C.V

Tabla 5-32: Pesos volumétricos y vacíos en el agregado 3/8" Hoja 2/2.

 Asfalca Asfaltos de Centro América Laboratorio de Control de Calidad, suelos, emulsiones y mezclas asfálticas.		Gravedad Específica y Absorción de Agregado Grueso (ASTM C-127 Y AASHTO T-85)			
FECHA DE REPORTE : 24-junio-14		PROYECTO: Doble Tratamiento ECON S.A de C.V			
TIPO DE MATERIAL: Grava 3/8" proveniente de ECON S.A de C.V		FECHA DE ENSAYO: 14 de junio de 2014			
LABORATORISTA: Joaquin Contreras		MUESTRA PARA: Diseño de Doble Tratamiento Superficial			
Grava 3/8"					
DETALLE		VALORES			UNIDAD
A: PESO AL AIRE DEL MATERIAL SECO AL HORNO.		1978.9	1979.0		grs.
B: MASA DEL AGREGADO S.S.S =		2005.2	2006.0		grs.
C: MASA APARENTE DEL AGREGADO SATURADO EN AGUA =		1234.9	1235.5		grs.
CALCULO DE VALORES DE GRAVEDAD ESPECIFICA		MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIOS
Gravedad Especifica Bulk: $G_s(s) = A / (B - C)$		2.569	2.568		2.569
Gravedad Especifica Bulk sss: $G_s(sss) = B / (B - C)$		2.603	2.604		2.603
Gravedad Especifica Aparente: $G_s(a) = A / (A - C)$		2.660	2.662		2.661
Absorción Ponderada: $A\% = ((B - A) / A) * 100$		1.329	1.364		1.347
Revisó:   Ing. Erick Calidonio					

Fuente: Asfaltos de Centroamérica, ASFALCA S.A de C.V

Tabla 5-33: Gravedad específica y absorción de agregado 3/8".

- Granulometría Agregado A.T

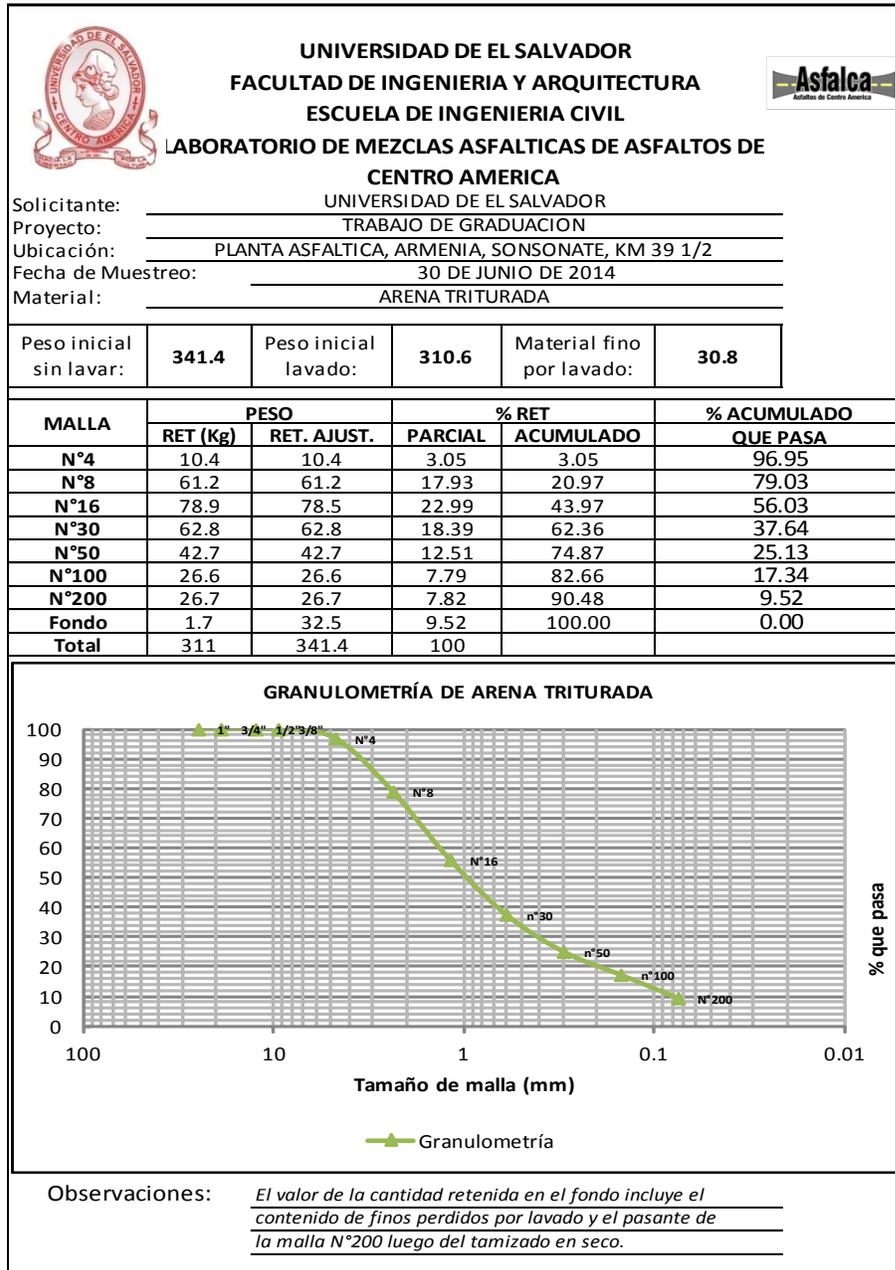


Tabla 5-34: Resultados de la granulometría de agregado A.T.

 Asfalca Asfaltos de Centro América Laboratorio de Control de Calidad, suelos, emulsiones y mezclas asfálticas.		Contenido de Arcilla en Agregado Fino (Valor de Equivalente de Arena) (ASTM D-2419 y AASHTO T-176).		
FECHA DE REPORTE : 02 DE JUNIO DE 2014		PROYECTO: Control de Calidad agregados de la cantera para mezcla CMA		
TIPO DE MATERIAL: Agregado: ARENA TRITURADA (Acopiado en planta de mezcla asfáltica y emulsiones ASFALCA S.A de C.V)		FECHA DE MUESTREO: 17 de julio de 2014		
LABORATORISTA: Joaquin Contreras		MUESTRA PARA:		
Contenido de Arcilla en Agregado Fino (Valor de Equivalente de Arena) (ASTM D-2419 y AASHTO T-176).				
DETALLE DE ENSAYO	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO
A: LECTURA APARENTE DE ARCILLA, cm	4.4	4.3	4.4	
B: LECTURA DE ARENA, cm	3.1	3.1	3.2	
VALOR DE EQUIVALENTE DE ARENA (%), VEA= (B / A)*100	70.45	72.09	72.73	71.8
Revisó:  Ing. Erick Daniel Calidonio				

Fuente: Asfaltos de Centroamérica, ASFALCA S.A de C.V

Tabla 5-35: Contenido de arcilla en agregado fino (Valor de equivalente de arena) de la Arena Triturada.

Asfalca		PESOS VOLUMETRICOS Y VACIOS EN EL AGREGADO ASTM C 29			
PROYECTO: Control de Calidad de agregados de la cantera para CMA					
MATERIAL: Material acopiado en la planta de mezclas y emulsiones ASFALCA S.A de C.V					
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: Acopio de la planta de mezcla en frio					
FECHA DE MUESTREO: 17/07/2014		MUESTREADO POR: Joaquin Contreras			
FECHA DE ENSAYO: 22/07/2014		ENSAYADO POR: C. Contreras			
TAMAÑO NOMINAL DE LA MUESTRA (mm):	A.T	DIAMETRO MOLDE (cm) :	15.21		
PESO DEL MOLDE (gr) :	6294.5	ALTURA MOLDE (cm) :	11.65		
		VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³):	2116.78		
SUELTO	<input checked="" type="checkbox"/>	VARILLADO	<input type="checkbox"/>	GOLPEADO	<input type="checkbox"/>
Ensayo No	Peso Muestra + Molde (gr)	Peso Molde (gr)	Peso Neto (gr)	Volumen	Peso Volumétrico (gr/cm ³)
1	9620.0	6294.5	3325.5	2116.8	1.571
2	9651.0	6294.5	3356.5	2116.8	1.586
3	9637.0	6294.5	3342.5	2116.8	1.579
PROMEDIO					1.579 gr/cm ³
					1579 Kg/m³
CALCULO DE % DE VACIOS INTERPARTICULAS					
% Vacios = 100 [(S x W) - M] / (S x W)					
S =	Gravedad especifica de acuerdo a ASTM C 127 =		2.548		
W =	Densidad del agua a 25 °C =		1000 Kg/m ³		
M =	Peso volumetrico =		1578.58 Kg/m ³		
% Vacios = 38.0					
OBSERVACIONES:					
El ensayo se ejecuto con el agregado seco al 100%.					
 Revisado por:  Ing. Erick Daniel Calidonio					

Fuente: Asfaltos de Centroamérica, ASFALCA S.A de C.V

Tabla 5-36: Pesos volumétricos y vacíos en la Arena Triturada.

 Asfalca Asfaltos de Centro América Laboratorio de Control de Calidad, suelos, emulsiones y mezclas asfálticas.		Gravedad Específica y Absorción de Agregado Grueso (ASTM C-127 Y AASHTO T-85)	
FECHA DE REPORTE : 22-julio-14		PROYECTO: Control de Calidad agregados de la cantera para mezcla CMA	
TIPO DE MATERIAL: Arena Triturada acopiado en planta ASFALCA S.A de C.V		FECHA DE MUESTREO: 17 de julio de 2014	
LABORATORISTA: Joaquin Contreras		MUESTRA PARA: Verificación de parametros de los agregados	
Arena Triturada			
DETALLE	VALORES		UNIDAD
A: PESO AL AIRE DEL MATERIAL SECO AL HORNO.	496.8	497.0	grs.
B: PESO DEL PICNOMETRO LLENO CON A AGUA A TEMPERATURA DE ENSAYO =	753.5	753.5	grs.
C: PESO PICNOMETRO MAS AGUA MAS MUESTRA A TEMP DE ENSAYO =	1058.4	1059.3	grs.
S: PESO AL AIRE DEL MATERIAL EN CONDICION SSS =	500.3	500.5	grs.
CALCULO DE VALORES DE GRAVEDAD ESPECIFICA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	PROMEDIOS
Gravedad Especifica Bulk: $G_s(s) = A / (B + S - C)$	2.542	2.553	2.548
Gravedad Especifica Bulk sss: $G_s(sss) = S / (B + S - C)$	2.560	2.571	2.566
Gravedad Especifica Aparente: $G_s(a) = A / (B + A - C)$	2.589	2.599	2.594
Absorción Ponderada: $A\% = ((S - A) / A) * 100$	0.705	0.704	0.704
Revisó:  Ing. Erick Daniel Calidonio			
 Asfaltos de Centroamérica S.A. de C.V.			

Fuente: Asfaltos de Centroamérica, ASFALCA S.A de C.V

Tabla 5-37: Gravedad específica y absorción de Arena Triturada.

5.2.1.1.2 PROPORCIONAMIENTO DE AGREGADOS

- Memoria de Calculo.

La determinación del proporcionamiento utilizado con los agregados disponibles en la planta asfáltica (3/4", 3/8" y Arena Triturada), se llevó a cabo por medio del procedimiento establecido por el Instituto del Asfalto. La memoria de cálculo de este procedimiento se presenta en los anexos de esta investigación. Al tomar en cuenta los límites granulométricos para cada mezcla, se obtuvieron dos proporcionamientos preliminares distintos, los cuales se presentan a continuación:

Agregado	Proporción CA08W	Proporción SAL02W
Grava 3/4"	33%	34%
Grava 3/8"	11%	26%
Arena T.	56%	40%

Tabla 5-38: Proporciones preliminares para mezcla granulométrica.

Ambos proporcionamientos se sometieron a una comprobación teórica como se muestra a continuación.

- Comprobación Teórica.

La comprobación teórica de los proporcionamientos, se efectuó con respecto a sus límites correspondientes como se muestra a continuación.

GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS.							
Malla	1"	3/4"	3/8"	N°4	N°8	N°50	N°200
Grava 3/4"	100	100	26.04	1.83	1.41	1.00	0.75
Grava 3/8"	100	100	99.13	21.25	11.90	3.98	1.88
Arena triturada	100	100	100	96.95	79.03	25.13	9.52
PROPORCIÓN (A PARTIR DE LÍMITES PARA SAL02W): 3/4" (34%), 3/8" (26%), A.T. (40%)							
LÍMITE SUPERIOR	100	100	80	59	42	16	7
COMBINACIÓN	100.00	100.00	74.34	44.37	34.72	11.28	4.50
LÍMITE INFERIOR	100	92	68	45	30	6	2
COMPROBACION	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
PROPORCIÓN (A PARTIR DE LÍMITES PARA CA08W): 3/4" (33%), 3/8" (11%), A.T. (56%)							
LÍMITE SUPERIOR	100	100	82	57	44	17	8.8
COMBINACIÓN	100.0	100.0	75.5	57.4	46.1	14.9	5.8
LÍMITE INFERIOR	100	91	68	43	32	7	2.8
COMPROBACION	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

Tabla 5-39: Comprobación teórica para proporcionamientos preliminares.

Como se muestra en la tabla 5-39, los proporcionamientos preliminares no cumplieron con todos los límites establecidos para cada mezcla granulométrica. Considerando que los límites de granulometría para ambos tipos de mezcla son muy similares y que el proporcionamiento preliminar obtenido a partir de los límites para la SAL02W posee menor error que el obtenido a partir de los límites para la CA08W, se procedió a ajustar el proporcionamiento de 3/4" (34%), 3/8" (26%), A.T. (40%) para cumplir con los límites de ambas mezclas.

Luego de un proceso de prueba y error, se ajustaron los porcentajes hasta los siguientes valores: 3/4" (30%), 3/8" (25%), A.T. (45%). Los resultados de la comprobación teórica para la proporción antes mencionada son los siguientes.

GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS.							
Malla	1"	3/4"	3/8"	N°4	N°8	N°50	N°200
Grava 3/4"	100	100	26.04	1.83	1.41	1.00	0.75
Grava 3/8"	100	100	99.13	21.25	11.90	3.98	1.88
Arena triturada	100	100	100	96.95	79.03	25.13	9.52
CHEQUEO PARA PROPORCIÓN AJUSTADA (UTILIZANDO LÍMITES PARA SAL02W): 3/4" (30%), 3/8" (25%), A.T. (45%)							
LÍMITE SUPERIOR	100	100	80	59	42	16	7
COMBINACIÓN	100.00	100.00	77.60	49.49	38.96	12.61	4.98
LÍMITE INFERIOR	100	92	68	45	30	6	2
COMPROBACION	CUMPLE						
CHEQUEO PARA PROPORCIÓN AJUSTADA (UTILIZANDO LÍMITES PARA CA08W): 3/4" (30%), 3/8" (25%), A.T. (45%)							
LÍMITE SUPERIOR	100	100	82	57	44	17	8.8
COMBINACIÓN	100.0	100.0	77.6	49.5	39.0	12.6	5.0
LÍMITE INFERIOR	100	91	68	43	32	7	2.8
COMPROBACION	CUMPLE						

Tabla 5-40: Comprobación teórica de proporcionamiento definitivo.

Como se muestra en la tabla 5-40, la comprobación teórica muestra que el proporcionamiento ajustado cumple satisfactoriamente con los límites granulométricos de ambas mezclas.

Para finalizar el proceso de replica granulométrica del diseño, se procedió a una comprobación física en laboratorio de la proporción. Por medio de cuarteo, se seleccionó una mezcla de agregados en la proporción mencionada, y se procedió a un análisis granulométrico. Los resultados se muestran a continuación.

- Comprobación en laboratorio

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL	
		LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE ASFALTOS DE CENTRO AMERICA			
Solicitante:		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR			
Proyecto:		TRABAJO DE GRADUACION			
Ubicación:		PLANTA ASFALTICA, ARMENIA, SONSONATE, KM 39 1/2			
Fecha de Muestreo:		30 DE JUNIO DE 2014			
Material:		COMBINACIÓN DE AGREGADOS, HOJA 1/2			
Peso inicial sin lavar:	6000.4	Peso inicial lavado:	5634.54	Material fino por lavado:	365.86
MALLA	PESO		% RET		% ACUMULADO
	RET. AJUST.	PARCIAL	ACUMULADO	QUE PASA	
1"	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/4"	8.80	0.15	0.15	99.85	
1/2"	601.30	10.02	10.17	89.83	
3/8"	615.20	10.25	20.42	79.58	
N°4	1875.40	31.25	51.68	48.32	
N°8	602.90	10.05	61.72	38.28	
N°16	617.40	10.29	72.01	27.99	
N°30	488.38	8.14	80.15	19.85	
N°50	349.41	5.82	85.97	14.03	
N°100	260.74	4.35	90.32	9.68	
N°200	177.35	2.96	93.28	6.72	
Fondo	403.50	6.72	100.00	0.00	
Total	6000.39	100.00			
PROPORCIÓN					
AGREGADO 3/4"		30%			
AGREGADO 3/8"		25%			
ARENA TRITURADA		45%			
LIMITES DE DISEÑO PARA % QUE PASA					
MALLA	MEZCLA CALIENTE		MEZCLA TIBIA		
	Lim. Sup	Lim. Inf	Lim. Sup	Lim. Inf	
1"	100	100	100	100	
3/4"	100	92	100	91	
3/8"	80	68	82	68	
N°4	59	45	57	43	
N°8	42	30	44	32	
N°50	16	6	17	7	
N°200	7	2	8.8	2.8	
Observaciones:	El valor de la cantidad retenida en el fondo incluye el contenido de finos perdidos por lavado y el pasante de la malla N°200 luego del tamizado en seco.				

Tabla 5-41: Resultados de granulometría combinada de agregados. Hoja 1/2.

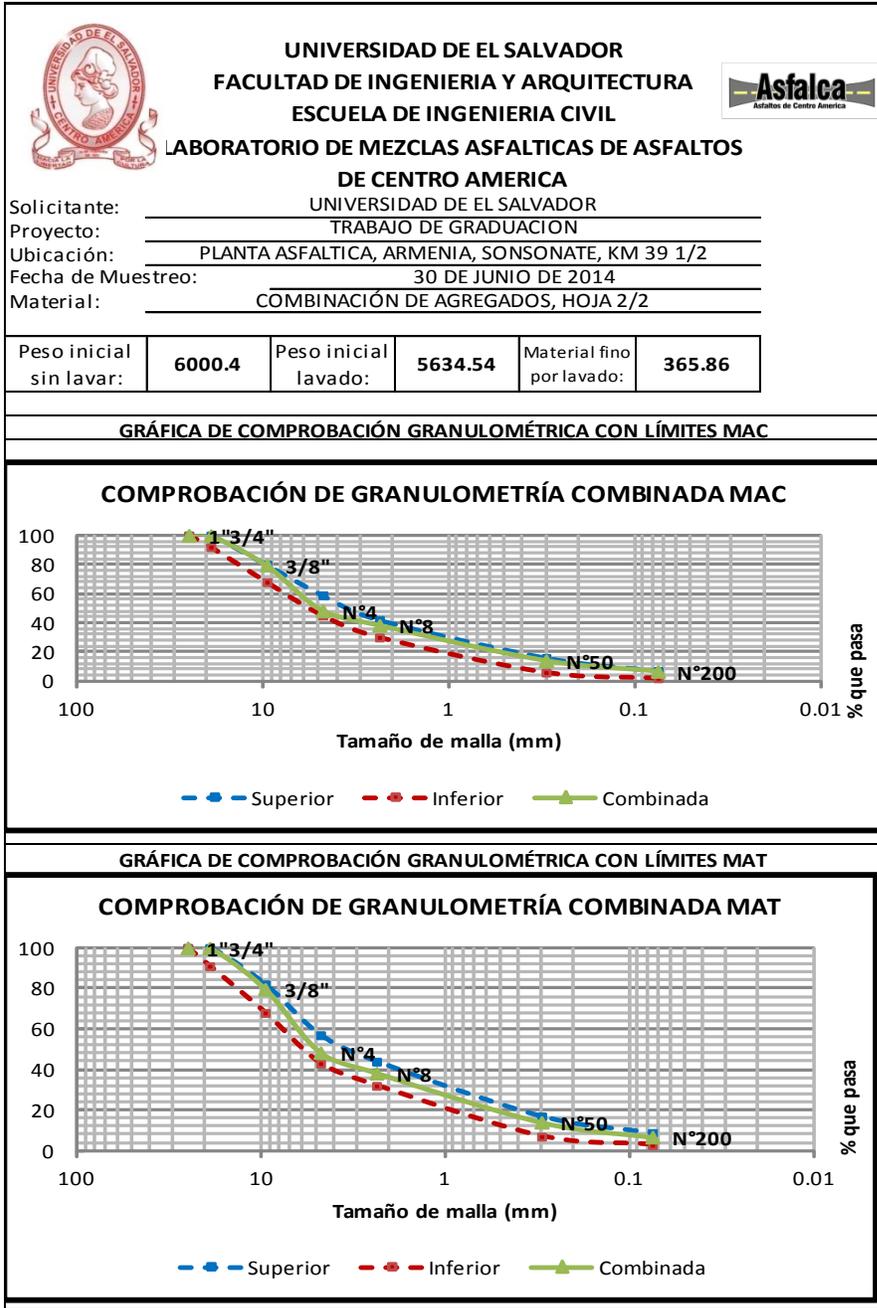


Tabla 5-42: Resultados de granulometría combinada de agregados. Hoja 2/2.

- Gravedad específica Bulk de la combinación de agregados.

Tal como se muestra en las tablas 5-29, 5-33 y 5-37 la gravedad específica del agregado de 3/4" tiene un valor de 2.563, el agregado de 3/8" tiene un valor de 2.569 y la arena triturada un valor de 2.548. Dado que los agregados se utilizaron en la proporción de **3/4" (30%), 3/8" (25%), A.T. (45%)**, la **gravedad específica bulk de la combinación se determinó como se muestra a continuación:**

$$Gsb_{Comb.de\ agregados} = \frac{P1 + P2 + P3}{\frac{P1}{Gsb_1} + \frac{P2}{Gsb_2} + \frac{P3}{Gsb_3}} = \frac{30 + 25 + 40}{\frac{30}{2.563} + \frac{25}{2.569} + \frac{40}{2.548}} = 2.557$$

El valor anterior será utilizado para determinación de vacíos de agregado mineral (VMA) de los especímenes hechos con esa combinación de agregados.

5.2.1.2 PORCENTAJE DE ASFALTO.

El porcentaje de asfalto utilizado para la mezcla de laboratorio fue de **5.3%** de asfalto AC-30 Corinto, para la mezcla asfáltica caliente. Para la mezcla asfáltica tibia, se utilizó de la misma manera un **5.3%** de asfalto base AC-30 Corinto modificado con aditivo químico tenso activo.

5.2.2 RESULTADOS PARA MEZCLA ASFALTICA TIBIA DE LABORATORIO.

Los siguientes son los resultados de los ensayos de laboratorio hechos a los especímenes nuevos que se han elaborado de mezcla asfáltica tibia replicando el diseño del tramo ubicado en la carretera CA08W, Ateos, La Libertad.

En la evaluación de este tipo de mezcla asfáltica se elaboraron un total de 9 briquetas, 3 de estas serán ensayadas para conocer la estabilidad y flujo Marshall, mientras que las 6 restantes serán ensayadas para conocer la resistencia a la tensión indirecta (TSR), 3 briquetas en un acondicionamiento seco y 3 briquetas en un acondicionamiento húmedo para conocer el efecto de la humedad sobre el concreto asfáltico de mezclas para pavimentos.

5.2.2.1 ELABORACIÓN DE BRIQUETAS ASTM D 1559-89.

	<p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE ASFALTOS DE CENTRO AMERICA</p>																																									
<p>Solicitante: <u>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</u></p>																																										
<p>Proyecto: <u>TRABAJO DE GRADUACION</u></p>																																										
<p>Ubicación: <u>PLANTA ASFALTICA DE ASFALCA, ARMENIA, SONSONATE, KM 39 1/2</u></p>																																										
<p>Fecha de Muestreo: <u>18 DE JULIO DE 2014</u></p>																																										
<p>Material: <u>MEZCLA ASFALTICA TIBIA (3/4" 30%, 3/8" 25%, A.T 45%, Asf. 5.3%)</u></p>																																										
<p>ELABORACION DE BRIQUETAS ASTM D 1559-89</p>																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Código</th> <th>Altura (mm)</th> <th>Diámetro (mm)</th> <th>Peso seco (g)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>BT1</td><td>66.20</td><td>101.89</td><td>1182.30</td></tr> <tr><td>BT2</td><td>65.89</td><td>101.67</td><td>1167.50</td></tr> <tr><td>BT3</td><td>65.79</td><td>101.74</td><td>1183.70</td></tr> <tr><td>BT4</td><td>68.45</td><td>102.17</td><td>1174.60</td></tr> <tr><td>BT5</td><td>67.66</td><td>101.82</td><td>1187.10</td></tr> <tr><td>BT6</td><td>68.10</td><td>102.21</td><td>1160.70</td></tr> <tr><td>BT7</td><td>68.75</td><td>101.59</td><td>1172.60</td></tr> <tr><td>BT8</td><td>69.71</td><td>102.02</td><td>1188.00</td></tr> <tr><td>BT9</td><td>68.54</td><td>102.34</td><td>1184.50</td></tr> </tbody> </table>			Código	Altura (mm)	Diámetro (mm)	Peso seco (g)	BT1	66.20	101.89	1182.30	BT2	65.89	101.67	1167.50	BT3	65.79	101.74	1183.70	BT4	68.45	102.17	1174.60	BT5	67.66	101.82	1187.10	BT6	68.10	102.21	1160.70	BT7	68.75	101.59	1172.60	BT8	69.71	102.02	1188.00	BT9	68.54	102.34	1184.50
Código	Altura (mm)	Diámetro (mm)	Peso seco (g)																																							
BT1	66.20	101.89	1182.30																																							
BT2	65.89	101.67	1167.50																																							
BT3	65.79	101.74	1183.70																																							
BT4	68.45	102.17	1174.60																																							
BT5	67.66	101.82	1187.10																																							
BT6	68.10	102.21	1160.70																																							
BT7	68.75	101.59	1172.60																																							
BT8	69.71	102.02	1188.00																																							
BT9	68.54	102.34	1184.50																																							
<p>Observaciones: _____</p> <p>_____</p>																																										

Tabla 5-43: Resultados de la elaboración de briquetas con mezcla asfáltica tibia de laboratorio.

5.2.2.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D2726-13, AASHTO T166-13.

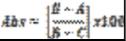
		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE ASFALTOS DE CENTRO AMERICA							
		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR							
Solicitante:		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR							
Proyecto:		TRABAJO DE GRADUACION							
Ubicación:		PLANTA ASFALTICA DE ASFALCA, ARMENIA, SONSONATE, KM 39 1/2							
Fecha de Muestreo:		-----		Fecha de Ensayo:		14-jul-14			
Material:		MEZCLA ASFALTICA TIBIA (3/4" 30%, 3/8" 25%, A.T 45%, Asf. 5.3%)				Hoja:		1/2	
GRAVEDAD ESPECIFICA BULK DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2726-13 AASHTO T 166-13									
Codigo de Especimen		BT-1	BT-2	BT-3	BT-4	BT-5	BT-6	BT-7	
Estacionamiento		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
Temperatura (°C)	25 ± 1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25	25	
Peso seco en aire (g)	A	1182.3	1167.5	1183.7	1174.6	1187.1	1160.7	1172.6	
Peso saturado superficialmente seco (g)	B	1187.8	1172.3	1194.5	1189.3	1197.1	1179.5	1191.4	
Peso sumergido en agua (g)	C	666.4	655.2	661.5	656.4	662.1	650.1	658.5	
Gravedad Especifica Bulk		2.27	2.26	2.22	2.20	2.22	2.19	2.20	
Porcentaje de Absorción		1.05	0.93	2.03	2.76	1.87	3.55	3.53	
Observaciones									

Tabla 5-44: Resultados de gravedad especifica bulk para briquetas de mezcla asfáltica tibia de laboratorio. Hoja: 1/2.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE ASFALTOS DE CENTRO AMERICA



Solicitante: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
Proyecto: TRABAJO DE GRADUACION
Ubicación: PLANTA ASFALTICA DE ASFALCA, ARMENIA, SONSONATE KM 39 1/2
Fecha de Muestreo: ----- **Fecha de Ensayo:** 14-jul-14
Material: MEZCLA ASFALTICA TIBIA (3/4" 30%, 3/8" 25%, A.T 45%, Asf. 5.3%) **Hoja:** 2/2

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2726-13 AASHTO T 166-13

Codigo de Especimen	BT-8	BT-9	CCT-1	CCT-2	CCT-3		
Estacionamiento	----	----	----	----	----		
Temperatura (°C)	25 ± 1	25	24.7	24.8	24.8		
Peso seco en aire (g)	A	1188	1184.5	1192.7	1189.3	1181.3	
Peso saturado superficialmente seco (g)	B	1209.1	1205.5	1224.8	1209.4	1191	
Peso sumergido en agua (g)	C	667.5	665.6	661.5	661.6	660.9	
Gravedad Especifica Bulk		2.19	2.19	2.12	2.17	2.23	
Porcentaje de Absorcion		3.90	3.89	5.70	3.67	1.83	

Observaciones: Las briquetas CCT-01, CCT-02 y CCT-03 fueron elaboradas para la curva de compactación del ensayo de TSR, la energía compactación aplicada fue de 12, 25 y 50 golpes respectivamente.
 La energía de compactación para todas las briquetas con código BT fue de 75 golpes según en el ensayo Marshall.

Tabla 5-45: Resultados de gravedad especifica bulk para briquetas de mezcla asfáltica tibia de laboratorio. Hoja: 2/2.

5.2.2.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D2041-11, AASHTO T209-12.

		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE ASFALTOS DE CENTRO AMERICA			
		LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE ASFALTOS DE CENTRO AMERICA			
Solicitante:	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR				
Proyecto:	TRABAJO DE GRADUACION				
Ubicación:	PLANTA ASFALTICA, ARMENIA, SONSONATE, KM 39 1/2				
Fecha de Muestreo:	15 DE JULIO DE 2014				
Material:	MEZCLA ASFALTICA TIBIA (3/4" 30%, 3/8" 25%, A.T 45%, Asf. 5.3%)				
GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041-11					
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
Peso del Picnometro vacio (g):		1681.1	1681.1	1681.1	
Peso del Picnometro + Muestra (g)		3726.5	3723.3	3725.3	
Peso de la Muestra en el Aire (g):	A	2045.4	2042.2	2044.2	
Peso del Picnometro + Agua (25°C) (g):	D	11767.2	11767.2	11767.2	
Peso del Picnometro + Agua + Muestra (g):	E	12953.3	12951.5	12951.2	
Volumen del Agua	V=A+D-E	859.3	857.9	860.2	
Gravedad Especifica Teorica Máxima	Gem= A/V	2.380	2.380	2.376	
PROMEDIO		2.379			
Observaciones:	La temperatura del agua en el ensayo fue de 25°C por lo que no se incluye un factor de corrección por temperatura del agua.				

Tabla 5-46: Resultados de gravedad específica teórica máxima para briquetas de mezcla asfáltica tibia de laboratorio.

5.2.2.4 PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE EN MEZCLAS COMPACTADAS DENSAS O ABIERTAS PARA PAVIMENTOS BITUMINOSOS, ASTM D3203-11, AASHTO T269-11.

		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE ASFALTOS DE CENTRO AMERICA		
Solicitante:	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR			
Proyecto:	TRABAJO DE GRADUACION			
Ubicación:	PLANTA ASFALTICA, ARMENIA, SONSONATE, KM 39 1/2			
Fecha de Muestreo:	-----			
Material:	MEZCLA ASFALTICA TIBIA (3/4" 30%, 3/8" 25%, A.T 45%, Asf. 5.3%)			
PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE EN MEZCLAS COMPACTADAS DENSAS O ABIERTAS PARA PAVIMENTOS BITUMINOSOS ASTM D 3203-11 AASHTO T 269-				
Código de la Muestra	Energía de Compactación (Golpes)	Gravedad Bulk (Kg/m3)	Gravedad Teórica Máxima (Kg/m3)	% Vacios
BT1	75	2.270	2.379	4.582
BT2	75	2.260	2.379	5.002
BT3	75	2.220	2.379	6.683
BT4	22	2.200	2.379	7.524
BT5	22	2.220	2.379	6.683
BT6	22	2.180	2.379	8.365
BT7	22	2.220	2.379	6.683
BT8	22	2.190	2.379	7.945
BT9	22	2.190	2.379	7.945
CCT-1	12	2.120	2.379	10.887
CCT-2	25	2.170	2.379	8.785
CCT-3	50	2.230	2.379	6.263
Observaciones: Los especímenes BT 1,2 y 3 se elaboraron para el ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall. Los especímenes CCT 01,02 y 03 se elaboraron para generar la curva de compactación de la mezcla. Los especímenes BT 4,5 y 6, BT 7,8 y 9 se elaboraron para el ensayo de TSR en condición húmeda y seca respectivamente.				

Tabla 5-47: Resultados de porcentaje de vacíos para briquetas de mezcla asfáltica tibia de laboratorio.

**5.2.2.1 PORCENTAJE DE VACÍOS DE AGREGADO MINERAL Y
PORCENTAJE DE VACÍOS LLENOS DE ASFALTO.**

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE ASFALTOS DE CENTRO AMERICA																																																																															
Solicitante:	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR																																																																															
Proyecto:	TRABAJO DE GRADUACION																																																																															
Ubicación:	PLANTA ASFALTICA, ARMENIA, SONSONATE, KM 39 1/2																																																																															
Fecha de Muestreo:	-----																																																																															
Material:	MEZCLA ASFALTICA TIBIA (3/4" 30%, 3/8" 25%, A.T 45%, Asf. 5.3%)																																																																															
PORCENTAJE DE VACÍOS EN AGREGADO MINERAL Y PORCENTAJE DE VACÍOS LLENOS DE ASFALTO																																																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Código de la Muestra</th> <th>Gravedad Bulk (Kg/m3)</th> <th>% Vacios</th> <th>% de asfalto</th> <th>%VMA</th> <th>%VFA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>BT1</td><td>2.270</td><td>4.582</td><td>5.3</td><td>15.929</td><td>71.237</td></tr> <tr><td>BT2</td><td>2.260</td><td>5.002</td><td>5.3</td><td>16.300</td><td>69.311</td></tr> <tr><td>BT3</td><td>2.220</td><td>6.683</td><td>5.3</td><td>17.781</td><td>62.412</td></tr> <tr><td>BT4</td><td>2.200</td><td>7.524</td><td>5.3</td><td>18.522</td><td>59.376</td></tr> <tr><td>BT5</td><td>2.220</td><td>6.683</td><td>5.3</td><td>17.781</td><td>62.412</td></tr> <tr><td>BT6</td><td>2.180</td><td>8.365</td><td>5.3</td><td>19.262</td><td>56.574</td></tr> <tr><td>BT7</td><td>2.220</td><td>6.683</td><td>5.3</td><td>17.781</td><td>62.412</td></tr> <tr><td>BT8</td><td>2.190</td><td>7.945</td><td>5.3</td><td>18.892</td><td>57.948</td></tr> <tr><td>BT9</td><td>2.190</td><td>7.945</td><td>5.3</td><td>18.892</td><td>57.948</td></tr> <tr><td>CCT-01</td><td>2.120</td><td>10.887</td><td>5.3</td><td>21.485</td><td>49.327</td></tr> <tr><td>CCT-02</td><td>2.170</td><td>8.785</td><td>5.3</td><td>19.633</td><td>55.252</td></tr> <tr><td>CCT-03</td><td>2.230</td><td>6.263</td><td>5.3</td><td>17.411</td><td>64.027</td></tr> </tbody> </table>	Código de la Muestra	Gravedad Bulk (Kg/m3)	% Vacios	% de asfalto	%VMA	%VFA	BT1	2.270	4.582	5.3	15.929	71.237	BT2	2.260	5.002	5.3	16.300	69.311	BT3	2.220	6.683	5.3	17.781	62.412	BT4	2.200	7.524	5.3	18.522	59.376	BT5	2.220	6.683	5.3	17.781	62.412	BT6	2.180	8.365	5.3	19.262	56.574	BT7	2.220	6.683	5.3	17.781	62.412	BT8	2.190	7.945	5.3	18.892	57.948	BT9	2.190	7.945	5.3	18.892	57.948	CCT-01	2.120	10.887	5.3	21.485	49.327	CCT-02	2.170	8.785	5.3	19.633	55.252	CCT-03	2.230	6.263	5.3	17.411	64.027		
Código de la Muestra	Gravedad Bulk (Kg/m3)	% Vacios	% de asfalto	%VMA	%VFA																																																																											
BT1	2.270	4.582	5.3	15.929	71.237																																																																											
BT2	2.260	5.002	5.3	16.300	69.311																																																																											
BT3	2.220	6.683	5.3	17.781	62.412																																																																											
BT4	2.200	7.524	5.3	18.522	59.376																																																																											
BT5	2.220	6.683	5.3	17.781	62.412																																																																											
BT6	2.180	8.365	5.3	19.262	56.574																																																																											
BT7	2.220	6.683	5.3	17.781	62.412																																																																											
BT8	2.190	7.945	5.3	18.892	57.948																																																																											
BT9	2.190	7.945	5.3	18.892	57.948																																																																											
CCT-01	2.120	10.887	5.3	21.485	49.327																																																																											
CCT-02	2.170	8.785	5.3	19.633	55.252																																																																											
CCT-03	2.230	6.263	5.3	17.411	64.027																																																																											
<p>Observaciones: Los especímenes BT 1,2 y 3 se elaboraron para el ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall. Los especímenes CCT 01,02 y 03 se elaboraron para generar la curva de compactación de la mezcla. Los especímenes BT 4,5 y 6, BT 7,8 y 9 se elaboraron para el ensayo de TSR en condición húmeda y seca respectivamente La gravedad específica bulk de la combinación de agregados tiene un valor de 2.557</p>																																																																																

Tabla 5-48: Porcentaje de vacíos en agregado mineral y porcentaje de vacíos llenos de asfalto en mezcla asfáltica tibia de laboratorio.

5.2.2.2 RESISTENCIA AL FLUJO PLÁSTICO DE MEZCLAS BITUMINOSAS UTILIZANDO EL APARATO MARSHALL, ASTM D 6927-06, AASHTO T245-13.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE ASFALTOS DE CENTRO AMERICA					
	Solicitante: <u>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</u> Proyecto: <u>TRABAJO DE GRADUACION</u> Ubicación: <u>PLANTA ASFALTICA, ARMENIA, SONSONATE, KM 39 1/2</u> Fecha de Ensayo: <u>21-jul-14</u> Material: <u>MEZCLA ASFALTICA TIBIA (3/4" 30%, 3/8" 25%, A.T 45%, Asf. 5.3%)</u>					
RESISTENCIA AL FLUJO PLASTICO DE MEZCLAS BITUMINOSAS UTILIZANDO EL APARATO MARSHALL ASTM D 1559-89						
BRIQUETA	VOL. (cm3)	CORRECCION POR VOLUMEN	FLUJO (mm)	CARGA MAXIMA (Lb)	ESTABILIDAD (Lb)	ESTABILIDAD CORREGIDA (Lb)
BT1	521.40	1.00	2.489	2249	2160	2160.00
BT2	517.10	1.00	3.150	2020	2000	2000.00
BT3	533.00	0.96	3.099	2347	2347	2253.12
PROMEDIO			2.913			2137.71
Observaciones: <u>De acuerdo con las especificaciones para la mezcla asfáltica tibia se esperaba un valor de estabilidad entre 1800 y 4500 lb.</u> <u>Mientras que para el valor de flujo es entre 2 y 4 mm.</u>						

Tabla 5-49: Resultados de estabilidad y flujo Marshall para briquetas de mezcla asfáltica tibia de laboratorio.

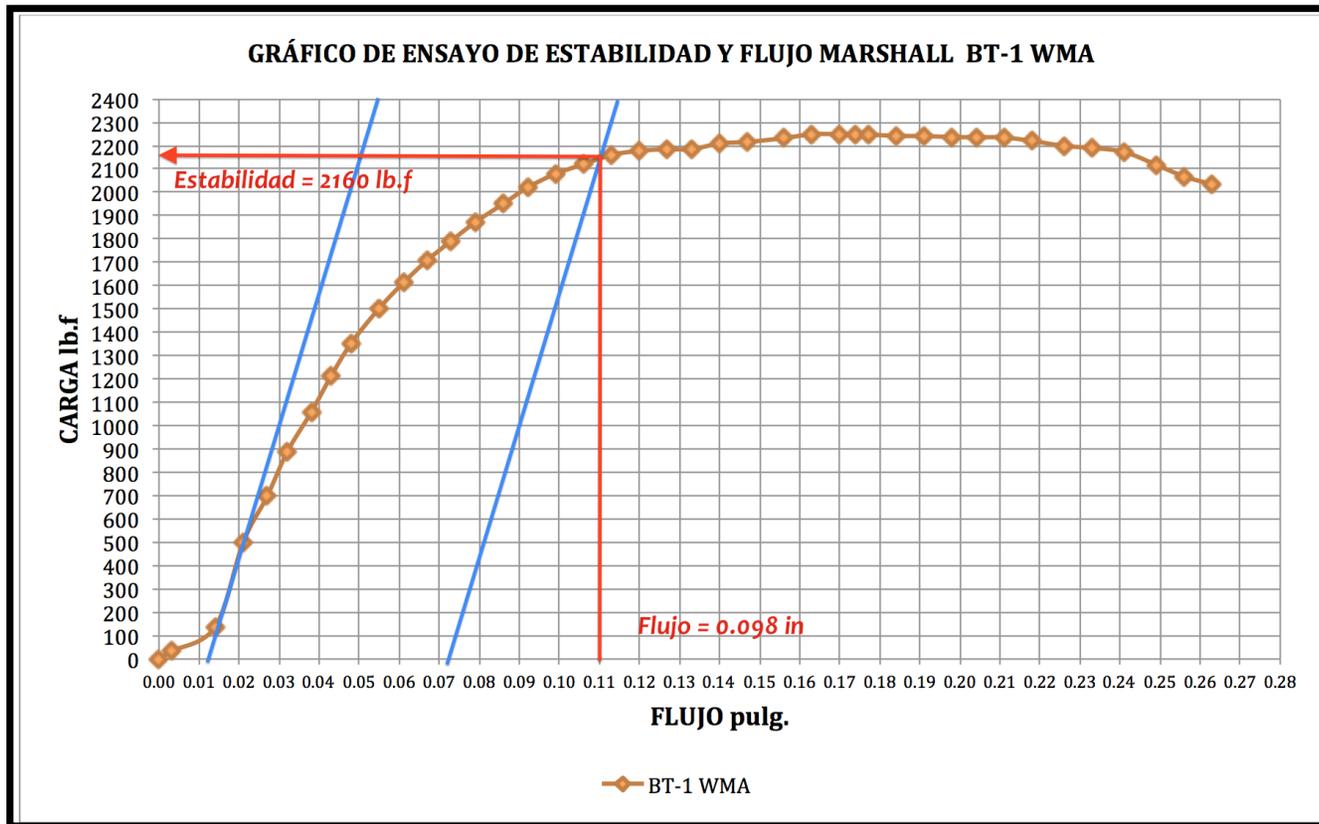


Figura 5-17: Gráfica de ensayo de estabilidad y flujo Marshall para briqueta BT-1, mezcla asfáltica tibia de laboratorio.

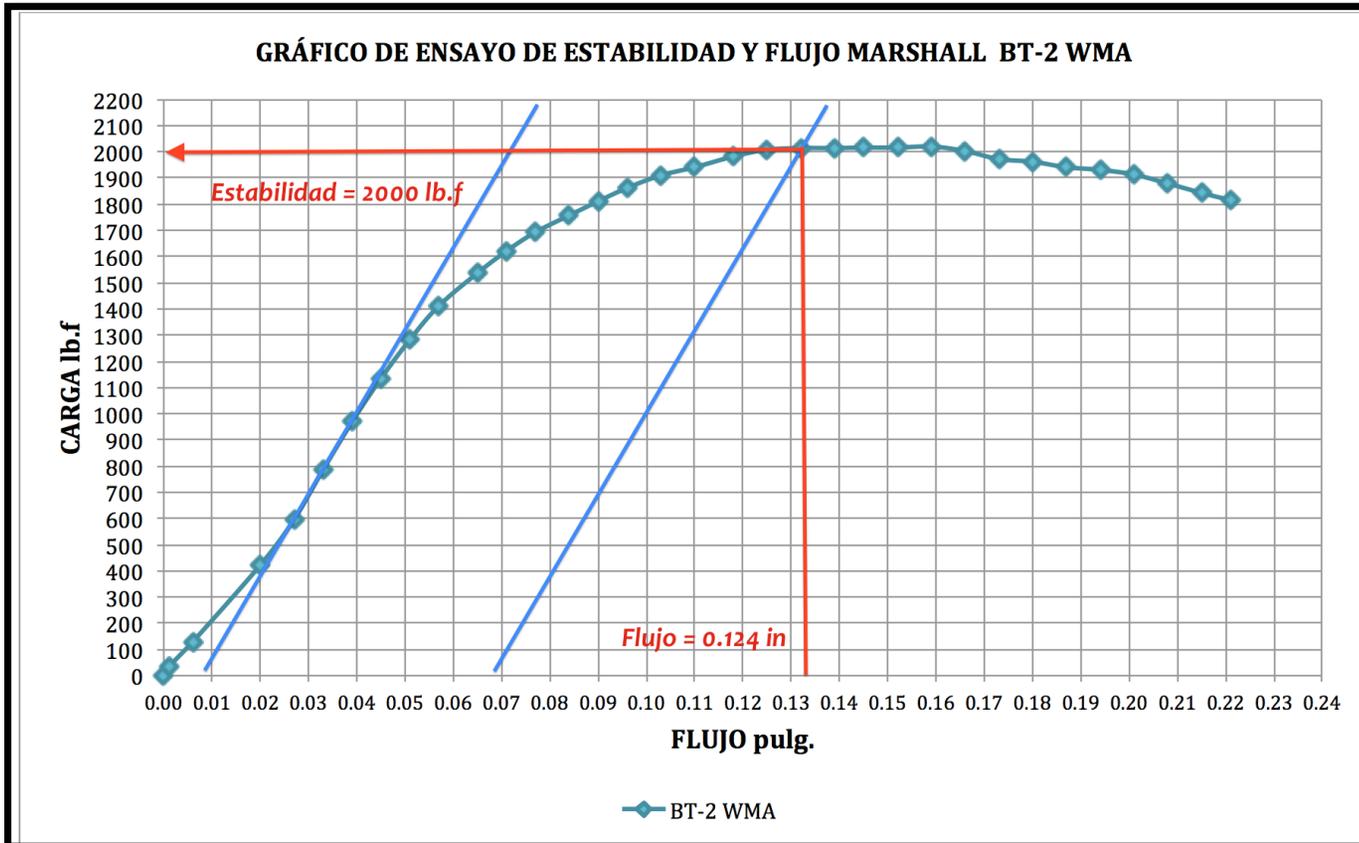


Figura 5-18: Grafica de ensayo de estabilidad y flujo Marshall para briqueta BT-2, mezcla asfáltica tibia de laboratorio.

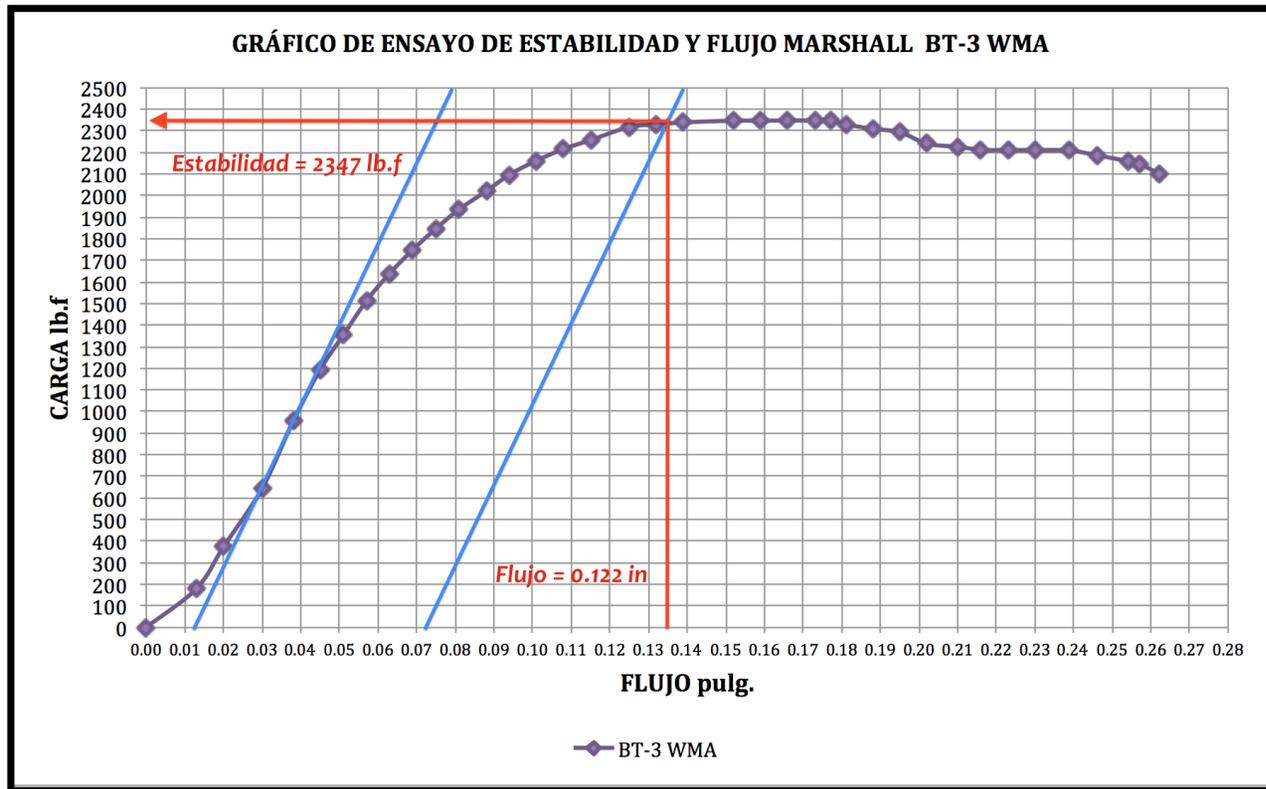


Figura 5-19: Grafica de ensayo de estabilidad y flujo Marshall para briqueta BT-3, mezcla asfáltica tibia de laboratorio.

5.2.2.3 EFECTO DE LA HUMEDAD SOBRE EL CONCRETO ASFÁTICO DE MEZCLAS PARA PAVIMENTOS ASTM D4867, AASHTO T283.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE ASFALCA SA de CV							
Solicitante:	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR						
Proyecto:	TRABAJO DE GRADUACION						
Ubicación:	PLANTA ASFALTICA, ARMENIA, SONSONATE, KM 39 1/2						
Fecha de Ensayo:	21 DE JULIO DE 2014						
Material:	MEZCLA ASFALTICA TIBIA (3/4" 30%, 3/8" 25%, A.T 45%, Asf. 5.3%)						
EFECTO DE LA HUMEDAD SOBRE EL CONCRETO ASFALTICO DE MEZCLAS PARA PAVIMENTOS AASHTO T-283 (ASTM D-4867)							
MEZCLA DE CAMPO							
PARAMETROS DE ANALISIS DE ENTRADA	COD	CONDICION SECA			CONDICIÓN HUMEDA		
Nº de Especimen	Nº	BT-07	BT-08	BT-09	BT-04	BT-05	BT-06
Diametro, (mm)	D	101.59	102.02	102.34	102.17	101.82	102.21
Espesor, (mm)	t	68.75	69.71	68.54	68.45	67.66	68.10
Peso Seco Aire, (grs)	A	1172.60	1188.00	1184.50	1174.60	1187.10	1160.70
Peso Saturado Superficialmente Seco, (grs)	B	1191.40	1209.10	1205.50	1189.30	1197.10	1179.50
Peso Sumergido, (grs)	C	658.50	667.50	665.60	656.40	662.10	650.10
Volumen del Especimen, (B - C)	E	532.90	541.60	539.90	532.90	535.00	529.40
Gravedad Especifica Bulk (Gmb), (A / E)	F	2.20	2.19	2.19	2.20	2.22	2.19
Gravedad Especifica Teorica Maxima, (Gmm)	G	2.379	2.379	2.379	2.379	2.379	2.379
% Vacios Aire (Va), (100*(G - F) / G)	H	7.51	7.80	7.78	7.35	6.73	7.84
Volumen de Vacios Aire, (H*E) / 100	J	40.00	42.23	42.00	39.16	36.01	41.51
Carga Resultante Especimenes en Seco, (lb-f)	P	1965.00	1964.00	1809.00			
Saturación a vacio parcial: (5 min a una presion de 20 in de Hg, en agua destilada a 25° C.)							
Especimen seleccionado		BT-04	BT-05	BT-06	NOTA: Las Especificaciones Tecnicas del Proyecto requieren un grado de Saturación del Especimen de 55 a 80% y un % de Va en los Especimenes de Prueba entre 6 a 8%.		
Peso Saturado Superficialmente Seco, (grs)	B'	1205.60	1212.20	1193.20			
Peso Sumergido, (grs)	C'	674.20	688.10	670.50			
Volumen del Especimen, (B'-C')	E'	531.40	524.10	522.70			
Volumen Agua Absorbida, (B'-A)	J'	31.00	25.10	32.50			
% Saturacion, (100 * (J') / J)		79.16	69.71	78.30			
% Hinchamiento (100 * (E' - E) / E)		-0.28	-2.04	-1.27			
Acondicionamiento en Condición Humeda: (Baño de María a 60° C por 24 h (140 F))							
Especimen seleccionado		BT-04	BT-05	BT-06	NOTA: Según la ASTM D-4867 en su Sección 8.9.1, un grado de Saturación Superior al 80%, despues del Acondicionamiento en Humedo por 24 h. a 60° C, es considerado como Aceptable.		
Espesor, plg	t'	2.69	2.66	2.68			
Peso Saturado Superficialmente Seco, (grs)	B''	1207.50	1217.30	1195.60			
Peso Sumergido, (grs)	C''	674.40	689.50	671.20			
Volumen (B''-C'')	E''	533.10	527.80	524.40			
Volumen Agua Absorbida (B''-A)	J''	32.90	30.20	34.90			
% Saturacion (100 J''/J)		84.01	83.87	84.08			
% Hinchamiento (100(E''-E)/E)		0.04	-1.35	-0.94			
Carga Resultante Especimenes en Condición Humeda	P''	1207.00	1367.00	1181.00			
Calculo del TSR (Tensil Strength Ratio), Relación de Esfuerzo de Tensión=							
Código del espécimen		BC-07	BC-08	BC-09	BC-04	BC-05	BC-06
Esfuerzo Especimenes en Seco (PSI), (2 * P / π * t * D)=	S _{td}	115.55	113.42	105.92			
Esfuerzo Especimenes en Condición Humeda, (PSI) (2 * P'' / π * t'' * D)=	S _{tm}				70.89	81.50	69.69
Promedio de Esfuerzo Especimenes en Seco		111.63					
Promedio de Esfuerzo Especimenes en Condición Humeda		74.02					
Relación de Esfuerzo de Tension (TSR), (100 * (S _{tm} / S _{td}))=		66.31	NOTA: Las Especificaciones Tecnicas del Proyecto requieren un valor de TSR igual o mayor al 75% para una HMA diseñada por el Metodo Marshall.				

Tabla 5-50: Resultado de TSR para briquetas de mezcla asfáltica tibia de laboratorio.

La siguiente curva de compactación fue elaborada para determinar la cantidad de golpes que requeridos para generar los especímenes de prueba para el ensayo de TSR. Como se muestra en la figura, fue necesario aplicar 22 golpes como energía de compactación para garantizar un porcentaje de vacíos entre 6 y 8%.

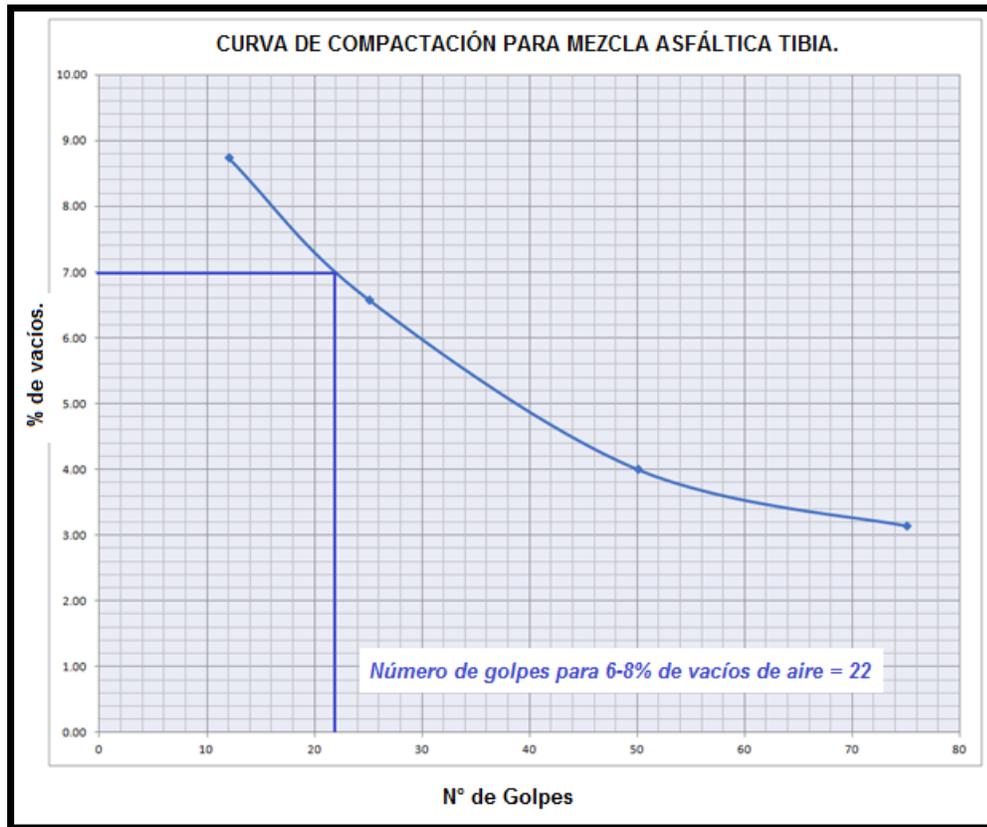


Figura 5-20: Curva de compactación para mezcla asfáltica tibia de laboratorio.

5.2.3 RESULTADOS PARA MEZCLA ASFÁLTICA CALIENTE DE LABORATORIO.

Los siguientes son los resultados de los ensayos de laboratorio hechos a los especímenes nuevos que se han elaborado de mezcla asfáltica caliente replicando el diseño del tramo ubicado en la carretera, San Bartolo, Ilopango.

En la evaluación de este tipo de mezcla asfáltica se elaboraron un total de 9 briquetas, 3 de estas serán ensayadas para conocer la estabilidad y flujo Marshall, mientras que las 6 restantes serán ensayadas para conocer la resistencia a la tensión indirecta (TSR), 3 briquetas en un acondicionamiento seco y 3 briquetas en un acondicionamiento húmedo para conocer el efecto de la humedad sobre el concreto asfáltico de mezclas para pavimentos.

5.2.3.1 ELABORACIÓN DE BRIQUETAS ASTM D 1559-89.

	<p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE ASFALTOS DE CENTRO AMERICA</p>																																									
Solicitante: <u>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</u>																																										
Proyecto: <u>TRABAJO DE GRADUACION</u>																																										
Ubicación: <u>PLANTA ASFALTICA DE ASFALCA, ARMENIA, SONSONATE, KM 39 1/2</u>																																										
Fecha de Muestreo: <u>18 DE JULIO DE 2014</u>																																										
Material: <u>MEZCLA ASFALTICA CALIENTE (3/4" 30%, 3/8" 25%, A.T 45%, Asf. 5.3%)</u>																																										
ELABORACION DE BRIQUETAS ASTM D 1559-89																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Código</th> <th>Altura (mm)</th> <th>Diámetro (mm)</th> <th>Peso seco</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>BC1</td><td>65.73</td><td>102.19</td><td>1181.50</td></tr> <tr><td>BC2</td><td>65.90</td><td>102.29</td><td>1196.50</td></tr> <tr><td>BC3</td><td>66.00</td><td>102.25</td><td>1196.60</td></tr> <tr><td>BC4</td><td>66.25</td><td>102.30</td><td>1181.10</td></tr> <tr><td>BC5</td><td>68.73</td><td>102.31</td><td>1193.70</td></tr> <tr><td>BC6</td><td>68.89</td><td>101.68</td><td>1171.40</td></tr> <tr><td>BC7</td><td>68.01</td><td>101.78</td><td>1175.00</td></tr> <tr><td>BC8</td><td>68.24</td><td>102.38</td><td>1194.70</td></tr> <tr><td>BC9</td><td>68.54</td><td>101.76</td><td>1192.00</td></tr> </tbody> </table>			Código	Altura (mm)	Diámetro (mm)	Peso seco	BC1	65.73	102.19	1181.50	BC2	65.90	102.29	1196.50	BC3	66.00	102.25	1196.60	BC4	66.25	102.30	1181.10	BC5	68.73	102.31	1193.70	BC6	68.89	101.68	1171.40	BC7	68.01	101.78	1175.00	BC8	68.24	102.38	1194.70	BC9	68.54	101.76	1192.00
Código	Altura (mm)	Diámetro (mm)	Peso seco																																							
BC1	65.73	102.19	1181.50																																							
BC2	65.90	102.29	1196.50																																							
BC3	66.00	102.25	1196.60																																							
BC4	66.25	102.30	1181.10																																							
BC5	68.73	102.31	1193.70																																							
BC6	68.89	101.68	1171.40																																							
BC7	68.01	101.78	1175.00																																							
BC8	68.24	102.38	1194.70																																							
BC9	68.54	101.76	1192.00																																							
Observaciones: _____																																										

Tabla 5-51: Resultados de la elaboración de briquetas con mezcla asfáltica caliente de laboratorio.

5.2.3.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D2726-13, AASHTO T166-13.

		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE ASFALTOS DE CENTRO AMERICA							
Solicitante:		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR							
Proyecto:		TRABAJO DE GRADUACION							
Ubicación:		PLANTA ASFALTICA DE ASFALCA, ARMENIA, SONSONATE, KM 39 1/2							
Fecha de Muestreo:		-----		Fecha de Ensayo:		14-jul-14			
Material:		MEZCLA ASFALTICA CALIENTE (3/4" 30%, 3/8" 25%, A.T 45%, Asf. 5.3%)				Hoja:		1/2	
GRAVEDAD ESPECIFICA BULK DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2726-13 AASHTO T 166-13									
Codigo de Especimen		BC-1	BC-2	BC-3	BC-4	BC-5	BC-6	BC-7	
Estacionamiento									
Temperatura (°C)	25 ± 1	24.8	24.8	24.7	24.7	24.8	24.8	24.8	
Peso seco en aire (g)	A	1181.5	1196.5	1196.6	1181.1	1193.7	1171.4	1175	
Peso saturado superficialmente seco (g)	B	1186.9	1199.5	1201.4	1187.6	1208.9	1185	1186.4	
Peso sumergido en agua (g)	C	668.3	675.3	672.9	657.7	666.8	651.9	653.4	
Gravedad Especifica Bulk		2.28	2.28	2.26	2.23	2.20	2.20	2.20	
Porcentaje de Absorcion	$\text{Abs} = \frac{B-A}{B-C} \times 100$	1.04	0.57	0.91	1.23	2.80	2.55	2.14	
Observaciones									

Tabla 5-52: Resultados de gravedad especifica bulk para briquetas de mezcla asfáltica caliente de laboratorio. Hoja: 1/2.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE ASFALTOS DE CENTRO AMERICA



Solicitante:	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
Proyecto:	TRABAJO DE GRADUACION
Ubicación:	PLANTA ASFALTICA DE ASFALCA, ARMENIA, SONSONATE, KM 39 1/2
Fecha de Muestreo:	-----
Fecha de Ensayo:	14-jul-14
Material:	MEZCLA ASFALTICA CALIENTE (3/4" 30%, 3/8" 25%, A.T 45%, Asf. 5.3%) Hoja: 2/2

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2726-13 AASHTO T 166-13

Codigo de Especimen	BC-8	BC-9	CCC-1	CCC-2	CCC-3		
Estacionamiento							
Temperatura (°C)	25 ± 1	25.1	25	25	25.1	25.1	
Peso seco en aire (g)	A	1194.7	1192	1171.8	1159	1203.9	
Peso saturado superficialmente seco (g)	B	1207.3	1202	1195.9	1174.9	1208.3	
Peso sumergido en agua (g)	C	668.3	666.8	648.2	644.9	669.7	
Gravedad Especifica Bulk		2.22	2.23	2.14	2.19	2.24	
Porcentaje de Absorción	$Abs = \frac{B-A}{B-C} \times 100$	2.34	1.87	4.40	3.00	0.82	

Observaciones Las briquetas CCC-01, CCC-02 y CCC-03 fueron elaboradas para la curva de compactación del ensayo de TSR, la energía compactación aplicada fue de 12, 25 y 50 golpes respectivamente.
 La energía de compactación para todas las briquetas con código BC fue de 75 golpes según en el ensayo Marshall.

Tabla 5-53: Resultados de gravedad especifica bulk para briquetas de mezcla asfáltica caliente de laboratorio, Hoja: 2/2.

5.2.3.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D2041-11, AASHTO T209-12.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE ASFALTOS DE CENTRO AMERICA				
	Solicitante:	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR			
	Proyecto:	TRABAJO DE GRADUACION			
	Ubicación:	PLANTA ASFALTICA, ARMENIA, SONSONATE, KM 39 1/2			
	Fecha de Muestreo:	15 DE JULIO DE 2014			
Material:	MEZCLA ASFALTICA CALIENTE (3/4" 30%, 3/8" 25%, A.T 45%, Asf. 5.3%)				
GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASTM D 2041-11					
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
Peso del Picnometro vacio (g):		1681.1	1681.1	1681.1	
Peso del Picnometro + Muestra (g)		3692.7	3720.4	3709.6	
Peso de la Muestra en el Aire (g):	A	2011.6	2039.4	2028.5	
Peso del Picnometro + Agua (25°C) (g):	D	11767.2	11767.2	11767.2	
Peso del Picnometro + Agua + Muestra (g):	E	12926.9	12949.4	12942.9	
Volumen del Agua	V=A+D-E	851.9	857.2	852.8	
Gravedad Especifica Teorica Máxima	Gem= A/V	2.361	2.379	2.379	
PROMEDIO		2.373			
Observaciones:	La temperatura del agua en el ensayo fue de 25°C por lo que no se incluye un factor de corrección por temperatura del agua.				

Tabla 5-54: Resultados de gravedad específica teórica máxima para briquetas de mezcla asfáltica caliente de laboratorio.

5.2.3.4 PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE EN MEZCLAS COMPACTADAS DENSAS O ABIERTAS PARA PAVIMENTOS BITUMINOSOS, ASTM D3203-11, AASHTO T269-11.

 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE ASFALTOS DE CENTRO AMERICA 				
Solicitante:	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR			
Proyecto:	TRABAJO DE GRADUACION			
Ubicación:	PLANTA ASFALTICA, ARMENIA, SONSONATE, KM 39 1/2			
Fecha de	-----			
Muestreo:	-----			
Material:	MEZCLA ASFALTICA CALIENTE (3/4" 30%, 3/8" 25%, A.T 45%, Asf. 5.3%)			
PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE EN MEZCLAS COMPACTADAS DENSAS O ABIERTAS PARA PAVIMENTOS BITUMINOSOS ASTM D 3203-11 AASHTO T 269-				
Código de la Muestra	Energía de Compactación (Golpes)	Gravedad Bulk (Kg/m3)	Gravedad Teórica Máxima (Kg/m3)	% Vacios
BC1	75	2.280	2.373	3.919
BC2	75	2.280	2.373	3.919
BC3	75	2.260	2.373	4.762
BC4	16	2.230	2.373	6.026
BC5	16	2.200	2.373	7.290
BC6	16	2.280	2.373	3.919
BC7	16	2.200	2.373	7.290
BC8	16	2.220	2.373	6.448
BC9	16	2.230	2.373	6.026
CCC-01	12	2.140	2.373	9.819
CCC-02	25	2.190	2.373	7.712
CCC-03	50	2.240	2.373	5.605
Observaciones: Los especímenes BC 1,2 y 3 se elaboraron para el ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall. Los especímenes CCC 01,02 y 03 se elaboraron para generar la curva de compactación de la mezcla. Los especímenes BC 4,5 y 6, BC 7,8 y 9 se elaboraron para el ensayo de TSR en condición húmeda y seca respectivamente				

Tabla 5-55: Resultados de porcentaje de vacíos para briquetas de mezcla asfáltica caliente de laboratorio.

5.2.3.1 PORCENTAJE DE VACÍOS DE AGREGADO MINERAL Y PORCENTAJE DE VACÍOS LLENOS DE ASFALTO.

		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE ASFALTOS DE CENTRO AMERICA			
		Solicitante: <u>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</u> Proyecto: <u>TRABAJO DE GRADUACION</u> Ubicación: <u>PLANTA ASFALTICA, ARMENIA, SONSONATE, KM 39 1/2</u> Fecha de: <u>-----</u> Muestreo: <u>-----</u> Material: <u>MEZCLA ASFALTICA CALIENTE (3/4" 30%, 3/8" 25%, A.T 45%, Asf. 5.3%)</u>			
PORCENTAJE DE VACÍOS EN AGREGADO MINERAL Y PORCENTAJE DE VACÍOS LLENOS DE ASFALTO					
Código de la Muestra	Gravedad Bulk (Kg/m ³)	% Vacios	% de asfalto	%VMA	%VFA
BC1	2.280	3.919	5.3	15.559	74.811
BC2	2.280	3.919	5.3	15.559	74.811
BC3	2.260	4.762	5.3	16.300	70.785
BC4	2.230	6.026	5.3	17.411	65.388
BC5	2.200	7.290	5.3	18.522	60.639
BC6	2.280	3.919	5.3	15.559	74.811
BC7	2.200	7.290	5.3	18.522	60.639
BC8	2.220	6.448	5.3	17.781	63.739
BC9	2.230	6.026	5.3	17.411	65.388
CCC-01	2.140	9.819	5.3	20.744	52.666
CCC-02	2.190	7.712	5.3	18.892	59.180
CCC-03	2.240	5.605	5.3	17.040	67.109
<p>Observaciones: Los especímenes BC 1,2 y 3 se elaboraron para el ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall.</p> <p>Los especímenes CCC 01,02 y 03 se elaboraron para generar la curva de compactación de la mezcla.</p> <p>Los especímenes BC 4,5 y 6, BC 7,8 y 9 se elaboraron para el ensayo de TSR en condición húmeda y seca respectivamente.</p> <p>La gravedad específica bulk de la combinación de agregados tiene un valor de 2.557</p>					

Tabla 5-56: Porcentaje de vacíos de agregado mineral y porcentaje de vacíos llenos de asfalto de mezcla asfáltica caliente de laboratorio.

5.2.3.2 RESISTENCIA AL FLUJO PLÁSTICO DE MEZCLAS BITUMINOSAS UTILIZANDO EL APARATO MARSHALL, ASTM D 6927-06, AASHTO T245-13.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MEZCLAS ASFALTICAS DE ASFALTOS DE CENTRO AMERICA					
	Solicitante: <u>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</u> Proyecto: <u>TRABAJO DE GRADUACION</u> Ubicación: <u>PLANTA ASFALTICA, ARMENIA, SONSONATE, KM 39 1/2</u> Fecha de Muestreo: <u>21-jul-14</u> Material: <u>MEZCLA ASFALTICA CALIENTE (3/4" 30%, 3/8" 25%, A.T 45%, Asf. 5.3%)</u>					
RESISTENCIA AL FLUJO PLASTICO DE MEZCLAS BITUMINOSAS UTILIZANDO EL APARATO MARSHALL ASTM D 1559-89						
BRIQUETA	VOL. (cm3)	CORRECCION POR VOLUMEN	FLUJO (mm)	CARGA MAXIMA (Lb)	ESTABILIDAD (Lb)	ESTABILIDAD CORREGIDA (Lb)
BC1	518.6	1.00	2.845	2316	2300	2300.00
BC2	524.2	0.96	2.972	2671	2080	1996.80
BC3	528.5	0.96	2.997	2371	2371	2276.16
PROMEDIO			2.938			2190.99
Observaciones: <u>De acuerdo con las especificaciones para la mezcla asfáltica caliente se esperaba un valor de estabilidad entre 1800 y 4500 lb.</u> <u>Mientras que para el valor de flujo es entre 2 y 4 mm.</u>						

Tabla 5-57: Resultados de estabilidad y flujo Marshall para briquetas de mezcla asfáltica caliente de laboratorio.

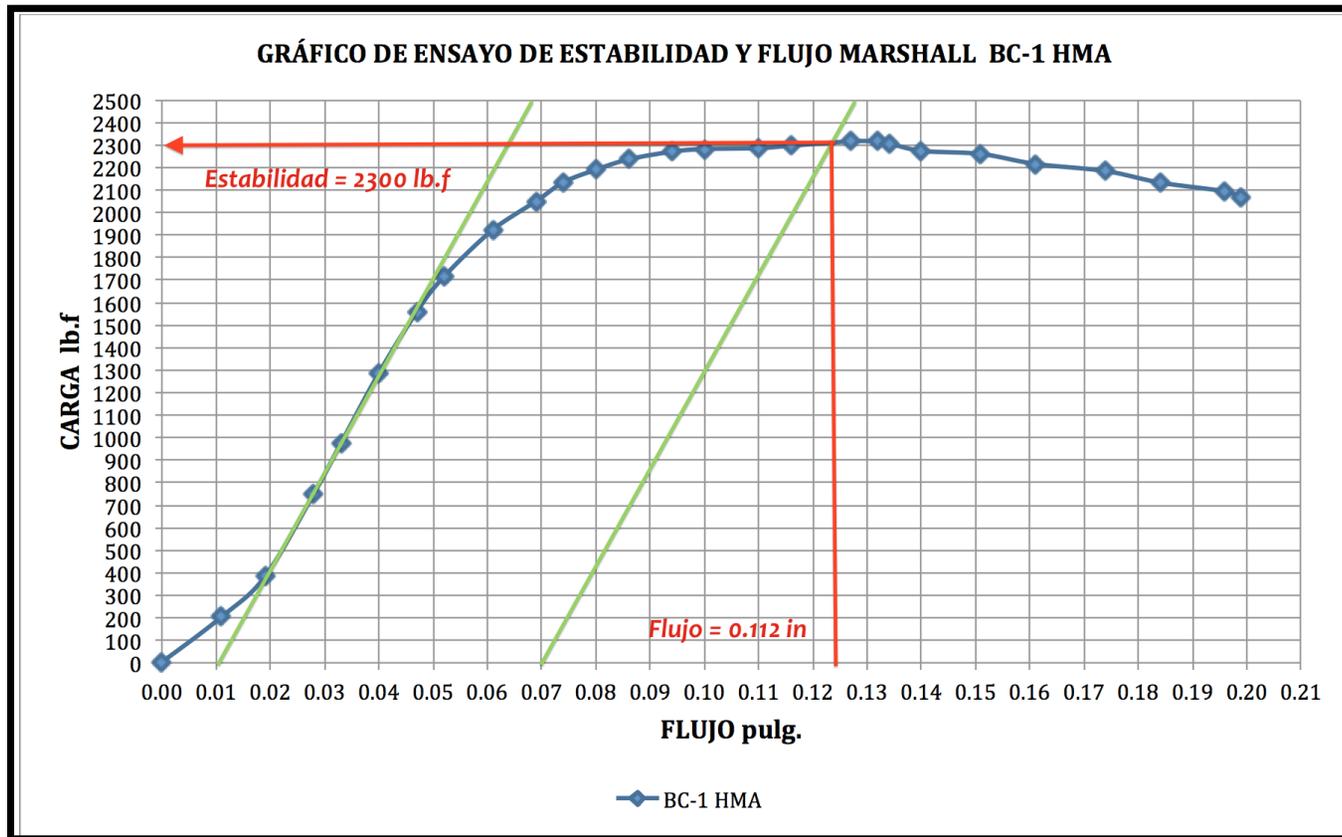


Figura 5-21: Gráfica de ensayo de estabilidad y flujo Marshall para briqueta BC-1, mezcla asfáltica caliente de laboratorio.

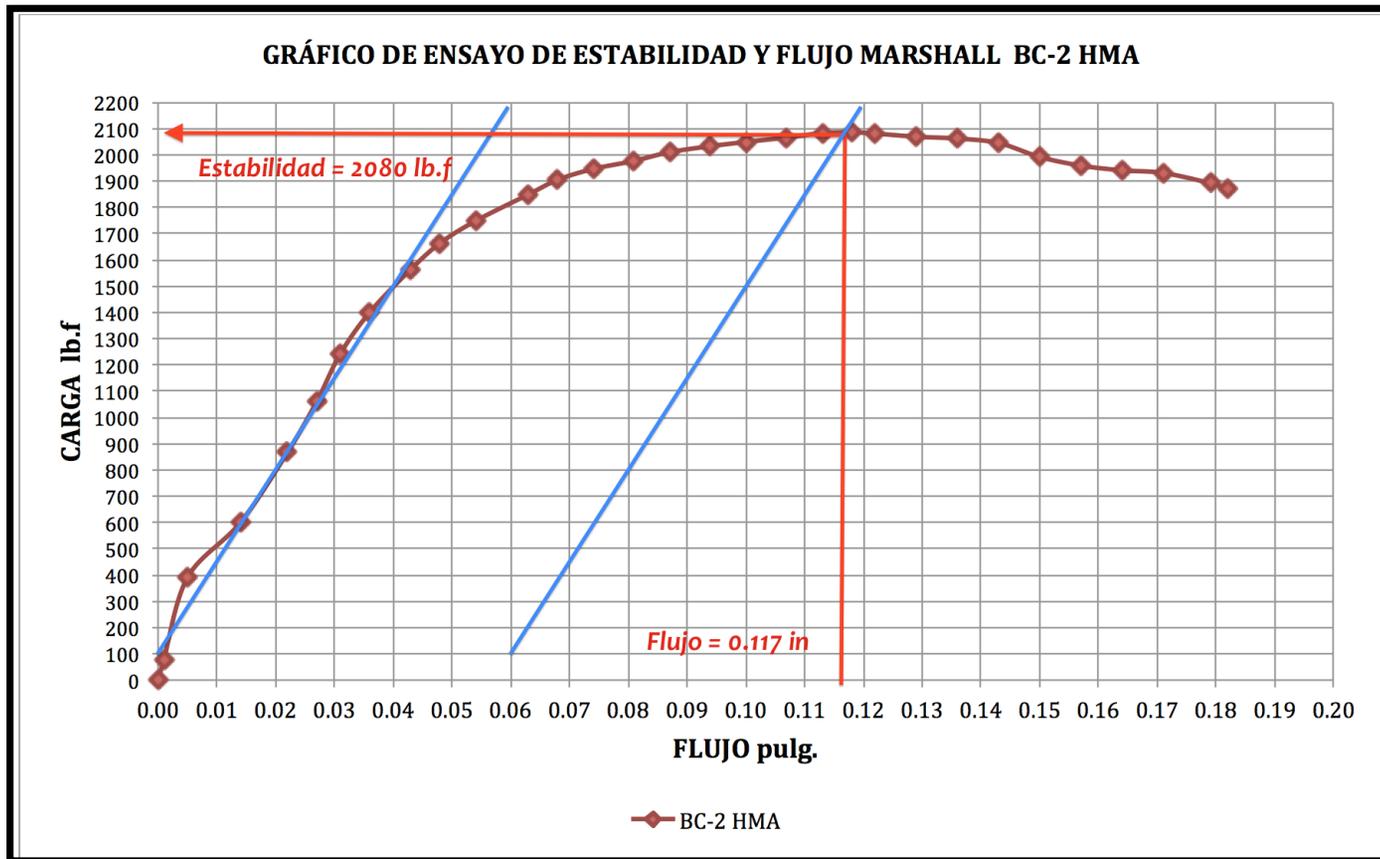


Figura 5-22: Grafica de ensayo de estabilidad y flujo Marshall para briqueta BC-2, mezcla asfáltica caliente de laboratorio.

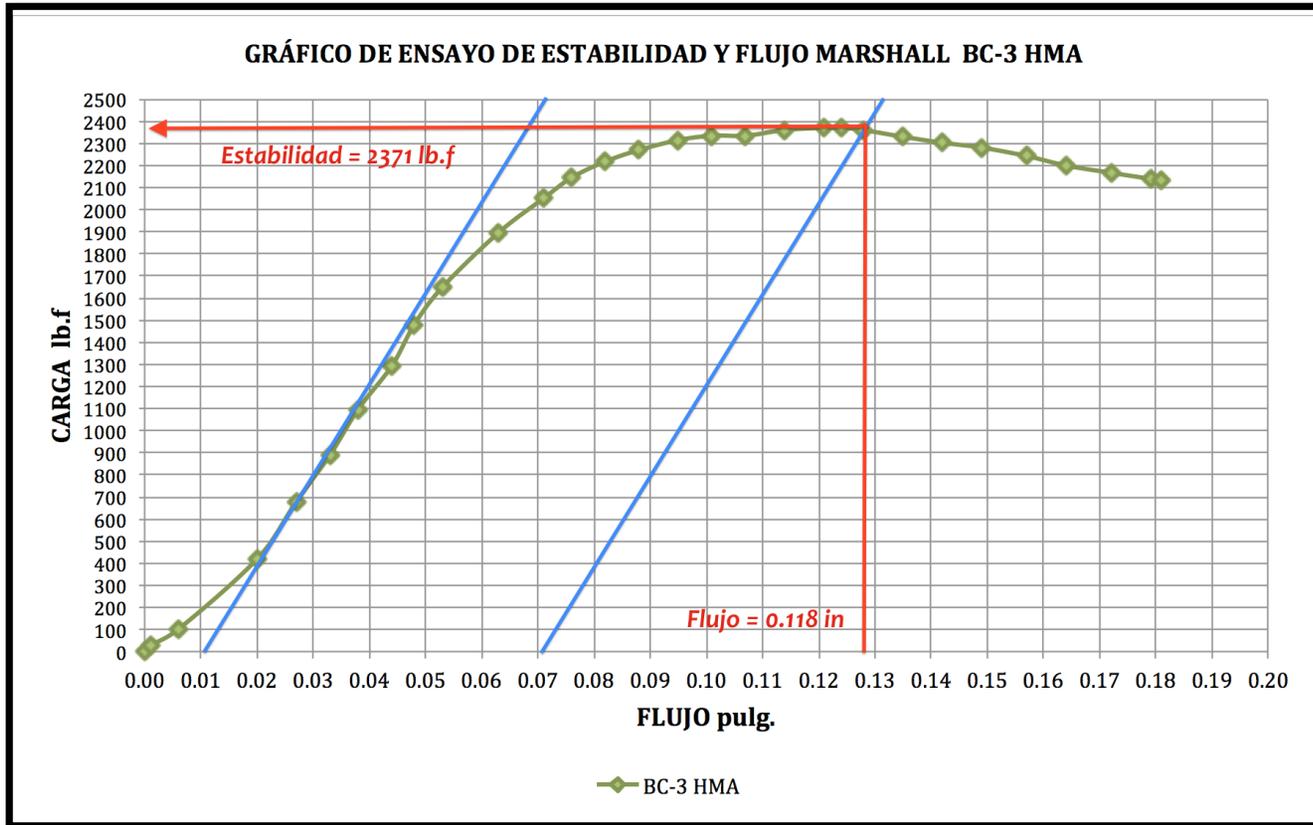


Figura 5-23: Grafica de ensayo de estabilidad y flujo Marshall para briqueta BC-3, mezcla asfáltica caliente de laboratorio.

5.2.3.3 EFECTO DE LA HUMEDAD SOBRE EL CONCRETO ASFÁTICO DE MEZCLAS PARA PAVIMENTOS ASTM D4867, AASHTO T283.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE ASFALCA SA de CV		Asfalca Asfalto de Centro America					
Solicitante:	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR						
Proyecto:	TRABAJO DE GRADUACION						
Ubicación:	PLANTA ASFALTICA, ARMENIA, SONSONATE, KM 39 1/2						
Fecha de Ensayo:	21 DE JULIO DE 2014						
Material:	MEZCLA ASFALTICA CALIENTE (3/4" 30%, 3/8" 25%, A.T 45%, Asf. 5.3%)						
EFECTO DE LA HUMEDAD SOBRE EL CONCRETO ASFALTICO DE MEZCLAS PARA PAVIMENTOS AASHTO T-283 (ASTM D-4867)							
PARAMETROS DE ANALISIS DE ENTRADA		MEZCLA DE CAMPO					
	COD	CONDICION SECA			CONDICIÓN HUMEDA		
N° de Especimen	N°	BC-07	BC-08	BC-09	BC-04	BC-05	BC-06
Diametro, (mm)	D	101.78	102.38	101.76	102.30	102.31	101.68
Espesor, (mm)	t	68.01	68.24	68.54	66.25	66.63	68.89
Peso Seco Aire, (grs)	A	1175.00	1194.70	1192.00	1181.10	1193.70	1171.40
Peso Saturado Superficialmente Seco, (grs)	B	1186.40	1207.30	1202.00	1187.60	1208.90	1185.00
Peso Sumergido, (grs)	C	653.40	668.30	666.80	657.70	666.80	651.90
Volumen del Especimen, (B - C)	E	533.00	539.00	535.20	529.90	542.10	533.10
Gravedad Especifica Bulk (Gmb), (A / E)	F	2.20	2.22	2.23	2.23	2.20	2.20
Gravedad Especifica Teorica Maxima, (Gmm)	G	2.373	2.373	2.373	2.373	2.373	2.373
% Vacios Aire (Va), (100*(G - F) / G)	H	7.10	6.59	6.14	6.07	7.21	7.40
Volumen de Vacios Aire, (H*E) / 100	J	37.85	35.54	32.88	32.18	39.07	39.46
Carga Resultante Especimenes en Seco, (lb-f)	P	2246.00	2317.00	2278.00			
Saturación a vacío parcial: (5 min a una presión de 20 in de Hg, en agua destilada a 25° C.)							
Especimen seleccionado		BC-04	BC-05	BC-06	NOTA: Las Especificaciones Tecnicas del Proyecto requieren un grado de Saturación del Especimen de 55 a 80% y un % de Va en los Especimenes de Prueba entre 6 a 8%.		
Peso Saturado Superficialmente Seco, (grs)	B'	1203.90	1223.50	1202.00			
Peso Sumergido, (grs)	C'	682.40	686.40	671.80			
Volumen del Especimen, (B'-C')	E'	521.50	537.10	530.20			
Volumen Agua Absorbida, (B'-A)	J'	22.80	29.80	30.60			
% Saturacion, (100 * (J') / J)		70.86	76.28	77.54			
% Hinchamiento (100 * (E' - E) / E)		-1.59	-0.92	-0.54			
Acondicionamiento en Condición Humeda: (Baño de María a 60° C por 24 h (140 F))							
Especimen seleccionado		BC-04	BC-05	BC-06	NOTA: Según la ASTM D-4867 en su Sección 8.9.1, un grado de Saturación Superior al 80%, despues del Acondicionamiento en Humedo por 24 h. a 60° C, es considerado como Aceptable.		
Espesor, plg	t''	2.61	2.70	2.71			
Peso Saturado Superficialmente Seco, (grs)	B''	1209.10	1228.90	1204.40			
Peso Sumergido, (grs)	C''	680.50	687.30	673.30			
Volumen (B''-C'')	E''	528.60	541.60	531.10			
Volumen Agua Absorbida (B''-A)	J''	28.00	35.20	33.00			
% Saturacion (100 J''/J)		87.02	90.10	83.62			
% Hinchamiento (100(E''-E)/E)		-0.25	-0.09	-0.38			
Carga Resultante Especimenes en Condición Humeda	P''	1678.00	1587.00	1499.00			
Calculo del TSR (Tensil Strength Ratio), Relación de Esfuerzo de Tensión=							
Código del especimen		BC-07	BC-08	BC-09	BC-04	BC-05	BC-06
Esfuerzo Especimenes en Seco (PSI), (2 * P / π * t * D)=	S _{sd}	133.27	136.21	134.15			
Esfuerzo Especimenes en Condición Humeda, (PSI) (2 * P'' / π * t'' * D)=	S _{sm}				101.62	92.90	87.97
Promedio de Esfuerzo Especimenes en Seco		134.54					
Promedio de Esfuerzo Especimenes en Condición Humeda		94.16					
Relación de Esfuerzo de Tension (TSR), (100 * (S _{sm} / S _{sd}))=		69.99		NOTA: Las Especificaciones Tecnicas del Proyecto requieren un valor de TSR igual o mayor al 75% para una HMA diseñada por el Metodo Marshall.			

Tabla 5-58: Resultado de TSR para briquetas de mezcla asfáltica caliente de laboratorio.

La siguiente curva de compactación fue elaborada para determinar la cantidad de golpes que requeridos para generar los especímenes de prueba para el ensayo de TSR. Como se muestra en la figura, fue necesario aplicar 16 golpes como energía de compactación para garantizar un porcentaje de vacíos entre 6 y 8%.

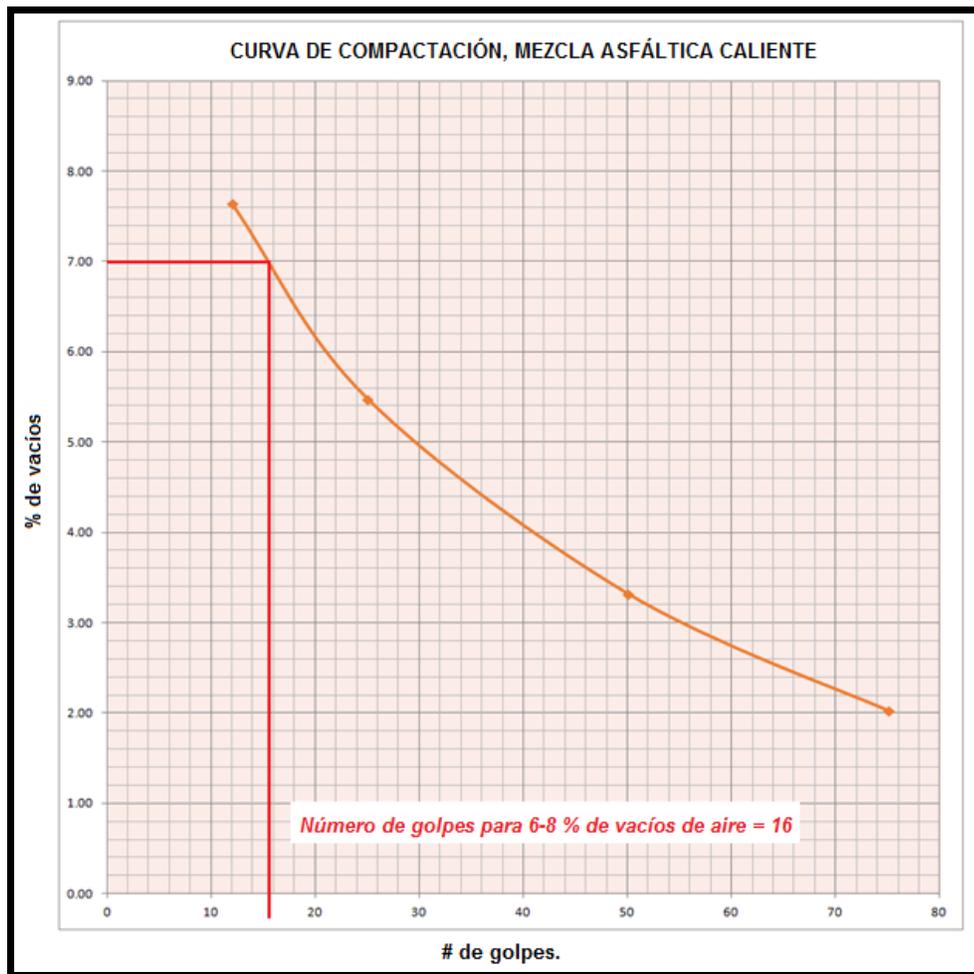


Figura 5-24: Curva de compactación para especímenes de mezcla asfáltica caliente de laboratorio.

5.3 RESUMEN DE RESULTADOS.

5.3.1 RESUMEN DE RESULTADOS DE CAMPO.

5.3.1.1 TABLA RESUMEN DE RESULTADOS EN ATEOS, LA LIBERTAD.

Area de Trabajo	Estacionamiento																																			
	Sección																																			
	Rango																																			
Resultados de Pruebas de Campo.	32+450			32+480			32+510			32+540			32+570			32+600			32+630			32+660			32+690			32+720			32+750			32+780		
	Sección 1						Sección 2						Sección 3						Sección 4																	
	0-100						100-200						200-300						300-375																	
Resultados de Pruebas de Campo.	Huella Ext.			Huella Int.			Huella Ext.			Huella Int.			Huella Ext.			Huella Int.			Huella Ext.			Huella Int.			Huella Ext.			Huella Int.								
	2.00			1.70			1.70			1.70			2.10			1.80			1.50			1.50														
	Promedio. 1.90						Promedio. 1.70						Promedio. 2.00						Promedio. 1.50																	
Información básica de núcleos extraídos en carretera CA-08 W.	Indice de Condición del Pavimento (P.C.I.)																																			
	Indice de Condición de Pavimento (escala cuantitativa): 92																																			
	Indice de Condición de Pavimento (escala cualitativa): EXCELENTE																																			
Resultados de Prueba de Laboratorio	Estacionamiento																																			
	Código de Especímenes																																			
	Espesor (mm)																																			
	Diámetro (mm)																																			
	Peso Seco al aire (g)																																			
	Gravedad Específica Bulk.																																			
	Porcentaje de Absorción.																																			
Gravedad Específica Teórica Máxima.																																				
Porcentaje de Vacíos de Aire.																																				
Porcentaje de Vacíos de Agregado Mineral (VMA).																																				
Porcentaje de Vacíos Llenos de Asfalto (VFA).																																				
Ensayo Utilizando																																				
Resistencia a la Tensión Indirecta																																				
Estabilidad (lb.f)																																				
Flujo (mm)																																				
Acond. Seco (Kpa)																																				
Acond. Humedo																																				
Porcentaje Relación																																				
Relación Hum/Seco: 88.60																																				
Relación Hum/Seco: 110.95																																				
Relación Hum/Seco: 216.26																																				
Relación Hum/Seco: 97.54																																				

Tabla 5-59: Cuadro resumen de resultados en ensayos de extracciones de núcleos del tramo de carretera CA08W, Ateos, La Libertad.

5.3.1.2 TABLA RESUMEN DE RESULTADOS EN SAN BARTOLO, ILOPANGO.

Area de Trabajo	Estacionamiento		0+290	0+290	0+290	0+450	0+450	0+450	0+610	0+610	0+610			
	Seccion		Sección 1			Sección 2			Sección 3		Sección 4			
	Rango		0 - 100			100 - 200			200 - 300		300 - 400			
Resultados de Pruebas de Campo.	Indice de Rugosidad Internacional (I.R.I)			Huella Int. 2.70	Huella Ext. 3.00		Huella Int. 2.80	Huella Ext. 3.10		Huella Int. 3.20	Huella Ext. 3.50		Huella Int. 3.20	Huella Ext. 3.10
	Indice de Condición del Pavimento (P.C.I)		Promedio. 3.00			Promedio. 3.00			Promedio. 3.40		Promedio. 3.20			
	Indice de Condición de Pavimento (escala cuantitativa): 77 Indice de Condición de Pavimento (escala cualitativa): Muy Bueno.													
Información básica de núcleos extraídos en carretera SAL02W.	Estacionamiento		0+290	0+290	0+290	0+450	0+450	0+450	0+610	0+610	0+610			
	Código de Especímenes		NC-11	NC-12	NC-13	NC-21	NC-22	NC-23	NC-31	NC-32	NC-33			
	Espesor (mm)		51.09	49.13	47.65	42.21	43.49	42.28	49.53	-----	48.40			
	Diámetro (mm)		100.85	101.13	100.78	100.85	101.00	100.78	101.03	-----	100.98			
	Peso Seco al aire (g)		890.10	852.90	829.30	737.30	755.50	731.80	886.00	-----	864.50			
Resultados de Prueba de Laboratorio.	Gravedad Específica Bulk		2.256	2.212	2.240	2.270	2.260	2.259	2.304	----	2.300			
	Gravedad Específica Bulk (promedio): 2.263													
	Porcentaje de Absorción.		1.52	1.06	1.57	1.94	2.03	1.27	0.60	----	0.29			
	Porcentaje de Absorción Promedio: 1.29%													
	Gravedad Específica Teórica Máxima.		Gravedad Específica Teórica Máxima (promedio): 2.424											
	Porcentaje de Vacíos de Aire.		6.931	8.746	7.591	6.353	6.766	6.807	4.950	----	5.116			
	Porcentaje de Vacíos de Aire (promedio): 6.660%													
	Porcentaje de Vacíos de Agregado Mineral (VMA).		15.712	17.356	16.310	15.189	15.562	15.600	13.918	----	14.068			
	Porcentaje de Vacíos de Agregado Mineral (promedio): 15.46%													
	Porcentaje de Vacíos Llenos de Asfalto (VFA).		55.887	49.608	53.457	58.173	56.523	56.365	64.436	----	63.634			
	promedio de Vacíos Llenos de Asfalto (promedio): 57.26%													
	Ensayo Utilizando Aparato Marshall	Estabilidad (lb.f)	2776.80			3847.83			3594.12		----			
		Flujo (mm)	3.940			3.150			4.240		----			
	Estabilidad Corregida (promedio): 3406.25													
	Flujo (promedio): 3.78													
Resistencia a la Tensión Indirecta (T.S.R)	Acond. Seco (Kpa)	124.49			143.49			----						
	Resistencia a Tensión Indirecta (acondicionamiento seco promedio): 188.99													
	Acond. Humedo (Kpa)	89.24			124.98			----		143.45				
	Resistencia a Tensión Indirecta (acondicionamiento humedo promedio): 119.22													
Porcentaje de Relación de Esfuerzo a la Tensión Indirecta Seca y Humeda (promedio): 88.98%														

Tabla 5-60: Cuadro resumen de resultados en ensayos de extracciones de núcleos del tramo de carretera SAL02W, San Bartolo, Ilopango.

5.3.2 RESUMEN DE RESULTADOS DE LABORATORIO.

Diseño Mezcla Asfáltica		Replica de Diseño de Laboratorio Mezclas Asfáltica Caliente (HMA).									Replica de Diseño de Laboratorio Mezclas Asfáltica Tibia (WMA).									
		Contenido de Asfalto:			5.30%						Contenido de Asfalto:			5.30%						
Agregados		T.M.N. (3/4")	30%	T.M.N. (3/8")	25%	Arena Trit.	45%	T.M.N. (3/4")	30%	T.M.N. (3/8")	25%	Arena Trit.	45%							
Información básica de briquetas elaboradas en laboratorio con diseño original para HMA/WMA.	Código de briquetas	*BC-1	*BC-2	*BC-3	**BC-4	**BC-5	**BC-6	**BC-7	**BC-8	**BC-9	*BT-1	*BT-2	*BT-3	***BT-4	***BT-5	***BT-6	***BT-7	***BT-8	***BT-9	
	Espesor (mm)	65.73	65.03	66.00	66.25	68.63	68.89	68.01	68.24	68.54	66.62	65.89	65.79	68.45	67.66	68.10	68.75	69.71	68.54	
	Diámetro (mm)	102.19	102.29	102.25	102.30	102.31	101.68	101.78	102.38	101.76	101.84	101.67	102.57	102.17	101.82	102.21	101.59	102.02	102.34	
	Peso Seco al aire (g)	1181.50	1196.50	1196.00	1181.10	1193.70	1171.40	1175.00	1194.70	1192.00	1182.30	1167.50	1183.70	1174.60	1187.10	1160.70	1172.60	1188.00	1184.50	
Resultados de Pruebas de Laboratorio.	Gravedad Específica Bulk.	2.28	2.28	2.26	2.23	2.20	2.20	2.20	2.22	2.23	2.27	2.26	2.22	2.20	2.22	2.19	2.20	2.19	2.19	
	Gravedad Específica Bulk (promedio): 2.23																			
	Porcentaje de Absorción.	1.04	0.57	0.91	1.23	2.80	2.55	2.14	2.34	1.87	1.05	0.93	2.03	2.76	1.87	3.55	3.53	3.90	3.89	
	Porcentaje de Absorción (promedio): 1.72																			
	Gravedad Específica Teórica Máxima.	2.361			2.379			2.379			2.380			2.380			2.376			
	Gravedad Específica Teórica Máxima (promedio): 2.373 %																			
	Porcentajes de Vacíos de Aire.	3.919	3.919	4.762	6.026	7.290	3.919	7.290	6.448	6.026	4.582	5.002	6.683	7.524	6.683	8.365	6.683	7.945	7.945	
	Porcentaje de Vacíos de Aire (promedio): 5.511%																			
	Porcentajes de Vacíos de Agregado Mineral (VMA).	15.26	15.26	16.00	17.12	18.23	18.23	18.23	17.49	17.12	15.63	16.00	17.49	18.23	17.49	18.61	18.23	18.61	18.61	
	Porcentaje de Vacíos de Agregado Mineral (promedio): 17.00%																			
	Porcentaje de Vacíos Llenos de Asfalto (VFA).	74.32	74.32	70.24	64.80	60.02	78.51	60.02	63.13	64.80	70.69	68.75	61.79	58.74	61.79	55.04	63.35	57.30	57.30	
	Porcentaje de Vacíos Llenos de Asfalto (promedio): 67.80%																			
	Ensayo Utilizando Aparato Marshall	Estabilidad (lb.f)	2300	1996.8	2276.16							2160	2000	2253.12						
		Est. Corregida (prom):	2190.99									2137.71								
Flujo (mm)		2.845	2.972	2.997							2.489	3.150	3.099							
Resistencia a la Tensión Indirecta (T.S.R.)	Acond. Seco (Kpa)							133.27	136.21	134.15							115.55	113.42	105.92	
	Prom: 134.543																			
	Acond. Humedo				101.62	92.9	87.97							70.89	81.5	69.69				
	Prom: 94.163																			
Porcentaje de Relación Humedo/Seco (promedio): 66.31%									Porcentaje de Relación Humedo/Seco (promedio): 69.99%											
* La elaboración de estos especímenes de mezcla asfáltica, se realizaron con una energía de compactación equivalente a 75 golpes proporcionada con martillo marshall estandar 10 lb de peso y una caída de 18 pulgadas.																				
** La elaboración de estos especímenes de mezcla asfáltica, se realizaron con una energía de compactación equivalente a 16 golpes proporcionada con martillo marshall estandar 10 lb de peso y una caída de 18 pulgadas.																				
*** La elaboración de estos especímenes de mezcla asfáltica, se realizaron con una energía de compactación equivalente a 22 golpes proporcionada con martillo marshall estandar 10 lb de peso y una caída de 18 pulgadas.																				

Tabla 5-61: Cuadro resumen de resultados en ensayos de laboratorio para replica de mezclas asfálticas tibia y caliente de laboratorio.

5.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En el siguiente apartado se muestra el análisis de los resultados de las pruebas de campo y de laboratorio efectuadas para esta investigación.

Dado que el objetivo de la investigación es establecer el desempeño de ambos tipos de carpeta de rodadura, es necesario establecer un método para la definición del desempeño de las mismas. Debido a la naturaleza de los datos considerados para la evaluación del desempeño, se ha considerado una metodología de carácter propio, que a través de un procedimiento lógico establece un grado de desempeño para ambas carpetas de rodadura, volviendo posible además, la comparación de estos resultados.

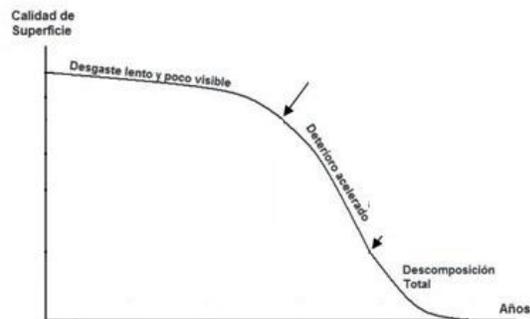
La descripción de este método se presenta a continuación.

5.4.1 METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LAS CARPETAS DE RODADURA DE MEZCLA ASFÁLTICA.

El desempeño deberá de entenderse como la calidad de la respuesta de la carpeta de rodadura en un determinado momento de su vida útil. La función de la carpeta de rodadura consiste en la transmisión de las cargas a las capas subyacentes, esto implica que la carpeta se somete diariamente a esfuerzos y deformaciones que gradualmente la deterioran debido a la fatiga. Este deterioro se hace visible en la disminución de la calidad de las propiedades iniciales de la carpeta de rodadura.

Las carreteras CA08W y SAL02W deben de tener como mínimo un periodo de diseño de 20 años. Pasado este tiempo la estructura entera del pavimento habrá sufrido un daño a tal grado que sea necesaria su reconstrucción total. La figura 5-25 es un ejemplo típico del modelo teórico de deterioro de un pavimento flexible; en ella se puede apreciar que una carretera se deteriora más rápido entre más daños tenga acumulados.

Todo lo anterior constituye la base de la metodología para la evaluación del desempeño. La gráfica demuestra que la calidad de la carpeta asfáltica disminuye con el tiempo, sin embargo los diseñadores planifican un determinado periodo de duración.



Fuente: Propia.

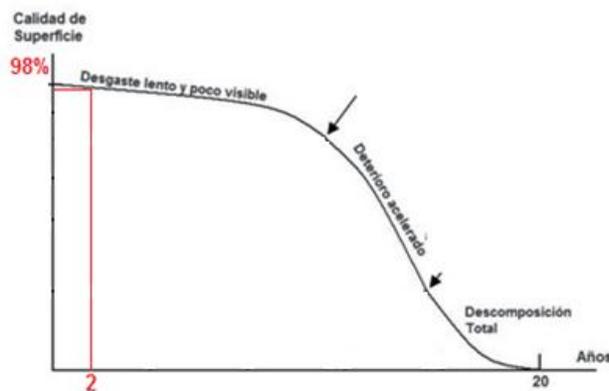
Figura 5-25: Ejemplo teórico del modelo de deterioro de un pavimento flexible.

Como consideración inicial, se asume que la vida útil de la carpeta de rodadura es igual al período de diseño del pavimento, es decir 20 años. Al ver la figura 5-25, es evidente que no se le puede exigir a la carpeta de rodadura que conserve sus propiedades iniciales durante todo el tiempo planificado para su vida útil, sin embargo si se le puede exigir que conserve un porcentaje determinado de estas propiedades iniciales. Si en cualquier punto del tiempo de su vida útil las propiedades de la carpeta no conservan el porcentaje esperado por el diseñador, se podrá deducir que la carpeta no cumplirá con el periodo de vida útil planificado.

Por lo anterior para esta investigación el grado de desempeño de la carpeta de rodadura, en cierto punto del tiempo de su vida útil, será definido por el porcentaje que conserve de sus propiedades esperadas para ese determinado momento y representará la calidad de la respuesta ante los esfuerzos a los que se somete diariamente, donde al conservar el 100% de sus propiedades esperadas garantizará un desempeño de excelente grado pues la respuesta de la carpeta de rodadura será la prevista por su diseñador.

Para la obtención de los valores esperados de cada propiedad, es necesario el uso del modelo de deterioro propio de cada una de las carreteras en evaluación (CA08W y SAL02W). Sin embargo, estos modelos no se encuentran disponibles, lo que vuelve necesaria su elaboración. Debido a las limitantes de esta investigación, no se ha elaborado un modelo de deterioro para cada una de los tramos de carretera en estudio. Por lo anterior, las siguientes consideraciones fueron hechas para la obtención de los valores esperados de cada propiedad:

- La tendencia típica de todos los modelos de deterioro de pavimentos flexibles, manifiesta que este es mínimo al menos en los primeros cinco años de su vida. Por ello, los valores esperados transcurridos dos años desde la apertura al tráfico, no han de variar significativamente de los valores iniciales.
- Como una guía del uso de los modelos de deterioro para la obtención de valores esperados, se ha utilizado la figura 5-26. Al plotear el punto para dos años de edad, puede apreciarse que el valor esperado debiera ser al menos un 98% del valor de la propiedad inicial. Por lo anterior, el valor esperado será el 98% de las propiedades iniciales reportadas para cada tramo (ver figura 5-26).



Fuente: Propia.

Figura 5-26: Ejemplo del uso de los modelos de deterioro para la determinación de valores esperados.

- La figura 5-25, representa un modelo de deterioro típico para un pavimento flexible. Para la obtención de los valores esperados es necesario el uso de una gráfica de alta exactitud y que esté de acuerdo con la importancia y vida útil del pavimento en cuestión (para los tramos en evaluación se asumen 20 años). Debido a la edad temprana de la evaluación, se justifica el uso de esta gráfica, pues a edades tempranas el deterioro de las carpetas es insignificante.

Al tomar en cuenta las anteriores consideraciones, se procede a la determinación del grado de desempeño. Para ello, se ha creado la siguiente escala (figura 5-27). Se calculará primero el valor esperado, para posteriormente obtener el porcentaje de calidad de la repuesta del la carpeta ante las cargas que reciba. Una vez obtenido este valor numérico se procederá a ubicarse en la escala grafica para obtener el grado de desempeño de esa propiedad.

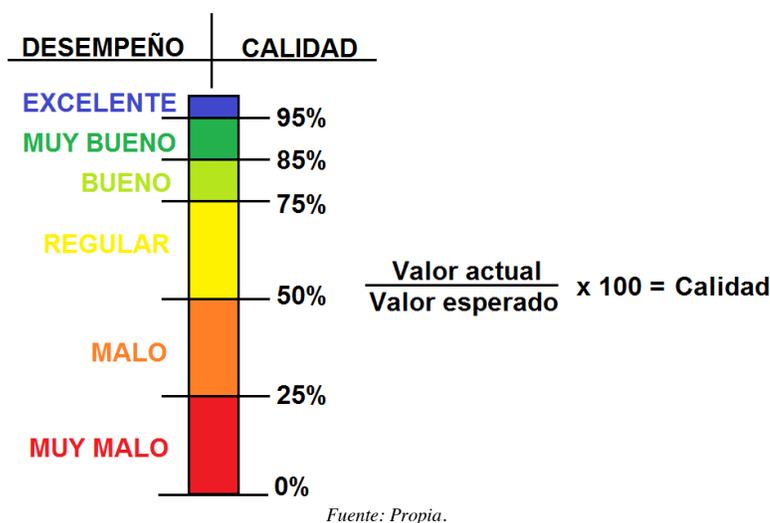


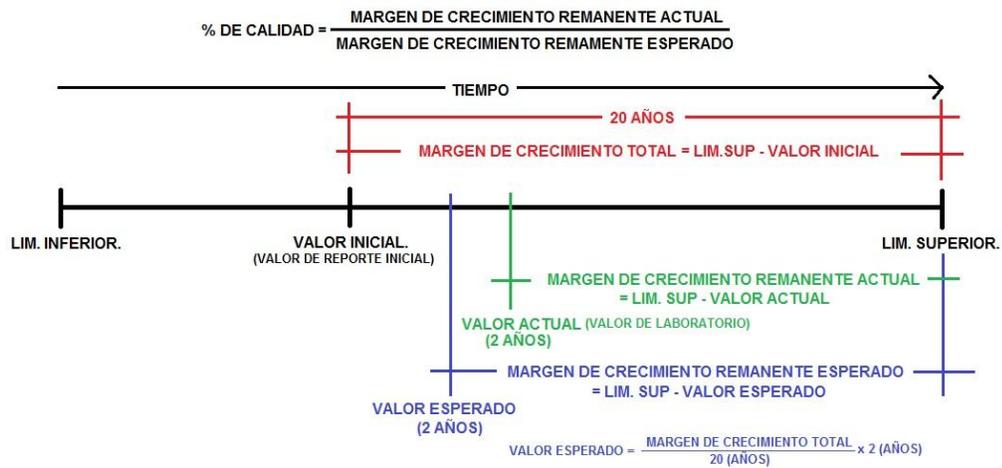
Figura 5-27: Escala del desempeño de la carpeta de rodadura considerada para ambos tramos en estudio.

5.4.1.1 CASOS EXCEPCIONALES.

La metodología antes establecida, se basa en el hecho de que el valor de ciertas propiedades de la carpeta de rodadura disminuye con el tiempo. Sin embargo, existen

parámetros de calidad que cuyo valor aumenta con el paso del tiempo, además que el incremento de este valor indica un decremento en la calidad de la carpeta. Por ello, no es posible calcular la calidad de la respuesta de la manera antes planteada.

Los parámetros excepcionales son el índice de rugosidad internacional y el porcentaje de vacíos de la mezcla. El procedimiento para la determinación de este valor se basa en el rango de valores máximo y mínimo que el parámetro en cuestión debiera alcanzar durante su vida útil. Al inicio de la vida de la carpeta estos parámetros poseen un margen que los separa de su límite superior. Dado que estos son parámetros que con el paso del tiempo solo pueden incrementar, deberán crecer (durante toda la vida útil de la carpeta) sólo lo que el margen establezca para poder tener un desempeño excelente.



Fuente: Propia.

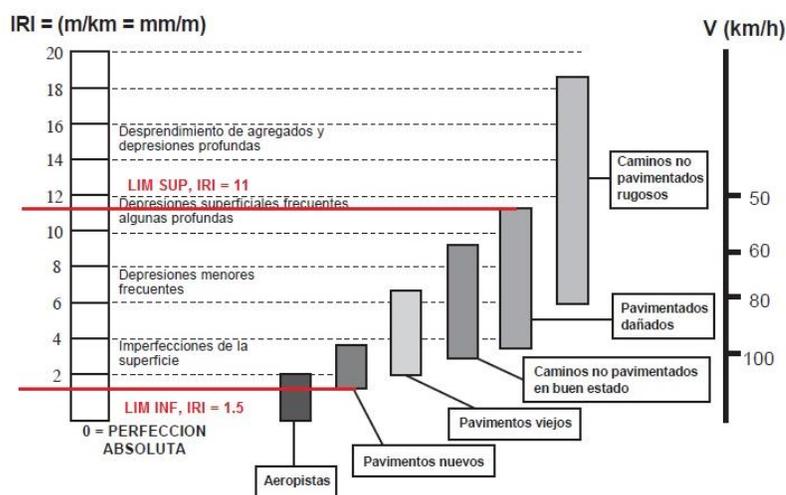
Figura 5-28: Metodología considerada para cálculo de porcentaje de calidad para casos excepcionales.

La figura 5-28, esquematiza el procedimiento de cálculo del porcentaje de calidad para los casos excepcionales, como el IRI y el porcentaje de vacíos. Es importante notar que para estos casos la lógica se invierte, y lo importante no es el valor que se tenga

reportado o que provenga del laboratorio, si no el margen de crecimiento que todavía tiene la propiedad en cuestión. Este margen constituye la base de este procedimiento.

Una vez obtenido el porcentaje de calidad, se procede a utilizar la escala de la figura 5-27 para establecer el grado de desempeño de la carpeta de rodadura en lo que respecta a la propiedad en cuestión.

En lo referente al índice de rugosidad internacional (IRI), es necesario mencionar que no se reportó un valor inicial de este parámetro para ambos tramos, mucho menos se posee un valor máximo o mínimo proveniente de algún tipo de reporte. Por lo que se ha utilizado el siguiente gráfico del Banco Mundial para establecer el valor máximo y mínimo de IRI que debieran tener estos tramos de carretera dada su importancia, desde su apertura al tráfico hasta el final de su vida útil (20 años).



Fuente: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras, SIECA 2010.

Figura 5-29: Gráfico del Banco Mundial para establecimiento de valores inicial y final teóricos de IRI.

Como se puede apreciar en el gráfico, se consideró que los tramos de carretera sobre la CA08W y la SAL02W, tuvieron un valor de IRI inicial de 1.5 y que luego de 20 años (final de su vida útil) alcanzará un valor de IRI de 11.

5.4.2 DESEMPEÑO DE LAS CARPETAS DE RODADURA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN ESTUDIO.

De acuerdo con el apartado 5.5.1 es necesario disponer de las propiedades iniciales y actuales de las mezclas asfálticas tibia y caliente colocadas en los tramos de estudio.

Inicialmente se pretendió que las propiedades iniciales fuesen tomadas a partir de los resultados de los ensayos de laboratorio de la mezcla asfáltica hecha en laboratorio, cuyo propósito fue replicar las propiedades iniciales de laboratorio. Sin embargo, los valores obtenidos de estos ensayos se encuentran muy por debajo de los valores actuales obtenidos de los núcleos extraídos en campo. Por lo que no se pueden considerar estos resultados para el establecimiento del desempeño de las mezclas asfálticas. Sin embargo, se presenta un análisis de estos resultados en el apartado 5.5.4.

Por lo anterior, para la selección de las propiedades iniciales, se utilizó la información presentada en el Capítulo IV, donde para ambas carpetas de rodadura se presentan las propiedades volumétricas y estructurales obtenidas para las mezclas al momento de su colocación, reportados por los fabricantes de ambos tramos de carpeta de rodadura. Los valores iniciales para IRI y PCI se han considerado de 1.5 y 100 respectivamente, pues no se tienen valores iniciales reportados.

En cuanto a los valores actuales se han utilizado los valores obtenidos de las evaluaciones de campo y laboratorio presentadas en los apartados anteriores de este capítulo. Los resultados se han tomado de las tablas 5-59 y 5-60.

Para la mezcla asfáltica tibia no se pudieron utilizar valores promedio para el análisis de desempeño, debido a que cada sección tuvo diferentes temperaturas de compactación. Por lo anterior se decidió utilizar los valores de la sección 1 (0-100 metros), debido a que mostró resultados congruentes en todos sus ensayos y se considera que no coloca en ventaja a la mezcla asfáltica tibia con respecto a la mezcla asfáltica caliente.

5.4.2.1 CUADRO DE ESTABLECIMIENTO DE DESEMPEÑO POR PROPIEDAD PARA LA CARPETA DE RODADURA SOBRE CA08W, ATEOS LA LIBERTAD.

		Reportes Actuales (propiedades promedios)		Tolerancias para Mezclas Asfálticas Tibia		Reportes Iniciales (propiedades iniciales)		Reportes Deseados (propiedades esperadas)		Porcentaje de Calidad (Prop. Actuales/Prop Esperada)*100		Grado de Desempeño de la Carpeta de Rodadura	
		Nucleos de Mezcla Asfáltica Tibia		MIN	MAX	Nucleos de Mezcla Asfáltica Tibia		Nucleos de Mezcla Asfáltica Tibia		Nucleos de Mezcla Asfáltica Tibia			
Pruebas de Campo.	Indice de Rugosidad Internacional (I.R.I)	1.77		1.5	11	1.5		2.45		107.95%		EXCELENTE	
	Indice de Condición del Pavimento	92	Excelente	80-100	Excelente	80-100	Excelente	80-100	Excelente	93.88%	MUY BUENO	MUY BUENO	
Resultados de Pruebas de Laboratorio	Gravedad Específica Bulk	2.301		----	----	2.304		2.257		101.95%		EXCELENTE	
	Porcentaje de Absorción	0.52%		----	----	0.36%		0.35%		148.57%		EXCELENTE	
	Gravedad Específica Teórica Máxima	2.434		----	----	2.391		2.343		103.88%		EXCELENTE	
	Porcentaje de Vacíos de Aire	5.48%		3.00%	5.00%	3.7		3.83%		0.00%*		MUY MALO	
	Porcentaje de Vacíos de Agregado Mineral (VMA).	13.95%		13%	----	13.80%		13.52%		103.18%		EXCELENTE	
	Porcentaje de Vacíos Llenos de Asfalto (VFA).	60.77%		65%	75%	73.50%		72.03%		84.37%		BUENO	
	Ensayo Utilizando Aparato Marshall	Estabilidad (Ib.f)	3500.94		1800	4500	3494		3424.12		102.24%		EXCELENTE
		Flujo (mm)	3.300		2.00	4.00	3.5		3.43		96.21%		EXCELENTE
	Resistencia a la Tensión Indirecta (T.S.R)	Acond. Seco (Kpa)	169.95		----	----	----		----		----		
		Acond. Humedo (Kpa)	150.59		----	----	----		----		----		
Porcentaje Relación Hum/Seco		88.60%		75.00%	----	87.68%		85.93%		103.12%		EXCELENTE	

*El resultado del porcentaje de calidad para esta propiedad tuvo un valor negativo. Por ello su valor se reporta como 0.00%

Tabla 5-62: Cuadro comparativo de propiedades esperadas con propiedades actuales para tramo CA08W, Ateos La libertad.

5.4.2.2 CUADRO DE ESTABLECIMIENTO DE DESEMPEÑO POR PROPIEDAD PARA LA CARPETA DE RODADURA SOBRE, SAN BARTOLO ILOPANGO.

Pruebas de Campo.	Indice de Rugosidad Internacional (I.R.I)	Reportes Actuales (propiedades promedios)		Tolerancias para Mezclas Asfálticas Calientes		Reportes Iniciales (propiedades iniciales)		Reportes Deseados (propiedades esperadas)		Porcentaje de Calidad (Prop. Actuales/Prop Esperada)*100		Grado de Desempeño de la Carpeta de Rodadura	
		Nucleos de Mezcla Asfáltica Caliente		MIN	MAX	Nucleos de Mezcla Asfáltica Caliente		Nucleos de Mezcla Asfáltica Caliente		Nucleos de Mezcla Asfáltica Caliente			
		3.15		1.5	11	1.5		2.45		91.81%		MUY BUENO	
	Indice de Condición del Pavimento	77	Muy Bueno	80	100	80-100	Excelente	80-100	Excelente	78.57%	BUENO	BUENO	
Resultados de Prueba de Laboratorio	Gravedad Específica Bulk	2.263		----	----	2.304		2.26		100.13%		EXCELENTE	
	Porcentaje de Absorción	1.29%		----	----	----		----		----		----	
	Gravedad Específica Teórica Máxima	2.424		----	----	2.408		2.36		102.71%		EXCELENTE	
	Porcentaje de Vacíos de Aire	6.66%		3.00%	5.00%	4.30%		4.37%		0.00%		MUY MALO	
	Porcentaje de Vacíos de Agregado Mineral (VMA).	15.46%		13%	----	13.90%		13.62%		113.51%		EXCELENTE	
	Porcentaje de Vacíos Llenos de Asfalto (VFA).	57.26%		65%	75%	69%		67.62%		84.68%		BUENO	
	Ensayo Utilizando Aparato Marshall	Estabilidad (lb.f)	3406.25		1800	4500	3217		3152.66		108.04%		EXCELENTE
		Flujo (mm)	3.78		2.00	4.00	2.844		2.79		135.48%		EXCELENTE
	Resistencia a la Tensión Indirecta (T.S.R)	Acond. Seco (Kpa)	188.99		----	----	----		----		----		----
		Acond. Humedo (Kpa)	119.22		----	----	----		----		----		----
Porcentaje Relación Hum/Seco		88.98		75.00%	----	99.25%		97.27%		91.48%		MUY BUENO	

*El resultado del porcentaje de calidad para esta propiedad tuvo un valor negativo. Por ello su valor se reporta como 0.00%

Tabla 5-63: Cuadro comparativo de propiedades esperadas con propiedades actuales para tramo SAL02W, San Bartolo Ilopango.

5.4.3 EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DESEMPEÑO DE MEZCLAS.

5.4.3.1 CUADRO COMPARATIVO DE DESEMPEÑO POR PROPIEDAD DE CARPETAS DE RODADURA EXISTENTES.

		Reportes Actuales (propiedades promedios)	Grado de Desempeño de la Carpeta de Rodadura de Mezcla Asfáltica Caliente	Reportes Actuales (propiedades promedios)	Grado de Desempeño de la Carpeta de Rodadura de Mezcla Asfáltica Tibia	
		Nucleos de Mezcla Asfáltica Caliente		Nucleos de Mezcla Asfáltica Tibia		
Pruebas de Campo.	Indice de Rugosidad Internacionala (I.R.I)	3.15	MUY BUENO	1.77	EXCELENTE	
	Indice de Condición del Pavimento	77	BUENO	92	MUY BUENO	
Resultados de Prueba de Laboratorio	Gravedad Especifica Bulk	2.263	EXCELENTE	2.301	EXCELENTE	
	Gravedad Especifica Teórica Máxima	2.424	EXCELENTE	2.434	EXCELENTE	
	Porcentaje de Vacíos de Aire	6.66%	MUY MALO	5.48%	MUY MALO	
	Porcentaje de Vacíos de Agregado Mineral (VMA).	15.46%	EXCELENTE	13.95%	EXCELENTE	
	Porcentaje de Vacíos Llenos de Asfalto (VFA).	57.26%	BUENO	60.77%	BUENO	
	Ensayo Utilizando Aparato Marshall	Estabilidad (lb.f)	3406.25	EXCELENTE	3500.94	EXCELENTE
		Flujo (mm)	3.78	EXCELENTE	3.300	EXCELENTE
	Resistencia a la Tensión Indirecta (T.S.R)	Acond. Seco (Kpa).	188.99	----	169.95	----
		Acond. Humedo (Kpa).	119.22	----	150.59	----
		Porcentaje Relación Hum/Seco.	88.98%	MUY BUENO	88.60%	EXCELENTE

Tabla 5-64: Cuadro comparativo de desempeños de carpeta de rodadura de mezcla asfáltica tibia y caliente.

5.4.3.2 ANÁLISIS DE LOS DIFERENTES DESEMPEÑOS PARA AMBAS CARPETAS DE RODADURA.

5.4.3.2.1 ANÁLISIS SUPERFICIAL.

Los parámetros superficiales que se utilizaron para realizar las pruebas de campo de las cuales se obtuvieron los valores de IRI y PCI, revelaron que el tramo de carretera construido con mezcla asfáltica caliente fue más susceptible al deterioro en el periodo de estudio, por lo que la evaluación de desempeño demostró que el tramo de carretera construida con mezcla asfáltica tibia, posee una mejor calificación, lo que se traduce en un desempeño superficial superior.

5.4.3.2.2 ANÁLISIS INTERNO.

Los parámetros internos que determinan la excelencia en la carpeta de rodadura fueron evaluados de la misma manera y bajo las mismas condiciones para ambos tipos de mezcla asfáltica, dando como resultado una mejor respuesta por parte de la carpeta de rodadura con mezcla asfáltica tibia, en uno de los ensayos de laboratorio donde se evaluaron las propiedades internas. En base a los resultados se puede afirmar que el desempeño de la carpeta de rodadura de mezcla asfáltica tibia en estudio fue ligeramente superior.

5.4.3.2.3 ANÁLISIS GLOBAL DE DESEMPEÑO DE LAS CARPETAS DE RODADURA.

Hasta este punto se ha establecido un grado de desempeño para cada una de las propiedades de las carpetas de rodadura en evaluación. Puede compararse cada una de las propiedades por medio del grado de desempeño establecido para cada una. Sin embargo, para obtener un grado de desempeño global se han establecido los siguientes criterios en base a la importancia de cada una de las propiedades. **La metodología considerada a continuación, forma parte de las consideraciones de carácter propio hechas para la evaluación del desempeño de los tramos en evaluación.**

Cada propiedad ha recibido un valor ponderativo que permite reunir en un valor final la calidad del desempeño de la carpeta de rodadura en cuestión.

Grado de Desempeño Individual	Puntuación Individual
EXCELENTE	10
MUY BUENO	9
BUENO	7.5
REGULAR	5.5
MALO	3.5
MUY MALO	1.5

Fuente: Propia.

Tabla 5-65: Cuadro considerado para la puntuación individual de cada propiedad de la carpeta de rodadura de mezcla asfáltica.

	Propiedades de la Mezcla Asfáltica		Ponderación Establecida	
PROPIEDADES SUPERFICIALES	Índice de Rugosidad Internacional (I.R.I)		20%	40%
	Índice de Condición del Pavimento		20%	
PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS	Gravedad Específica Bulk		4%	20%
	Gravedad Específica Teórica Máxima		4%	
	Porcentaje de Vacíos de Aire		4%	
	Porcentaje de Vacíos de Agregado Mineral (VMA).		4%	
	Porcentaje de Vacíos Llenos de Asfalto (VFA).		4%	
PROPIEDADES ESTRUCTURALES	Ensayo Utilizando Aparato Marshall	Estabilidad (lb.f)	15%	40%
		Flujo (mm)	10%	
	Resistencia a la Tensión Indirecta (T.S.R)	Porcentaje Relación Hum/Seco.	15%	
TOTAL			100%	100%

Fuente: Propia.

Tabla 5-66: Ponderaciones por propiedad consideradas para el establecimiento del desempeño global.

Cada propiedad recibirá una puntuación a partir del grado de desempeño mostrado (ver tabla 5-65). Esta será referenciada a un porcentaje de la calidad total de acuerdo con la ponderación establecida para cada propiedad (ver tabla 5-66). Obtenidos los porcentajes referenciados a la totalidad, se sumarán para obtener el porcentaje de calidad total. Una vez establecido este porcentaje, se llevará a la escala de la figura 5-27 para establecer el grado de desempeño global de la carpeta de rodadura.

Los resultados del procedimiento anteriormente planteado se muestran a continuación.

	Propiedades de la Mezcla Asfáltica		MEZCLA ASFÁLTICA CALIENTE, SAL02W, SAN BARTOLO ILOPANGO.				MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA, CA08W, ATEOS LA LIBERTAD			
			Grado de desempeño por propiedad	Puntuación Individual	Ponderación en la calidad total	Porcentaje Global de Calidad	Grado de desempeño por propiedad	Puntuación Individual	Ponderación en la calidad total	Porcentaje Global de Calidad
PROPIEDADES SUPERFICIALES	Índice de Rugosidad Internacional (I.R.I.)		MUY BUENO	9	20%	18.00	EXCELENTE	10	20%	20.00
	Índice de Condición del Pavimento		BUENO	7.5	20%	15.00	MUY BUENO	9	20%	18.00
PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS	Gravedad Específica Bulk		EXCELENTE	10	4%	4.00	EXCELENTE	10	4%	4.00
	Gravedad Específica Teórica Máxima		EXCELENTE	10	4%	4.00	EXCELENTE	10	4%	4.00
	Porcentaje de Vacíos de Aire		MUY MALO	1.5	4%	0.60	MUY MALO	1.5	4%	0.60
	Porcentaje de Vacíos de Agregado Mineral (VMA).		EXCELENTE	10	4%	4.00	EXCELENTE	10	4%	4.00
	Porcentaje de Vacíos Llenos de Asfalto (VFA).		BUENO	7.5	4%	3.00	BUENO	7.5	4%	3.00
PROPIEDADES ESTRUCTURALES	Ensayo Utilizando Aparato Marshall	Estabilidad (lb.f)	EXCELENTE	10	15%	15.00	EXCELENTE	10	15%	15.00
		Flujo (mm)	EXCELENTE	10	10%	10.00	EXCELENTE	10	10%	10.00
	Resistencia a la Tensión Indirecta (T.S.R)	Porcentaje Relación Hum/Seco.	MUY BUENO	9	15%	13.50	EXCELENTE	10	15%	15.00
TOTAL					100%	87.10			100%	93.60
GRADO DE DESEMPEÑO GLOBAL			MUY BUENO				MUY BUENO			

Tabla 5-67: Desempeño establecido para las carpetas de rodadura de mezclas asfálticas de campo.

5.4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE MEZCLA DE LABORATORIO.

5.4.4.1 CUADRO COMPARATIVO DE PROPIEDADES DE MEZCLAS DE LABORATORIO.

		Promedios		Tolerancias		$\Delta = \text{MAT} - \text{MAC} $	$\% = \text{MAT} / \text{MAC} * 100$	
		Briquetas Calientes	Briquetas Tibias	MIN	MAX			
Resultados de Pruebas de Laboratorio.	Gravedad Específica Bulk	2.23	2.22	----	----	-0.010	99.552	
	Porcentaje de Absorción	1.72	2.61	----	----	0.890	151.744	
	Gravedad Específica Teórica Máxima	2.373	2.379	----	----	0.006	100.253	
	Porcentajes de Vacíos de Aire	5.51%	6.82%	3.00%	5.00%	0.013	123.825	
	Porcentaje de Vacíos de Agregado Mineral (VMA).	17.00%	17.66%	13%	----	0.007	103.882	
	Porcentaje de Vacíos Llenos de Asfalto (VFA).	67.80%	61.64%	65%	75%	-0.062	90.914	
	Ensayo Utilizando Aparato Marshall	Estabilidad (lb.f)	2190.99	2137.71	1800	4500	-53.280	97.568
		Flujo (pulg.)	2.938	2.913	2.00	4.00	-0.025	99.149
	Resistencia a la Tensión Indirecta (T.S.R.)	Acond. Seco (Kpa)	134.543	111.63	----	----	-22.913	82.970
		Acond. Humedo (Kpa)	94.163	74.026	----	----	-20.137	78.615
		Porcentaje Relación Hum./Seco	66.31%	69.99%	----	----	0.037	105.550

Tabla 5-68: Cuadro comparativo de especímenes elaborados en laboratorio de mezclas asfáltica tibia y caliente.

5.4.4.2 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS DE LABORATORIO.

En primer lugar se pretendió realizar una comparación de las propiedades actuales presentes en cada uno de los tramos de mezcla asfáltica (tibia y caliente) con las propiedades obtenidas a partir de especímenes fabricados en laboratorio con el mismo diseño. Sin embargo, esta comparación no se pudo elaborar, puesto que los resultados obtenidos para los especímenes elaborados en laboratorio mostraron resultados que diferían demasiado de los reportados inicialmente por las empresas fabricantes.

Entre las causas que no permitieron esta comparación, se puede mencionar que los especímenes nuevos fueron creados en un ambiente seguro que permitía manejar a precisión las cantidades de agregado y asfalto, de la misma manera que se podía controlar la temperatura de mezclado y compactación para ambos tipos de mezcla asfáltica.

Por otro lado se dificulta replicar en un 100% el diseño de mezcla asfáltica si no se cuenta con la misma calidad de agregados y la misma calidad de asfalto; aunque se contó con agregados de la misma procedencia y del mismo tipo de asfalto, se conocía con anticipación que ambos materiales poseerían cualidades y características diferentes a las originales, por ende no se pudo replicar en un 100% de diseño.

Pese a todo lo anterior, el trabajo efectuado en la mezcla de laboratorio no se puede considerar como despreciable, pues se cuenta con mezclas asfálticas elaboradas bajo las mismas condiciones y los mismos agregados pétreos, variando únicamente en el tipo de asfalto. En la tabla 5-68 se observan valores promedio de los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos realizados a los especímenes de mezcla asfáltica tibia como de mezcla asfáltica caliente. También se muestra el valor de la diferencia que existe entre los promedios de cada uno de los especímenes, en cada uno de ensayos de laboratorio respectivos, realizados a los dos tipos de mezcla asfáltica.

Finalmente, para elaborar un análisis comparativo, la tabla proporciona un porcentaje que muestra la relación existente entre la mezcla asfáltica tibia y la mezcla asfáltica caliente. Los resultados de la relación exponen que para toda propiedad con porcentaje mayor al 100%, la mezcla asfáltica tibia tiene un mejor rendimiento (o respuesta en el ensayo) que el de la mezcla asfáltica caliente; de la misma manera y por el contrario, si el porcentaje es menor al 100%, la mezcla asfáltica caliente tiene mejores condiciones que las de la mezcla asfáltica tibia.

**CAPITULO VI:
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES.**

6.1 CONCLUSIONES.

6.1.1 CONCLUSIONES SOBRE RESULTADOS DE PARAMETROS SUPERFICIALES.

6.1.1.1 ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL.

Los valores del índice de rugosidad internacional IRI, transcurridos 2 años luego de su apertura al tráfico, para el tramo de carretera CA-08W corresponde a 1.77 y para el tramo de carretera SAL02W equivale a 3.15, lo que indica una superioridad en condiciones superficiales para el tramo construido con mezcla asfáltica tibia, en base a los lineamientos establecidos así por el Banco Mundial. De mantenerse la tendencia de estos resultados, se pronostica que la carretera del Boulevard San Bartolo presentará condiciones muy desfavorables que indiquen una intervención inmediata por parte de las autoridades correspondientes, tiempo antes de llegar al término de su vida útil, mientras que la carretera de mezcla asfáltica tibia proyecta concluir su tiempo de vida de la manera esperada prevista en su diseño.

6.1.1.2 ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO.

En la actualidad los tramos de carretera construidos con mezcla asfáltica tibia y mezcla asfáltica caliente, luego de transcurridos 2 años de su apertura al tráfico presentaron como resultado un Índice de Condición de Pavimento de 92 Puntos y 77 Puntos respectivamente, de acuerdo a la escala establecida en el Manual “Pavement Index Condition (PCI) para pavimentos asfálticos y concreto en carreteras” (Vásquez, 2002). Lo que indica que la calidad superficial del pavimento es excelente para la carretera CA-08W y muy buena para el Boulevard San Bartolo. Demostrando de esta manera que el tramo de mezcla asfáltica tibia no se percibe mayores deterioros visuales relevantes que afecten de manera significativa al conductor siendo superior al tramo de mezcla asfáltica caliente, que por el resultado obtenido muestra una mayor deficiencia de la condición de la carpeta de rodadura, transmitiendo una inseguridad y una menor comodidad al transitar sobre ella.

6.1.2 CONCLUSIONES SOBRE RESULTADOS DE PARAMETROS INTERNOS DETERMINADOS EN LABORATORIO.

6.1.2.1 EXTRACCIÓN DE ESPECÍMENES DE CARPETA DE RODADURA.

- Sobre la carretera CA08W se planifico la extracción de 12 especímenes separados a cada 30 metros, de los cuales solo fue posible extraer 11 satisfactoriamente para efectuarles pruebas de laboratorio y determinar sus propiedades internas. No así para el espécimen “NT32” ubicado en el estacionamiento 32+660 que debido a la alta adherencia entre las dos capas de mezcla asfáltica que conforman la carpeta de rodadura sufrió daños que impidieron su utilidad para ensayos de laboratorio.
- Todos los especímenes extraídos entre los estacionamientos 32+620 y 32+720 (tramo denominado como sección 3) tuvieron que ser aserrados para separar la capa de mezcla asfáltica tibia (elaborada con aditivo químico) de la capa de mezcla asfáltica caliente, mientras que todos los demás no requirieron ser aserrados pues las capas se separaron al momento de la perforación. Lo anterior es prueba de la existencia de una zona denominada de “Alta Adherencia” atribuida al ligante, temperatura de compactación y a la energía de compactación.
- Sobre el Boulevard San Bartolo SAL02W, se planifico la extracción de 9 especímenes situados en 3 puntos diferentes a lo largo del tramo, de los cuales solo fue posible extraer 8 satisfactoriamente para efectuarles pruebas de laboratorio y determinar sus propiedades internas. No así para el espécimen “NC32” ubicado en el estacionamiento 0+610 que debido a la alta adherencia entre las dos capas de mezcla asfáltica que conforman la carpeta de rodadura sufrió daños que impidieron su utilidad para ensayos de laboratorio.

6.1.2.2 PRUEBAS DE LABORATORIO EFECTUADAS A LOS ESPECÍMENES EXTRAIDOS EN CAMPO.

6.1.2.2.1 SELECCIÓN DE ESPECIMENES DE ANALISIS.

- De acuerdo con lo establecido en el Capítulo III donde se indica la cantidad de especímenes a extraer para la carpeta de rodadura de mezcla asfáltica tibia (elaborada con aditivo químico), es necesario reducir la muestra a un número de 3 especímenes debido a que se utilizaron diferentes grados de temperatura de compactación a lo largo de todo el tramo; lo anterior impide garantizar una adecuada representatividad al utilizar un valor promedio de todos los especímenes para cualquier propiedad.

Es necesario considerar además que la mezcla asfáltica tibia al ser la cuestionada en esta investigación, no debe de estar en ventaja con respecto a la mezcla asfáltica caliente, por esta razón se seleccionó la primera sección del tramo ubicada entre los estacionamientos 32+420 y 32+520, conformada por los especímenes NT11, NT12, y NT13 a los que se les atribuye la menor temperatura de compactación reportada para el rango entre 73°C y 116°C. Los resultados de los ensayos de este tramo fueron seleccionados debido a la incongruencia mostrada por los demás tramos en el ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta.

- En cuanto a los especímenes de la carpeta de rodadura de mezcla asfáltica caliente, fue posible tomar en cuenta el valor promedio de todas las propiedades a ser analizadas, debido a que lo largo de todo el tramo se utilizó la misma temperatura de compactación en un rango de 134°C a 140°C.

6.1.2.2.2 PARAMETROS VOLUMÉTRICOS.

- Para la carpeta de rodadura de mezcla asfáltica tibia (elaborada con aditivo químico) ubicada sobre la carretera CA08W, se obtuvieron valores de gravedad específica bulk de 2.301, porcentaje de absorción de 0.52%, gravedad específica teórica máxima de 2.434, porcentaje de vacíos de aire de 5.48%, porcentaje de

vacios en agregado mineral de 13.95% y porcentaje de vacios lleno de asfalto de 60.77%.

Estos valores reportados indican que luego de dos años de su apertura al tráfico, la carpeta de rodadura de mezcla asfáltica tibia no cumple con los valores de tolerancia permitidos.

- Para la carpeta de rodadura de mezcla asfáltica caliente ubicada sobre el Boulevard San Bartolo SAL02W, se obtuvieron valores de gravedad especifica bulk de 2.263, porcentaje de absorción de 1.29%, gravedad especifica teórica máxima de 2.424, porcentaje de vacios de aire de 6.66%, porcentaje de vacios en agregado mineral de 15.46% y porcentaje de vacios lleno de asfalto de 57.26%.

Estos valores reportados indican que luego de dos años de su apertura al tráfico, la carpeta de rodadura de mezcla asfáltica caliente cumple únicamente con el valor de tolerancia establecido para el porcentaje de vacios en el agregado mineral. Todos los demás valores no cumplen con las tolerancias establecidas.

6.1.2.2.3 PARAMETROS ESTRUCTURALES.

- Para la carpeta de rodadura de mezcla asfáltica tibia (elaborada con aditivo químico) ubicada sobre la carretera CA08W, se obtuvieron valores de estabilidad y flujo Marshall de 3500.94 Lbf y 3.300 mm respectivamente y resistencia a la tensión indirecta (relación húmedo/seco) 88.60%.

Estos valores reportados indican que transcurridos dos años, la carpeta de rodadura de mezcla asfáltica tibia únicamente no cumple con los valores de tolerancia establecidos para el flujo, mientras que para estabilidad y resistencia a la tensión indirecta los resultados están dentro de las tolerancias.

- Por otro lado para la carpeta de rodadura de mezcla asfáltica caliente ubicada sobre el Boulevard San Bartolo SAL02W, se obtuvieron valores de estabilidad y flujo Marshall de 3406.25 Lbf y 3.78 mm respectivamente y resistencia a la tensión indirecta (relación húmedo/seco) 88.98%.

Todos los valores reportados indican que transcurridos dos años, la carpeta de rodadura de mezcla asfáltica caliente cumple con todos los valores de tolerancia establecidos.

6.1.3 CONCLUSIONES SOBRE EL DESEMPEÑO DE LAS CARPETAS DE RODADURA EN ESTUDIO.

	MEZCLA ASFALTICA TIBIA		MEZCLA ASFALTICA CALIENTE		MEZCLA EN VENTAJA	DESCRIPCION
ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI).	1.77	EXCELENTE	3.15	MUY BUENO	MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA	La superioridad que la mezcla asfáltica tibia demuestra en el calculo del índice de rugosidad internacional sobre la mezcla asfáltica caliente es evidente, lo que percibira el usurario será un mayor grado de comodidad al transitar sobre el tramo de carretera en CA-08W.
ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI).	92	MUY BUENO	77	BUENO	MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA	Nuevamente la mezcla asfáltica tibia se sobrepone a la mezcla asfáltica caliente, en las propiedades superficiales de la carpeta de rodadura. En esta ocasión el índice de condición de pavimento establece una mejor calificación para el tramo de carretera sobre CA-08W, que demuestra una mejor resistencia al deterioro ocasionado por cargas vehiculares e intemperismo.
GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK.	2.301	EXCELENTE	2.263	EXCELENTE	NINGUNA	Dentro de las propiedades volumetricas evaluadas para cada una de las mezclas asfálticas en estudio, la gravedad especifica bulk establece el grado de compactación en campo de las mismas, por ello los resultados obtenidos para ambas mezclas asfálticas en estudio están muy cercanos entre si, lo cual no permite apreciar claramente una superioridad de una con respecto a la otra, pues ambos tramos recibieron una energia de compactacion similiar
GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA.	2.434	EXCELENTE	2.424	EXCELENTE	NINGUNA	Dentro de las pruebas de laboratorio, se realizo la prueba para determinar la gravedad especifica teórica máxima en ambas mezclas asfálticas (caliente y tibia), dando como resultados valores de ensayo muy cercanos entre sí y con una evaluación de desempeño excelente para cada una de las mezclas en estudio, por lo que se concluye que no existe una superioridad evidente en este parametro volumetrico, al efectuar el analisis comparativo de ambas mezclas asfálticas.

	MEZCLA ASFALTICA TIBIA		MEZCLA ASFALTICA CALIENTE		MEZCLA EN VENTAJA	DESCRIPCION
PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE.	5.48%	MUY MALO	6.66%	MUY MALO	NINGUNA	En cuanto al porcentaje de vacíos de aire presentes en los núcleos de mezclas extraídos, aunque ambas mezclas se encuentran dentro del mismo grado de evaluación de desempeño, se logra apreciar en base a los resultados obtenidos una leve superioridad por parte de la mezcla asfáltica tibia, ya que al contrario de las demás propiedades volumétricas evaluadas, entre menor sea el porcentaje de vacíos de aire presente en una mezcla asfáltica, será de mejor calidad y de mayor funcionalidad (respetando siempre las especificaciones indicada para cada proyecto).
PORCENTAJE DE VACÍOS DE AGREGADO MINERAL.	13.95%	EXCELENTE	15.46%	EXCELENTE	NINGUNA	Los resultados obtenidos en el cálculo del porcentaje de vacíos de agregado mineral, demuestran que para ambas mezclas asfálticas el valor resultante es excelente de acuerdo a lo que se había proyectado, pues su valor disminuiría en el periodo de uso de las vías. Por lo anterior se confirma un excelente desempeño tanto para la mezcla asfáltica tibia como para la mezcla asfáltica caliente.
PORCENTAJE DE VACÍOS LLENOS DE ASFALTO.	60.77%	BUENO	57.26%	BUENO	NINGUNA	Cualitativamente el desempeño de la mezcla asfáltica tibia y caliente es el mismo, sin embargo los resultados del cálculo de porcentaje de vacíos llenos de asfalto, indican una leve superioridad en la mezcla asfáltica tibia. Claramente se puede concluir que la mezcla asfáltica tibia tiene una mayor y mejor cobertura de ligante asfáltico al agregado pétreo.
ESTABILIDAD MARSHALL.	3500.94	EXCELENTE	3406.25	EXCELENTE	NINGUNA	Aunque los valores obtenidos nos muestran que ambas mezclas en la prueba de estabilidad marshall, tienen un desempeño excelente, existe una pequeña ventaja de la mezcla asfáltica tibia. (Lo que indica una mezcla asfáltica con mayor rigidez), es importante aclarar que ambas mezclas asfálticas se encuentran dentro del rango de especificaciones y tolerancias, lo que supone que finalizarán su vida útil con valores de estabilidad marshall aceptables.
FLUJO MARSHALL.	3.300	EXCELENTE	3.78	EXCELENTE	NINGUNA	De acuerdo a los resultados obtenidos para el Flujo Marshall, se concluye que luego de 2 años de servicio tanto la carpeta de mezcla asfáltica caliente como la de mezcla asfáltica tibia tienen un grado de desempeño excelente. Lo anterior indica además que las mezclas asfálticas han conservado una excelente ductilidad.
RESISTENCIA A LATENSIÓN INDIRECTA.	88.60%	EXCELENTE	88.98%	MUY BUENO	MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA	Según los resultados mostrados para el ensayo de la Resistencia a la Tensión Indirecta, la relación existente entre el acondicionamiento húmedo y acondicionamiento seco para la mezcla asfáltica tibia muestra un mejor grado de desempeño que el planteado para la mezcla asfáltica caliente. Lo anterior nos indica que porcentaje de su resistencia total a la tensión conserva la mezcla asfáltica luego de haber sido afectada por la humedad que se aplicó.

Tabla 6-1: Conclusiones sobre el desempeño de las mezclas asfálticas en estudio.

- En base a la metodología establecida, se concluye que la carpeta de rodadura de mezcla asfáltica tibia (elaborada con aditivo químico) ubicada sobre la CA08W, presenta un porcentaje global de calidad de **93.60**. De acuerdo con la escala establecida, este valor corresponde a un desempeño **MUY BUENO**.
- En base a la metodología establecida, se concluye que la carpeta de rodadura de mezcla asfáltica caliente ubicada sobre el Boulevard San Bartolo, presenta un porcentaje global de calidad de **87.10**. De acuerdo con la escala establecida, este valor corresponde a un desempeño **MUY BUENO**.



Figura 6-1: Porcentajes de calidad global en escala de desempeño.

6.1.4 CONCLUSIONES SOBRE LA COMPARACIÓN ENTRE EL DESEMPEÑO DE LAS CARPETAS DE RODADURA EN ESTUDIO.

- Los desempeños evaluados para ambos tramos de carretera cumplen a nivel global con los valores esperados después de haber transcurrido dos años de apertura al tráfico, puesto que los resultados así lo demuestran.
- Finalizado este trabajo de investigación, se puede concluir que transcurridos dos años desde su apertura al tráfico, la carpeta de rodadura de mezcla asfáltica tibia

(elaborada con aditivo químico tenso activo) ubicada sobre la carretera CA08W posee el mismo grado de desempeño que el mostrado por la carpeta de rodadura de mezcla asfáltica caliente ubicada sobre el Boulevard San Bartolo SAL02W.

Sin embargo, al considerar el porcentaje de calidad de respuesta para cada tramo, se concluye que, a pesar de mostrar el mismo grado de desempeño, el tramo de carretera ubicado en la CA08W proyecta una mejor respuesta ante las cargas vehiculares a las que se someterá durante el resto de su vida útil, mientras que el tramo ubicado sobre el Boulevard San Bartolo no promete llegar al fin de su vida útil sin antes haber sido intervenida por medio de un mantenimiento periódico.

6.1.5 CONCLUSIONES SOBRE LA MEZCLA ASFÁLTICA ELABORADA EN LABORATORIO.

- La mezcla de laboratorio fue elaborada con el propósito de replicar los diseños de las mezclas asfálticas tibia y calientes colocadas en los tramos de estudio, y así obtener especímenes que tuvieran las propiedades iniciales reportadas por los fabricantes. Pese a que la granulometría establecida para la mezcla de laboratorio cumplió en su totalidad con los límites para cada tipo de mezcla, al ensayar las briquetas y obtener los resultados no se logró cumplir con las expectativas planteadas para la mezcla de laboratorio pues los valores de sus propiedades se encontraron muy por debajo de los valores iniciales de las carpetas construidas en campo.

El contenido de asfalto y muy probablemente el uso de agregados pétreos diferentes a los utilizados en el diseño original, incidieron de manera negativa en los resultados. Por lo anterior la mezcla de laboratorio no pudo ser utilizada para el análisis de desempeño de las carpetas de rodadura de los tramos en estudio.

- Los valores obtenidos en los ensayos de laboratorio nos permiten hacer una comparación en igualdad de condiciones para ambos tipos de mezcla. De las pruebas hechas en laboratorio se concluye en base a los resultados, que ninguna

de las dos mezclas mostró una superioridad relevante con respecto a la otra, es decir, ambas poseen la misma funcionalidad.

- El uso de aditivo químico tenso activo no requiere de una mayor modificación en el proceso de mezclado, efectivamente pueden reducirse a través de su uso las temperaturas de mezclado y compactación. Además su aplicación consiste únicamente en aditar el asfalto y una vez hecho esto se utiliza el asfalto como un asfalto virgen.
- Se comprobó también que existe un incremento en la facilidad de la manipulación de la mezcla asfáltica tibia al hacer uso de esta tecnología, pues es más seguro manipular mezclas a menores temperaturas que las indicadas para la mezcla asfáltica caliente.
- Se verificó de manera visual que la emisión de gases emitidos por el calentamiento del asfalto en la creación de mezcla asfáltica tibia (elaborada con aditivo químico tenso activo), tiene una reducción considerable en comparación a los gases liberados al momento de calentar el asfalto para la elaboración de la mezcla asfáltica caliente.

6.2 RECOMENDACIONES.

- Se recomienda a las Instituciones Gubernamentales encargadas de lo concerniente a vías terrestres, incorporar el uso de mezclas asfálticas tibias en las especificaciones para la construcción de carpetas de rodadura en pavimentos flexibles, pues de acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación, el desempeño es igual o mejor que el de la mezcla asfáltica caliente.
- En base a las conclusiones, se recomienda el uso de aditivo químico tenso activo para la elaboración de mezclas asfálticas tibias (Warm Mix Asphalt) debido a la facilidad de aplicación de esta tecnología.
- Las tecnologías para la elaboración de mezclas asfálticas tibias son muy variadas, por lo que se recomienda investigar entre los diferentes métodos aquel que sea más adecuado a la necesidad correspondiente, y así, tener un mayor criterio sobre las opciones existentes para la elaboración de mezclas asfálticas tibias y su implementación en el campo, pues se esperaría que año con año incrementa su demanda en el mercado.
- Se recomienda dar seguimiento a este trabajo de investigación, pues la edad de los tramos es considerable como temprana y es necesario conocer los desempeños a edades medias y avanzadas de su vida útil.
- Se recomienda que, para dar seguimiento a esta evaluación de desempeño se utilice el siguiente listado de pruebas de campo y laboratorio para establecer un nuevo desempeño de carpetas asfálticas:

	Nombre de Ensayo	Normas ASTM	Normas AASHTO
PRUEBAS DE CAMPO	Indice de Rugosidad Internacional (IRI)	----	AASHTO PP37
	Indice de Condicion de Pavimento (PCI)	----	----
PRUEBAS DE LABORATORIO	Gravedad Especifica Bulk	ASTM D 2726	AASHTO T 166
	Gravedad Especifica Teorica Maxima	ASTM D 2041	AASHTO T 209
	Porcentaje de Vacios	ASTM D 3203	AASHTO T 269
	Porcentaje de Vacios en Agregado Mineral	----	----
	Porcentaje de Vacios Llenos de Asfalto	----	----
	Estabilidad Marshall	ASTM D 1559	AASHTO T 245
	Flujo Marshall	ASTM D 1559	AASHTO T 245
Resistencia a la Tension Indirecta (TSR)	ASTM D 4867	AASHTO T 283	

Tabla 6-2: Ensayos recomendados para la evaluación de desempeño de carpetas de rodadura de mezcla asfáltica.

- Asumiendo una vida útil mínima de 20 años y en base al listado de pruebas anteriores, se recomienda hacer cada 2 años evaluaciones del desempeño a lo largo de su vida útil.
- Para la determinación del grado del desempeño de cada una de las propiedades se recomienda utilizar la metodología establecida en el apartado 5.5.1, y utilizar el procedimiento establecido en el apartado 5.5.3.2.3 para la determinación del desempeño global de una carpeta de rodadura de pavimento flexible.
- El modelo de deterioro para pavimento flexible utilizado para la determinación de valores esperados, se basa en una grafica que muestra el comportamiento típico de un pavimento flexible durante su vida útil. Sin embargo se recomienda que se utilice una grafica que represente con exactitud el modelo de deterioro de los tramos en evaluación a medida pasan los años.

El uso de esta grafica de menor precisión fue posible debido a que para esta ocasión, solo han transcurrido 2 años desde su apertura al tráfico y el deterioro para cualquier pavimento a esta temprana edad puede considerarse insignificante, según la tendencia general del deterioro de los pavimentos.

- Para futuras investigaciones en la comparación del desempeño de carpeta de rodadura de mezcla asfáltica tibia y mezcla asfáltica caliente, se recomienda que se construyan tramos de prueba sobre la misma carretera y en el mismo carril de desplazamiento con el propósito de verificar el comportamiento de las carpetas de rodadura bajo las mismas condiciones climáticas, topográficas y de carga vehicular.
- Para una investigación completa se recomienda realizar un análisis en el área económica, con el fin de determinar cuál es la ventaja que una mezcla asfáltica presenta sobre la otra, dado que, muchas de las decisiones para seleccionar el tipo de mezcla asfáltica a utilizar en la construcción de pavimentos flexibles, se basan en el costo por metro cubico de mezcla asfáltica.

**REFERENCIAS
BIBLIOGRAFICAS**

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- Asphalt Institute, (1982) *Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente, Serie de Manuales No.22 (MS-22)*. Lexington, Kentucky, Estados Unidos, Asphalt Institute.
- National Center for Asphalt Technology, (2006) *Report 06-02, Evaluation of Evotherm for use in warm mix Asphalt*. Auburn, Alabama, Estados Unidos, National Center for Asphalt Technology (NCAT).
- National Cooperative Highway Research Program, (2011) *Report 691, Mix Design Practice for Warm Mix Asphalt*. Washington, Estados Unidos, National Cooperative Highway Research Program (NCHRP).
- Cortéz, M, Guzmán, H. y A. Reyes, (2007) “GUÍA BÁSICA DE DISEÑO, CONTROL DE PRODUCCIÓN Y COLOCACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE”. Tesis de Ingeniería. El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador, San Salvador.
- Asfaltos de Centroamérica S.A. de C.V., (2012) *Mezclas Asfálticas de Temperatura Reducida*, El Salvador, Asfaltos de Centroamérica S.A. de C.V.
- Secretaría de Integración Económica de Centroamérica, (2010) *MANUAL CENTROAMERICANO DE MANTENIMIENTO DE CARRETERAS con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial*. Centro América.
- Coronado Iturbide, J., (2002) *Manual Centroamericano para diseño de pavimentos*, Guatemala.

- Vásquez Varela, L. (2002) *PAVEMENT INDEX CONDITION (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carretera*, Manizales, Colombia.
- Fondo de Conservación Vial, FOVIAL, (2014) *Manual de Seguridad Vial, Imagen Institucional y Prevención de Riesgos en Zonas de trabajo*. El Salvador.
- Ulloa Calderón, A., (2011) “Mezclas asfálticas tibias (MAT)” en *PROGRAMA DE INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE (PITRA)*. Vol. 2 N° 15. Abril 2011, pp. 1-5.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM), (1995), *Standard Test Method for Indirect Tension Test for Resilient Modulus of Bituminous Mixtures*. United States of America.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM), (2011), *Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures*. United States of America.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM), (2011), *Standard Test Method for Percent Air Voids in Compacted Dense and Open Bituminous Paving Mixtures*. United States of America.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM), (2013), *Standard Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Non-Absorptive Compacted Bituminous Mixtures*. United States of America.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM), (2006), *Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Bituminous Mixtures*. United States of America.