



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA CARPETA ASFÁLTICA UBICADA  
EN EL KILÓMETRO 101,5 AUTOPISTA PUERTO QUETZAL, ESCUINTLA**

**Vodenith del Rosario Villacinda Ordóñez**

Asesorado por el MSc. Ing. Yefry Valentín Rosales Juárez

Guatemala, enero de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA CARPETA ASFÁLTICA UBICADA  
EN EL KILÓMETRO 101,5 AUTOPISTA PUERTO QUETZAL, ESCUINTLA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**VODENITH DEL ROSARIO VILLACINDA ORDÓÑEZ**

ASESORADO POR EL MSC. ING. YEFRY VALENTÍN ROSALES JUÁREZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA CIVIL**

GUATEMALA, ENERO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero
EXAMINADOR	Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
EXAMINADORA	Inga. María del Mar Girón Cordón
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA CARPETA ASFÁLTICA UBICADA EN EL KILÓMETRO 101,5 AUTOPISTA PUERTO QUETZAL, ESCUINTLA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,  
con fecha 9 de marzo de 2015.



**Vodenith del Rosario Villacinda Ordóñez**



Guatemala, 13 de octubre de 2015

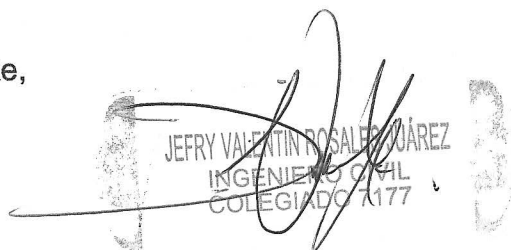
Ingeniero  
José Gabriel Ordóñez Morales  
Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles  
Universidad de San Carlos  
Guatemala

Ingeniero Ordóñez:

Al saludarle cordialmente, me dirijo a usted para informarle que ha sido concluido satisfactoriamente el trabajo de graduación titulado: **“EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA CARPETA ASFÁLTICA UBICADA EN EL KILÓMETRO 101,5 AUTOPISTA PUERTO QUETZAL, ESCUINTLA”** elaborado por la estudiante Vodenith del Rosario Villacinda Ordóñez con carné 200924709, tema para el cual fui asignado como asesor.

Considero que se han cumplido las metas propuestas al inicio del trabajo, por lo que recomiendo se apruebe en el entendido de que el autor y el suscrito son los responsables de lo trabajado y de las conclusiones del mismo.

Atentamente,



JEFY VALENTÍN ROSALES JUÁREZ  
INGENIERO CIVIL  
COLEGIADO 7177

Yefry Valentín Rosales Juárez

Msc. Ingeniero Civil Colegiado No. 7177



**USAC**  
**TRICENTENARIA**  
 Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,  
 11 de noviembre de 2015

Ingeniero  
 Hugo Leonel Montenegro Franco  
 Director Escuela Ingeniería Civil  
 Facultad de Ingeniería  
 Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA CARPETA ASFÁLTICA UBICADA EN EL KILÓMETRO 101,5 AUTOPISTA PUERTO QUETZAL, ESCUINTLA**, desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil Vodenith del Rosario Villacinda Ordóñez, quien contó con la asesoría del Ing. Yefry Valentín Rosales Juárez.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 AREA DE MATERIALES Y  
 CONSTRUCCIONES CIVILES  
 USAC  
 Ing. Civil José Gabriel Ordóñez-Morales  
 Coordinador del Área de Materiales y  
 Construcciones Civiles

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





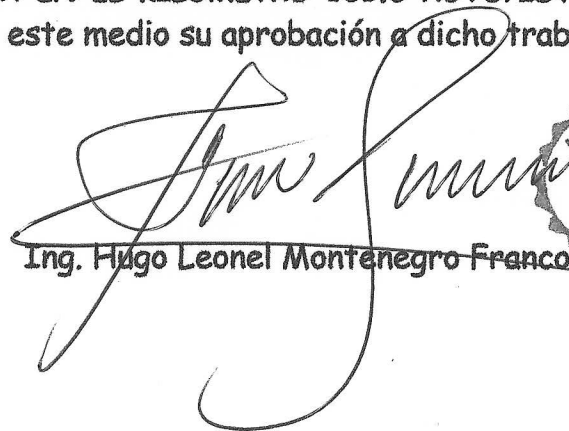
**USAC**  
**TRICENTENARIA**  
 Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Yefry Valentín Rosales Juárez y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación de la estudiante Vodenith del Rosario Villacinda Ordóñez, titulado **EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA CARPETA ASFÁLTICA UBICADA EN EL KILÓMETRO 101.5 AUTOPISTA PUERTO QUETZAL, ESCUINTLA**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
 Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, enero 2016  
 /mrrm.

Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua

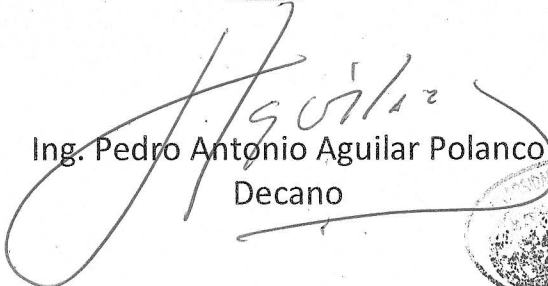




DTG. 047.2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA CARPETA ASFÁLTICA UBICADA EN EL KILÓMETRO 101,5 AUTOPISTA PUERTO QUETZAL, ESCUINTLA**, presentado por la estudiante universitaria: **Vodenith del Rosario Villacinda Ordóñez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, enero de 2016

/gdech

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Porque ha sido fiel a sus promesas, cumpliendo su palabra en mi vida. Te amo con todo mi corazón, Señor. “Porque tu poder se fortaleció en mi debilidad.”
- Mis padres** Martha Ordóñez y Erick Villacinda, por ser mi fortaleza en mis momentos de debilidad. Los amo.
- Mis hermanas** D’ricka, Hellen y Saraí Villacinda Ordóñez, por ser parte importante en mi vida.
- Mis sobrinos** Angely, Emanuel García Villacinda y Daniel López Villacinda, por brindarme esos momentos de alegría.
- Mi abuela** Zoila de León, por su paciencia, tolerancia y brindarme de sus sabios consejos.
- Mis pastores** Walter Vásquez y Nivia de Vásquez, por ser parte de mi vida espiritual y mantenerme en sus oraciones.

**Familia**  
**Solórzano Gonzales**

Rodrigo Solórzano, Lorena Gonzales, Anasol, José Rodrigo y María Amelia Solórzano Gonzales, por brindarme su apoyo, amistad y mantener la fe en mí. Son mi segunda familia.

**Mis amigos**

Mili Guerra, Mauricio Torres, Wilby de la Cruz, Andrea Gutiérrez, Napoleón Guzmán, Carlos Arias, Wladimir Figueroa, Josué Chic, Mario Pacay, Gerardo Pineda, Marcos Sánchez, Kevin Batz y Alfredo Gonzales, por su amistad incondicional y compartir conmigo este logro.

**José Juan Istupe**  
**Ibañez**

Por ser uno de mis mayores ejemplos de perseverancia a mi paso por la Universidad. Por su amistad incondicional, por esa paciencia y tolerancia conmigo. Gracias.

“Y me ha dicho:

Bástate mi gracia; porque mi poder se perfecciona en la debilidad. Por tanto, de buena gana me gloriaré más en mis debilidades, para que repose sobre mí el poder de Cristo.”

2 de Corintios 12:9.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Porque su amor me ha permitido llegar a este triunfo. La gloria y la honra sean para Él.
<b>Mis padres</b>	Por brindarme su amor y su apoyo incondicional para cumplir mis metas.
<b>Mi abuela Zoila</b>	Por enseñarme el camino correcto a seguir.
<b>Mis pastores</b>	Por mantenerme en sus oraciones y darme aliento espiritual para culminar mi meta.
<b>Mis amigos</b>	Por ser una importante influencia en mi carrera, por su sincera amistad y darme aliento en los momentos difíciles.
<b>Mi asesor</b>	Ing. Yefry Rosales, por los consejos y la colaboración en la asesoría, revisión y corrección del presente trabajo.
<b>José Juan Istupe Ibañez</b>	Por brindarme sus conocimientos, su amistad y su apoyo incondicional. Por compartir este logro conmigo y ser parte importante en mi vida.

<b>Ingeniero Medrano</b>	<b>Omar</b>	Por permitirme empezar bajo su tutela mi vida profesional, brindarme sus conocimientos sin ningún tipo de restricción y enseñarme que bajo cualquier circunstancia la educación es primero.
<b>Laboratorio de Asfaltos y Mecánica de Suelos</b>		Por darme la oportunidad de realizar los ensayos correspondientes a mi trabajo de graduación.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>		Mi tricentenaria, mi alma máter, mi cuna de conocimientos, tradiciones y valores. Gracias por recibirme en tu seno del saber.
<b>Facultad de Ingeniería</b>		Mi gloriosa, mi amada facultad, gracias por inculcarme conocimientos tan maravillosos, por prestarme grandes catedráticos con cuya sabiduría pude culminar tan anhelado logro. Te llevo en mi corazón.
<b>Instituto Adolfo V. Hall Central</b>		Por inculcarme responsabilidad, valores, honor y ciencia. Por forjar mi carácter a no darme por vencida, para honrar a Dios, mi familia y mi patria Guatemala. Instituto Adolfo V. Hall Central, misión cumplida.
<b>Promoción 48</b>		“Porque todo sacrificio tiene su recompensa, avanza siempre, nunca te detengas, solo los hombres con decisión terminan”. Promoción, los llevo siempre en mi corazón.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	XIII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XV
GLOSARIO .....	XVII
RESUMEN.....	XXI
OBJETIVOS.....	XXIII
INTRODUCCIÓN .....	XXV
1. GENERALIDADES SOBRE FALLAS QUE PROVOCAN DETERIORO EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	1
1.1. Causas que provocan deterioro en los pavimentos flexibles .....	1
1.2. Fallas en los pavimentos flexibles .....	2
1.2.1. Tipos de falla .....	2
1.2.1.1. Falla estructural .....	2
1.2.1.2. Falla funcional.....	3
1.2.1.3. Falla de superficie.....	4
1.3. Causas comunes que las originan.....	4
1.3.1. Base .....	5
1.3.2. En la carpeta de riego.....	5
1.3.3. Carpeta de la mezcla asfáltica.....	6
1.3.4. Riego de impregnación .....	6
1.3.5. Riego de liga.....	7
1.3.6. Riego de sello .....	7
1.4. Fallas más comunes.....	8
1.4.1. Agrietamiento.....	8

	1.4.1.1.	Grietas en forma de piel de cocodrilo .....	8
1.4.2.		Distorsiones o deformaciones .....	9
	1.4.2.1.	Rodera (marcas de rodadura) .....	9
1.4.3.		Crestas en la superficie de rodamiento .....	9
1.4.4.		Hundimiento .....	10
1.4.5.		Levantamiento o hinchamiento.....	10
1.4.6.		Exudaciones.....	11
1.4.7.		Pérdida de áridos .....	11
1.4.8.		Ahuellamiento.....	12
1.4.9.		Desintegraciones.....	12
	1.4.9.1.	Baches y calaveras .....	13
	1.4.9.2.	Desvestimiento.....	13
	1.4.9.3.	Desintegración de bordes.....	14
1.5.		Ensayos de laboratorio para mezclas asfálticas colocadas .....	15
	1.5.1.	Método Marshall.....	15
	1.5.1.1.	Prueba de estabilidad y flujo .....	16
	1.5.1.2.	Análisis de densidad y vacíos .....	17
	1.5.2.	Gravedad específica de las mezclas asfálticas .....	17
	1.5.2.1.	Gravedad específica <i>bulk</i> de briquetas (ASTM D 2726 o ASTM D 1188) .....	18
	1.5.2.2.	Gravedad específica teórica máxima <i>rice</i> (ASTM D 2041).....	18
	1.5.3.	Propiedades volumétricas de mezclas asfálticas .....	18
	1.5.3.1.	Porcentaje de vacíos de aire (Va) .....	19
	1.5.3.2.	Contenido de asfalto (Pbe).....	19
	1.5.4.	Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos (ASTM C136 o AASHTO T-27).....	19

2.	COLOCADO DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AUTOPISTA A PUERTO QUETZAL, KILÓMETRO 101,5.....	21
2.1.	Monografía del lugar.....	21
2.1.1.	Ubicación y localización geográfica del municipio de San José, Escuintla .....	21
2.1.2.	Datos históricos .....	22
2.1.3.	Costumbres y tradiciones .....	23
2.1.4.	Idioma.....	23
2.1.5.	Economía.....	23
2.1.6.	Hidrografía .....	23
2.1.7.	Orografía.....	24
2.1.8.	Áreas protegidas.....	24
2.2.	Ubicación y localización geográfica del proyecto .....	24
2.3.	Tendido de asfalto en condiciones de clima caliente.....	25
2.4.	Problemas que puede ocasionar el clima caliente al tendido de asfalto .....	26
2.5.	Funcionamiento del enfriamiento de la carpeta asfáltica.....	27
2.6.	Factores que influyen en el tendido de asfalto en clima caliente .....	27
2.6.1.	Resistencia de la capa asfáltica a determinada temperatura .....	27
2.6.2.	Carga en el pavimento debida al tránsito sobre el mismo .....	28
2.6.3.	Velocidad de tráfico .....	29
2.6.4.	Tipo de vehículo que circula en ese punto .....	29
2.6.5.	Cargas de diseño.....	30
2.6.6.	Espesor de la carpeta de rodadura.....	31

3.	MATERIAL Y EQUIPO UTILIZADO PARA LA COLOCACIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y TOMA DE MUESTRAS.....	33
3.1.	Materiales y equipo a utilizar en la colocación de pavimento flexible .....	33
3.1.1.	Materiales.....	33
3.1.1.1.	Clasificación de los componentes de las mezclas asfálticas.....	34
3.1.1.2.	Composición del asfalto AC20 .....	34
3.1.1.2.1.	Cementos asfálticos (AC).....	34
3.1.1.3.	Control sobre procedencia de los materiales ligantes y áridos .....	35
3.1.1.4.	Fallas que pueden provocar el contenido de los materiales a la mezcla asfáltica.....	37
3.1.1.4.1.	Contenido de bitumen ...	37
3.1.1.4.2.	Granulometría .....	37
3.1.1.4.3.	Naturaleza y calidad de los áridos.....	38
3.1.1.4.4.	Energía de la compactación .....	38
3.1.2.	Maquinaria y equipo .....	39
3.1.2.1.	Equipo de escarificación.....	39
3.1.2.2.	Equipo de limpieza para el área de trabajo .....	40
3.1.2.3.	Equipo para riego de liga o imprimación.....	40
3.1.2.4.	Pavimentadoras .....	40
3.1.2.5.	Compactadoras .....	41

	3.1.2.6.	Equipo de seguridad.....	41
3.2.		Toma de muestras.....	41
	3.2.1.	Factores que influyen en la calidad de confección de muestras.....	42
	3.2.2.	Extracción de muestras .....	42
	3.2.3.	Maquinaria utilizada para la extracción de muestras.....	44
	3.2.4.	Procedimiento para la extracción de muestras.....	44
	3.2.5.	Factores que influyen en la calidad de las muestras extraídas .....	45
4.		ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS ENSAYOS PARA LA EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA CARPETA DE RODADURA SEGÚN NORMAS ASTM Y AASHTO .....	47
	4.1.	Requisitos para los ensayos.....	47
		4.1.1. Requisitos según el <i>Manual de requerimientos</i> de la Dirección General de Caminos .....	47
	4.2.	Ensayos.....	48
		4.2.1. Resistencia de mezclas asfálticas Marshall AASHTO T 245 y ASTM D 1559.....	49
		4.2.1.1. Objeto .....	49
		4.2.1.2. Preparación de la muestra.....	49
		4.2.1.3. Instrumental.....	50
		4.2.1.4. Procedimiento.....	53
		4.2.1.4.1. Estabilidad y flujo Marshall.....	54
		4.2.1.5. Forma de calcular .....	55
		4.2.1.6. Para el informe .....	55

4.2.2.	Gravedad específica <i>bulk</i> de briquetas ASTM D 1188 .....	55
4.2.2.1.	Objeto.....	55
4.2.2.2.	Preparación.....	56
4.2.2.3.	Instrumental.....	56
4.2.2.4.	Procedimiento .....	57
4.2.2.5.	Forma de calcular.....	57
4.2.2.6.	Para el informe .....	58
4.2.3.	Gravedad específica teórica máxima <i>rice</i> ASTM D 2041 y AASHTO T 209 .....	58
4.2.3.1.	Objeto.....	58
4.2.3.2.	Preparación de la muestra .....	59
4.2.3.3.	Instrumental.....	59
4.2.3.4.	Procedimiento .....	60
4.2.3.5.	Forma de calcular.....	62
4.2.3.6.	Para el informe .....	63
4.2.4.	Porcentaje de ligante asfáltico efectivo para ensayos de control de calidad Pbe (solo es peso de bitumen extraído con respecto al peso total de la muestra ensayada) .....	63
4.2.4.1.	Objeto.....	63
4.2.4.2.	Preparación de la muestra .....	64
4.2.4.3.	Instrumental.....	64
4.2.4.4.	Procedimiento .....	64
4.2.4.5.	Forma de calcular.....	66
4.2.4.6.	Para el informe .....	67
4.2.5.	Porcentaje de vacíos de aire en mezclas bituminosas, densas y abiertas .....	67
4.2.5.1.	Objeto.....	68

	4.2.5.2.	Forma de calcular .....	68
	4.2.5.3.	Para el informe .....	68
4.2.6.		Análisis granulométrico para pavimento de concreto asfáltico ASTM D 3515, para agregado tipo B y tipo D .....	69
	4.2.6.1.	Objeto .....	69
	4.2.6.2.	Preparación de la muestra.....	69
	4.2.6.3.	Instrumental .....	70
	4.2.6.4.	Procedimiento.....	72
	4.2.6.5.	Forma de calcular .....	72
	4.2.6.6.	Para el informe .....	73
5.		RESULTADOS DE LOS ENSAYOS.....	75
5.1.		Tabulación de datos .....	75
	5.1.1.	Muestra 1 (base).....	75
	5.1.1.1.	Resistencia de mezclas asfálticas Marshall AASHTO T 245 Y ASTM D 1559, estabilidad y flujo Marshall AASHTO T 245 y ASTM D 1559.....	75
	5.1.1.2.	Gravedad específica <i>bulk</i> de briquetas ASTM D 1188 .....	76
	5.1.1.3.	Gravedad específica teórica máxima rice ASTM D 2041 y AASHTO T 209 Y ASTM D 1559.....	77
	5.1.1.4.	Porcentaje de ligante asfáltico efectivo para ensayos de control de calidad Pbe .....	77

5.1.1.5.	Porcentaje de vacíos de aire en mezclas bituminosas, densas y abiertas.....	78
5.1.1.6.	Análisis granulométrico para pavimento de concreto asfáltico ASTM D 3515, para agregado tipo D ...	78
5.1.2.	Muestra 2 (base negra) .....	79
5.1.2.1.	Resistencia de mezclas asfálticas Marshall AASHTO T 245 Y ASTM D 1559, estabilidad y flujo Marshall AASHTO T 245 y ASTM D 1559 .....	79
5.1.2.2.	Gravedad específica <i>bulk</i> de briquetas ASTM D 1188 .....	80
5.1.2.3.	Gravedad específica teórica máxima <i>rice</i> ASTM D 2041 y AASHTO T 209 Y ASTM D 1559 .....	82
5.1.2.4.	Porcentaje de ligante asfáltico efectivo para ensayos de control de calidad (Pbe) .....	82
5.1.2.5.	Porcentaje de vacíos de aire en mezclas bituminosas, densas y abiertas.....	83
5.1.2.6.	Análisis granulométrico para pavimento de concreto asfáltico ASTM D 3515, para agregado tipo B ...	83
5.2.	Cálculo y resultados de los ensayos de laboratorio para la muestra 1 (base) .....	84



5.2.1.	Resistencia de mezclas asfálticas Marshall AASHTO T 245 y ASTM D 1559, estabilidad y flujo Marshall AASHTO T 245 y ASTM D 1559.....	84
5.2.2.	Gravedad específica <i>bulk</i> de briquetas ASTM D 1188.....	87
5.2.3.	Gravedad específica teórica máxima <i>rice</i> ASTM D 2041 y AASHTO T 209 .....	89
5.2.4.	Porcentaje de ligante asfáltico efectivo para ensayos de control de calidad (Pbe).....	89
5.2.5.	Porcentaje de vacíos de aire en mezclas bituminosas, densas y abiertas.....	90
5.2.6.	Análisis granulométrico para pavimento de concreto asfáltico ASTM D 3515, para agregado tipo D .....	91
5.3.	Cálculo y resultados de los ensayos de laboratorio para la muestra 2 (base negra) .....	93
5.3.1.	Resistencia de mezclas asfálticas Marshall AASHTO T 245 y ASTM D 1559, estabilidad y flujo Marshall AASHTO T 245 y ASTM D 1559.....	94
5.3.2.	Gravedad específica <i>bulk</i> de briquetas ASTM D 1188.....	98
5.3.3.	Gravedad específica teórica máxima <i>rice</i> ASTM D 2041 y AASHTO T 209 .....	99
5.3.4.	Porcentaje de ligante asfáltico efectivo (Pbe) para ensayos de control de calidad .....	100
5.3.5.	Porcentaje de vacíos de aire en mezclas bituminosas, densas y abiertas.....	101

5.3.6.	Análisis granulométrico para pavimento de concreto asfáltico ASTM D 3515, para agregado tipo B .....	102
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	105
6.1.	Análisis de resultados de los ensayos de laboratorio para la muestra 1 (base) .....	105
6.1.1.	Resistencia de mezclas asfálticas Marshall, estabilidad y flujo Marshall AASHTO T 245 y ASTM D 1559.....	105
6.1.2.	Gravedad específica <i>bulk</i> de briquetas ASTM D 1188 .....	105
6.1.3.	Gravedad específica teórica máxima <i>rice</i> ASTM D 2041 y AASHTO T 209 .....	106
6.1.4.	Porcentaje de ligante asfáltico efectivo (Pbe) para ensayos de control de calidad.....	106
6.1.5.	Porcentaje de vacíos de aire en mezclas bituminosas, densas y abiertas .....	107
6.1.6.	Análisis granulométrico para pavimento de concreto asfáltico ASTM D 3515, para agregado tipo D.....	107
6.2.	Análisis de resultados de los ensayos de laboratorio para la muestra 2 (base negra).....	109
6.2.1.	Resistencia de mezclas asfálticas Marshall, estabilidad y flujo Marshall AASHTO T 245 y ASTM D 1559.....	109
6.2.2.	Gravedad específica <i>bulk</i> de briquetas ASTM D 1188 .....	109

6.2.3.	Gravedad específica teórica máxima <i>rice</i> ASTM D 2041 y AASHTO T 209 .....	110
6.2.4.	Porcentaje de ligante asfáltico efectivo (Pba) para ensayos de control de calidad .....	110
6.2.5.	Porcentaje de vacíos de aire en mezclas bituminosas, densas y abiertas.....	111
6.2.6.	Análisis granulométrico para pavimentos de concreto asfáltico ASTM D 3515, para agregado tipo B .....	111
CONCLUSIONES .....		113
RECOMENDACIONES .....		117
BIBLIOGRAFÍA .....		119
APÉNDICES .....		121
ANEXOS .....		125



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Localización geográfica del proyecto a investigar .....	25
2.	Cargas de diseño para vehículos con diferentes ejes .....	30
3.	Equipo de compactación Marshall .....	52
4.	Medidor de estabilidad y fluencia Marshall.....	53
5.	Muestras compactadas por método de compactación Marshall.....	56
6.	Medición de diámetros de la muestra compactada .....	57
7.	Equipo armado .....	59
8.	Llenado de picnómetro.....	60
9.	Muestra de asfalto más agua .....	61
10.	Contenedor con el equipo armado .....	61
11.	Contenedor con mezcla asfáltica llena de agua .....	62
12.	Centrifugadora o extractora de bitumen .....	65
13.	Mezcla asfáltica deshecha y pesada.....	65
14.	Muestras de asfalto diluidas en gasolina.....	66
15.	Muestra seco saturada.....	70
16.	Batería de tamices .....	71
17.	Gráfica de granulometría ensayada muestra 1 .....	93
18.	Gráfica de granulometría ensayada muestra 2 .....	104
19.	Gráfica de granulometría ensayada muestra 1 .....	108
20.	Gráfica de granulometría ensayada muestra 2 .....	112

## TABLAS

I.	Tipos de vehículo que circulan en el sector .....	29
II.	Requisitos para la mezcla de concreto asfáltico .....	35
III.	Graduación de agregados para pavimentos de concreto asfáltico (ASTM 3515) .....	71
IV.	Procedimiento para el cálculo granulométrico .....	72
V.	Graduación de agregados para pavimento de concreto asfáltico (ASTM D 3515).....	79
VI.	Graduación de agregados para pavimento de concreto asfáltico (ASTM D 3515).....	84
VII.	Graduación de agregados para pavimento de concreto asfáltico (ASTM D 3515).....	91
VIII.	Granulometría ensayada muestra 1.....	92
IX.	Graduación de agregados para pavimento de concreto asfáltico (ASTM D 3515).....	103
X.	Resultados granulometría ensayada muestra 2 .....	103
XI.	Resultados para ensayo de estabilidad y flujo Marshall .....	105
XII.	Resultado para el contenido de bitumen.....	107
XIII.	Resultado del ensayo de porcentaje de vacíos .....	107
XIV.	Resultados para ensayo de estabilidad y flujo Marshall .....	109
XV.	Resultado para el contenido de bitumen.....	110
XVI.	Resultado del ensayo de porcentaje de vacíos .....	111

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b><math>\Phi</math></b>	Diámetro
<b>Gmb</b>	Gravedad específica <i>bulk</i> de briquetas
<b>Gmm</b>	Gravedad específica teórica máxima <i>rice</i>
<b>g</b>	Gramo
<b>h</b>	Hora
<b>Km</b>	Kilómetro
<b>Lb</b>	Libra
<b>Pbe</b>	Contenido de asfalto efectivo
<b>m</b>	Metro
<b>mm</b>	Milímetro
<b>min</b>	Minuto
<b>pulg</b>	Pulgada
<b>Va</b>	Porcentaje de vacíos de aire
<b>VFA</b>	Porcentaje de vacíos llenados con asfalto
<b>VMA</b>	Porcentaje de vacíos en el agregado mineral





## GLOSARIO

<b>AASHTO</b>	American Association of State Highways and Transportation Officials.
<b>AC</b>	Asfalto convencional.
<b>Aglutinante</b>	Elementos que sirven para unir o pegar en las construcciones mediante reacciones químicas en presencia de agua y aire.
<b>ASTM</b>	American Society for Testind and Materials.
<b>Asfalto AC20</b>	Asfalto convencional de curado lento.
<b>Bache</b>	Pequeño desnivel en el suelo o en el pavimento, producido por la pérdida o hundimiento de la capa superficial o carpeta de rodadura.
<b><i>Beaker</i></b>	Vaso de precipitados de vidrio, comúnmente utilizado en laboratorio para preparar o calentar sustancias y traspasar líquidos.
<b>CA-9</b>	Carretera Interoceánica.

<b>Centrifugadora</b>	Máquina que aprovecha la fuerza centrífuga para secar ciertas sustancias o para separar los componentes de una masa o mezcla.
<b>Exudación</b>	Presencia de una película de material bituminoso en la superficie del pavimento, la cual forma una superficie brillante, cristalina y reflectora que usualmente llega a ser pegajosa, ocasionada por el exceso de asfalto en la mezcla.
<b>Filler</b>	También llamado polvo minera, es la fracción que pasa por el tamiz de 0,063 mm, desempeña un papel fundamental en el comportamiento de las mezclas bituminosas.
<b>Gravedad <i>bulk</i></b>	Método para el cálculo de masa unitario o densidad de mezclas asfálticas en caliente compactadas.
<b>Gravedad <i>rice</i></b>	Método para calcular el porcentaje de vacíos de aire en el diseño de mezclas asfálticas Marshall.
<b>Hidrocarburo</b>	Compuesto de tipo orgánico que surge al combinar átomos de hidrógeno con otros de carbono.
<b>Material viscoelástico</b>	Materiales con la capacidad de tener viscosidad y elasticidad al experimentar deformación.

<b>Método Marshall</b>	Método para determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados.
<b>Riego de impregnación</b>	Consiste en la aplicación de material asfáltico, sobre una capa de material pétreo como la base del pavimento, con el objeto de impermeabilizarla y favorecer la adherencia entre ella y la carpeta asfáltica.
<b>Tara</b>	Recipiente donde se coloca algún tipo de mezcla o sustancia.
<b>TPDA</b>	Tráfico promedio diario anual
<b><i>Vernier</i></b>	Instrumento de medición llamado también calibre deslizante, por medio del <i>vernier</i> se pueden controlar medidas de longitud internas y externas.



## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realiza en el Laboratorio de Asfaltos del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos, tomando como parámetros el análisis del pavimento colocado en el acceso a Puerto Quetzal, donde se realizaron visitas técnicas y recolección de muestras asfálticas para luego ser estudiadas, analizadas y sometidas a las pruebas de control de calidad. Se iniciará dando una descripción de los conceptos básicos relacionados al tema, como conocer la función del pavimento.

El diseño de las estructuras de pavimentos flexibles es un tema de estudio e investigación. Previo a conocer los resultados obtenidos al momento de la colocación del pavimento flexible en el acceso a Puerto Quetzal, se realizó una inspección del material para aplicar los diferentes ensayos de control de calidad al pavimento según criterios y parámetros empíricos, para establecer el porqué de su rápido deterioro y mal funcionamiento, y aplicar alternativas para su mejora.

Se realizó un diagnóstico vial para el acceso a Puerto Quetzal, el cual sirvió para conocer las condiciones en las que se encontraba la carpeta de rodadura. Luego, se aplicaron los ensayos de control de calidad, con el fin de comparar los conceptos técnicos con los teóricos. Posteriormente, se emplearon las diferentes especificaciones técnicas que dicta el *Libro Azul*, llegándose a un resultado, el cual determinó el mal funcionamiento de los materiales en la mezcla asfáltica.



## OBJETIVOS

### General

Identificar las causas que provocaron el deterioro de la carpeta asfáltica ubicada en el kilómetro 101,5 autopistas a Puerto Quetzal.

### Específicos

1. Identificar cómo se manifestaron los tipos de falla que presentó la carpeta asfáltica.
2. Determinar si la mezcla y el colocado cumplen con los requisitos mínimos establecidos por las *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes* de la Dirección General de Caminos, normas AASHTO y ASTM.
3. Determinar la calidad de la carpeta de rodadura existente con base en las características mecánicas de la mezcla colocada por medio de los resultados obtenidos en los respectivos ensayos.
4. Verificar si la maquinaria utilizada para la colocación de la carpeta asfáltica contribuyó al rápido deterioro de la misma.





## INTRODUCCIÓN

Se ha identificado un problema en relación al deterioro del pavimento en el acceso a las instalaciones portuarias. Para esto se busca realizar pruebas de laboratorio a la carpeta asfáltica colocada en el kilómetro 101,5 autopista a Puerto Quetzal, Escuintla, para conocer si cumple o no cumple con características que proporcionen un servicio correcto en ese punto.

Se pretende también realizar pruebas a los materiales para verificar que estos cumplan con las exigencias de calidad mínimos establecidos que dictan las *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes* de la Dirección General de Caminos, normas AASHTO y ASTM, ya que muchas veces se saltan estos parámetros, por lo cual la mezcla asfáltica colocada se ve afectada en sus distintas propiedades físicas y mecánicas, reduciendo la vida útil de la obra.

El asfalto es un material al que los ingenieros civiles destinan un amplio y funcional número de aplicaciones en la actualidad. Debido a que la carpeta de rodadura está fallando por causas que aún se desconocen, se busca realizar diferentes pruebas a la carpeta asfáltica colocada en el sitio antes mencionado, con base en las pruebas de laboratorio que dictan las *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes* de la Dirección General de Caminos, normas AASHTO y ASTM. Además de conocer las causas del rápido deterioro de la carpeta superficial y, determinar qué tan eficiente se está comportando en su periodo de diseño y conocer la calidad del mismo.

Se busca demostrar la importancia que tiene conocer el estado en el que se encuentra el asfalto colocado y con base en los resultados de la investigación poder determinar las fallas que provocaron el deterioro del mismo, pues se tiene que eliminar la posibilidad de sucesos que puedan provocar algún daño de cualquier tipo a la obra después de la ejecución, conocer si es baja o altamente funcional, si cubre todas y cada una de las características, si satisface las exigencias por las cuales surgió la necesidad de colocar el asfalto en ese punto específico, o si incumple con todo eso. Para esto, se busca ensayar las muestras de mezclas asfálticas obtenidas y verificar qué tan capaz es de brindar un servicio útil, eficiente y productivo en ese sitio.

La autopista a Puerto Quetzal es, sin duda, una obra que demanda una calidad eficiente de sus materiales, para el buen funcionamiento de la carpeta asfáltica y, sobre todo, el tiempo de vida útil de la misma, también que resulte segura, cómoda y funcional en su uso, ya que este acceso es esencial para el buen funcionamiento de la economía del lugar.

# **1. GENERALIDADES SOBRE FALLAS QUE PROVOCAN DETERIORO EN PAVIMENTOS FLEXIBLES**

La mejor forma de identificar las fallas de pavimentos y determinar por qué se han producido es mediante la conducción de un estudio de reconocimiento, deseablemente una vez al año, preferiblemente al comienzo de la primavera. En él se debe identificar el tipo, severidad y magnitud de cada falla. También se debe tratar de determinar si el diseño del pavimento, la carga soportada, el agua, la temperatura, los materiales del pavimento o la construcción fueron la causa de la falla. Además de la inspección visual, pueden emplearse pruebas destructivas y no destructivas para determinar la condición estructural y las condiciones del material bajo la superficie del pavimento. En los pavimentos flexibles comúnmente se presentan fallas como fisuras, grietas, deterioro superficial, entre otros.

## **1.1. Causas que provocan deterioro en los pavimentos flexibles**

Las fallas en los pavimentos flexibles las originan las acciones que se ejercen directa o indirectamente sobre ellos. Los factores siguientes podrían ser un ejemplo de ellos: la repetición de las cargas, los agentes del clima o el peso propio de las capas que constituyen la estructura conjunta de la obra.

Las fallas se inician o se producen en los puntos débiles o deficientes de alguna de las partes fundamentales de la estructura general de la carretera, los cuales no pueden soportar eficientemente los efectos destructivos de alguno o varios de los factores señalados anteriormente, convirtiéndose en zonas

potenciales de falla la consecuencia de diseños inadecuados, mala calidad de los materiales utilizados, procedimientos de construcción defectuosos, falta de una conservación eficaz oportuna, entre otros. De tal manera que las fallas en los pavimentos pueden tener su origen en el terreno de cimentación, en las terracerías, en las obras de drenaje o en los elementos constitutivos del propio pavimento.

## **1.2. Fallas en los pavimentos flexibles**

Se define como falla a las condiciones que se presentan en un pavimento, cuando este pierde las características de servicio para las que fue diseñado. Los diferentes tipos de fallas pueden ser ocasionados por varios factores que contribuyen a la debilitación del pavimento (ver apéndices 1 a 7).

### **1.2.1. Tipos de falla**

Existen diferentes tipos de fallas que ocurren en los pavimentos, pero las principales pueden dividirse en fallas de superficie, funcionales y estructurales.

#### **1.2.1.1. Falla estructural**

Es una deficiencia del pavimento que ocasiona, de inmediato o posteriormente, una reducción en la capacidad de carga de este. En su etapa más avanzada, la falla estructural se manifiesta en la obstrucción generalizada del pavimento, a la que se asocia precisamente el índice de servicio, no necesariamente implica una falla estructural inmediata, ya que lo primero es consecuencia de su incapacidad para soportar las cargas de proyecto.

La identificación de una falla, que es definir su tipo y la causa que la ha provocado, a veces es una cosa relativamente sencilla y obvia para personas experimentadas en el ramo de la construcción de carreteras. En otros casos, es necesario llevar a cabo un reconocimiento completo de la zona de falla, que abarque las distintas partes que forman la estructura de la obra, hacer una serie de estudios y sondeos, recabar antecedentes de la construcción, para así poder definir el origen de los deterioros.

Las fallas se pueden clasificar tomando en cuenta el elemento estructural donde se originan:

- Fallas atribuibles a la carpeta.
- Fallas originadas en la interfase, carpeta-base, como consecuencia de una interacción inadecuada, esto es, un mal acoplamiento entre el material de base y la carpeta.
- Fallas originadas en la base, subbase o terracerías, como consecuencia de la inestabilidad de una o varias de estas capas.
- Fallas originadas por la repetición de cargas.
- Fallas ocasionadas por los agentes climatológicos.

#### **1.2.1.2. Falla funcional**

Los aspectos más importantes del pavimento que intervienen en el valor del índice de servicio actual son:

- Las ondulaciones longitudinales.
- Las deformaciones transversales.
- La textura de la superficie.

- El porcentaje de baches y áreas reparadas.

Tomando en cuenta que el índice de servicio se refiere únicamente a las condiciones de la superficie de rodamiento, la estructura funcional proporcionará un tránsito cómodo a los usuarios y una superficie de rodamiento adecuada a las necesidades de este. En su determinación o apreciación no intervendrán factores como diseño geométrico, estado de acotamientos, señalamientos, entre otros.

La falla funcional en sí, consiste en deficiencias superficiales del pavimento a las que se asocian precisamente el índice de servicio, que afectan en mayor o menor grado la capacidad del camino de proporcionar al usuario un tránsito cómodo y seguro.

#### **1.2.1.3. Falla de superficie**

Son las fallas en la superficie de rodamiento debido a las fallas en la capa de rodadura y que no guardan relación con la estructura de la calzada. Para solucionar estas fallas, se efectúa regularizando su superficie y confiriéndole la necesaria impermeabilidad y rugosidad.

### **1.3. Causas comunes que las originan**

Las causas que originan fallas en los pavimentos flexibles que son atribuibles a los mismos y de los cuales se hace una descripción a continuación, analizando cada una de las distintas capas que lo forman.

- Mala calidad en el material utilizado

- Baja compactación
- Falta de espesor
- Contaminación con el material de las terracerías
- Defectos de construcción o de acabados

### **1.3.1. Base**

- Mala calidad del material utilizado.
- Baja compactación.
- Falta de espesor.
- Falta de afinidad del material pétreo con el asfalto de impregnación.
- Falta de limpieza o barrido de la superficie de base al momento de impregnar.
- Defectos de construcción o de acabado.
- Defecto de la base impregnada por exposición excesiva al tránsito y a los efectos del clima, antes de protegerla con la carpeta.

### **1.3.2. En la carpeta de riego**

- Mala calidad de los materiales pétreos o granulometría defectuosa de estos.
- Falta de afinidad de los materiales pétreos con el asfalto.
- Cantidad escasa de materiales pétreos.
- Materiales pétreos con exceso de humedad al momento de la aplicación.
- Tránsito sobre el riego de asfalto antes de cubrir con el pétreo.
- Defectos de construcción de la carpeta (falta de rastreo, planchado o barrido de los materiales pétreos, traslapes incorrectos de los riegos, distribución no uniforme de los materiales, entre otros).

- Tránsito demasiado pronto sobre el material pétreo aplicado, principalmente cuando los vehículos no circulan a velocidades bajas.

### **1.3.3. Carpeta de la mezcla asfáltica**

- Mala calidad en los materiales pétreos o defectuosos en su granulometría.
- Falta de afinidad del material pétreo con el asfalto.
- Exceso de asfalto en la mezcla.
- Escasez de asfalto en la mezcla.
- Materiales pétreos demasiado húmedos al momento de agregar el asfalto.
- Tipo de asfalto inadecuado en la mezcla o mala calidad del producto utilizado.
- Contenido elevado de agua o de solventes en la mezcla, al momento de tender.
- Falta de uniformidad en la incorporación del asfalto en la mezcla.
- Baja compactación de la mezcla.
- Defectos de construcción en el tendido y de acabados.
- Baja resistencia de la mezcla.
- Mezcla asfáltica muy permeable, sin proteger con algún tratamiento de sellado.
- Rigidez relativamente alta de la carpeta.

### **1.3.4. Riego de impregnación**

- Tipo inadecuado de asfalto o mala calidad del producto.



- Cantidad excesiva de asfalto.
- Cantidad escasa de asfalto.
- Tránsito demasiado pronto sobre el riego de asfalto.
- Asfalto frío (viscosidad alta) que impide su penetración en la base.
- Defectos en la aplicación del asfalto (atribuibles a la petrolizadora o al operador).

### **1.3.5. Riego de liga**

- Tipo inadecuado de asfalto o mala calidad del producto.
- Cantidad excesiva de asfalto.
- Cantidad escasa de asfalto.
- Asfalto muy frío o que ha perdido su capacidad de aglutinación al momento de extender la carpeta (de mezclas en el lugar) o cubrirse con los materiales pétreos (carpeta de riego).
- Defectos en la aplicación del asfalto (atribuibles a la petrolizadora o al operador).

### **1.3.6. Riego de sello**

- Mala calidad de los materiales pétreos utilizados o a defectos en su granulometría.
- Falta de afinidad del material pétreo con el asfalto.
- Exceso o escasez del material pétreo o del asfalto.
- Materiales pétreos demasiado húmedos al momento de aplicación.
- Tránsito sobre el riego de asfalto, antes de cubrir con el pétreo.
- Asfalto muy frío o que ha perdido su poder de aglutinación, al momento de cubrirlo con el material pétreo.

- Defectos de la aplicación del asfalto (atribuibles a la petrolizadora o al operador).
- Tránsito demasiado pronto sobre el material pétreo aplicado, principalmente cuando los vehículos no circulan a bajas velocidades.
- Defectos de construcción (distribución no uniforme del material pétreo, falta de rastreo, planchado o barrido del material, traslapes incorrectos de los riegos, entre otros).
- Efecto del tránsito pesado en zonas subdiseñadas o deficientemente construidas del pavimento.
- Paso del tránsito de vehículos o del equipo de construcción sobre la carpeta recién tendida o sin la debida compactación.

#### **1.4. Fallas más comunes**

De acuerdo con lo descrito anteriormente y como una guía, en la presente sección se presentan las fallas más comunes que se dan en los pavimentos flexibles.

##### **1.4.1. Agrietamiento**

Existen diferentes tipos de agrietamiento que ocurren en la superficie del pavimento, en este caso el agrietamiento ocurrió en lo que se denomina la base del pavimento.

##### **1.4.1.1. Grietas en forma de piel de cocodrilo**

Son grietas interconectadas que forman una serie de pequeños bloques en el pavimento, semejando a la piel de cocodrilo o tela de gallinero. La causa

usual es la deflexión de la carpeta provocada por cargas excesivas sobre una base, subbase o subrasante inestable, la cual puede deberse a que dichos materiales se encuentren saturados o sean de espesor insuficiente para soportar las cargas.

#### **1.4.2. Distorsiones o deformaciones**

Son un tipo de falla que ocurre en la base del pavimento, estas pueden mostrarse como roderas, que son marcas de llantas al paso del vehículo.

##### **1.4.2.1. Roderas (marcas de rodadura)**

Depresiones que se forman en el pavimento por las huellas de las ruedas. La causa puede ser por la consolidación o por el movimiento lateral de una o más capas inferiores debido al tránsito, o simplemente por exceso de carga. También pueden aparecer por poca compactación durante la construcción o por baja estabilidad de la mezcla para soportar tráfico.

#### **1.4.3. Crestas en la superficie de rodamiento**

Es una ondulación en forma de crestas transversales en la superficie, formadas por movimientos plásticos del pavimento. Este movimiento consiste en un hundimiento y levantamiento localizados en la superficie de rodamiento. Se presenta usualmente en zonas de frenaje durante una bajada, curvas cerradas o por rebote de los automóviles al golpear un borde.

Las causas de estas son debido a mezclas de baja estabilidad por exceso de asfalto, agregados finos en alta proporción o gruesos demasiado redondo o pulidos, humedades excesivas, contaminación con aceites o también a la falta

de reposo de la mezcla recién elaborada y tendida antes de perder solventes. Al momento de su reparación, es necesario remover el material y se aplican un bacheo profundo.

#### **1.4.4. Hundimiento**

Son áreas de tamaño reducido, acompañada o no de agrietamientos. Los hundimientos generalmente penetran por debajo de la rasante, provocando estancamiento del agua.

Estos estancamientos son un peligro para los usuarios, aparte del deterioro del pavimento. Las causas posibles del hundimiento es un tránsito más pesado para el que fue diseñado el pavimento o por deficiente construcción.

#### **1.4.5. Levantamiento o hinchamiento**

Es debido a la saturación de agua en la subrasante o de alguna otra capa de la estructura del pavimento. Estos hinchamientos generalmente son suelos expansivos que al penetrar la humedad tienden a levantar el área afectada. Para repararlos, se procede a efectuar un bacheo profundo.

Estos hinchamientos de material, que con el tiempo pasan a ser baches o un deterioro total del pavimento, casi siempre se presentan en zonas de corte; si se pone atención en cualquier carretera se observarán estos hinchamientos.

#### **1.4.6. Exudaciones**

Este tipo de daño se presenta con una película o afloramiento del ligante asfáltico sobre la superficie del pavimento, generalmente brillante, resbaladiza y pegajosa. Es un proceso que puede llegar a afectar la resistencia al deslizamiento.

La exudación se genera cuando la mezcla tiene cantidades excesivas de asfalto, haciendo que el contenido de vacíos con aire de mezcla sea bajo, sucede especialmente durante épocas o en zonas calurosas. También puede darse por el uso de asfaltos muy blandos o por derrame de ciertos solventes.

#### **1.4.7. Pérdida de áridos**

Se puede dar a conocer como un tipo de desintegración, corresponde a la disgregación superficial de la capa de rodadura debido a una pérdida gradual de agregados, haciendo la superficie más rugosa y exponiendo de manera progresiva los materiales a la acción del tránsito y los agentes climáticos. Este tipo de daño es común en tratamientos superficiales, caso en el que pueden aparecer estrías en la dirección del riego y debe ser reportado como surcos.

Las posibles causas de la pérdida de áridos pueden ser:

- Aplicación irregular del ligante en tratamientos superficiales.
- Problemas de adherencia entre agregado y asfalto.
- Uso de agregados contaminados con finos o agregados muy absorbentes.
- Lluvia durante la aplicación o el fraguado del ligante asfáltico.

- Endurecimiento significativo del asfalto.
- Deficiencia de compactación de la carpeta asfáltica.

#### **1.4.8. Ahuellamiento**

Es una depresión de la zona localizada sobre la trayectoria de la llanta de los vehículos. Con frecuencia se encuentra acompañada de una elevación de las áreas adyacentes de la zona deprimida y de fisuración. Un ahuellamiento significativo puede llevar a la falla estructural del pavimento y posibilitar el hidropilaje por almacenamiento de agua.

El ahuellamiento ocurre principalmente debido a una deformación permanente de alguna de las capas del pavimento o de la subrasante, generada por deformación plástica del pavimento asfáltico o por deformación de la subrasante debido a la fatiga de la estructura ante la repetición de cargas.

La deformación plástica de la mezcla asfáltica tiende a aumentar en climas cálidos y puede darse por una compactación inadecuada de las capas durante la construcción, por el uso de asfaltos blandos o agregados redondeados.

#### **1.4.9. Desintegraciones**

Son la rotura en pequeños fragmentos sueltos del pavimento y la disgregación de las partículas del agregado. Si este proceso de desintegración no se detiene a tiempo, va progresando hasta generalizarse en todo el pavimento y se necesitará una reconstrucción total, no solo de la carpeta, sino de todo el pavimento.

De las desintegraciones, los tipos más comunes son los baches y el desmoronamiento de los bordes. Los métodos de reparación pueden ser un simple taponamiento hasta un bacheo profundo.

#### **1.4.9.1. Baches y calaveras**

Son cavidades de tamaños y formas diferentes que se producen en un pavimento debido a una desintegración localizada. Los baches son causados en zonas débiles del pavimento, por falta de asfalto, falta de espesores, demasiados finos, pocos finos, drenaje deficiente, entre otros.

Los baches, lamentablemente, casi siempre aparecen cuando es difícil hacer una reparación permanente, ya que se generalizan en épocas de intensas lluvias, agravando el problema del drenaje deficiente. Es por estas razones que es muy común que las reparaciones sean de emergencia.

#### **1.4.9.2. Desvestimiento**

Es la ruptura del enlace adhesivo entre la superficie del agregado y el cemento asfáltico. Por lo general, comienza en la capa externa y continúa hasta que debilita la estructura del pavimento. En esta situación se pueden detallar dos tipos de fallas; la primera es cuando falla está en el asfalto que separa las partículas del agregado mineral entre sí. En el caso de falta de adhesión, la separación la conservan entre todos. Generalmente, las fallas se producen por falta de cohesión.

La adhesión está definida como la fuerza de atracción de las moléculas que hacen que los cuerpos se unan conjuntamente. La adhesión es un fenómeno de superficies, además, es causada por la energía libre sobre la

superficie del líquido que también es llamada tensión superficial. Para un mejor contacto entre el asfalto y la superficie del agregado mineral, este debe estar completamente líquido, ya sea por calentamiento, emulsificación o por mezcla con solventes del petróleo.

La viscosidad controla el poder humectante del asfalto, a mayor viscosidad, mayor poder humectante. La humectabilidad es la habilidad que tiene un agregado para hacer contacto con un líquido. La mayoría de los agregados tienen atracción por el agua, así como por el asfalto. Si un agregado tiene su superficie con una película de agua, el asfalto no se pegará a la superficie, a menos de que remplace la película de agua; lo mismo puede suceder si la superficie del agregado está cubierta por una capa de finos. La textura de la superficie, la porosidad y la absorción afectan la adhesión de un asfalto al agregado.

#### **1.4.9.3. Desintegración de bordes**

Es la disgregación progresiva de los bordes del pavimento hacia adentro (generalmente en intersecciones con caminos no pavimentados o brechas). Esto comienza al presentar el pavimento superficies rugosas o erosionadas, debido, en un principio, a la pérdida de finos.

A medida que la erosión avanza al ir perdiendo finos, el pavimento va perdiendo consistencia y se va soltando el agregado grueso hasta la desintegración.

El desmoronamiento en los bordes es causado por falta de compactación durante la construcción, agregados contaminados o desintegrados, falta de asfalto en la mezcla o calentamiento excesivo.



Generalmente, al construir una carpeta no se pone cuidado en los bordes o terminaciones, no se compactan debidamente, ya sea por no abarcar el compactador todo el ancho de la carpeta o simplemente por negligencia del operador.

También, al dar protección a la carpeta, generalmente los bordes quedan sin dicha protección. Las superficies secas, porosas, semierosionadas y bordes desmoronados son condiciones que requieren un tratamiento superficial y pueden considerarse como medida de tipo correctivo.

## **1.5. Ensayos de laboratorio para mezclas asfálticas colocadas**

Las mezclas asfálticas han sido típicamente diseñadas con procedimientos empíricos de laboratorio, lo que significa que se requiere la experiencia en campo para determinar si el análisis de laboratorio tiene correlación con el desempeño del pavimento. De cualquier manera, aún con la correcta conjunción de estos procedimientos y el desarrollo del criterio de diseño de la mezcla, no se podrían asegurar buenos grados de desempeño.

Las pruebas a las mezclas asfálticas compactadas el método Marshall, llevando a cabo diferentes pruebas para conocer tanto sus características volumétricas como mecánicas.

### **1.5.1. Método Marshall**

El concepto del método Marshall en el diseño de mezclas para pavimentación fue formulado por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos del Departamento de Autopistas del estado de Mississippi. El Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de

correlación, mejoró y adicionó ciertos aspectos al procedimiento de prueba Marshall, a la vez que desarrolló un criterio de diseño de mezclas.

El método original únicamente es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1") o menor. El método Marshall modificado se desarrolló para tamaños máximos arriba de 38 mm (1,5") y está pensado para el diseño en laboratorio y control en campo de mezclas asfálticas en caliente, con graduación densa. Debido a que la prueba de estabilidad es de naturaleza empírica, la importancia de los resultados en términos de estimar el comportamiento en campo se pierde cuando se realizan modificaciones a los procedimientos estándar.

El método Marshall utiliza especímenes de prueba estándar de 64 mm (2½") de alto y 102 mm (4") de diámetro. Se preparan mediante un procedimiento para calentar, combinar y compactar mezclas de asfalto-agregado (ASTM D1559). Los dos aspectos principales del método Marshall son la densidad-análisis de vacíos, y la prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados. Cabe mencionar que este proceso de diseño no tiene especificadas pruebas para agregados minerales ni para cementos asfálticos.

#### **1.5.1.1. Prueba de estabilidad y flujo**

El valor de estabilidad Marshall es una medida de la carga bajo la cual una probeta cede o falla totalmente. Durante un ensayo, cuando la carga es aplicada lentamente, los cabezales superior e inferior del aparato se acercan, y la carga sobre la briqueta aumenta, al igual que la lectura en el indicador del

cuadrante. Luego, se suspende la carga una vez se obtiene la carga máxima. La carga máxima indicada por el medidor es el valor de estabilidad Marshall.

Debido a que la estabilidad Marshall indica la resistencia de una mezcla a la deformación, existe una tendencia a pensar que si un valor de estabilidad es bueno, entonces un valor más alto será mucho mejor.

#### **1.5.1.2. Análisis de densidad y vacíos**

Después de completar las pruebas de estabilidad y flujo, se lleva a cabo el análisis de densidad y vacíos para cada serie de especímenes de prueba, determinando la gravedad específica teórica máxima (ASTM D2041) para al menos dos contenidos de asfalto, preferentemente los que estén cerca del contenido óptimo de asfalto. Un valor promedio de la gravedad específica efectiva del total del agregado, se calcula de estos valores.

Utilizando la gravedad específica y la gravedad específica efectiva del total del agregado, así como el promedio de las gravedades específicas de las mezclas compactadas, la gravedad específica del asfalto y la gravedad específica teórica máxima de la mezcla asfáltica, se calcula el porcentaje de asfalto absorbido en peso del agregado seco, porcentaje de vacíos ( $V_a$ ), porcentaje de vacíos llenados con asfalto (VFA) y el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA).

#### **1.5.2. Gravedad específica de las mezclas asfálticas**

Para el diseño de mezclas asfálticas es importante la determinación de las gravedades específicas de la mezcla asfáltica, dado que con la ayuda de sus

componentes se puede determinar el porcentaje de vacíos de aire para cada contenido de asfalto.

#### **1.5.2.1. Gravedad específica *bulk* de briquetas (ASTM D 2726 o ASTM D 1188)**

Este método se refiere a la determinación de la gravedad específica *bulk*, y densidad de especímenes de mezclas asfálticas compactadas.

#### **1.5.2.2. Gravedad específica teórica máxima *rice* (ASTM D 2041)**

La gravedad específica teórica máxima y la densidad de mezclas asfálticas para pavimentos son propiedades fundamentales, cuyos valores están afectados por la composición de la mezcla en términos del tipo y cantidad de agregados y de los materiales asfálticos.

Estos valores son usados para calcular el porcentaje de vacíos con aire, en una mezcla de pavimento asfáltico en caliente, compactada. Ellos son esenciales para calcular la cantidad de asfalto absorbido por los poros internos del agregado en una mezcla asfáltica en caliente.

#### **1.5.3. Propiedades volumétricas de mezclas asfálticas**

Son un análisis unificado de las propiedades volumétricas del asfalto y los agregados, las que dan un indicativo del probable comportamiento de la mezcla asfáltica en servicio.

Dentro de las propiedades volumétricas de una mezcla asfáltica compactada que se estudiará están vacíos de aire ( $V_a$ ), vacíos en el agregado mineral (VMA) y contenido de asfalto efectivo ( $P_{be}$ ).

#### **1.5.3.1. Porcentaje de vacíos de aire ( $V_a$ )**

Son las burbujas de aire que se encuentran entre las partículas de agregados cubiertos con asfalto en una mezcla asfáltica compactada. Se expresa como porcentaje del volumen total del espécimen.

#### **1.5.3.2. Contenido de asfalto ( $P_{be}$ )**

Es el contenido total de asfalto menos la fracción de ligante asfáltico absorbida por las partículas del agregado. Se expresa como porcentaje del peso de la mezcla de pavimento compactada.

#### **1.5.4. Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos (ASTM C136 o AASHTO T-27)**

Este método de ensayo tiene por objeto determinar cuantitativamente la distribución de los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, por medio de tamices de abertura cuadrada, progresivamente.

Este método se usa principalmente para determinar la granulometría de los materiales propuestos que serán utilizados como agregados. Los resultados se emplean para determinar el cumplimiento de los requerimientos de las especificaciones que son aplicables y para suministrar los datos necesarios para la producción de diferentes agregados y mezclas que contengan agregados.



## **2. COLOCADO DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AUTOPISTA A PUERTO QUETZAL, KILÓMETRO 101,5**

En el departamento de Escuintla es donde se encuentra ubicado el kilometraje en el cual se extrajeron las muestras de mezcla asfáltica para ser ensayadas y analizadas, describiendo así su ubicación geográfica y su monografía.

### **2.1. Monografía del lugar**

Se hizo una recopilación de la ubicación geográfica, lugares importantes, datos históricos y demás áreas de investigación que parecen más relevantes e innovadoras en el departamento de Escuintla.

#### **2.1.1. Ubicación y localización geográfica del municipio de San José, Escuintla**

El municipio de San José se encuentra situado en la parte sur del departamento de Escuintla, en la Región V o Región Central. Se localiza en la latitud 13° 05' 22" y en la longitud 90° 49' 10". Limita al norte con los municipios de La Democracia y Masagua (Escuintla); al sur con el Océano Pacífico; al este con el municipio de Iztapa (Escuintla); y al oeste con los municipios de La Gomera y La Democracia (Escuintla). Cuenta con una extensión territorial de 280 kilómetros cuadrados y se encuentra a una altura de 1,98 metros sobre el nivel del mar, por lo que generalmente su clima es cálido.

Se encuentra a una distancia de 53 kilómetros de la cabecera departamental de Escuintla.

### **2.1.2. Datos históricos**

Antiguamente se llamaba El Zapote, pero al trasladar el puerto de Iztapam a este lugar, de le dio el nombre de San José de Guatemala. Por acuerdo gubernativo del 2 de enero de 1875, a petición de los vecinos, se solicitó que se formara una municipalidad que velará por los intereses de aquella población del puerto de San José. Esta municipalidad se creó por acuerdo gubernativo del 19 de junio de 1920.

Durante el período hispánico y con excepción de Iztapa o Iztapam como puerto, cuya vida fue muy breve, no existió otro en el mar del sur, efectuándose el comercio a través del de Acajutla, situado en lo que actualmente es parte de la República de El Salvador. Obtenida la independencia en 1821, se mandó habilitar dos puertos: La Libertad en El Salvador y el de Iztapa o La Independencia en Guatemala.

El lugar donde se asienta la actual cabecera se conocía como El Zapote, donde por disposición del Gobierno del 20 de agosto de 1836 se trasladó el puerto de Iztapam. Hacía 27 años que venía funcionando Iztapa, cuando en 1851 se pensó trasladar el puerto a otro lugar que presentase mejores condiciones higiénicas, climáticas y físicas, por lo que en ese año se encargó al Consulado de Comercio nombrar una comisión que hiciese un detallado estudio.

El 1 de junio de 1866 se concedió el privilegio a Pío Benito de construir y conducir el muelle.



### **2.1.3. Costumbres y tradiciones**

En San José se celebrara la fiesta titular el día 19 de marzo, cuando la Iglesia conmemora al patriarca San José. Durante estas fiestas, los habitantes de San José realizan actividades religiosas, sociales, culturales y deportivas, así como carreras de encostalados, corridas de toros y el baile folklórico de los Moros.

### **2.1.4. Idioma**

Pese a que el departamento de Escuintla es un lugar sumamente turístico, en el municipio de San José el idioma que se habla es el castellano, aunque el idioma materno es el sinca, haciendo referencia al xinca.

### **2.1.5. Economía**

Este municipio basa su economía en la producción agrícola de frutas y legumbres, también se dedica a la crianza de ganado vacuno. Otras ramas de su economía la constituyen las salinas y algodonerías, así como la elaboración de productos artesanales como aperos y canoas, que son muy utilizados por los pobladores para la pesca.

### **2.1.6. Hidrografía**

Este municipio se encuentra a orillas del océano Pacífico, en el cual posee extensas playas, también es irrigado por la vertiente de varios ríos, entre los más importantes están: Michatoya, Achiguate, Botón Blanco y el río Cristalino, que desembocan en ese océano. Además, se encuentran en la jurisdicción de San José 10 zanjones, 3 lagunas, 2 lagunetas y el canal de Chiquimulilla, que

es navegado por varias embarcaciones, lo que facilita la comunicación con varias comunidades.

### **2.1.7. Orografía**

Este municipio por encontrarse a una altura aproximada de 1,98 metros sobre el nivel del mar sobre las costas del océano Pacífico no cuenta con elevaciones importantes, como montañas o cerros, ya que se encuentra en una planicie que termina al borde de este océano.

### **2.1.8. Áreas protegidas**

San José cuenta con el área protegida de la Reserva Natural Privada Canaima, que tiene una superficie de 25 hectáreas, la cual es administrada por Inversiones Canaima.

San José se comunica por la carretera Interoceánica CA-9 y por la autopista que va del puerto Quetzal hacia Escuintla. Asimismo, cuenta con caminos vecinales, veredas y roderas que lo comunican con otros municipios y poblados rurales. Otra vía de comunicación con que cuenta San José es la vía férrea, de la cual se encuentran las estaciones: Arizona, Linares, Montaña Larga, Peñate y San José. También cuenta con el campo de aviación de la base militar.

## **2.2. Ubicación y localización geográfica del proyecto**

El lugar de investigación se encuentra ubicado a 2h 10 min (101,5 km) por la carretera CA-9 y carretera Interamericana, o a 2 h 20 min (128,8 km) por la carretera a Villa Canales y carretera CA-9 (ver figura 1).

Coordenadas geográficas de proyecto:

- Latitud norte 13°55' 13,76"
- Longitud oeste 90°47' 15,83"

Figura 1. **Localización geográfica del proyecto a investigar**



Fuente: Google Maps. [www.maps.google.com](http://www.maps.google.com). Consulta: abril 2015.

### **2.3. Tendido de asfalto en condiciones de clima caliente**

Para lograr una correcta colocación y compactación deben tomarse en cuenta diferentes factores. La decisión de tender el asfalto dependerá de las condiciones de viento, temperatura del pavimento, espesor colocado, el equipo y los procedimientos a usarse al tender y compactar la mezcla.

El tender durante la tarde noche tiene ventajas adicionales en el clima caliente. Las bajas temperaturas de aire y un nivel reducido o ausencia de la radiación solar permitirán al substrato enfriar más rápidamente.

El cese del tendido durante la parte más calurosa del día, cuando la temperatura superficial excede los 45 °C, esto no solo ayuda al contratista a minimizar los problemas de lograr los requerimientos de asfalto en términos de profundidad de textura, también permite a la superficie enfriar más rápidamente en la tarde cuando el tendido puede resumirse. El tendido puede resumirse cuando la temperatura superficial haya bajado a 30 °C, por lo general alrededor de las 20:00 horas. No se recomienda tenderlo antes, a mayores temperaturas, ya que incrementa el tiempo de enfriado del pavimento y no es recomendable. En teoría esto es bueno, pero en la mayoría de los casos es difícil lograrlo en la práctica.

#### **2.4. Problemas que puede ocasionar el clima caliente al tendido de asfalto**

Las propiedades del asfalto a altas temperaturas (40 a 60 °C) están relacionadas con el desempeño al ahuellamiento de pavimentos, ya que este ocurre en el asfalto debido al flujo plástico del material, sabiendo que el flujo plástico es un proceso irreversible causado por altos esfuerzos aplicados por vehículos y en lugares donde la temperatura es elevada, en combinación de estas ocurre el ahuellamiento.

Otro de sus problemas es el enfriamiento de la capa de rodadura, el comportamiento térmico del pavimento, al final del periodo de compactación hasta que la nueva capa haya enfriado a la temperatura ambiente, está influenciado por el efecto cíclico de la radiación solar. Esto es extremadamente complejo y, a la fecha, no ha sido modelado. Sin embargo, debe transcurrir un día antes que se disipe el calor de una capa de 50 mm y tres días para una capa de 150 mm de espesor.

## **2.5. Funcionamiento del enfriamiento de la carpeta asfáltica**

El calor se pierde de una capa caliente asfáltica por el contacto con el subestrato más frío y por la radiación desde la parte superior de la superficie.

Como la capa de asfalto se enfría, el flujo de calor en el subestrato disminuirá cuando la capa logre un equilibrio de temperatura con el ambiente.

El factor más importante del material es el espesor de la capa asfáltica, seguida de su temperatura. La capa asfáltica, cuando se enfría, depende de factores ambientales y del asfalto. Los factores del asfalto que afectan el rango de enfriamiento incluyen su temperatura, conductividad termal, calor específico, coeficiente de reflexión y espesor de la capa.

## **2.6. Factores que influyen en el tendido de asfalto en clima caliente**

Al momento del tendido de asfalto en clima caliente se debe tener conocimiento de las diferentes características de la mezcla asfáltica que se colocará, para contribuir a un mejor desempeño y funcionalidad de la misma.

### **2.6.1. Resistencia de la capa asfáltica a determinada temperatura**

La temperatura es uno de los factores importantes para determinar el módulo del asfalto, la resistencia a la fatiga y a la deformación permanente de las capas asfálticas.

La temperatura es uno de los factores más significativos que afectan la resistencia de la carpeta asfáltica. Como el asfalto es un material viscoelástico,

lo cual significa que sus propiedades de rigidez son dependientes de la temperatura y el rango de carga que esta pueda resistir. La rigidez de la mezcla influencia la resistencia a la fatiga del asfalto, por lo tanto, el efecto puede ser considerado en términos de influencia de la temperatura de la rigidez de la mezcla.

### **2.6.2. Carga en el pavimento debida al tránsito sobre el mismo**

Se deben de considerar, primero que nada, para el diseño de un pavimento flexible, diferentes aspectos técnicos como carga del tránsito, materiales de las terracerías, condiciones climatológicas, materiales de la capa de rodadura y método de diseño.

Habiendo mencionado lo anterior, se deduce que la carga de tránsito es uno de los aspectos más importantes. Las cargas varían según su configuración, su magnitud y repetición. Es por eso que se deben de tomar en cuenta datos de ingeniería de tránsito requeridos en el diseño de pavimentos, los cuales son:

- Tránsito promedio diario anual, TPDA (vehículos/día)
- Distribución vehicular por sentido de circulación
- Distribución vehicular por carriles (carril de proyecto)
- Distribución vehicular por tipo de vehículo
- Crecimiento vehicular a lo largo del periodo de análisis

### 2.6.3. Velocidad de tráfico

Se debe tomar en cuenta las horas en que se colocará el asfalto, si se considera un tendido para clima caliente de 20:00 h en adelante, el cierre de caminos a especificadas horas reducen las demoras de tráfico y deformación.

Se debe considerar el cese del tendido si las condiciones del clima y tráfico son tales que el riesgo de daño prematuro de una superficie recién abierta sea inaceptable.

### 2.6.4. Tipo de vehículo que circula en ese punto

A lo largo del tramo carretero donde se encuentra el lugar de investigación, circulan diferentes tipos de vehículos automotores de dos, cuatro o más ruedas, y de dos, tres o más ejes (ver tabla I).

Tabla I. Tipos de vehículo que circulan en el sector

Núm.	Tipo de vehículo
1	Automóviles
2	Autobuses
3	Camiones panel y picop
4	Camionetas de 2 ejes y 4 llantas
5	Camionetas de 2 ejes y 6 llantas
6	Camionetas de 3 ejes o más ejes
7	Camiones de 3 ejes
8	Camiones de 4 ejes
9	Camiones de más de 5 ejes

Fuente: elaboración propia.

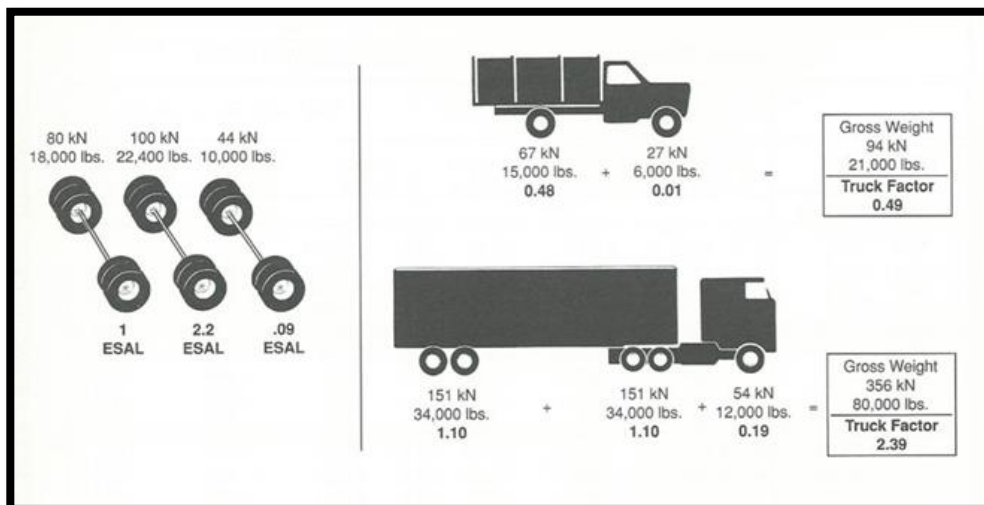
## 2.6.5. Cargas de diseño

La carga del vehículo al pavimento se transmite a través de las ruedas. En los diferentes métodos de diseño es necesario conocer el área de contacto de la llanta con el pavimento, asumiendo que la carga de contacto depende de la presión de contacto.

La separación de los ejes no debe tener efecto en el diseño de pavimentos, ya que las ruedas están muy separadas y la influencia en los esfuerzos y deformaciones debe ser considerada independiente.

El aumento de cargas por eje que se da en la actualidad hace que las investigaciones en este aspecto sean de gran relevancia, puesto que tienen una participación directa en la vida útil del pavimento (ver figura 2).

Figura 2. Cargas de diseño para vehículos con diferentes ejes



Fuente: ANGUAS, Paul. *Pavimentos flexibles. Métodos de diseño*. p. 29.



### **2.6.6. Espesor de la carpeta de rodadura**

El espesor de la capa afecta al tiempo disponible de compactación, aunque las especificaciones en los contratos normalmente estipulan espesores para cada capa asfáltica. Siendo más flexible, se deberían permitir capas más delgadas para condiciones climáticas calientes.

El factor más importante del material es el espesor de la capa asfáltica, seguida de su temperatura. Para condiciones fijas, el tiempo de enfriamiento es proporcional al espesor de la capa.



### **3. MATERIAL Y EQUIPO UTILIZADO PARA LA COLOCACIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y TOMA DE MUESTRAS**

#### **3.1. Materiales y equipo a utilizar en la colocación de pavimento flexible**

Para realizar la colocación en carreteras con concreto asfáltico de una manera adecuada, es necesario contar con los materiales y el equipo necesario y específico para cada trabajo. En el caso de los materiales, estos deben cumplir con los requisitos mínimos de calidad, por lo que es necesario realizar ensayos de laboratorio. El equipo utilizado debe ser el adecuado para que los trabajos realizados sean ejecutados satisfactoriamente y de una manera técnica.

##### **3.1.1. Materiales**

En la colocación de concreto asfáltico se utilizan diferentes materiales, dependiendo de lo que se vaya a realizar y de cómo están diseñadas las diferentes partes que conforman la carretera. Entre estos materiales están asfalto, emulsiones, material pétreo y otros. Cada uno de ellos debe cumplir las especificaciones que se encuentran en las normas con las cuales se está trabajando.

### **3.1.1.1. Clasificación de los componentes de las mezclas asfálticas**

El asfalto es un material aglomerante de consistencia que va desde ligeramente más espeso que el agua hasta materiales duros y quebradizos. Se clasifica de la siguiente manera:

- Cementos asfálticos (AC)
- Asfaltos de curado lento (SC)
- Asfaltos diluidos de curación media (MC)
- Asfaltos diluidos de curación rápida (RC)

### **3.1.1.2. Composición del asfalto AC20**

Para conocer la composición del asfalto AC20, en su condición original debe presentar una viscosidad dinámica de  $200 \pm 40\text{Pa} \cdot \text{s}$ . Este tipo de asfalto es de curado lento y se recomienda para lugares con condiciones de baja temperatura y cargas rápidas (camiones de alta velocidad).

#### **3.1.1.2.1. Cementos asfálticos (AC)**

Se define como concreto asfáltico convencional, puede ser denso, semidenso y grueso. Es combinación de ligante asfáltico convencional o modificado, árido (incluido *filler*) y eventualmente aditivo, como mejoradores de adherencia, fibras naturales, entre otros.

Son los aglutinantes más utilizados en los tipos finos de pavimentos bituminosos. Son hidrocarburos que provienen de los aceites lubricantes y los

combustibles, ya que son extraídos del petróleo. Las especificaciones para estos asfaltos se describen en la tabla II.

Tabla II. **Requisitos para la mezcla de concreto asfáltico**

Características	Norma AASHTO	Norma ASTM	Tipos				
			40-50	80-70	85-100	120-150	200-300
Penetración 25°C, 100 gr. 5 seg	T-49	D-5					
Viscosidad a 135 °C Saybolt-Furol, SSF Cinemática, entistokes	-	-					
	-	E-102	120+	100+	85+	70+	50+
	-	D-445	240+	200+	170+	140+	100+
Punto de inflamación vaso abierto de Cleveland °C	T-46	D-92	232+	232+	232+	232+	177+
Ensayo en horno en película delgada Penetración después del ensayo 25°C 100 gr., 5 seg., % de la original	T-179		-	-	-	-	-
	T49	D-5	52+	50+	45+	42+	37+
Ductilidad: A 25 ° C, cm. A 15.6 °C, cm.	T-51	D-113	100+	100+	100+	60+	- 60+
Solubilidad en CCl <sub>4</sub> , %	T-44	D-4	99.5+	99.5+	99.5+	99.5+	99.5+

Fuente: Dirección General de Caminos. *Manual de requerimientos*. Sección 401. p. 302

### 3.1.1.3. Control sobre procedencia de los materiales ligantes y áridos

El control de la procedencia de los materiales ligantes y áridos, que es uno de los factores más importantes para la buena funcionalidad de la mezcla, se centrará específicamente en los proveedores.

- Para el ligante asfáltico

El proveedor del ligante debe suministrar a quien lo contrata con información adecuada del producto como:

- Denominación comercial del material asfáltico provisto y su certificado de calidad.
- Identificación del vehículo que lo transporta.
- Fecha y hora de recepción.
- Lugar de donde proviene el ligante.

El contratista debe tomar de cada información suministrada, dos muestras en presencia de quien esté delegado el proyecto. Las mismas deben tener al menos un litro, en envases limpios y apropiados, uno lo conserva la empresa y el otro el encargado de la obra. Estas muestras deben ser conservadas hasta el final del periodo de garantía de la obra.

- Para los áridos

El contratista es responsable de solicitar al proveedor, el suministro de áridos gruesos y finos que satisfagan las exigencias de las especificaciones dadas en las normas. Además debe registrar durante su recepción la siguiente información que debe ser entregada al encargado de la obra.

- Denominación comercial del proveedor.
- Referencia del remitente con el tipo de material provisto.
- Verificación ocular de la limpieza de los áridos.
- Identificación del vehículo que los transporta.
- Fecha y hora de recepción en obrador.

#### **3.1.1.4. Fallas que pueden provocar el contenido de los materiales a la mezcla asfáltica**

Existen diferentes causas que pueden provocar un pavimento defectuoso, al momento de realizar la mezcla asfáltica deben tomarse en cuenta ciertos aspectos de calidad que harán de la mezcla, la más adecuada al momento de ser puesta en obra. Agregar mucho o poco material ligante, y no tener control sobre la granulometría a la hora de mezclar el material pétreo con el ligante.

##### **3.1.1.4.1. Contenido de bitumen**

Una mezcla con poco asfalto puede, en general, ser detectada inmediatamente si la falta de bitumen es severa. Tiene una apariencia seca, granular, recubrimiento defectuoso y los rodillos no la compactan satisfactoriamente.

Exceso de bitumen (exudaciones), la incorrecta proporción entre el espesor de la capa asfáltica y tamaño de agregado puede provocar ondulaciones. La alimentación excesiva de *filler* provoca agrietamiento. Asimismo, la falta de ligante bituminoso puede causar segregación y también agrietamiento.

##### **3.1.1.4.2. Granulometría**

- Exceso de agregado grueso

Una mezcla con exceso de agregado grueso, puede detectarse por la poca estabilidad de la mezcla y por su apariencia gruesa, es colocada en el camino, de otra manera se asemeja a una mezcla rica.

- Exceso de agregado fino

Una mezcla con exceso de agregado fino no tiene una apariencia distinta de la mezcla adecuadamente graduada después que esta ha sido rodillada. De otro modo se presenta como una mezcla seca.

Deficiente alimentación de material fino y falta de finos pueden provocar ondulaciones y agrietamientos.

#### **3.1.1.4.3. Naturaleza y calidad de los áridos**

La naturaleza de los áridos puede ser natural o artificial, siempre que cumplan las exigencias establecidas según normas técnicas que determinen su calidad como material para su utilización en mezclas asfálticas.

Deben provenir de rocas sanas y no deben ser susceptibles de ningún tipo de meteorización o alteración fisicoquímica apreciable bajo las condiciones más desfavorables que puedan darse en la zona de empleo.

#### **3.1.1.4.4. Energía de la compactación**

La compactación se realizará longitudinalmente de manera continua y sistemática. Se recomienda que en tangentes se empiece la compactación en



los bordes, avanzando gradualmente hacia el centro y en curvas empezar en el borde inferior al superior.

La verificación de la compactación de la capa se realizará en una proporción de cuando menos cinco briquetas por día de producción, pero no más de tres pruebas del día ensayado podrán presentar valores que difieran en más de cuatro puntos porcentuales del diseño.

### **3.1.2. Maquinaria y equipo**

La utilización de maquinaria y equipo adecuado para la colocación de la mezcla asfáltica es un factor muy importante para que el pavimento pueda cumplir satisfactoriamente con su funcionalidad.

#### **3.1.2.1. Equipo de escarificación**

De acuerdo con el tamaño del área a trabajar, se debe considerar el tipo de equipo necesario, por ejemplo, en un área donde el ancho es menor a los 2,5 m no es posible utilizar maquinaria pesada, por lo que es necesario utilizar herramientas básicas como piochas, palas o azadones.

La compactación se realizará longitudinalmente de manera continua y sistemática. Se recomienda que en tangentes se empiece la compactación en los bordes, avanzando gradualmente hacia el centro y en curvas empezar en el borde inferior al superior.

La verificación de la compactación de la capa se realizará en una proporción de al menos cinco briquetas por día de producción. Pero, no más de

tres pruebas del día ensayado podrán presentar valores que difieran en más de cuatro puntos porcentuales del diseño.

### **3.1.2.2. Equipo de limpieza para el área de trabajo**

Cuando el área a trabajar es pequeña, como en este caso, por ejemplo, se puede utilizar equipo de uso manual como compresor de aire, un cepillo, una escoba o cualquier otro implemento que permita dejar la superficie perfectamente libre de objetos o materiales.

### **3.1.2.3. Equipo para riego de liga o imprimación**

Para este fin se utiliza un distribuidor calentador de asfaltos con regadora manual. Esta máquina permite calentar el líquido de imprimación o de riego de liga a la temperatura de aplicación, según las especificaciones de diseño, y esparcirlo uniformemente sobre la superficie, a modo de cubrirla completamente.

### **3.1.2.4. Pavimentadoras**

Esta máquina permite tender el asfalto al ancho y espesor de diseño, además de proveer la compactación inicial. Consta básicamente de dos elementos: el tractor y la regla niveladora. El tractor tiene la función de recibir, entregar, dosificar y esparcir la mezcla asfáltica. La regla niveladora delimita el ancho de la carpeta y su espesor, contribuyendo al acabado de la carpeta.

### **3.1.2.5. Compactadoras**

Cuando se requiere compactar en un área más amplia y extensa, se necesita utilizar maquinaria pesada de compactación. La compactadora sirve para sellar y dejar perfectamente compactada el área trabajada, además, brinda el acabado final a la capa de asfalto.

### **3.1.2.6. Equipo de seguridad**

La seguridad es uno de los aspectos más importantes a la hora de realizar algún tipo de trabajo en el área vial. La mayoría de trabajos se realizan sin detener el tránsito vehicular, lo cual representa un gran riesgo para el personal que realiza el trabajo, de igual manera para los conductores.

Se debe contar con la señalización preventiva adecuada, para informar con suficiente tiempo a los conductores del riesgo que representa transitar por el lugar donde se está realizando el trabajo. Asimismo, los trabajadores deben llevar chaleco reflectivo.

## **3.2. Toma de muestras**

La recolección de muestras identificadas como base (muestra 1) y base negra (muestra 2), se llevó a cabo en el sitio localizado en el kilómetro 101,5 autopista a Puerto Quetzal, Escuintla.

### **3.2.1. Factores que influyen en la calidad de confección de muestras**

Los resultados que se pueden obtener en laboratorio al momento de confeccionar las muestras que servirán para los diferentes tipos de ensayos, dependen lógicamente de la calidad del resultado final de la muestra que se va ensayar. Una buena confección da más del cumplimiento de las normas y especificaciones pertinentes, al buen análisis y práctica del laboratorista que realice el ensayo. Algunos de estos factores, que a su vez deben servir de recomendaciones a tomar en cuenta, son los siguientes:

- Control de temperaturas constantes para todas las muestras de un determinado diseño, durante los procesos de confección, como pesado, mezclado, compactado.
- Colocación de la mezcla asfáltica en molde de muestra, tratando lo mejor posible de no segregar los agregados finos y los agregados gruesos.
- Limpieza de los moldes donde se confeccionó la muestra y demás utensilios que se utilizaron.

### **3.2.2. Extracción de muestras**

Para una exitosa extracción de muestras se deberá tener en cuenta varios factores importantes para no dañar ni contaminar las calicatas en el lugar donde se extraerán, como:

- Recolección de información importante

Se deberá tener a disposición toda la información necesaria que se utilizó para realizar el diseño de la estructura de pavimento, esta información deberá contener lo siguiente:

- Numero de ejes equivalentes de diferentes tipos de vehículos pesados.
  - Proyección del crecimiento vehicular.
  - Parámetros de diseño utilizados.
  - Coeficientes de capa y drenaje utilizados en el diseño.
  - Número estructural aportado por el pavimento.
- Inspección visual

Luego de haber conseguido la información de los parámetros de diseño del pavimento a evaluar, se procede a realizar las visitas de campo que sean necesarias con el fin de recopilar la mayor información posible del tramo, como el tipo de falla que presenta, si es que la tiene, el tipo de drenaje con el que cuenta, el clima que reina en la región, el tipo de vehículos que transitan por el tramo.

Se deberá recorrer en su totalidad el tramo a evaluar, con el fin de tomar nota en que puntos se presentan las fallas, así como del tipo de falla que aparece a lo largo del tramo. Se deberán tomar fotografías en dichos puntos, ya que ellas son de gran ayuda para deducir la causa del daño en el pavimento.

- Muestreo de los materiales

Luego de haber recopilado la mayor información posible por medio de la inspección visual realizada al tramo carretero, se procede a obtener muestras de los materiales de las distintas capas de la estructura del pavimento que se estudiarán así como el espesor de cada una.

### **3.2.3. Maquinaria utilizada para la extracción de muestras**

La correcta utilización del equipo tendrá como resultado la obtención de muestras que ayuden a obtener resultados confiables al momento de realizar el ensayo. Es por esto que se deberán tomar las siguientes precauciones al momento de la extracción. Siempre debe asegurarse que la maquinaria trabaje adecuadamente durante la extracción de la muestra.

### **3.2.4. Procedimiento para la extracción de muestras**

Para proceder correctamente en la extracción de muestras, se debe tomar en cuenta varios factores que contribuyen a extracción de la misma, para conocer sus características físicas principales previo a realizarle los respectivos ensayos.

- Paso 1

Se inicia el muestreo con la carpeta de rodadura, se mide su espesor y se llevan fragmentos de la misma para ser analizadas en laboratorio. Se inicia con la limpieza de los fragmentos de carpeta de rodadura, con el fin de que no vaya contaminada con material de base.

- Paso 2

Se excava una profundidad equivalente al espesor de la carpeta, se retira ese material y se limpia correctamente los restos de la carpeta de rodadura que están sobre la capa de base, con el fin de no contaminar el material de base.

- Paso 3

La cantidad de material muestreado que se necesita para realizar los ensayos de laboratorio es de 30 a 40 kilogramos, se debe recalcar que la muestra obtenida debe ser representativa del material que se encuentra en cada capa, para que los resultados de los ensayos de laboratorio sean un reflejo de lo que sucede en las capas a analizar.

Toda muestra obtenida será enviada al laboratorio de asfaltos, con el fin de que se les realice los ensayos respectivos, para determinar sus propiedades físico-mecánicas. Por lo tanto, cada muestra deberá ir bien identificada.

### **3.2.5. Factores que influyen en la calidad de las muestras extraídas**

Uno de los factores que influye son las fallas constructivas propias de la vía que en ciertos sectores se manifiestan más que en otros, especialmente, la deficiencia en la compactación y segregación del material, evidente al encontrar porosidad en ciertas muestras.





## **4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS ENSAYOS PARA LA EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA CARPETA DE RODADURA SEGÚN NORMAS ASTM Y AASHTO**

Existen diferentes especificaciones técnicas para la evaluación de mezclas asfálticas colocadas. Para este estudio se tomará en cuenta únicamente las normas ASTM, AASHTO y el *Manual de requerimientos* de la Dirección General de Caminos.

### **4.1. Requisitos para los ensayos**

Todas las pruebas tienen que ser realizadas de acuerdo a los procedimientos de ensayos de la ASTM o AASHTO, y siguiendo con los lineamientos del Sistema de Control de Calidad. El contratista tiene que suministrar los resultados de las pruebas al delegado residente dentro de los límites de tiempo que requiera la prueba y en formatos aprobados por el delegado residente. El delegado residente tendrá acceso irrestricto para inspeccionar y revisar los trabajos de control de calidad.

#### **4.1.1. Requisitos según el *Manual de requerimientos* de la Dirección General de Caminos**

El delegado residente realizará inspecciones para determinar la aceptabilidad de los materiales y de los trabajos mediante un sistema de aseguramiento del control de calidad del contratista y utilizará los resultados de

las pruebas del contratista para determinar el cumplimiento con las especificaciones.

Si durante las inspecciones el delegado residente duda de la validez de los resultados del sistema de control de calidad del contratista, debe ordenar al contratista realizar pruebas adicionales. No se hará ningún pago directo por tomar muestras y realizar pruebas adicionales o repetir pruebas ordenadas por el delegado residente, porque dicho trabajo será considerado como una obligación subsidiaria del contratista cubierto bajo el contrato.

De persistir la duda, el delegado residente tomará muestras y las enviará a un laboratorio para efectuar las pruebas del caso. De hacerse necesario que el delegado residente ordene hacer pruebas de materiales de una parte del trabajo, ya que las pruebas del contratista no ofrecen confiabilidad, el costo total de realizar dichas pruebas será cargado al contratista del pago de la estimación correspondiente.

#### **4.2. Ensayos**

A efecto de lograr una mayor representatividad, se debe tomar en cuenta al momento de realizar los ensayos de las muestras extraídas, el objeto del ensayo, preparación de la muestra, instrumental, procedimiento, cálculo e informe.

#### **4.2.1. Resistencia de mezclas asfálticas Marshall AASHTO T 245 y ASTM D 1559**

Para la realización de la prueba de estabilidad y flujo Marshall, se presenta a continuación la manera correcta de realizar el ensayo y cómo presentar el informe al momento de obtener los resultados.

##### **4.2.1.1. Objeto**

Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para la determinación de la resistencia a la deformación plástica de especímenes cilíndricos de mezclas asfálticas para pavimentación, empleando el aparato Marshall. Para este procedimiento se empleará en laboratorio para el control de calidad de la mezcla asfáltica.

Determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método también provee información sobre propiedad de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento.

##### **4.2.1.2. Preparación de la muestra**

Las muestras se preparan de la siguiente manera:

- El asfalto y el agregado se calientan y mezclan hasta que todas las partículas de agregado estén revestidas. Esto simula los procesos de calentamiento y mezclado que ocurren en la planta.

- La mezcla asfáltica caliente se coloca en moldes precalentados Marshall como preparación para la compactación, en donde se usa el martillo Marshall de compactación, el cual también es calentado para que no enfríe la superficie de la mezcla al golpearla.
- Las briquetas son compactadas mediante golpes del martillo Marshall de compactación. El número de golpes del martillo serán de 75, ambas caras de cada briqueta reciben el mismo número de golpes. Así, una probeta Marshall de 75 golpes recibe, realmente, un total de 150 golpes. Después de completar la compactación, las probetas son enfriadas y extraídas de los moldes.

#### **4.2.1.3. Instrumental**

- Dispositivo para moldear probetas. Consiste en un molde cilíndrico con un collar de extensión y una placa de base plana. El molde deberá tener un diámetro interior de 101,6 mm (4") y una altura interna aproximada de 76,2 mm (3"); la placa de base y el collar de extensión deberán ser intercambiables, es decir ajustables en cualquiera de los dos extremos del molde.
- Extractor de probetas. Elemento de acero en forma de disco con diámetro de 100 mm (3,95") y 12,7 (1/2") de espesor, utilizado para extraer la probeta compactada del molde, con la ayuda del collar de extensión. Se requiere de un elemento adecuado para transferir la carga a la probeta, de manera que esta pase suavemente del molde al collar.
- Martillo de compactación. Consiste en un dispositivo de acero formado por una base plana circular de 98,4 mm (3 7/8") de diámetro y un pisón deslizante de  $4\,536 \pm 9$  g ( $10 \pm 0,02$  lb) de peso total, montado en forma

que proporcione una altura de caída de  $457,2 \pm 1,524$  mm ( $18 \pm 0,06$ "), como se describe en las figuras 3 y 4.

- Pedestal de compactación. Consistente en una pieza prismática de madera de base cuadrada de 203,2 mm de lado y 457,2 mm de altura (8" x 8" x 18") y provista en su cara superior de una platina cuadrada de acero de 304,8 mm de lado x 25,4 mm de espesor (12" x 12" x 1"), firmemente sujeta en la misma. La madera será roble u otra clase cuya densidad seca sea de 0,67 a 0,77 g/cm<sup>3</sup> (42 a 48 lb/pie<sup>3</sup>). El conjunto se fijará firmemente a una base de concreto, debiendo quedar la platina de acero en posición horizontal.
- Sujetador para el molde. Consiste en un dispositivo con resorte de tensión diseñado para centrar rígidamente el molde de compactación sobre el pedestal. Deberá asegurar el molde completo en su posición el proceso de compactación.
- Mordazas y medidor de deformaciones. Las mordazas consisten en dos segmentos cilíndricos, con un radio interior de 50,8 mm (2") maquinado con exactitud. La mordaza inferior va montada sobre una base plana, provista de dos varillas perpendiculares a ella y que sirven de guía a la mordaza superior. El movimiento de la mordaza superior se debe efectuar sin un rozamiento apreciable. El medidor de deformación consiste en un deformímetro de lectura final fija, con divisiones en 0,25 mm (0,01"). En el momento del ensayo, el medidor deberá estar firmemente apoyado sobre la mordaza superior y su vástago se apoyará en una palanca ajustable acoplada a la mordaza inferior.
- Prensa. Para la rotura de las probetas se empleará una prensa mecánica o hidráulica capaz de producir una velocidad uniforme de desplazamiento vertical de 50,8 mm por minuto (2"/min.). Su capacidad de carga mínima deberá ser de 40 kN.

- Medidor de estabilidad. La resistencia de la probeta en el ensayo se medirá con un anillo dinamométrico acoplado a la prensa, de 22,2 kN de capacidad, con una sensibilidad de 44,5 N hasta 4,45 kN y 111,2 N hasta 22,2 kN. Las deformaciones del anillo se medirán con un deformímetro graduado en 0,0025 mm (0,0001").
- Tanque para agua. De 152,4 mm (6") de profundidad mínima y manteniendo la temperatura a  $60 \pm 1$  °C ( $140 \pm 2,0$  °F). El tanque deberá tener un falso fondo perforado o estar equipado con un estante para sostener las probetas por lo menos a 50,8 mm (2") sobre el fondo del tanque.
- Termómetros blindados. De 9,9 a 204 °C (50 a 400 °F) para determinar las temperaturas del asfalto, agregados y mezcla, con sensibilidad de 2,8 °C. Para la temperatura del baño de agua se utilizará un termómetro con escala de 20 a 70 °C y sensibilidad de 0,2° C ( $68$  a  $158$  °F  $\pm 0,4$  °F).
- Balanzas. Una de 5 kg de capacidad, sensible a 1 g para pesar agregado y asfalto; otra de 2 kg de capacidad, sensible a 0,1 g para las probetas compactadas.

Figura 3. **Equipo de compactación Marshall**



Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, Usac.

Figura 4. **Medidor de estabilidad y fluencia Marshall**



Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, Usac.

#### **4.2.1.4. Procedimiento**

Para este caso, se determinará la resistencia y la deformación de la probeta compactada, dando así un resultado para la estabilidad y la fluencia Marshall.

#### 4.2.1.4.1. Estabilidad y flujo Marshall

- Objeto

El ensayo de estabilidad está dirigido a medir la resistencia a la deformación de la mezcla. La fluencia mide la deformación bajo carga que ocurre en la mezcla.

- Procedimiento

- Las probetas son calentadas en el baño de agua a 60 °C. Esta temperatura representa, normalmente, la temperatura más caliente que un pavimento en servicio va experimentar.
- La probeta es removida del baño, secada y colocada rápidamente en el aparato Marshall. El aparato consiste de un dispositivo que aplica una carga sobre la probeta y de unos medidores de carga y deformación (fluencia).
- La carga del ensayo es aplicada a la probeta a una velocidad constante de 51 mm (2 pulgadas) por minuto hasta que la muestra falle. La falla está definida como la carga máxima que la briqueta puede resistir.
- La carga de falla se registra como el valor de estabilidad Marshall y la lectura del medidor de fluencia se registra como la fluencia.



#### **4.2.1.5. Forma de calcular**

Para conocer la estabilidad Marshall, solamente se toma el dato que marca el dial al momento de la falla. De igual forma, para el flujo Marshall se toma el dato de deformación que marca el dial al momento de la falla.

#### **4.2.1.6. Para el informe**

El informe debe contener la siguiente información:

- Tipo de muestra ensayada en el laboratorio.
- Valor promedio de la máxima carga en newtons (lb) de por lo menos tres probetas, corregido según la tabla Humboldt. Mfg. Co.
- Valor promedio del flujo, en 0,25 mm (0,01”) de por lo menos tres probetas.
- Temperatura de ensayo.

#### **4.2.2. Gravedad específica *bulk* de briquetas ASTM D 1188**

Para la realización de la prueba de gravedad específica *bulk*, se presenta a continuación la manera correcta de realizar el ensayo y cómo presentar el informe al momento de obtener los resultados.

##### **4.2.2.1. Objeto**

Determinar la gravedad específica *bulk*, y densidad de especímenes de mezclas asfálticas compactadas. El método de ensayo proporciona una guía para la determinación de la masa del espécimen seco. La gravedad específica

se calcula a partir de estas masas. La densidad se obtiene multiplicando gravedad específica *bulk* por la densidad del agua.

#### 4.2.2.2. Preparación

Se extrae del molde la probeta compactada por el compactador Marshall (ver figura 5), se prepara para ser pesada, se toman las dimensiones como el diámetro y la altura.

Figura 5. **Muestras compactadas por método de compactación Marshall**



Fuente: CII, Facultad de Ingeniería. Usac.

#### 4.2.2.3. Instrumental

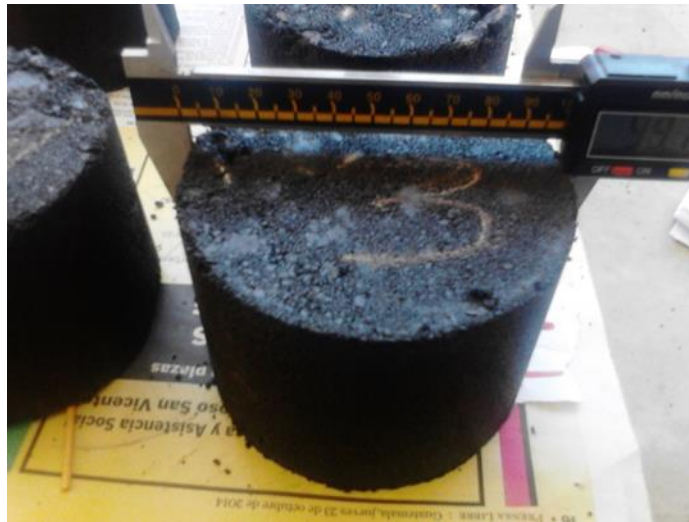
- Balanza
- Pileta de inmersión

- Vernier

#### 4.2.2.4. Procedimiento

- Formada la muestra por el método Marshall, se pone a secar, se extrae de la probeta y se determina la masa seca de la muestra o testigo.
- Se pesa la masa sumergida.
- Se pesa la masa seca saturada, sumergiéndola en agua de 3 – 5 minutos.
- Se toman las alturas y diámetros (ver figura 6).

Figura 6. Medición de diámetros de la muestra compactada



Fuente: CII, Facultad de Ingeniería. Usac.

#### 4.2.2.5. Forma de calcular

La gravedad específica *bulk* de briquetas de una mezcla compactada, puede determinarse usando:

$$G_{mb} = \frac{A}{(B - C)}$$

Donde:

G<sub>mb</sub> = gravedad específica *bulk* de briquetas

A = masa seca del espécimen

B = masa seca saturada del espécimen

C = masa del espécimen sumergido

#### **4.2.2.6. Para el informe**

El informe debe contener la siguiente información:

- Tipo de muestra ensayada en el laboratorio.
- Valor promedio de la gravedad específica *bulk*.
- Valor promedio de las alturas y diámetro para cada testigo.

#### **4.2.3. Gravedad específica teórica máxima *rice* ASTM D 2041 y AASHTO T 209**

Para la realización de la prueba se presenta a continuación la manera correcta de realizar el ensayo y cómo presentar el informe al momento de obtener los resultados.

##### **4.2.3.1. Objeto**

Determinación de la gravedad específica teórica máxima.

#### 4.2.3.2. Preparación de la muestra

Se deshace una muestra de asfalto compactado y se pesan 1 000 kg de mezcla suelta a temperatura ambiente (ver anexo 6).

#### 4.2.3.3. Instrumental

- Manómetro residual
- Base vibratoria
- Picnómetro
- Bomba de vacíos
- Balanza

Figura 7. Equipo armado



Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, Usac.

#### 4.2.3.4. Procedimiento

- Se determina la masa del contenedor (picnómetro) lleno de agua (ver figura 8).

Figura 8. Llenado de picnómetro



Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, Usac.

- Se coloca la mezcla al contenedor y se le agrega agua a la mitad (ver figura 9).

Figura 9. **Muestra de asfalto más agua**



Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, Usac.

- Se arma el picnómetro con la base vibratoria y la bomba de vacíos y se procede a la eliminación de vacíos (ver figura 7).

Figura 10. **Contenedor con el equipo armado**



Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, Usac.

- Eliminados los vacíos se llena el contenedor de agua y se determina la masa del picnómetro con la muestra y el resto lleno de agua (ver figuras 10 y 11).

Figura 11. **Contenedor con mezcla asfáltica llena de agua**



Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, Usac.

#### **4.2.3.5. Forma de calcular**

La gravedad específica teórica máxima de briquetas de una mezcla suelta, puede determinarse usando:

$$G_{mm} = \frac{A}{(A + D - E)}$$

Donde:

G<sub>mm</sub> = gravedad específica teórica máxima



A = masa de la muestra seca

B = masa del picnómetro lleno con agua

E = masa del picnómetro lleno con la muestra y agua

#### **4.2.3.6. Para el informe**

El informe debe contener la siguiente información:

- Tipo de muestra ensayada en el laboratorio.
- Valor promedio de la gravedad específica teórica máxima *rice*.

#### **4.2.4. Porcentaje de ligante asfáltico efectivo para ensayos de control de calidad Pbe (solo es peso de bitumen extraído con respecto al peso total de la muestra ensayada)**

Para la realización de la prueba se presenta a continuación la manera correcta de realizar el ensayo y cómo presentar el informe al momento de obtener los resultados.

##### **4.2.4.1. Objeto**

Determinar por medio de ensayos de gravedad específica *rice* y gravedad específica *bulk* el contenido de asfalto que gobierna el desempeño de una mezcla asfáltica.

#### **4.2.4.2. Preparación de la muestra**

Se toma una muestra de mezcla compactada, se deshace y se colocan en la pesa 1 000 g de la mezcla a temperatura ambiente.

#### **4.2.4.3. Instrumental**

- Espátula.
- 1 galón de gasolina.
- Extractora de bitumen o centrifugadora.
- *Beacker*.
- Tara.
- 4 *beackers* de tamaño mediano, estos se utilizarán para verificar el cambio de color en el lavado de la mezcla asfáltica.

#### **4.2.4.4. Procedimiento**

- Se arma el equipo de la centrifugadora o extractora de bitumen (ver figura 12).

Figura 12. **Centrifugadora o extractora de bitumen**



Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, Usac.

- Se colocan los 1 000 g de mezcla asfáltica deshecha (ver figuras 13 y anexo 6).

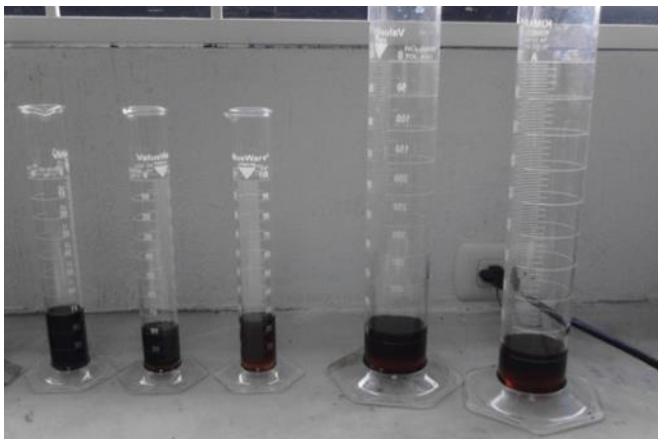
Figura 13. **Mezcla asfáltica deshecha y pesada**



Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, Usac.

- Se coloca un filtro.
- Se le agregan 450 ml de gasolina, se enciende la maquina poniéndole a la centrifugadora una velocidad media para la extracción.
- Al momento que el asfalto lavado sale de la extractora, se coloca un *beacker* de tamaño mediano y se toma una muestra de asfalto lavado (ver figura 14).

Figura 14. **Muestras de asfalto diluidas en gasolina**



Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, Usac.

- Se repite del paso 2 al paso 4 hasta que el asfalto tenga un color claro.
- Se toma la muestra de agregado lavado, se coloca en el horno juntamente con el filtro, para ser secado previo a la granulometría.

#### 4.2.4.5. **Forma de calcular**

Se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} * P_s$$

Donde:

Pbe= contenido de asfalto efectivo, porcentaje del peso total de la mezcla.

Pb = contenido de asfalto, porcentaje del peso total de la mezcla.

Pba = asfalto absorbido, porcentaje de la masa del agregado.

Ps = contenido de agregado, porcentaje total de la masa de la mezcla.

#### **4.2.4.6. Para el informe**

El informe debe contener la siguiente información:

- Tipo de muestra ensayada
- Peso húmedo de la muestra de asfalto sin tara
- Peso húmedo del filtro
- Peso seco de la muestra de asfalto sin tara
- Peso seco del filtro
- Valor del contenido efectivo de bitumen

#### **4.2.5. Porcentaje de vacíos de aire en mezclas bituminosas, densas y abiertas**

Para la realización de la prueba se presenta a continuación la manera correcta de realizar el ensayo y cómo presentar el informe al momento de obtener los resultados.

#### **4.2.5.1. Objeto**

Determinar por medio de los ensayos de gravedad específica *rice* y gravedad específica *bulk* el porcentaje de vacíos de aire de la mezcla compactada.

#### **4.2.5.2. Forma de calcular**

El porcentaje del volumen de vacíos de aire en una mezcla compactada, puede determinarse usando:

$$V_a = 100 * \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}}$$

Donde:

V<sub>a</sub> = vacíos de aire en la mezcla compactada, porcentaje del volumen total

G<sub>mm</sub> = gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica

G<sub>mb</sub> = gravedad específica neta de la mezcla asfáltica compactada

#### **4.2.5.3. Para el informe**

El informe debe contener la siguiente información:

- Tipo de muestra ensayada.
- Valor promedio del porcentaje de vacíos de aire en mezclas bituminosas, densas y abiertas.

#### **4.2.6. Análisis granulométrico para pavimento de concreto asfáltico ASTM D 3515, para agregado tipo B y tipo D**

Para la realización de la prueba se presenta a continuación la manera correcta de realizar el ensayo y cómo presentar el informe al momento de obtener los resultados.

##### **4.2.6.1. Objeto**

Identificar las proporciones de partículas de tamaño diferente en las muestras del agregado. Es importante conocer esta información porque las especificaciones de la mezcla deben estipular las proporciones necesarias de partículas de agregado de tamaño diferente, para producir una mezcla final con características deseadas.

##### **4.2.6.2. Preparación de la muestra**

Se colocará la muestra de asfalto lavada al horno a una temperatura de 60 °C (ver figura 15).

Figura 15. **Muestra seco saturada**



Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, Usac.

#### **4.2.6.3. Instrumental**

- Batería de tamices según el tipo de agregado, para tipo B y para tipo D, como lo especifica la tabla III (ver figura 16).



Figura 16. **Batería de tamices**



Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, Usac.

Tabla III. **Graduación de agregados para pavimentos de concreto asfáltico (ASTM 3515)**

Tamaño del Tamiz	Porcentaje en Masa que Pasa el Tamiz designado (AASHTO T 27 y T 11)					
	Graduación Designada y Tamaño Máximo Nominal <sup>(1)</sup>					
	A (50.8 mm)	B (38.1 mm)	C (25.4 mm)	D (19 mm)	E (12.5 mm)	F (9.5 mm)
	2"	1 ½"	1"	¾"	½"	⅜"
63.00 mm	100					
50.00 mm	90-100	100				
38.10 mm	-	90-100	100			
25.00 mm	60-80	-	90-100	100		
19.00 mm	-	56-80	-	90-100	100	
12.50 mm	35-65	-	56-80	-	90-100	100
9.50 mm	-	-	-	56-80	-	90-100
4.75 mm	17-47	23-53	29-59	35-65	44-74	55-85
2.36 mm	10-36	15-41	19-45	23-49	28-58	32-67
0.30 mm	3-15	4-16	5-17	5-19	5-21	7-23
0.075 mm	0-5	0-6	1-7	2-8	2-10	2-10

<sup>(1)</sup> El tamaño máximo nominal es el tamaño del tamiz mayor siguiente al tamaño del primer tamiz que retenga más del 10% del agregado combinado. El tamaño máximo es el del tamiz mayor al correspondiente al tamaño máximo nominal.

Fuente: Dirección General de Caminos. *Manual de requerimientos*. Sección 401. p. 298.

- Espátula
- Taras
- Horno
- Balanza

#### 4.2.6.4. Procedimiento

- Cada muestra de agregado es secada y pesada.
- Luego cada muestra es lavada a través de un tamiz de 0,075 mm (núm. 200), para remover cualquier polvo mineral que cubra al agregado.
- Las muestras lavadas son secadas, siguiendo el procedimiento de calentado y pesado descrito anteriormente.
- El peso seco de cada muestra es registrado. La cantidad de polvo mineral puede ser determinada si se comparan los pesos registrados de las muestras antes y después del lavado.

#### 4.2.6.5. Forma de calcular

Se calcula con base en los pesos retenidos acumulados, para determinar el porcentaje que pasa en cada tamiz, como se enseña en la tabla IV:

Tabla IV. **Procedimiento para el cálculo granulométrico**

Pulgadas	Abertura en milímetros	Peso bruto retenido acumulado	Tara	Peso neto	Porcentaje que pasa
----------	------------------------	-------------------------------	------	-----------	---------------------

Fuente: elaboración propia.

#### **4.2.6.6. Para el informe**

El informe debe contener la siguiente información:

- Peso bruto seco.
- Peso de la tara.
- Peso neto seco.
- Tabla conformada por el número de tamiz, peso bruto acumulado de cada tamiz, peso de la tara, peso neto de cada tamiz y porcentaje que pasa de cada tamiz.
- Curva granulométrica.



## 5. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

### 5.1. Tabulación de datos

Para el análisis de las muestras de mezclas asfáltica ensayadas se toman los datos de los resultados más importantes, previo a calcular según lo especifica cada norma.

#### 5.1.1. Muestra 1 (base)

Según el tipo de granulometría que cada muestra de mezcla asfáltica contenga, se clasifica de acuerdo al tipo de agregado que esta contenga, para la muestra 1 se le denominó del tipo D según el *Manual de requerimientos* de la Dirección General de Caminos, sección 401.

##### 5.1.1.1. Resistencia de mezclas asfálticas Marshall AASHTO T 245 Y ASTM D 1559, estabilidad y flujo Marshall AASHTO T 245 y ASTM D 1559

Datos

- Probeta 1  
Deformación = 10 = 0,01 pulgadas  
Carga dada por el dial = 279,6

- Probeta 2

Deformación = 8 = 0,01 pulgadas

Carga dada por el dial = 290,2

### 5.1.1.2. Gravedad específica *bulk* de briquetas ASTM D 1188

- Probeta 1

- Diámetros

$$\phi_1 = 101,56 \text{ mm}$$

$$\phi_2 = 101,38 \text{ mm}$$

$$\phi_3 = 101,33 \text{ mm}$$

$$\phi_{promedio} = 101,423 \text{ mm}$$

- Alturas

$$H_1 = 70,38 \text{ mm}$$

$$H_2 = 71,21 \text{ mm}$$

$$H_3 = 71,49 \text{ mm}$$

$$H_{promedio} = 71,03 \text{ mm}$$

A = peso seco = 1 246,42 g

B = peso seco saturado = 1 252,84 g

C = peso sumergido = 697,03 g

- Probeta 2

- Diámetros

$$\phi_1 = 101,64 \text{ mm}$$

$$\phi_2 = 101,55 \text{ mm}$$

$$\phi_3 = 102,7 \text{ mm}$$

$$\Phi_{promedio} = 101,63 \text{ mm}$$

○ Alturas

$$H_1 = 70,04 \text{ mm}$$

$$H_2 = 70,27 \text{ mm}$$

$$H_3 = 70,72 \text{ mm}$$

$$H_{promedio} = 70,34 \text{ mm}$$

A = peso seco = 1 249,7 g

B = peso seco saturado = 1 255,6 g

C = peso sumergido = 699,2 g

**5.1.1.3. Gravedad específica teórica máxima rice  
ASTM D 2041 y AASHTO T 209 Y ASTM D  
1559**

A = peso del material (mezcla asfáltica base) = 1 000 g

D = peso picnómetro + agua = 7 377,1 g

E = peso material (mezcla base) + peso picnómetro + agua = 7 982,1 g

**5.1.1.4. Porcentaje de ligante asfáltico efectivo para  
ensayos de control de calidad Pbe**

Peso bruto neto = 1 012,02 g

Peso neto sin bitumen = 973,39 g

Peso bruto del filtro = 11,45 g

Peso neto del filtro con agregado = 12,48 g

Nota: no se cuenta con los ensayos de los agregados, solo se determinó peso de bitumen extraído con respecto al peso total de la muestra ensayada.

#### **5.1.1.5. Porcentaje de vacíos de aire en mezclas bituminosas, densas y abiertas**

Resultado del ensayo gravedad específica *rice* (Gmm)

Promedio del resultado de gravedad específica *bulk* (Gmb)

#### **5.1.1.6. Análisis granulométrico para pavimento de concreto asfáltico ASTM D 3515, para agregado tipo D**

Según el *Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes*, la graduación de agregados para pavimento de concreto asfáltico, los límites se marcan de acuerdo al agregado tipo D (ver tabla V).

Datos

PBS = 1 063,5 g

TARA = 109,7 g

PNS = 953,8 g



Tabla V. **Graduación de agregados para pavimento de concreto asfáltico (ASTM D 3515)**

Número de tamices	Porcentaje que pasa Tipo D
25	100 – 100
19	100 – 90
9,5	56 – 80
4,75	35 – 65
2,36	23 – 49
0,3	5 – 19
0,074	2 – 8

Fuente: elaboración propia.

### 5.1.2. Muestra 2 (base negra)

Según el tipo de granulometría que cada muestra de mezcla asfáltica contenga, se clasifica de acuerdo al tipo de agregado que esta contenga, para la muestra 2 se le denominó del tipo B según el *Manual de requerimientos* de la Dirección General de Caminos, sección 401.

#### 5.1.2.1. Resistencia de mezclas asfálticas Marshall AASHTO T 245 Y ASTM D 1559, estabilidad y flujo Marshall AASHTO T 245 y ASTM D 1559

Datos

- Probeta 1  
Deformación = 7 = 0,01 pulgadas  
Carga dada por el dial = 231,9
- Probeta 2  
Deformación = 8 = 0,01 pulgadas  
Carga dada por el dial = 216
- Probeta 3  
Deformación = 12 = 0,012 pulgadas  
Carga dada por el dial = 105,1

**5.1.2.2. Gravedad específica *bulk* de briquetas  
ASTM D 1188**

- Probeta 1
  - Diámetros
    - $\phi_1 = 101,71 \text{ mm}$
    - $\phi_2 = 101,83 \text{ mm}$
    - $\phi_3 = 101,81 \text{ mm}$
    - $\phi_{promedio} = 101,79 \text{ mm}$
  - Alturas
    - $H_1 = 72,42 \text{ mm}$
    - $H_2 = 71,3 \text{ mm}$
    - $H_3 = 70,82 \text{ mm}$
    - $H_{promedio} = 71,513 \text{ mm}$

A = peso seco = 1 246,84 g

B = peso seco saturado = 1 256,06 g

C = peso sumergido = 702,2 g

- Probeta 2

- Diámetros

$$\phi_1 = 101,46 \text{ mm}$$

$$\phi_1 = 101,9 \text{ mm}$$

$$\phi_1 = 102,51 \text{ mm}$$

$$\phi_{promedio} = 101,95 \text{ mm}$$

- Alturas

$$H_1 = 68,98 \text{ mm}$$

$$H_2 = 67,97 \text{ mm}$$

$$H_3 = 68,01 \text{ mm}$$

$$H_{promedio} = 68,32 \text{ mm}$$

A = peso seco = 1 210,82 g

B = peso seco saturado = 1 216,14 g

C = peso sumergido = 680,7 g

- Probeta 3

- Diámetros

$$\phi_1 = 101,5 \text{ mm}$$

$$\phi_1 = 101,74 \text{ mm}$$

$$\phi_1 = 102,07 \text{ mm}$$

$$\phi_{promedio} = 101,77 \text{ mm}$$

- Alturas

$$H_1 = 72,6 \text{ mm}$$

$$H_2 = 73,33 \text{ mm}$$

$$H_3 = 73,43 \text{ mm}$$

$$H_{promedio} = 73,15 \text{ mm}$$

A = peso seco = 1 245,98 g

B = peso seco saturado = 1 258,8 g

C = peso sumergido = 703,24 g

**5.1.2.3. Gravedad específica teórica máxima *rice*  
ASTM D 2041 y AASHTO T 209 Y ASTM D  
1559**

Datos

A = peso del material (mezcla asfáltica base negra) = 1 000 g

D = peso picnómetro + agua = 7 376,9 g

E = peso material (mezcla base negra) + peso picnómetro + agua = 7  
982,9 g

**5.1.2.4. Porcentaje de ligante asfáltico efectivo para  
ensayos de control de calidad (Pbe)**

Peso bruto neto = 1 025,32 g

Peso neto sin bitumen = 992,8 g

Peso bruto del filtro = 11,45 g

Peso neto del filtro con agregado = 12,30 g

Nota: no se cuenta con los ensayos de los agregados, solo se determinó peso de bitumen extraído con respecto al peso total de la muestra ensayada.

**5.1.2.5. Porcentaje de vacíos de aire en mezclas bituminosas, densas y abiertas**

Resultado de ensayo gravedad específica *rice* (Gmm)

Promedio de resultado de gravedad específica *bulk* (Gmb)

**5.1.2.6. Análisis granulométrico para pavimento de concreto asfáltico ASTM D 3515, para agregado tipo B**

Según el *Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes* la graduación de agregados para pavimento de concreto asfáltico los límites se marcan de acuerdo al agregado tipo B (ver tabla VI).

Datos

PBS = 1 132,9 g

TARA = 191,8 g

PNS = 941,1 g

Tabla VI. **Graduación de agregados para pavimento de concreto asfáltico (ASTM D 3515)**

Número de tamices	Porcentaje que pasa Tipo B
50	100 – 100
38,10	90 – 100
19	56 – 80
4,75	23 – 53
2,36	15 – 41
0,3	4 – 16
0,075	0 – 6

Fuente: elaboración propia.

## 5.2. **Cálculo y resultados de los ensayos de laboratorio para la muestra 1 (base)**

El cálculo de la muestra 1 se hará de acuerdo al tipo de mezcla asfáltica que esta sea, sus resultados deben ser corroborados de acuerdo al *Manual de requerimientos* de la Dirección General de Caminos, sección 401.

### 5.2.1. **Resistencia de mezclas asfálticas Marshall AASHTO T 245 y ASTM D 1559, estabilidad y flujo Marshall AASHTO T 245 y ASTM D 1559**

- Probeta 1  
Deformación = 10 = 0,01 pulgadas  
Carga dada por el dial = 279,6

Carga según tabla dada por Humboldt Mfg. Co. = 2 650 lbs (ver anexo 3).

Por regla de tres y dadas por Humboldt Mfg. Co. (ver anexo 3), para encontrar la estabilidad real

Estabilidad = 2 634,83548 lbs

Flujo = 10 unidades

○ Diámetros

$$\phi_1 = 101,56 \text{ mm}$$

$$\phi_2 = 101,38 \text{ mm}$$

$$\phi_3 = 101,33 \text{ mm}$$

$$\phi_{promedio} = 101,423 \text{ mm}$$

○ Alturas

$$H_1 = 70,38 \text{ mm}$$

$$H_2 = 71,21 \text{ mm}$$

$$H_3 = 71,49 \text{ mm}$$

$$H_{promedio} = 71,03 \text{ mm}$$

Se toma el resultado según la tabla de corrección de valores de estabilidad Marshall para una altura H (ver anexo 2).

$$H_{promedio} = 71,03 \text{ mm}$$

$$Factor_{correccion} = 0,83$$

Multiplicando el factor de corrección por la carga calculada

$$2\ 634,83548 * 0,83 = 2\ 186,91 \text{ lb}$$

Estabilidad real = 2 186,91 lb

Flujo = 10 unidades

- Probeta 2

Deformación = 8 = 0,01 pulgadas

Carga dada por el dial = 290,2

Carga dada según la tabla dada por Humboldt Mfg. Co. = 2 750 lbs (ver anexo 3).

Por regla de tres y dadas por Humboldt Mfg. Co. (ver anexo 3), para encontrar la estabilidad real.

Estabilidad = 2 729,15231 lb

- Diámetros

$$\phi_1 = 101,64 \text{ mm}$$

$$\phi_2 = 101,55 \text{ mm}$$

$$\phi_3 = 102,7 \text{ mm}$$

$$\phi_{promedio} = 101,63 \text{ mm}$$

- Alturas

$$H_1 = 70,04 \text{ mm}$$

$$H_2 = 70,27 \text{ mm}$$

$$H_3 = 70,72 \text{ mm}$$

$$H_{promedio} = 70,34 \text{ mm}$$

De la tabla de corrección de valores de estabilidad Marshall para una altura H (ver anexo 2).



$$H_{promedio} = 70,34 \text{ mm}$$

$$Factor_{correccion} = 0,83$$

Multiplicando el factor de corrección por la carga calculada

$$2\,729,15 * 0,83 = 2\,265,19 \text{ lb}$$

Estabilidad real = 2 265,19 lb

Flujo = 8 unidades

Al promediar el resultado de las dos probetas ensayadas, se obtiene para la estabilidad

$$Estabilidad_1 = 2\,186,91 \text{ Lb}$$

$$Estabilidad_2 = 2\,265,19 \text{ Lb}$$

$$Estabilidad_{promedio} = 2\,226,05 \text{ Lb}$$

Para la fluencia

$$Flujo_1 = 0,1 \text{ pulgadas}$$

$$H_2 = 0,08 \text{ pulgadas}$$

$$H_{promedio} = 0,09 \text{ pulgadas}$$

Estabilidad real = 2 226,05 Lbs

Flujo = 9 unidades

### 5.2.2. Gravedad específica *bulk* de briquetas ASTM D 1188

- Probeta 1

A = peso seco = 1 246,42 g

B = peso seco saturado = 1 252,84 g

C = peso sumergido = 697,03 g

$$Gmb = \frac{A}{(B - C)}$$

$$Gmb = \frac{1\,246,42}{(1\,252,84 - 697,03)} = 2,24 \%$$

- Probeta 2

A = peso seco = 1 249,7 g

B = peso seco saturado = 1 255,6 g

C = peso sumergido = 699,2 g

$$Gmb = \frac{A}{(B - C)}$$

$$Gmb = \frac{1\,249,7}{(1\,255,6 - 699,2)} = 2,25 \%$$

Al promediar el resultado de las dos probetas ensayadas, obtuvimos para la gravedad específica *bulk*

$$Gravedad\ específica\ bulk_1 = 2,24 \%$$

$$Gravedad\ específica\ bulk_2 = 2,25 \%$$

$$Gravedad\ específica\ bulk_{promedio} = 2,245 \%$$

### 5.2.3. Gravedad específica teórica máxima *rice* ASTM D 2041 y AASHTO T 209

A = peso del material (mezcla asfáltica base negra) = 1 000 g

D = peso picnómetro + agua = 7 377,1 g

E = peso material (mezcla base negra) + peso picnómetro + agua = 7 982,1 g

$$Gmm = \frac{A}{(A + D - E)}$$

A = 1 000 g

D = 7 377,1 g

E = 7 982,1 g

Cálculo:

$$Gmm = \frac{1\,000}{(1\,000 + 7\,377,1 - 7\,982,1)} = 2,53 \%$$

### 5.2.4. Porcentaje de ligante asfáltico efectivo para ensayos de control de calidad (Pbe)

Peso bruto neto = 1 012,02 g

Peso neto sin bitumen = 973,39 g

Peso bruto del filtro = 11,45 g

Peso neto del filtro con agregado = 12,48 g

$$\textit{bitumen extraído} = 1\,012,02 - 973,39 = 38,63 \textit{ g}$$

$$\textit{filtro} = 12,48 - 11,45 = 1,03 \textit{ g}$$

$$\textit{peso total del bitumen extraído} = 38,63 + 1,03 = 39,66 \textit{ g}$$

Contenido de bitumen

$$1\ 012,02 - 39,66 = 972,36\ g$$

$$\%B = \frac{\text{peso total del bitumen extraído}}{\text{diferencia peso con bitumen - bitumen extraído}}$$

$$\%B = \frac{39,66}{972,36} * 100 = 4,08\ \%$$

Nota: no se cuenta con los ensayos de los agregados solo se determinó peso de bitumen extraído con respecto al peso total de la muestra ensayada.

#### 5.2.5. Porcentaje de vacíos de aire en mezclas bituminosas, densas y abiertas

Gravedad específica *rice* (Gmm)

$$Gmm = \frac{1\ 000}{(1\ 000 + 7\ 377,1 - 7\ 982,1)} = 2,53$$

Gravedad específica *bulk* (Gmb)

$$Gmb = \frac{1\ 246,42}{(1\ 252,84 - 697,03)} = 2,24\ \%$$

$$Gmb = \frac{1\ 249,7}{(1\ 255,6 - 699,2)} = 2,25\ \%$$

$$G_{mb\ promedio} = 2,24 + 2,25 = 2,245\ \%$$

$$V_a = \frac{2,53 - 2,245}{2,53} * 100 = 11,26 \%$$

### 5.2.6. Análisis granulométrico para pavimento de concreto asfáltico ASTM D 3515, para agregado tipo D

Según el *Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes*, la graduación de agregados para pavimento de concreto asfáltico, los límites se marcan de acuerdo al agregado tipo D (ver tablas VII y VIII y figura 17).

PBS = 1 063,5 g  
 TARA = 1 09,7 g  
 PNS = 953,8 g

Tabla VII. **Graduación de agregados para pavimento de concreto asfáltico (ASTM D 3515)**

Número de tamices	Porcentaje que pasa Tipo D
25	100 – 100
19	100 – 90
9,5	56 – 80
4,75	35 – 65
2,36	23 – 49
0,3	5 – 19
0,074	2 – 8

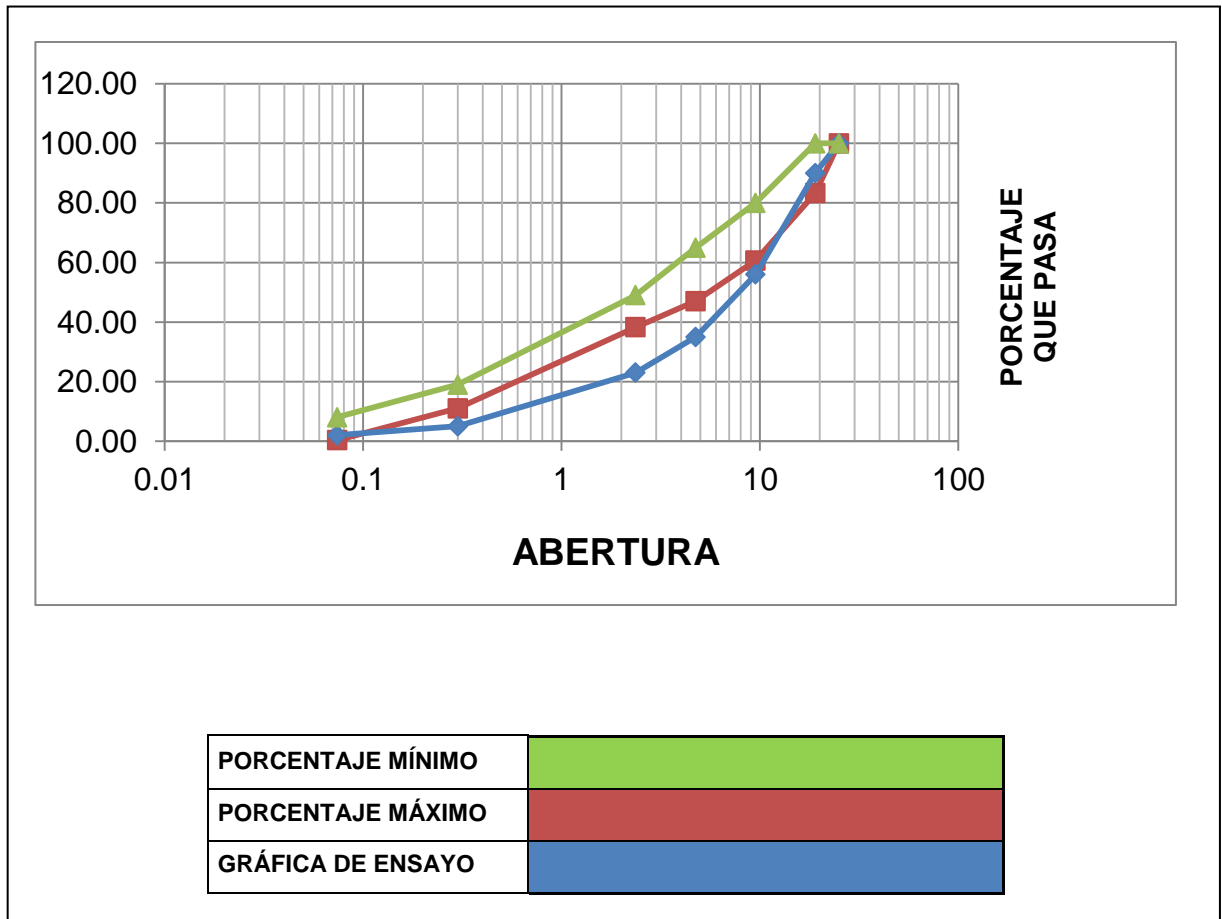
Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Granulometría ensayada muestra 1**

Pulgadas	Abertura en milímetros	Peso bruto retenido acumulado	Tara	Peso neto	Porcentaje que pasa
2" 1/2	63	1 060,1	109,7	950,4	100,00
2"	50	1 060,1	109,7	950,4	100,00
1" 1/2	38,1	1 060,1	109,7	950,4	100,00
1"	25	1 060,1	109,7	950,4	100,00
3/4"	19	900,8	109,7	791,1	83,30
3/8"	9,5	684,9	109,7	575,2	60,66
#4	4,75	554,9	109,7	445,2	47,03
#8	2,36	471,6	109,7	361,9	38,30
#50	0,3	211,4	109,7	101,7	11,02
#200	0,074		109,7	3,4	0,36

Fuente: elaboración propia.

Figura 17. Gráfica de granulometría ensayada muestra 1



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Usac.

### 5.3. Cálculo y resultados de los ensayos de laboratorio para la muestra 2 (base negra)

El cálculo de la muestra 2 se hará de acuerdo al tipo de mezcla asfáltica que esta sea, sus resultados deben ser corroborados de acuerdo al *Manual de requerimientos* de la Dirección General de Caminos, sección 401.

**5.3.1. Resistencia de mezclas asfálticas Marshall AASHTO T 245 y ASTM D 1559, estabilidad y flujo Marshall AASHTO T 245 y ASTM D 1559**

- Probeta 1

Deformación = 7 = 0,07 pulgadas

Carga dada por el dial = 231,9

Carga según tabla = 2 200

Por regla de tres y dadas por Humboldt Mfg. Co., para encontrar la estabilidad real (ver anexo 3).

Estabilidad = 2 181,97 lbs

- Diámetros

$$\phi_1 = 101,71 \text{ mm}$$

$$\phi_2 = 101,83 \text{ mm}$$

$$\phi_3 = 101,81 \text{ mm}$$

$$\phi_{promedio} = 101,79 \text{ mm}$$

- Alturas

$$H_1 = 72,42 \text{ mm}$$

$$H_2 = 71,3 \text{ mm}$$

$$H_3 = 70,82 \text{ mm}$$

$$H_{promedio} = 71,513 \text{ mm}$$

Se toma el resultado de la tabla de corrección de valores de estabilidad Marshall para una altura H (ver anexo 2).



$$H_{promedio} = 71,5 \text{ mm}$$

$$Factor_{correccion} = 0,83$$

Multiplicando el factor de corrección por la carga calculada

$$2\ 181,97 * 0,83 = 1\ 811,04 \text{ lb}$$

Estabilidad real = 1 811,04 lb

Flujo = 7 unidades

- Probeta 2
  - Deformación = 8 = 0,08 pulgadas
  - Carga dada por el dial = 216
  - Carga dada según la tabla = 2 050 lb

Por regla de tres y dadas por Humboldt Mfg. Co., para encontrar la estabilidad real (ver anexo 3).

Estabilidad = 2 050 lb

- Diámetros

$$\phi_1 = 101,46 \text{ mm}$$

$$\phi_1 = 101,9 \text{ mm}$$

$$\phi_1 = 102,51 \text{ mm}$$

$$\phi_{promedio} = 101,95 \text{ mm}$$

- Alturas

$$H_1 = 68,98 \text{ mm}$$

$$H_2 = 67,97 \text{ mm}$$

$$H_3 = 68,01 \text{ mm}$$

$$H_{promedio} = 68,32 \text{ mm}$$

Se toma el resultado de la tabla de corrección de valores de estabilidad Marshall para una altura H (ver anexo 2).

$$H_{promedio} = 68,32 \text{ mm}$$

$$Factor_{correccion} = 0,83$$

Multiplicando el factor de corrección por la carga calculada

$$2\ 050 * 0,89 = 1\ 824,5 \text{ lb}$$

Estabilidad real = 1 824,5 Lbs

Flujo = 8 unidades

- Probeta 3

Deformación = 12 = 0,12 pulgadas

Carga dada por el dial = 105,1

Carga según la tabla = 1 000 lbs

Por regla de tres y dadas por Humboldt Mfg. Co., para encontrar la estabilidad real (ver anexo 3).

Estabilidad = 970,5 lbs

- Diámetros

$$\phi_1 = 101,5 \text{ mm}$$

$$\phi_1 = 101,74 \text{ mm}$$

$$\Phi_1 = 102,07 \text{ mm}$$

$$\Phi_{promedio} = 101,77 \text{ mm}$$

○ Alturas

$$H_1 = 72,6 \text{ mm}$$

$$H_2 = 73,33 \text{ mm}$$

$$H_3 = 73,43 \text{ mm}$$

$$H_{promedio} = 73,15 \text{ mm}$$

Se toma el resultado de la tabla de corrección de valores de estabilidad Marshall para una altura H (ver anexo 2).

$$H_{promedio} = 73,15 \text{ mm}$$

$$Factor_{correccion} = 0,78$$

Multiplicando el factor de corrección por la carga calculada

$$970,5 * 0,78 = 756,99 \text{ lb}$$

Estabilidad real = 756,99 lb

Flujo = 12 unidades

Al promediar el resultado de las dos probetas ensayadas, se obtienen para la estabilidad

$$Estabilidad_1 = 1\ 811,04 \text{ lb}$$

$$Estabilidad_2 = 1\ 824,5 \text{ lb}$$

$$Estabilidad_3 = 756,99 \text{ lb}$$

$$Estabilidad_{promedio} = 1\ 464,18 \text{ lb}$$

Para la fluencia

$$Flujo_1 = 0,07 \text{ pulgadas}$$

$$Flujo_2 = 0,08 \text{ pulgadas}$$

$$Flujo_3 = 0,12 \text{ pulgadas}$$

$$Flujo_{promedio} = 0,09 \text{ pulgadas}$$

Estabilidad real = 1 464,18 lb

Flujo = 9 unidades

### 5.3.2. Gravedad específica *bulk* de briquetas ASTM D 1188

- Probeta 1

A = peso seco = 1 246,84 g

B = peso seco saturado = 1 256,06 g

C = peso sumergido = 702,2 g

$$Gmb = \frac{A}{(B - C)}$$
$$Gmb = \frac{1\,246,84}{(1\,256,06 - 704,2)} = 2,26$$

- Probeta 2

A = peso seco = 1 210,82 g

B = peso seco saturado = 1 216,14 g

C = peso sumergido = 680,7 g

$$Gmb = \frac{A}{(B - C)}$$

$$Gmb = \frac{1\ 210,82}{(1\ 216,14 - 680,7)} = 2,26 \%$$

- Probeta 3

A = peso seco = 1 245,98 g

B = peso seco saturado = 1 258,8 g

C = peso sumergido = 703,24 g

$$Gmb = \frac{A}{(B - C)}$$

$$Gmb = \frac{1\ 245,98}{(1\ 258,8 - 703,24)} = 2,24 \%$$

Al promediar el resultado de las tres probetas ensayadas, se obtiene para la gravedad específica *bulk*.

$$Gravedad\ específica\ bulk_1 = 2,26 \%$$

$$Gravedad\ específica\ bulk_2 = 2,26 \%$$

$$Gravedad\ específica\ bulk_3 = 2,24 \%$$

$$Gravedad\ específica\ bulk_{promedio} = 2,253 \%$$

### 5.3.3. Gravedad específica teórica máxima *rice* ASTM D 2041 y AASHTO T 209

A = peso del material (mezcla asfáltica base negra) = 1 000 g

D = peso picnómetro + agua = 7 376,9 g

E = peso material (mezcla asfáltica base negra) + peso picnómetro + agua  
= 7 982,9 g

$$Gmm = \frac{A}{(A + D - E)}$$

A = 1 000 g

D = 7 376,9 g

E = 7 982,9 g

Cálculo:

$$Gmm = \frac{1\ 000}{(1\ 000 + 7\ 376,9 - 7\ 982,9)} = 2,54\ \%$$

#### 5.3.4. Porcentaje de ligante asfáltico efectivo (Pbe) para ensayos de control de calidad

Peso bruto neto = 1 025,32 g

Peso neto sin bitumen = 992,8 g

Peso bruto del filtro = 11,45 g

Peso neto del filtro con agregado = 12,30 g

$$\textit{bitumen extraído} = 1\ 025,32 - 992,8 = 32,52\ g$$

$$\textit{filtro} = 12,30 - 11,45 = 0,85\ g$$

$$\textit{peso total del bitumen extraído} = 32,52 + 0,85 = 33,37\ g$$

Contenido de bitumen

$$1\ 025,32 - 33,37 = 991,95\ g$$

$$\%B = \frac{\text{peso total del bitumen extraído}}{\text{diferencia peso con bitumen - bitumen extraído}}$$

$$\%B = \frac{33,37}{991,95} * 100 = 3,36\ \%$$

Nota: no se cuenta con los ensayos de los agregados, solo se determinó peso de bitumen extraído con respecto al peso total de la muestra ensayada.

### 5.3.5. Porcentaje de vacíos de aire en mezclas bituminosas, densas y abiertas

Gravedad específica *rice* (Gmm)

$$Gmm = \frac{1\ 000}{(1\ 000 + 7\ 376,9 - 7\ 982,9)} = 2,54\ \%$$

Gravedad específica *bulk* (Gmb)

$$Gmb = \frac{1\ 246,84}{(1\ 256,06 - 704,2)} = 2,26\ \%$$

$$Gmb = \frac{1\ 210,82}{(1\ 216,14 - 680,7)} = 2,26\ \%$$

$$Gmb = \frac{1\ 245,98}{(1\ 258,8 - 703,24)} = 2,24\ \%$$

$$G_{mb \text{ promedio}} = 2,26 + 2,26 + 2,24 = 2,2533 \%$$

$$V_a = \frac{2,54 - 2,2533}{2,54} * 100 = 11,287 \%$$

### **5.3.6. Análisis granulométrico para pavimento de concreto asfáltico ASTM D 3515, para agregado tipo B**

Según el *Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes*, la graduación de agregados para pavimento de concreto asfáltico, los límites se marcan de acuerdo al agregado tipo B (ver tablas X y XI, figura XII).

PBS = 1 132,9 g

TARA = 191,8 g

PNS = 941,1 g



Tabla IX. **Graduación de agregados para pavimento de concreto asfáltico (ASTM D 3515)**

Número de tamices	Porcentaje que pasa Tipo B
50	100 - 100
38,10	90 – 100
19	56 – 80
4,75	23 – 53
2,36	15 – 41
0,3	4 – 16
0,075	0 – 6

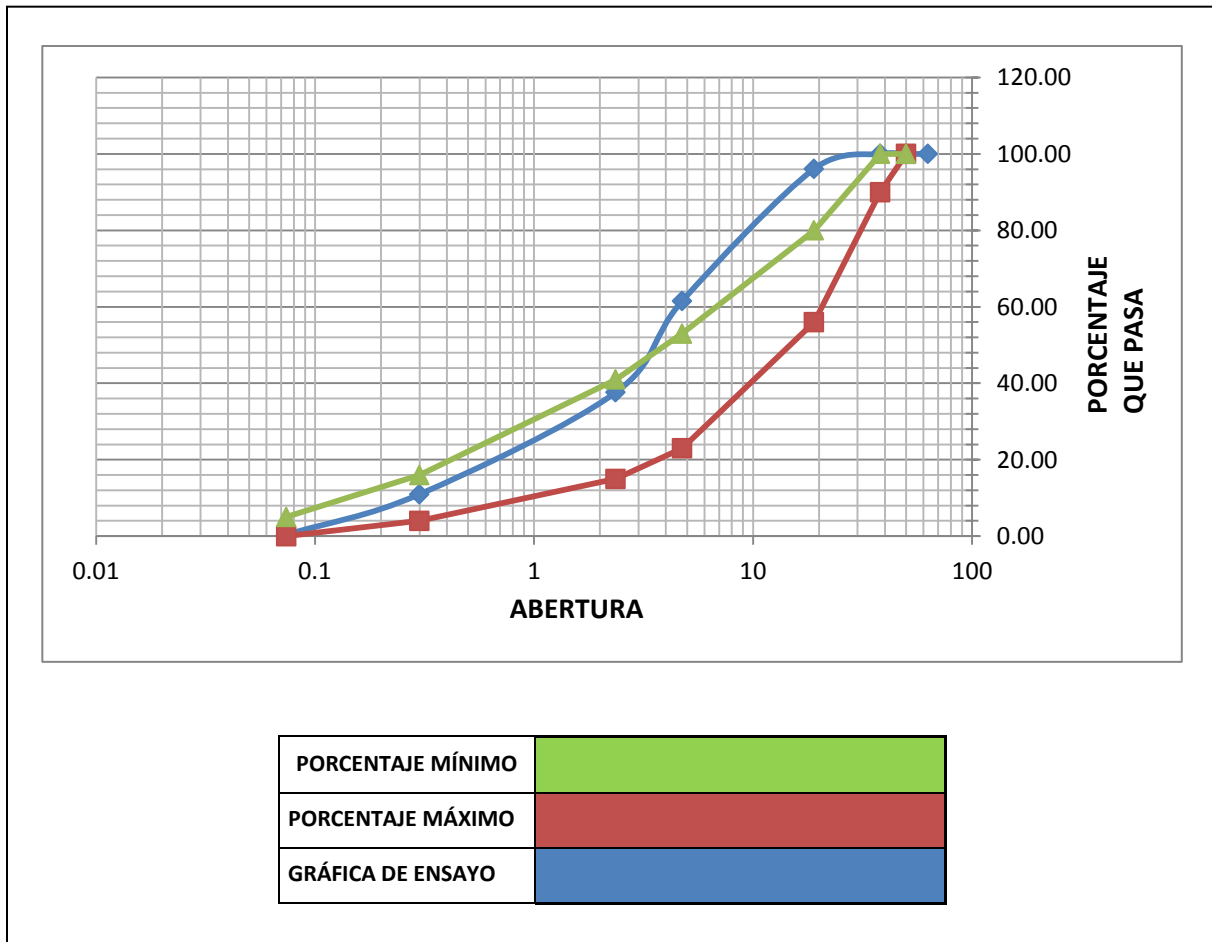
Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Resultados granulometría ensayada muestra 2**

Pulgadas	Abertura en milímetros	Peso bruto retenido acumulado	Tara	Peso neto	Porcentaje que pasa
2" 1/2	63	1129,5	191,8	937,7	100,00
2"	50	1129,5	191,8	937,7	100,00
1" 1/2	38,1	1129,5	191,8	937,7	100,00
3/4"	19	1092,8	191,8	901	96,10
#4	4,75	767,6	191,8	575,8	61,55
#8	2,36	542,4	191,8	350,6	37,62
#50	0,3	291,6	191,8	99,8	10,97
#200	0,074		191,8	3,4	0,36

Fuente: elaboración propia.

Figura 18. Gráfica de granulometría ensayada muestra 2



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Usac.

## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 6.1. Análisis de resultados de los ensayos de laboratorio para la muestra 1 (base)

Con base en los resultados obtenidos en el capítulo anterior, se procede a hacer el análisis correspondiente de cada prueba realizada.

#### 6.1.1. Resistencia de mezclas asfálticas Marshall, estabilidad y flujo Marshall AASHTO T 245 y ASTM D 1559

El flujo está dentro del rango, su deformación cumple con lo especificado, la estabilidad se encuentra dentro del rango (ver tabla XI).

Tabla XI. Resultados para ensayo de estabilidad y flujo Marshall

Flujo	Estabilidad	Rango de flujo	Rango de estabilidad
9	2 226,05 lb	8 ----- 16	Mayor a 1 200 lb

Fuente: elaboración propia.

#### 6.1.2. Gravedad específica *bulk* de briquetas ASTM D 1188

Para pastillas compactadas en laboratorio 75 golpes por cara, 140 grados Celsius de temperatura, ya que no se tienen datos de viscosidad dinámica para compactación:

2,245 %

Este es un resultado aleatorio con el cual se determina el porcentaje de vacíos en una mezcla asfáltica.

**6.1.3. Gravedad específica teórica máxima *rice* ASTM D 2041 y AASHTO T 209**

Para pastillas compactadas en laboratorio 75 golpes por cara, 140 grados Celsius de temperatura, ya que no se tienen datos de viscosidad dinámica para compactación:

2,53 %

Este es un resultado aleatorio con el cual se determina el porcentaje de vacíos en una mezcla asfáltica.

**6.1.4. Porcentaje de ligante asfáltico efectivo (Pbe) para ensayos de control de calidad**

El contenido de bitumen es muy bajo que el reportado, esto ocasiona segregación (ver tabla XII).

Tabla XII. **Resultado para el contenido de bitumen**

Obtenido	Reportado
3,36 %	5,50 %

Fuente: elaboración propia.

#### 6.1.5. **Porcentaje de vacíos de aire en mezclas bituminosas, densas y abiertas**

Según gravedades específicas (compactadas en laboratorio), el porcentaje de vacíos es demasiado alto, de nuevo el principal problema es la segregación de la mezcla asfáltica (ver tabla XIII).

Tabla XIII. **Resultado del ensayo de porcentaje de vacíos**

Obtenido	Rango
11,26 %	3 ----- 5

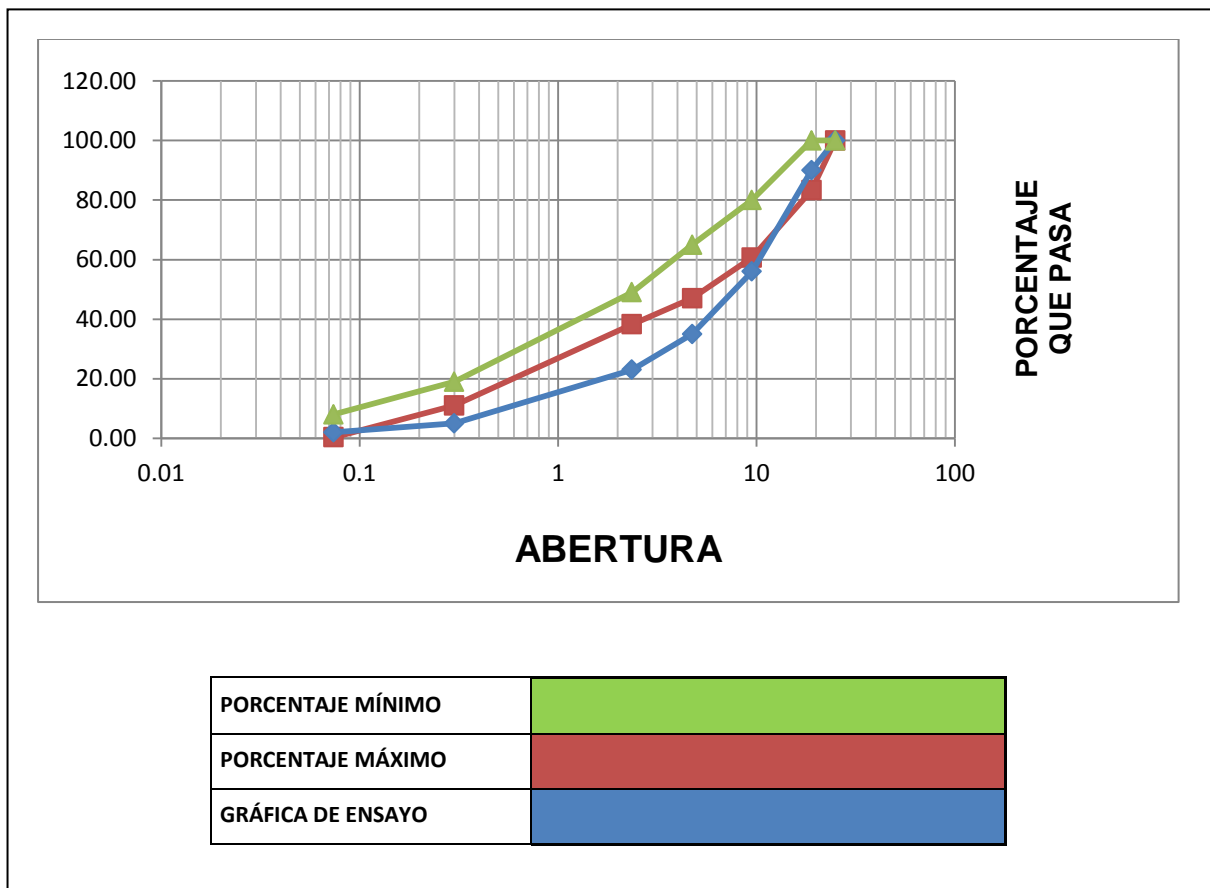
Fuente: elaboración propia.

#### 6.1.6. **Análisis granulométrico para pavimento de concreto asfáltico ASTM D 3515, para agregado tipo D**

La gráfica no es consistente, es discontinua del 3/4, lo que lo hace bajo del límite de lo especificado en la normativa de la Dirección General de Caminos. Esto muestra una granulometría muy gruesa y su fracción gruesa está por

debajo de los requerimientos, por lo cual se tiene un material muy suelto, sin cohesión o adhesividad, provocando un porcentaje de vacíos muy alto. La curva se muestra cercana a los valores máximos de finura, por lo cual la mezcla tiende a la segregación (ver figura 19).

Figura 19. **Gráfica de granulometría ensayada muestra 1**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Usac.

## 6.2. Análisis de resultados de los ensayos de laboratorio para la muestra 2 (base negra)

Con base en los resultados obtenidos en el capítulo anterior, se procede a hacer el análisis correspondiente de cada prueba realizada.

### 6.2.1. Resistencia de mezclas asfálticas Marshall, estabilidad y flujo Marshall AASHTO T 245 y ASTM D 1559

El flujo está dentro del rango, su deformación cumple con lo especificado según el anexo 3, la estabilidad se encuentra dentro del rango (ver tabla XIV).

Tabla XIV. Resultados para ensayo de estabilidad y flujo Marshall

Flujo	Estabilidad	Rango de flujo	Rango de estabilidad
9	1 464,18 lb	8 ----- 16	Mayor a 1 200 lb

Fuente: elaboración propia.

### 6.2.2. Gravedad específica *bulk* de briquetas ASTM D 1188

Para pastillas compactadas en laboratorio con 75 golpes por cara, 140 grados Celsius de temperatura:

2,253 %

Este es un resultado aleatorio con el cual se determina el porcentaje de vacíos en una mezcla asfáltica.

**6.2.3. Gravedad específica teórica máxima *rice* ASTM D 2041 y AASHTO T 209**

Para pastillas compactadas en laboratorio con 75 golpes por cara, 140 grados Celsius de temperatura:

2,54 %

Este es un resultado aleatorio con el cual se determina el porcentaje de vacíos en una mezcla asfáltica.

**6.2.4. Porcentaje de ligante asfáltico efectivo (Pba) para ensayos de control de calidad**

El contenido de bitumen es más bajo del que presenta el diseño, esto ocasiona a la base la segregación (ver tabla XV).

Tabla XV. **Resultado para el contenido de bitumen**

Obtenido	Reportado
3,36 %	5,50 %

Fuente: elaboración propia.



### 6.2.5. Porcentaje de vacíos de aire en mezclas bituminosas, densas y abiertas

Según gravedades específicas (compactadas en laboratorio), porcentaje de vacíos es demasiado alto, de nuevo, el principal problema es la segregación de la mezcla asfáltica (ver tabla XVI).

Tabla XVI. Resultado del ensayo de porcentaje de vacíos

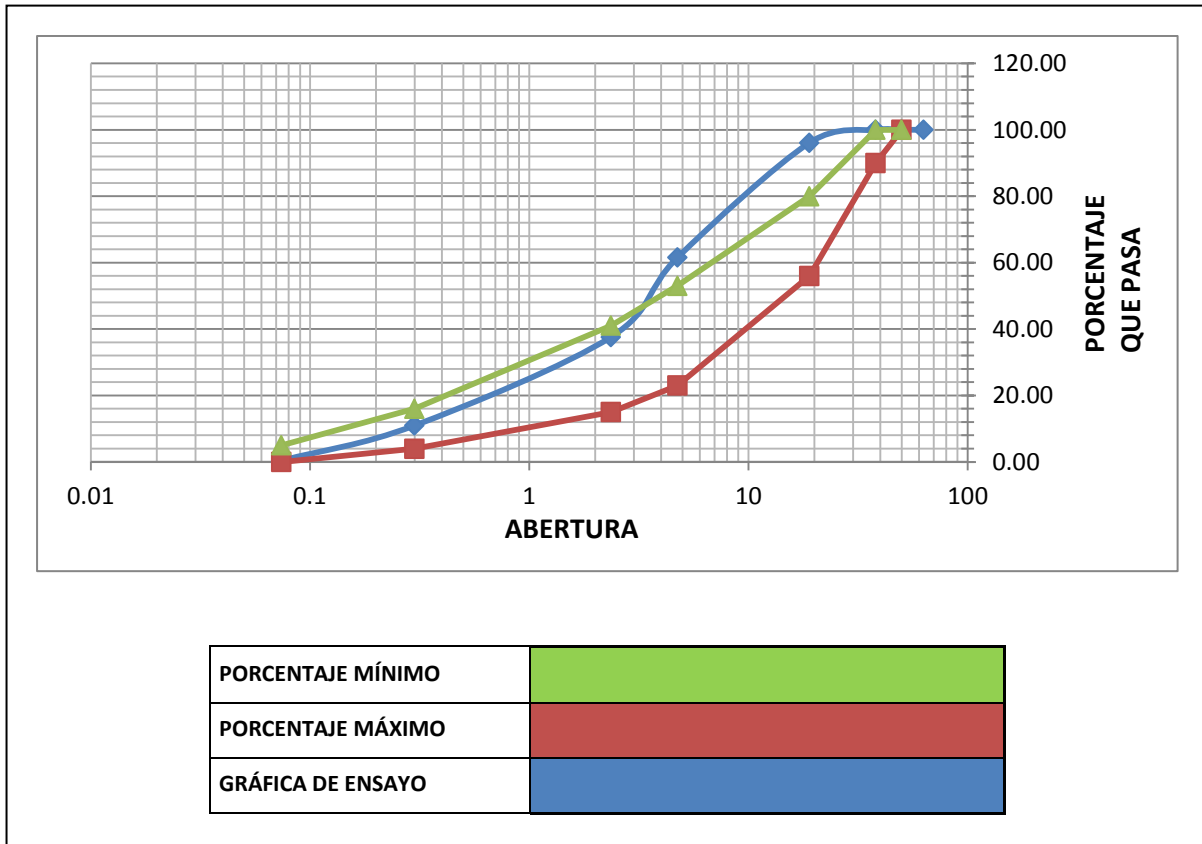
Obtenido	Rango
11,26 %	3 ----- 5

Fuente: elaboración propia.

### 6.2.6. Análisis granulométrico para pavimentos de concreto asfáltico ASTM D 3515, para agregado tipo B

La gráfica no es consistente, totalmente fino del tamiz #4 al #50 no cumple en ninguno de los parámetros, de igual manera se puede observar que es discontinua del 3/4, lo que lo hace bajo del límite de lo especificado en la normativa de la Dirección General de Caminos. Esto muestra una granulometría muy gruesa, asimismo su fracción gruesa está por debajo de los requerimientos, por lo cual se tiene un material muy suelto, sin cohesión o adhesividad, provocando un porcentaje de vacíos muy alto, ya que la arena viene de escoria y ceniza volcánica y tiene un alto índice de porosidad. La curva cercana a los valores máximos de finura, por lo cual la mezcla tiende a la segregación (ver figura 20).

Figura 20. Gráfica de granulometría ensayada muestra 2



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Usac.

## CONCLUSIONES

1. Dentro de las causas que provocaron el deterioro de la carpeta asfáltica, objeto de este estudio, están la falta de control de calidad en los materiales, la producción y la colocación de las mezclas asfálticas tipo B y tipo D.
2. Las fisuras se manifestaron, no solamente por la forma de compactación, sino también, fueron causadas por la disgregación de una granulometría de mala calidad, asimismo, por un alto contenido de vacíos. Aparte, el agregado grueso expuesto no posee suficiente contenido de bitumen, debido a que la mayor cantidad de este es absorbida por las arenas y no cubre en su superficie total al agregado grueso, además, provoca un módulo de resiliencia bajo, lo que ocasiona que al momento de ser expuesto a cargas pesadas sobre la carpeta, este no regresa a su estado normal, produciendo una deformación permanente y dejando a la vista la marca de la llanta sobre la superficie de la carpeta de rodadura.
3. Según las *Especificaciones generales* de la Dirección General Caminos, sección 401, la mezcla asfáltica no cumple en su totalidad con los requisitos mínimos establecidos por dicho normativo, de tal manera que con base en los resultados obtenidos en las granulometrías, estas presentan demasiada cantidad de arenas, lo que ocasiona que el agregado fino produzca un porcentaje de absorción alto.

4. Se determinó la mala calidad de la carpeta asfáltica por medio de los ensayos realizados a la mezcla, basándose en las propiedades mecánicas de esta. Para el resultado la prueba de estabilidad y flujo Marshall, según lo indica la sección 401 de las *Especificaciones generales* de la Dirección General Caminos, este se encuentra dentro del rango de aceptación, sin embargo, aún sigue siendo bajo, aparte, un porcentaje de vacíos demasiado alto y un contenido de bitumen muy bajo.
5. La maquinaria utilizada contribuyó a las fallas en la carpeta asfáltica al momento de la compactación, debido a que la vibrocompactadora pasó aproximadamente 5 horas seguidas en cada tramo, lo cual provocó agrietamiento y levantado del mismo.
6. Otra posible causa de las fallas en la carpeta asfáltica son las altas temperaturas de lugar y el tipo de asfalto convencional (AC20) utilizado para el diseño de la mezcla, ya que este tipo de asfalto es de curado lento y es utilizado en lugares con condiciones de baja temperatura y cargas rápidas.
7. Una de las posibles causas que también pudieron ocasionar las fallas en la carpeta de rodadura fue la mala calibración de la planta de producción, ya que, como se pudo apreciar en la visita técnica, esta solo tenía dos tolvas en funcionamiento, las cuales agregan 50 % de agregado fino y 50 % de agregado grueso a la mezclas asfáltica tipo D y tipo B, por lo cual al momento de tender el asfalto, este no cumplió con el diseño de la mezcla.

8. También se desconocía la temperatura de la mezcla al momento del tendido. El desempeño del asfalto ocurre debido al flujo plástico del material, que es un proceso irreversible, además el lapso entre el tendido y el paso del vibrocompactador, fue muy prolongado, lo que provocó que la temperatura descendiera. Debido a ese tiempo entre colocado y compactado de la mezcla asfáltica, esta empezó su proceso de secado sin la debida compactación, ocasionando disgregación de las partículas y el agregado grueso expuesto en la carpeta de rodadura a las horas de la colocación.
  
9. Los daños observados son por disgregación y segregación del material, lo que provoca una vida útil demasiado corta, permitiendo con mayor rapidez un daño a la carpeta de rodadura, acelerando su envejecimiento.



## RECOMENDACIONES

1. Tener un mayor control de calidad en la preparación y colocación de las mezclas asfálticas, para evitar que la carpeta asfáltica se deteriore con facilidad, debido a la mala gradación de los agregados en la planta de producción.
2. Levantar los tramos colocados y volver a colocar mezcla asfáltica de buena calidad, tomando en cuenta las condiciones climatológicas del área.
3. Realizar un nuevo diseño para los dos tipos de graduaciones en la granulometría (tipo B en base negra y tipo D en base), debido a que las granulometrías presentan demasiada cantidad de arenas, ocasionando mucha discontinuidad en la granulometría.
4. Se aconseja utilizar un cemento asfáltico AC 30 o AC 40, para un lugar con condiciones climatológicas altas, un material más viscoso puede contribuir en la resistencia de las mezclas a la deformación permanente.
5. El tendido del asfalto se debe realizar durante la tarde noche, ya que tiene ventajas adicionales sobre el clima caliente. Las bajas temperaturas de aire y un nivel reducido o ausencia de la radiación solar permitirán al substrato enfriar más rápidamente.





## BIBLIOGRAFÍA

1. American Association of State Highways and Transportation Officials. *AASHTO T 269, AASHTO T 164, AASHTO T 209*. EUA: AASHTO, 2013. 1 600 p.
2. American Society for Testing and Materials. Petroleum, products, lubricants and fossil fuels. ASTM D 1888, ASTM D 3203, ASTM D 2172, ASTM D 2041. EUA: ASTM, 2006. 1 419 p.
3. Asphalt Binder Testing. *Technicians manual for specification testing of asphalt binders*. EUA: Asphalt Institute, 2008. 184 p.
4. COLUMA ALMEIDA, Erick Santiago. *Aplicación del ensayo de tracción indirecta en mezclas asfálticas en caliente para el control de calidad en carpetas asfálticas en el Ecuador*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Escuela Politécnica del Ejército, Facultad de Ingeniería, 2006. 101 p.
5. Comisión Permanente del Asfalto. *Especificaciones técnicas generales de concretos asfálticos densos, semidensos y gruesos en caliente*. Guatemala: Subcomisión Redacción de Especificaciones, 2006. 20 p.

6. Dirección General de Caminos. *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes*. Guatemala: Cámara Guatemalteca de la Construcción, 2000. 724 p.
7. Estabilidad Marshall. *Construction testing equipment*. EUA: Humboldt Mfg. Co., 2008. 304 p.
8. MARIN HERNANDEZ, Alberto. *Asfaltos modificados y pruebas de laboratorio para caracterizarlos*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, 2004. 135 p.
9. SUPERPAVE. *Antecedentes de los métodos de ensayo de ligantes asfálticos*. EUA: Instituto del Asfalto, 1998. 90 p.

## APÉNDICES

### Apéndice 1. **Fisuras presentadas en la base a los dos días de colocación**



Fuente: kilómetro 101,5 autopista puerto Quetzal, Escuintla.

### Apéndice 2. **Levantamiento en capa base de la mezcla asfáltica**



Fuente: kilómetro 101,5 autopista puerto Quetzal, Escuintla.

Apéndice 3. **Marca de llantas en base, por exceso de finos en la mezcla**



Fuente: kilómetro 101,5 autopista puerto Quetzal, Escuintla.

Apéndice 4. **Levantamiento de la mezclas asfáltica**



Fuente: kilómetro 101,5 autopista puerto Quetzal, Escuintla.

Apéndice 5. **Material suelto en la base del pavimento**



Fuente: kilómetro 101,5 autopista puerto Quetzal, Escuintla.

Apéndice 6. **Levantamiento por paso vehicular**



Fuente: kilómetro 101,5 autopista puerto Quetzal, Escuintla.



Apéndice 7. Corte de base (se observa la separación granular)



Fuente: kilómetro 101,5 autopista puerto Quetzal, Escuintla.

## ANEXOS

Anexo 1. **Tabla 401-12. Requisitos para la mezcla de concreto asfáltico**

METODO DE DISEÑO <sup>(1)</sup>	VALORES LÍMITES	
	<u>MINIMO</u>	<u>MAXIMO</u>
1) <u>MARSHALL</u> (AASHTO T 245)		
• Temperatura de compactación de pastilla para producir una viscosidad de	0.25 Pa-s (250 cS)	0.31 Pa-s (310 cS)
• Número de golpes de compactación en cada extremo del espécimen <sup>(2)</sup>	75	75
• Estabilidad	5,338 N (1,200 libras)	
• Fluencia en 0.25 mm (0.01 pulg.)		
• Tránsito < 10 <sup>6</sup> ESAL	8	16
• Tránsito > 10 <sup>6</sup> ESAL	8	14
• Relación Estabilidad/Fluencia (lb./0.01 pulg.)	120	275
• Porcentaje de vacíos de la mezcla compactada <sup>(3)</sup>	3	5
• Porcentaje de vacíos en agregado mineral (VAM)	Tabla 401-13	
• Porcentaje de vacíos rellenos con asfalto		
• Tránsito < 10 <sup>6</sup> ESAL	65	78
• Tránsito > 10 <sup>6</sup> ESAL	65	75
• Relación finos/bitumen <sup>(4)</sup>	0.6	1.6
• Sensibilidad a la humedad AASHTO T 283		
Resistencia retenida	80 %	
• Partículas recubiertas con bitumen, para definir tiempo de mezclado, AASHTO T 195	95 %	

Fuente: Dirección General de Caminos. *Manual de requerimientos*. Sección 401. p. 302.

Anexo 2. **Tabla de corrección de los valores de estabilidad Marshall**

Volumen de la briqueta cm <sup>3</sup>	Espesor aproximado de la briqueta en cm	Factor de corrección
200-213	2.54	5.56
214-225	2.70	5.00
226-237	2.86	4.55
238-250	3.02	4.17
251-264	3.17	3.85
265-276	3.33	3.57
277-289	3.49	3.33
290-301	3.65	3.03
302-316	3.81	2.78
317-328	3.97	2.50
329-340	4.13	2.27
341-353	4.29	2.08
354-367	4.44	1.92
368-379	4.60	1.79
390-392	4.76	1.67
393-405	4.92	1.56

Volumen de la briqueta cm <sup>3</sup>	Espesor aproximado de la briqueta en cm	Factor de corrección
406-420	5.08	1.47
421-431	5.24	1.39
432-443	5.40	1.32
444-456	5.56	1.25
457-470	5.71	1.19
471-482	5.87	1.14
483-495	6.03	1.09
496-508	6.19	1.04
509-522	6.35	1.00
523-535	6.51	0.96
536-546	6.67	0.93
547-559	6.82	0.89
560-573	6.98	0.86
574-585	7.14	0.83
586-598	7.30	0.81
599-610	7.46	0.78
611-625	7.62	0.76

Fuente: MAMANI, Armando. *Diseño de pavimento flexible vial*. p. 39.



Anexo 3. Tabla Humboldt Mfg. Co. corrección estabilidad Marshall

HUMBOLDT MFG. CO.  
7300 W. AGATITE AVE.  
NORRIDGE, IL 60706

4 SEP 2008

RECOMMEND RECALIBRATION ONE YEAR FROM START OF USE AFTER LAST CALIBRATION  
CALIBRATION FOR MODEL H-4454.100 11000 LBF SERIAL 2366 BY *B. Blachman*  
CALIBRATED USING LOAD CELL 626314 CAL. DATE 10/11/07 DEFLT=.0001 in.

LBF	DEFLT	LBF	DEFLT	LBF	DEFLT	LBF	DEFLT	LBF	DEFLT
0	.1	1000	105.1	3500	370.0	6000	637.9	8500	908.9
20	2.2	1050	110.4	3550	375.3	6050	643.3	8550	914.4
40	4.3	1100	115.7	3600	380.7	6100	648.7	8600	919.8
60	6.4	1150	121.0	3650	386.0	6150	654.1	8650	925.3
80	8.5	1200	126.2	3700	391.3	6200	659.5	8700	930.7
100	10.5	1250	131.5	3750	396.7	6250	664.9	8750	936.2
120	12.6	1300	136.8	3800	402.0	6300	670.3	8800	941.6
140	14.7	1350	142.0	3850	407.3	6350	675.7	8850	947.1
160	16.8	1400	147.3	3900	412.7	6400	681.1	8900	952.6
180	18.9	1450	152.6	3950	418.0	6450	686.5	8950	958.0
200	21.0	1500	157.9	4000	423.3	6500	691.9	9000	963.5
220	23.1	1550	163.2	4050	428.7	6550	697.3	9050	968.9
240	25.2	1600	168.4	4100	434.0	6600	702.7	9100	974.4
260	27.3	1650	173.7	4150	439.4	6650	708.1	9150	979.9
280	29.4	1700	179.0	4200	444.7	6700	713.5	9200	985.3
300	31.5	1750	184.3	4250	450.1	6750	718.9	9250	990.8
320	33.6	1800	189.6	4300	455.4	6800	724.3	9300	996.3
340	35.7	1850	194.9	4350	460.8	6850	729.7	9350	1001.8
360	37.8	1900	200.1	4400	466.1	6900	735.1	9400	1007.2
380	39.9	1950	205.4	4450	471.5	6950	740.5	9450	1012.7
400	42.0	2000	210.7	4500	476.8	7000	746.0	9500	1018.2
420	44.1	2050	216.0	4550	482.2	7050	751.4	9550	1023.6
440	46.2	2100	221.3	4600	487.5	7100	756.8	9600	1029.1
460	48.3	2150	226.6	4650	492.9	7150	762.2	9650	1034.6
480	50.4	2200	231.9	4700	498.2	7200	767.6	9700	1040.1
500	52.5	2250	237.2	4750	503.6	7250	773.0	9750	1045.6
520	54.6	2300	242.5	4800	508.9	7300	778.5	9800	1051.0
540	56.7	2350	247.8	4850	514.3	7350	783.9	9850	1056.5
560	58.8	2400	253.1	4900	519.7	7400	789.3	9900	1062.0
580	61.0	2450	258.4	4950	525.0	7450	794.7	9950	1067.5
600	63.1	2500	263.7	5000	530.4	7500	800.2	10000	1073.0
620	65.2	2550	269.0	5050	535.8	7550	805.6	10050	1078.5
640	67.3	2600	274.3	5100	541.1	7600	811.0	10100	1084.0
660	69.4	2650	279.6	5150	546.5	7650	816.4	10150	1089.5
680	71.5	2700	284.9	5200	551.9	7700	821.9	10200	1094.9
700	73.6	2750	290.2	5250	557.2	7750	827.3	10250	1100.4
720	75.7	2800	295.5	5300	562.6	7800	832.7	10300	1105.9
740	77.8	2850	300.8	5350	568.0	7850	838.2	10350	1111.4
760	79.9	2900	306.2	5400	573.3	7900	843.6	10400	1116.9
780	82.0	2950	311.5	5450	578.7	7950	849.0	10450	1122.4
800	84.1	3000	316.8	5500	584.1	8000	854.5	10500	1127.9
820	86.2	3050	322.1	5550	589.5	8050	859.9	10550	1133.4
840	88.3	3100	327.4	5600	594.9	8100	865.4	10600	1138.9
860	90.4	3150	332.7	5650	600.2	8150	870.8	10650	1144.4
880	92.5	3200	338.1	5700	605.6	8200	876.2	10700	1149.9
900	94.6	3250	343.4	5750	611.0	8250	881.7	10750	1155.4
920	96.7	3300	348.7	5800	616.4	8300	887.1	10800	1160.9
940	98.8	3350	354.0	5850	621.8	8350	892.6	10850	1166.4
960	100.9	3400	359.3	5900	627.2	8400	898.0	10900	1172.0
980	103.0	3450	364.7	5950	632.5	8450	903.5	10950	1177.5

Fuente: Humboldt Mfg. Co. p. 1.





Anexo 5. **Gravedad específica bulk, base**

	<b>CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA</b>			
<b>INFORME NUMERO: 067 L.B.A.</b>		<b>ORDEN DE TRABAJO 34990 No. 6052</b>		
<b>INTERESADO:</b>	<b>VODENITH DEL ROSARIO VILLACINDA ORDÓÑEZ</b>			
<b>PROYECTO:</b>	<b>EVALUACION DEL ESTADO ACTUAL DE LA CARPETA ASFALTICA UBICADA EN EL KILOMETRO 101.5 AUTOPISTA PUERTO QUETZAL, ESCUINTLA</b>			
<b>DIRECCION:</b>	<b>KILOMETRO 101.5 AUTOPISTA PUERTO QUETZAL, ESCUINTLA</b>			
<b>ENSAYO:</b>	<b>GRAVEDAD ESPECIFICA DE BULK ASTM 2726-05a</b>			
<b>FECHA:</b>	<b>12 DE OCTUBRE DEL 2015</b>			
<b>MUESTRA:</b>	<b>BASE, GRANULOMETRIA TIPO D (19mm)</b>			
<table border="1"><tr><td><b>Gmb</b></td><td><b>2.245</b></td></tr></table>			<b>Gmb</b>	<b>2.245</b>
<b>Gmb</b>	<b>2.245</b>			
Atentamente, Vo. Bo. :	  <b>Inga. Telma Maricela Cano Morales DIRECTORA CII/USAC</b>	  <b>Ing. Yefry Valentin Rosales Juarez Jefe Laboratorio de Asfaltos</b>		
<small>FACULTAD DE INGENIERIA —USAC— Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: <a href="http://cii.usac.edu.gt">http://cii.usac.edu.gt</a></small>				

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Usac.

Anexo 6. **Gravedad específica *rice*, base**

	<b>CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA</b>			
INFORME NUMERO: 068 L.B.	ORDEN DE TRABAJO 34990	No. <b>6053</b>		
INTERESADO:	VODENITH DEL ROSARIO VILLACINDA ORDÓÑEZ			
PROYECTO:	EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA CARPETA DE ASFÁLTICA UBICADA EN EL KILÓMETRO 101,5 AUTOPISTA PUERTO QUETZAL, ESCUINTLA			
DIRECCION:	KILÓMETRO 101,5 AUTOPISTA PUERTO QUETZAL, ESCUINTLA			
ENSAYO:	GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA "RICE" ASTM 2041			
FECHA:	12 DE OCTUBRE DEL 2015			
MUESTRA:	BASE, GRANULOMETRIA TIPO D (19mm)			
<table border="1"><tr><td>Gmm</td><td>2.53</td></tr></table>			Gmm	2.53
Gmm	2.53			
Atentamente,				
Vo. Bo. :				
Inga. Telma Maricela Cano Morales DIRECTORA CII/USAC	Ing. Yefry Valentin Rosales Juarez Jefe Laboratorio de Asfaltos			
<small>FACULTAD DE INGENIERIA –USAC– Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: <a href="http://cii.usac.edu.gt">http://cii.usac.edu.gt</a></small>				

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Usac.

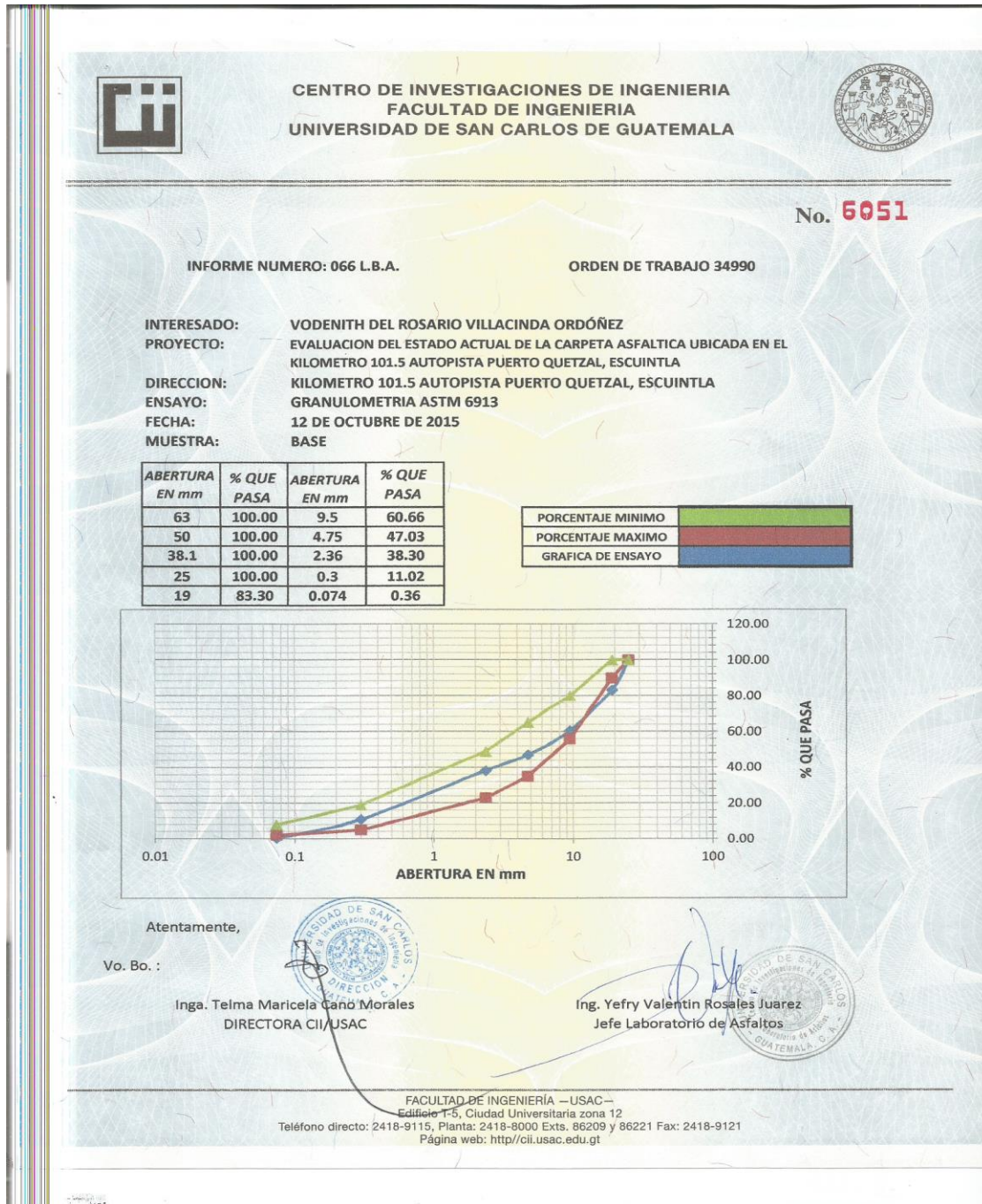


Anexo 7. Contenido de bitumen, base

		<b>CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA</b>				
INFORME NUMERO: 064 L.B.A.		ORDEN DE TRABAJO 34990		No. <b>6049</b>		
INTERESADO:	VODENITH DEL ROSARIO VILLACINDA ORDÓÑEZ					
PROYECTO:	TRABAJO DE GRADUACION: EVALUACION DEL ESTADO ACTUAL DE LA CARPETA ASFALTICA UBICADA EN EL KILOMETRO 101.5 AUTOPISTA PUERTO QUETZAL, ESCUINTLA					
DIRECCION:	KILOMETRO 101.5 AUTOPISTA PUERTO QUETZAL, ESCUINTLA					
ENSAYO:	CONTENIDO DE BITUMEN 2172-05					
FECHA:	12 DE OCTUBRE DEL 2015					
MUESTRA:	BASE, GRANULOMETRIA TIPO D (19 mm)					
		<table border="1"><tr><td><b>% DE BITUMEN</b></td><td><b>3.36</b></td></tr></table>			<b>% DE BITUMEN</b>	<b>3.36</b>
<b>% DE BITUMEN</b>	<b>3.36</b>					
Atentamente,						
Vo. Bo. :						
						
	Inga. Telma Maricela Cano Morales DIRECTORA CII/USAC	Ing. Yefry Valentin Rosales Juarez Jefe Laboratorio de Asfaltos				
FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC— Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: <a href="http://cii.usac.edu.gt">http://cii.usac.edu.gt</a>						

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Usac.

Anexo 8. Granulometría, base



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Usac.



Anexo 9. **Estabilidad y flujo Marshall. Base Negra**

	<b>CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA</b>							
		<b>No. 6055</b>						
<b>INFORME NUMERO:</b> 070 L.B.A.	<b>ORDEN DE TRABAJO</b> 34990							
<b>INTERESADO:</b>	VODENITH DEL ROSARIO VILLACINDA ORDÓÑEZ							
<b>PROYECTO:</b>	EVALUACION DEL ESTADO ACTUAL DE LA CARPETA ASFALTICA UBICADA EN EL KILOMETRO 101.5 AUTOPISTA PUERTO QUETZAL, ESCUINTLA							
<b>DIRECCION:</b>	KILOMETRO 101.5 AUTOPISTA PUERTO QUETZAL, ESCUINTLA							
<b>ENSAYO:</b>	ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL ASTM D 1559							
<b>FECHA:</b>	12 DE OCTUBRE DEL 2015							
<b>MUESTRA:</b>	BASE NEGRA, GRANULOMETRIA TIPO B							
<table border="1"><thead><tr><th>MUESTRA</th><th>ESTABILIDAD Lbs</th><th>FLUJO 0,01"</th></tr></thead><tbody><tr><td>BASE NEGRA</td><td>1464.18</td><td>9</td></tr></tbody></table>			MUESTRA	ESTABILIDAD Lbs	FLUJO 0,01"	BASE NEGRA	1464.18	9
MUESTRA	ESTABILIDAD Lbs	FLUJO 0,01"						
BASE NEGRA	1464.18	9						
Atentamente, Vo. Bo. :	 Inga. Telma Mancera Cano Morales DIRECTORA CII/USAC	 Ing. Yefry Valentín Rosales Juárez Jefe Laboratorio de Asfaltos						
FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC— Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: <a href="http://cii.usac.edu.gt">http://cii.usac.edu.gt</a>								

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Usac.

Anexo 10. **Gravedad específica *bulk*, base negra**

	<b>CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA</b>			
INFORME NUMERO: 072 L.B.A		ORDEN DE TRABAJO 34990		
		No. <b>6057</b>		
INTERESADO:	VODENITH DEL ROSARIO VILLACINDA ORDÓÑEZ			
PROYECTO:	EVALUACION DEL ESTADO ACTUAL DE LA CARPETA ASFALTICA UBICADA EN EL KILOMETRO 101.5 AUTOPISTA PUERTO QUETZAL, ESCUINTLA			
DIRECCION:	KILOMETRO 101.5 AUTOPISTA PUERTO QUETZAL, ESCUINTLA			
ENSAYO:	GRAVEDAD ESPECIFICA DE BULK ASTM 2726-05a			
FECHA:	12 DE OCTUBRE DEL 2015			
MUESTRA:	BASE NEGRA, GRANULOMETRIA TIPO B			
<table border="1"><tr><td>Gmb</td><td>2.253</td></tr></table>			Gmb	2.253
Gmb	2.253			
Atentamente,				
Vo. Bo. :	 Inga. Telma Maricela Cano Morales DIRECTORA CI/USAC	 Ing. Yefry Valentin Rosales Juarez Jefe Laboratorio de Asfaltos		
<small>FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC— Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: <a href="http://cil.usac.edu.gt">http://cil.usac.edu.gt</a></small>				

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Usac.



Anexo 11. **Contenido de bitumen, base negra**

	<b>CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA</b>			
<b>INFORME NUMERO:</b> 069 L.B.	<b>ORDEN DE TRABAJO</b> 34990	<b>No. 6054</b>		
<b>INTERESADO:</b>	VODENITH DEL ROSARIO VILLACINDA ORDÓÑEZ			
<b>PROYECTO:</b>	EVALUACION DEL ESTADO ACTUAL DE LA CARPETA ASFALTICA UBICADA EN EL KILOMETRO 101.5 AUTOPISTA PUERTO QUETZAL, ESCUINTLA			
<b>DIRECCION:</b>	KILOMETRO 101.5 AUTOPISTA PUERTO QUETZAL, ESCUINTLA			
<b>ENSAYO:</b>	CONTENIDO DE BITUMEN 2172-05			
<b>FECHA:</b>	12 DE OCTUBRE DEL 2015			
<b>MUESTRA:</b>	BASE NEGRA, GRANULOMETRIA TIPO B			
<table border="1"><tr><td><b>% DE BITUMEN</b></td><td><b>3.36</b></td></tr></table>			<b>% DE BITUMEN</b>	<b>3.36</b>
<b>% DE BITUMEN</b>	<b>3.36</b>			
Atentamente, Vo. Bo. :	 Inga. Telma Maricela Cano Morales DIRECTORA CII/USAC	 Ing. Yefry Valentín Rosales Juárez Jefe Laboratorio de Asfaltos		
<small>FACULTAD DE INGENIERÍA –USAC– Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: <a href="http://cii.usac.edu.gt">http://cii.usac.edu.gt</a></small>				

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Usac.

Anexo 12. Granulometría, base negra



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Usac.