



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

**INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE,  
GUÍA PRÁCTICA Y TEÓRICA PARA SU CONTROL DE CALIDAD**

**Eddy Efraín Arriaza Mejía**

Asesorado por la Inga. Martha Dina Avellán Cruz

Co-asesorado por el Ing. Omar Enrique Medrano Méndez

Guatemala, abril de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE,  
GUÍA PRÁCTICA Y TEÓRICA PARA SU CONTROL DE CALIDAD**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**EDDY EFRAÍN ARRIAZA MEJIA**

ASESORADO POR LA INGA. MARTHA DINA AVELLÁN CRUZ

CO-ASESORADO POR EL ING. OMAR ENRIQUE MEDRANO MÉNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, ABRIL DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL I	
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

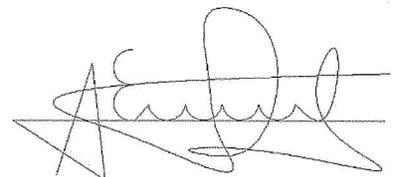
DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García
EXAMINADOR	Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza
EXAMINADOR	Ing. Juan Ramón Ordóñez Hernández
EXAMINADOR	Ing. Luis Eduardo Saravia Ramírez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **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:

### **INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, GUÍA TEÓRICA Y PRÁCTICA PARA SU CONTROL DE CALIDAD**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,  
con fecha mayo de 2013



**Eddy Efraín Arriaza Mejía**



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Lunes, 17 de febrero de 2014

Ingeniero  
Guillermo Francisco Melíni Salguero  
Área de Materiales y Construcciones Civiles  
Presente

Ingeniero Melíni

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación **INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, GUÍA PRÁCTICA Y TEÓRICA PARA SU CONTROL DE CALIDAD**, elaborado por el estudiante universitario **Eddy Efraín Arriaza Mejía**, quien contó con la asesoría del suscrito.

Considerando que el trabajo desarrollado por el estudiante Arriaza Mejía, satisface los requisitos exigidos por el reglamento de graduación, por lo cual recomiendo su aprobación.

Atentamente,

Ing. Omar Enrique Medrano Méndez

Col. 6842

Co-Asesor

Jefe de la Sección de Mecánica de Suelos

Guatemala 05 de mayo de 2014

Ingeniero:

Guillermo Francisco Melíni Salguero

Área de Materiales y Construcciones Civiles

Coordinador

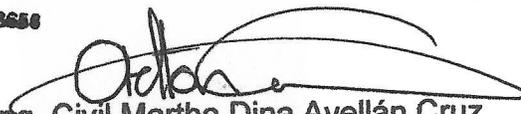
Ingeniero Melíni:

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación **INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, GUÍA PRÁCTICA Y TEÓRICA PARA SU CONTROL DE CALIDAD**, elaborado con el estudiante universitario Eddy Efraín Arriaza Mejía, quien contó con la asesoría de la suscrita.

Considerando que el trabajo desarrollado por el estudiante Arriaza Mejía, **satisface los requisitos exigidos en el reglamento de graduación, por lo cual recomiendo su aprobación.**

Atentamente,

*Ing. Dina Avellán Cruz*  
INGENIERA CIVIL COL. 8656

  
Ing. Civil Martha Dina Avellán Cruz

Col.8656

Asesora



**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,  
 28 de abril de 2014

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 INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, GUÍA PRÁCTICA Y TEÓRICA PARA SU CONTROL DE CALIDAD, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Eddy Efraín Arriaza Mejía, quien contó con la asesoría de la Inga. Martha Dina Avellán Cruz y Co-Asesor Ing. Omar Enrique Medrano Méndez

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

*Guillermo Melini*

~~Ing. Civil Guillermo Francisco Melini Salguero~~  
 Coordinador del Área de Materiales y  
 Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA  
 AREA DE MATERIALES Y  
 CONSTRUCCIONES CIVILES  
 USAC

Más 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 de la Asesora Inga. Martha Dina Avellán Cruz y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación del estudiante Eddy Efraín Arriaza Mejía, titulado INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, GUÍA PRÁCTICA Y TEÓRICA PARA SU CONTROL DE CALIDAD, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

*Hugo Leonel Montenegro Franco*

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, mayo 2015

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





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: **INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, GUÍA PRÁCTICA Y TEÓRICA PARA SU CONTROL DE CALIDAD**, presentado por el estudiante universitario: **Eddy Efraín Arriaza Mejía**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Angel Roberto Sic García  
Decano



Guatemala, abril 2015

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por ser el que me da la fuerza para seguir adelante.
<b>Mi madre</b>	Leticia Mejía, por cuidarme y enseñarme algo nuevo cada momento.
<b>Mi padre</b>	Eddy Arriaza Godoy, por darme el mejor ejemplo de todos, cuidarme y darme los mejores consejos.
<b>Mis abuelas</b>	Por su cariño incondicional, ayuda y paciencia.
<b>Mis tíos</b>	Por hacer mi vida más fácil, por sus consejos y buenos deseos.
<b>Mis hermanas</b>	Por ser buenas hermanas y apoyarme en todo momento.
<b>Señorita</b>	Cynthia Soria, por aguantarme estos años de carrera y ayudarme en todo momento.
<b>Mis primos</b>	Por estar ahí siempre que los necesito, por sus consejos y enseñanzas de vida.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser una importante influencia en mi carrera, y enseñarme tantas cosas.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por haberme abierto sus puertas y ayudarme a cumplir mis metas.
<b>Asfalgua</b>	Por haberme abierto las puertas y darme la oportunidad de aprender muchas cosas importantes.
<b>Inga. Dina Avellán</b>	Por haberme apoyado y guiado en la elaboración de mi trabajo de graduación.
<b>Eddy Arriaza</b>	Por tenerme paciencia, ayudarme y apoyarme en todo momento.
<b>Elena del Águila</b>	Por todo el apoyo mostrado hacia mí y mi familia.
<b>Lic. Hugo Mejía</b>	Por ser guía y por haberme facilitado este camino.
<b>Cynthia Soria</b>	Por ser la persona que me inspira cada momento a hacer las cosas bien.

<b>Ing. Omar Medrano</b>	Por haber apoyado en la aprobación y elaboración de este trabajo.
<b>Mis tíos y tías</b>	Por ser una influencia positiva en mi vida y por apoyar a mi familia siempre.
<b>Mis amigos de la Facultad</b>	Luis Fernando Garnica, Lilian Yoc, Abner Escobar, Alejandro Urizar, Alejandro Tizol, Jorge Leiva, Manuel Dias, Felipe Rodas.
<b>Mis hermanas</b>	Por ser gran ayuda y apoyarme siempre.
<b>Personal de Asfalguá</b>	Por ayudarme en la elaboración de este trabajo.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XI
GLOSARIO .....	XIII
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN .....	XXIII
1. MEZCLA ASFÁLTICA .....	1
1.1. Componentes .....	1
1.2. Asfalto.....	1
1.2.1. Definición .....	2
1.2.2. Producción del asfalto .....	2
1.2.3. Propiedades químicas del asfalto .....	3
1.2.4. Propiedades físicas del asfalto .....	4
1.2.4.1. Durabilidad.....	5
1.2.4.2. Adhesión y cohesión.....	5
1.2.4.3. Susceptibilidad a la temperatura.....	5
1.2.4.4. Endurecimiento y envejecimiento .....	6
1.2.4.5. Pureza .....	7
1.3. Agregados .....	7
1.3.1. Definición .....	7
1.3.2. Agregados naturales.....	8
1.3.3. Agregados procesados .....	8
1.3.4. Propiedades del agregado.....	8
1.3.4.1. Granulometría del agregado .....	10

	1.3.4.2.	Peso específico .....	11
	1.3.4.3.	Dureza del agregado .....	11
	1.3.4.4.	Capacidad de absorción.....	12
2.	ASPECTOS DE SEGURIDAD PARA LA MANIPULACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE .....		13
2.1.	Equipo de seguridad .....		14
	2.1.1.	Protección para los ojos .....	15
	2.1.2.	Protección para las quemaduras.....	16
	2.1.3.	Protección para los pies .....	17
2.2.	Señalización.....		17
2.3.	Almacenamiento de asfalto .....		18
2.4.	Responsabilidad del inspector de planta.....		18
2.5.	Muestreo de asfalto.....		19
2.6.	Muestreo de mezclas asfálticas .....		20
2.7.	Regulaciones para los camiones transportadores de mezcla ..		20
3.	ENSAYOS DE CEMENTO ASFÁLTICO .....		23
3.1.	Prueba de viscosidad (ASTM D 2 196 métodos de prueba estándar para las propiedades reológicas de los materiales no newtonianos de rotación (Viscosímetro tipo Brookfield).....		24
	3.1.1.	Descripción del ensayo .....	24
	3.1.2.	Equipo a utilizar.....	24
	3.1.3.	Procedimiento para realizar la prueba.....	26
3.2.	Ensayo de penetración ASTM D-5 (penetración de materiales bituminosos) .....		28
	3.2.1.	Descripción del ensayo .....	28
	3.2.2.	Equipo a utilizar.....	29
	3.2.3.	Procedimiento para realizar la prueba.....	30

3.3.	Punto llama ASTM D 92 (punto de inflamación para materiales bituminosos).....	33
3.3.1.	Descripción del ensayo.....	33
3.3.2.	Equipo a utilizar .....	33
3.3.3.	Procedimiento para realizar la prueba .....	34
3.4.	Prueba de película delgada (prueba de película delgada en horno rotatorio (RTFOT) ASTM D 2872 (efectos de calor y aire en una película de asfalto en movimiento) .....	35
3.4.1.	Descripción del ensayo.....	35
3.4.2.	Equipo a utilizar .....	35
3.4.3.	Procedimiento para realizar la prueba .....	37
3.5.	Prueba de torsión .....	40
3.5.1.	Descripción del ensayo.....	40
3.5.2.	Equipo a utilizar .....	41
3.5.3.	Procedimiento para realizar la prueba .....	42
3.6.	Punto de ablandamiento ASTM D 3695 (anillo y bola) .....	43
3.6.1.	Descripción del ensayo.....	44
3.6.2.	Equipo a utilizar .....	44
3.6.3.	Procedimiento de la prueba.....	45
3.7.	Peso específico ASTM D 70 (densidad de materiales bituminosos semisólidos).....	48
3.7.1.	Descripción del ensayo.....	48
3.7.2.	Equipo a utilizar .....	48
3.7.3.	Procedimiento para realizar la prueba .....	49
3.8.	Análisis de resultados.....	52
4.	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA.....	53
4.1.	Propiedades consideradas en el diseño de mezclas .....	53
4.1.1.	Estabilidad .....	53

4.1.2.	Durabilidad .....	53
4.1.3.	Impermeabilidad.....	55
4.1.4.	Trabajabilidad.....	56
4.1.5.	Flexibilidad .....	57
4.1.6.	Resistencia a la fatiga .....	58
4.1.7.	Resistencia al deslizamiento .....	58
4.2.	Método Marshall (AASHTO T 245).....	59
4.2.1.	Procedimiento del método Marshall .....	60
4.2.1.1.	Equipo a utilizar .....	61
4.2.1.2.	Preparación de las muestras.....	69
4.2.1.3.	Determinación del peso específico AASHTO T 166 .....	76
4.2.1.4.	Ensayo de estabilidad y fluencia .....	79
4.2.1.5.	Valor de estabilidad Marshall .....	81
4.2.1.6.	Valor de fluencia Marshall. ....	82
4.2.1.7.	Análisis de densidad y vacíos .....	83
4.2.1.8.	Diseño de mezcla asfáltica en caliente por el método Marshall.....	89
4.2.1.9.	Análisis de los resultados del ensayo Marshall.....	96
5.	ENSAYOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS .....	99
5.1.	Ensayo de contenido de asfalto (AASHTO T 168) .....	100
5.1.1.	Descripción del ensayo .....	100
5.1.2.	Equipo a utilizar .....	100
5.1.3.	Procedimiento para realizar la prueba.....	101
5.2.	Ensayo de granulometría (AASHTO T11) .....	103
5.2.1.	Descripción del ensayo .....	104
5.2.2.	Equipo a utilizar .....	104

5.2.3.	Procedimiento para realizar la prueba .....	104
5.3.	Ensayo de densidad en las mezclas (AASHTO T 209) .....	107
5.3.1.	Descripción del ensayo.....	107
5.3.2.	Equipo a utilizar .....	107
5.3.3.	Procedimiento para realizar la prueba .....	108
5.4.	Porcentaje de vacíos .....	109
5.4.1.	Descripción del ensayo.....	109
5.4.2.	Equipo a utilizar .....	109
5.4.3.	Procedimiento para realizar la prueba .....	110
5.5.	Ensayo de susceptibilidad a la humedad .....	111
5.5.1.	Descripción del ensayo.....	111
5.5.2.	Equipo a utilizar .....	111
5.5.3.	Procedimiento para realizar la prueba .....	112
5.6.	Ensayo de estabilidad Marshall de mezclas asfálticas .....	113
5.6.1.	Descripción del ensayo.....	114
5.6.2.	Equipo a utilizar .....	114
5.6.3.	Procedimiento para realizar la prueba .....	114
CONCLUSIONES .....		117
RECOMENDACIONES .....		119
BIBLIOGRAFÍA.....		121
APÉNDICE.....		123
ANEXO .....		169



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Proceso de refinamiento del petróleo para obtención del asfalto.....	3
2.	Planta dosificadora de asfalto.....	14
3.	Gafas protectoras químicas.....	15
4.	Equipo de protección para quemaduras.....	16
5.	Botas industriales.....	17
6.	Equipo a utilizar para la viscosidad.....	25
7.	Ensayo de viscosidad.....	27
8.	Carta reológica del cemento asfáltico.....	28
9.	Equipo de penetración.....	30
10.	Ensayo de penetración.....	32
11.	Equipo a utilizar en punto llama.....	34
12.	Equipo utilizado para RTFOT.....	37
13.	Equipo para recuperación elástica por torsión.....	42
14.	Equipo para punto de ablandamiento.....	45
15.	Equipo utilizado para peso específico.....	49
16.	Martillo de compactación Marshall.....	64
17.	Horno industrial.....	65
18.	Taras de aluminio, cucharón, moldes para compactación Marshall y cronómetro.....	66
19.	Extractor de muestras.....	67
20.	Compactador Marshall.....	68
21.	Muestra de mezcla asfáltica.....	76
22.	Balanza para pesar en agua.....	78
23.	Estabilidad y fluencia Marshall.....	80

24.	Punto óptimo de asfalto.....	90
25.	Vacíos de agregado mineral en la muestra.....	91
26.	Vacíos llenos de asfalto.....	92
27.	Peso unitario de la muestra.....	93
28.	Estabilidad de la muestra.....	94
29.	Fluencia de la muestra.....	95
30.	Contenido de asfalto.....	103
31.	Granulometría de la mezcla.....	106
32.	Estabilidad y fluencia luego de 72 horas en agua.....	113

## TABLAS

I.	Composición química del asfalto.....	4
II.	Especificaciones para agregado grueso.....	9
III.	Especificaciones para agregado fino.....	9
IV.	Graduaciones de agregados para pavimento de concreto asfáltico (ASTM D 3 515).....	11
V.	Normas Internacionales AASHTO Y ASTM aplicables a asfaltos.....	23
VI.	Temperatura y viscosidad del cemento asfáltico.....	27
VII.	Ensayo de penetración a 25 °C.....	32
VIII.	Pérdida de masa por envejecimiento del cemento asfáltico.....	38
IX.	Penetración del asfalto luego de envejecerlo.....	39
X.	Punto de ablandamiento después de la prueba RTFOT.....	40
XI.	Punto de ablandamiento del cemento asfáltico.....	47
XII.	Datos para el cálculo del peso específico del asfalto.....	51
XIII.	Comparación de resultados de cemento asfáltico.....	52
XIV.	Causas y efectos de la estabilidad baja en mezclas asfálticas en caliente.....	54

XV.	Causas y efectos de poca durabilidad de las mezclas asfálticas.....	55
XVI.	Causas y efectos de las mezclas demasiado permeables.....	56
XVII.	Causas y efectos de la falta de trabajabilidad de las mezclas.....	57
XVIII.	Causas y efectos de la poca resistencia a la fatiga de las mezclas...	58
XIX.	Causas y efectos de la poca resistencia al deslizamiento de las mezclas asfálticas .....	59
XX.	Peso de los diferentes tamaños de partículas de cada agregado utilizado para la prueba de volumen.....	70
XXI.	Peso específico de las muestras ensayadas.....	78
XXII.	Ensayo de estabilidad y fluencia.....	81
XXIII.	Estabilidad Marshall de la muestra.....	82
XXIV.	Valor de fluencia.....	82
XXV.	Gravedad específica bruta de la muestra.....	85
XXVI.	Gravedad específica teórica máxima.....	86
XXVII.	Vacíos en la mezcla.....	87
XXVIII.	Vacíos de agregado mineral.....	88
XXIX.	Vacíos llenos con asfalto.....	88
XXX.	Propiedades de la mezcla en su punto óptimo de asfalto.....	96
XXXI.	Análisis de resultados del método Marshall.....	97
XXXII.	Resultado de la extracción.....	103
XXXIII.	Prueba granulométrica de la mezcla.....	106
XXXIV.	Susceptibilidad a la humedad.....	113



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>AC-20</b>	Cemento asfáltico convencional
<b>d/mm</b>	Décimas de milímetro
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>°F</b>	Grados Fahrenheit
<b>RTFOT</b>	Horno rotatorio de película delgada
<b>#</b>	Número
<b>Pa</b>	Pascales
<b>Pe</b>	Peso específico
<b>%</b>	Porcentaje



## GLOSARIO

<b>AASHTO</b>	American Association of State Highway and Transportation Officials.
<b>Agregado</b>	Material granular, duro, de composición mineralógica como: la arena, grava, escoria o la roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.
<b>Agregado fino</b>	Agregado que pasa el tamiz de 4,75 mm (Número 4).
<b>Agregado grueso</b>	Agregado retenido en tamiz de 4,75 mm (Número 4).
<b>Ahuellamiento</b>	Surcos que se desarrollan en el pavimento, en los carriles de las ruedas. Puede ser resultado de una consolidación por movimiento lateral de una o más capas de pavimentos bajo efectos del tránsito o, puede ser generado por un desplazamiento de la superficie misma del pavimento. Ocurre como resultado del movimiento plástico de una mezcla que tiene muy poca estabilidad para resistir.

**Asfaltenos**

Son la fracción de hidrocarburo de alto peso molecular, en el asfalto, que es precipitada por medio de un solvente parafínico de nafta, usando una proporción específica de solvente–asfalto.

**Asfalto**

Material cementante, en color entre carmelito oscuro y negro, en cual los constituyentes predominantes son bitúmenes que aparecen en la naturaleza o se obtienen en el procesamiento del petróleo. El asfalto es un constituyente, en proporciones variables, de la mayoría de petróleos crudos.

**ASTM**

American Society for Testing and Materials.

**Bitumen**

Sustancia cementante color negro (sólida, semi-sólida o viscosa), natural o fabricada, compuesta principalmente de hidrocarburos de alto peso molecular, siendo típicos los asfaltos, las breas o alquitranes, los betunes y las asfaltitas.

**Cemento asfáltico**

Un asfalto con flujo o sin flujo, especialmente preparado en cuanto a calidad y consistencia, para ser usado directamente en la producción de pavimentos asfálticos.

<b>Compactación</b>	Acto de comprimir un volumen dado de material en un volumen más pequeño. Generalmente la compactación se logra usando rodillos o compactadores neumáticos.
<b>Deformación</b>	Cualquier cambio que presente un pavimento respecto a su forma original.
<b>Densidad</b>	Grado de solidez que puede alcanzarse en una mezcla dada. Está limitada por la eliminación total de los vacíos que se encuentran entre las partículas de la mezcla.
<b>Desintegración</b>	Separación progresiva de las partículas del agregado en el pavimento desde la superficie hacia abajo, o desde los bordes hacia el interior. Puede ser causada por falta de compactación, construcción de una capa de rodadura muy delgada en períodos fríos, agregado sucio o desintegrable, muy poco asfalto en la mezcla o sobrecalentamiento de la mezcla asfáltica.
<b>Ductilidad</b>	Capacidad de una sustancia para ser estirada o estrechada en forma delgada.

<b>Estabilidad</b>	Capacidad de una mezcla asfáltica para resistir deformación bajo las cargas impuestas. La estabilidad está en función de la cohesión y la fricción interna del material.
<b>Flexibilidad</b>	Capacidad del pavimento asfáltico de ajustarse a los asentamientos en la fundación.
<b>Grietas</b>	Fracturas en la superficie del pavimento asfáltico.
<b>Impermeabilidad</b>	Capacidad de un pavimento asfáltico de resistir el paso de aire y agua dentro o a través del mismo.
<b>Mezcla asfáltica</b>	Mezclas de planta de agregado y cemento asfáltico.
<b>Mezcla asfáltica en caliente</b>	Mezclas de planta que deben ser colocadas y compactadas a temperaturas elevadas.
<b>Ondulaciones</b>	Deformaciones en el pavimento, donde da origen a un movimiento plástico caracterizado por ondas en la superficie del pavimento.
<b>Poise</b>	Unidad, centímetro-gramo-segundo, de viscosidad absoluta.
<b>Resistencia a la fatiga</b>	Capacidad de un pavimento asfaltico para resistir flexión repetida causada por cargas móviles. Entre más alto contenido de asfalto, mayor será la resistencia a la fatiga.

<b>Resistencia al deslizamiento</b>	Propiedad de la superficie asfáltica de resistir deslizamiento, particularmente cuando esta mojado.
<b>Tamiz</b>	Aparato de aberturas cuadradas, utilizado para separar tamaños de material.
<b>Trabajabilidad</b>	Facilidad con que las mezclas de pavimento pueden ser colocadas y compactadas.
<b>Vacíos</b>	Espacios de aire en una mezcla compactada rodeados de partículas cubiertas de asfalto.
<b>Viscosidad</b>	Medida de la resistencia al flujo. Método usado para medir la consistencia del asfalto



## **RESUMEN**

Este trabajo fue realizado con el fin de proporcionar una guía teórica y práctica, para el diseño de mezclas asfálticas y para dar a conocer los procedimientos según dicta cada norma para el control de calidad del asfalto y de las mezclas asfálticas.

Esta investigación contiene los procedimientos dictados por normas internacionales como AASHTO y ASTM.

El primer capítulo da a conocer conceptos básicos para involucrar al lector a los temas de materiales, procedencia de los materiales y evaluaciones sobre las propiedades mecánicas de estos.

Esta investigación recomienda equipos de seguridad mínimos y procedimientos para el manejo de materiales que se encuentran a alta temperatura.

Se proporciona una guía teórica y práctica para la realización de ensayos a los distintos materiales que componen las mezclas asfálticas, para así llevar un mejor control de calidad de estos.

Se detalla el procedimiento de diseño de mezclas asfálticas en caliente por el método Marshall dictaminando rangos mínimos de diseño según norma.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Desarrollar una guía teórica y práctica que reúna las técnicas y los procedimientos necesarios para el diseño de mezclas asfálticas en caliente y su control de calidad.

### **Específicos**

1. Crear una base teórica y práctica para los interesados en diseñar mezclas asfálticas en caliente.
2. Apoyar a los estudiantes del curso de pavimentos, así como a personal de los laboratorios de asfaltos y mezclas asfálticas del país, para realizar ensayos de forma técnica y profesional.
3. Aplicar normas y estándares que exigen los códigos de construcción en lo referente al manejo de mezclas asfálticas en caliente.
4. Discutir los diferentes criterios utilizados para el diseño de mezclas asfálticas en caliente.



## INTRODUCCIÓN

En una mezcla asfáltica en caliente, el asfalto y el agregado son combinados en proporciones exactas. Las cantidades de estos materiales determinan las propiedades físicomecánicas de la mezcla y eventualmente el desempeño de la misma en el pavimento terminado. Existen dos métodos de diseño para mezclas asfálticas en caliente, el más utilizado es el Marshall.

Se pretende introducir al estudiante de ingeniería civil al diseño de mezclas asfálticas en caliente, dando a conocer conceptos básicos y el procedimiento de diseño según el método Marshall.

Con este trabajo se desarrollará una guía teórica y práctica para el control de calidad de las mezclas asfálticas en caliente, para determinar sus propiedades y garantizar el comportamiento del pavimento durante su vida útil.

Además se proveerá una guía con aspectos de seguridad para el manejo de mezclas en caliente.

Asimismo, desarrollar una guía teórica adecuada para realizar diferentes ensayos que se hacen en los laboratorios de asfaltos y mezclas asfálticas, siguiendo con los procedimientos estándares prescritos por la Sociedad Americana para los Ensayos de Materiales (ASTM, American Estándar for Testing Materials), la Asociación Americana de Agencias Oficiales de Carreteras y Transportes (AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials) y las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes, de la Dirección General de Caminos.



# **1. MEZCLA ASFÁLTICA**

## **1.1. Componentes**

Todo pavimento asfáltico está constituido por: agregados y cemento asfáltico.

En una mezcla en caliente de pavimento, el asfalto y los agregados son mezclados juntos en proporciones precisas, las cantidades relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y finalmente, el actuar de la mezcla como un pavimento terminado.

## **1.2. Asfalto**

Según la definición del ASTM (American Society for Testing and Materials) es un material consistente de color marrón oscuro o negro, compuesto por una mezcla de productos bituminosos que se encuentran en la naturaleza o bien se pueden obtener de la refinación por destilación del petróleo.

El asfalto para pavimentar, comúnmente llamado cemento asfáltico, es un material altamente viscoso (denso y espeso), pegajoso. Se adhiere fácilmente a los agregados.

El asfalto cambia sus propiedades cuando es calentado y/o envejece. Con el tiempo tiende a ponerse rígido y a perder su habilidad de adherirse a los agregados.

### **1.2.1. Definición**

Líquido viscoso de color negro o marrón, compuesto principalmente de hidrocarburos y sus derivados, soluble en tricloroetileno, básicamente no volátil, que se funde gradualmente al ser calentado y posee propiedades impermeabilizantes y adhesivas.

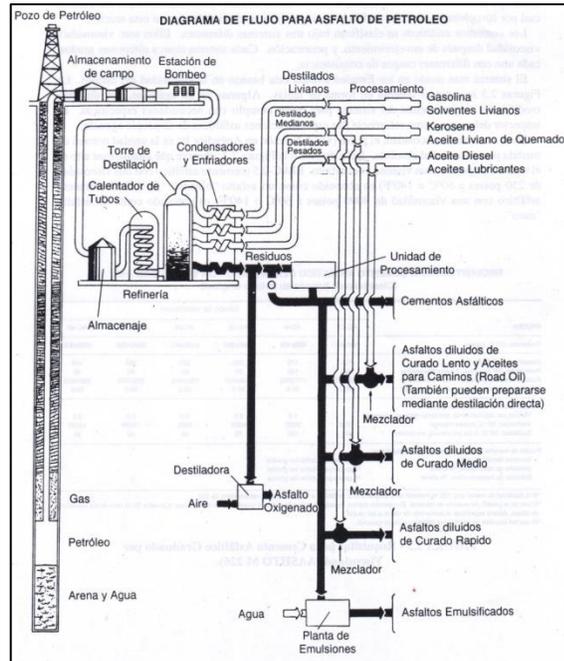
### **1.2.2. Producción del asfalto**

El asfalto se obtiene de la refinación por destilación de crudo de petróleo. Es un proceso en el cual las diferentes fracciones (productos) son separadas fuera del crudo, por medio de un aumento en etapas de la temperatura. Existen procesos de destilación con los cuales puede ser producido el asfalto después de haber combinado los crudos del petróleo.

- Destilación por vacío
- Extracción con solventes
- Soplado
- Reconstitución

Dependiendo del uso, es el tipo de asfalto. En las refinerías se deben tener maneras de controlar las propiedades de los asfaltos que se producen para poder cumplir con ciertos requisitos. Esto se logra, la mayor parte de las veces, mezclando varios tipos de crudos de petróleo antes de procesarlos, para producir grados intermedios. Así un asfalto muy viscoso y uno menos viscoso, pueden ser combinados para obtener un asfalto con viscosidad intermedia (ver figura 1).

Figura 1. **Proceso de refinamiento del petróleo para obtención del asfalto**



Fuente: A Guide for Hot Mix Asphalt Pavement. Napa.

### 1.2.3. **Propiedades químicas del asfalto**

Está constituido por tres grupos básicos:

- Asfaltenos
- Resinas
- Aceites (aromáticos y saturados)

Los asfaltos sometidos a temperaturas típicas de trabajo son un sistema disperso, ya que las partículas de la fase dispersa son las miscelas en las cuales el núcleo es el asfalteno.

En los asfaltenos se concentran todos los metales contenidos en el crudo: Ni, V, Fe, Co, Mn, en una proporción apreciable el oxígeno, azufre y nitrógeno. El 80- 85 por ciento de los asfaltenos son átomos de carbono, la relación C: H se encuentra entre 0,8 y 0,87. Los asfaltenos son productos de la condensación de las resinas.

Tabla I. **Composición química del asfalto**

Elemento	Concentración (%)
Carbono	82- 88%
Hidrógeno	8 -11%
Azufre	0-6%
Oxígeno	0-1.5%
Nitrógeno	0-1%

Fuente: conferencia Introducción a la química de asfalto por Ing. German Garzón. Costa Rica 2004.

#### **1.2.4. Propiedades físicas del asfalto**

Las de mayor importancia para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras son:

- Durabilidad
- Adhesión
- Susceptibilidad a la temperatura
- Envejecimiento y endurecimiento

#### **1.2.4.1. Durabilidad**

Es la medida de qué tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento. Es una propiedad juzgada, principalmente a través del comportamiento del pavimento, y por consiguiente, es difícil definir solamente en términos de las propiedades del asfalto. Esto se debe a que el comportamiento del pavimento está afectado por el diseño de la mezcla, las características del agregado, la mano de obra en la construcción y otras variables, que incluyen la misma durabilidad del asfalto.

#### **1.2.4.2. Adhesión y cohesión**

Adhesión es la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimento, esta propiedad es necesaria para que el asfalto pueda cumplir su función como ligante gracias a su poder aglomerante.

Cohesión es la capacidad del asfalto de mantener firmemente, en su puesto, las partículas del agregado en el pavimento terminado.

#### **1.2.4.3. Susceptibilidad a la temperatura**

Todos los asfaltos son termoplásticos; esto es, se vuelven más viscosos (duros) a medida que su temperatura disminuye y menos viscosos (blandos) a medida que su temperatura aumenta. Esta característica se conoce como susceptibilidad a la temperatura.

La susceptibilidad a la temperatura varía entre asfaltos de petróleos de diferente origen, aun si los asfaltos tienen el mismo grado de consistencia.

#### **1.2.4.4. Endurecimiento y envejecimiento**

Los asfaltos presentan una gran resistencia al envejecimiento como consecuencia de su naturaleza, fundamentalmente hidrocarbonada de baja reactividad; pero durante su manipulación y período de servicio están sometidos a una serie de factores y agentes externos que originan cambios en su composición y repercuten negativamente sobre sus propiedades.

Los asfaltos tienden a endurecerse en la mezcla asfáltica durante la construcción y también en el pavimento terminado. Este endurecimiento es causado, principalmente por el proceso de oxidación (asfalto combinándose con el oxígeno), el cual ocurre fácilmente a altas temperaturas (como las temperaturas de mezcla) y en películas delgadas de asfalto (como la película que cubre las partículas del agregado).

No todos los asfaltos endurecen a la misma velocidad cuando son calentados en películas delgadas. Por lo tanto, cada asfalto debe ser ensayado por separado para poder determinar sus características de envejecimiento y así ajustar las técnicas constructivas para minimizar el endurecimiento. Estos ajustes incluyen mezclar el asfalto con el agregado a la temperatura más baja posible y durante el tiempo más corto que pueda obtenerse en la práctica.

El endurecimiento del asfalto continúa en el pavimento después de la construcción. Una vez más, las causas principales son la oxidación y la polimerización. Estos procesos pueden ser retardados si se mantiene en el pavimento terminado una capa gruesa de asfalto cubriendo las partículas del agregado.

#### **1.2.4.5. Pureza**

El cemento asfáltico está constituido en su mayor parte por bitumen, el cual es por definición un material soluble en bisulfuro de carbono. Aproximadamente el 99,5 por ciento de los asfaltos refinados son solubles en bisulfuro de carbón, y si contienen impurezas estas son inertes.

Normalmente, el cemento asfáltico carece de agua, ya que esta fue perdida durante el proceso de refinación. Cuando no pierde toda el agua se vuelve espumoso al ser calentado a temperaturas superiores a 100 °C. La pureza de un cemento asfáltico está definida por su carencia de humedad, así como de cualquier impureza.

### **1.3. Agregados**

Material granular o agregado mineral es cualquier material duro o inerte utilizado en forma de partículas graduadas o fragmentos, como parte de un pavimento asfáltico. Los agregados típicos incluyen: arena, grava, piedra triturada, escoria y polvo de roca.

#### **1.3.1. Definición**

Los agregados se pueden clasificar como: gruesos y finos. Según las Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes de la Dirección General de Caminos, 2001. El agregado grueso es el que se encuentra retenido por el tamiz de 4,75 milímetros (No 4), y el agregado fino es el 100 por ciento de material que pasa el tamiz de 4,75 milímetros (No 4).

### **1.3.2. Agregados naturales**

Son los usados en su forma natural, con muy poco o ningún procesamiento, están constituidas por partículas producidas mediante procesos naturales de erosión y degradación.

Los principales agregados naturales usados en la construcción de pavimentos son la grava y la arena.

### **1.3.3. Agregados procesados**

Son aquellos que han sido triturados y tamizados antes de ser usados. La roca es triturada por tres razones: para cambiar la textura superficial de lisa a rugosa, para cambiar la forma de la partícula de redonda a angular y para reducir y mejorar la distribución y el rango (graduación) de los tamaños de las partículas.

### **1.3.4. Propiedades del agregado**

En un pavimento densamente graduado de mezcla asfáltica en caliente, el agregado conforma el 90 y 95 por ciento en peso de la mezcla del pavimento. Esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor crítico en el comportamiento del pavimento.

Las propiedades que debe cumplir el agregado grueso para mezclas tradicionales, según *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes* de la Dirección General de Caminos son las siguientes (ver tabla II). Y para las propiedades que debe cumplir el agregado fino para mezclas tradicionales, se describen en la tabla III

Tabla II. **Especificaciones para agregado grueso**

<b>Ensayo</b>	<b>Valores</b>
Abrasión, AASHTO T 96	35 % máximo
Desintegración al sulfato de sodio (5 ciclos), AASHTO T104	12 % máximo
Caras fracturadas. (1 cara fracturada)	90 % mínimo
Caras fracturadas (2 caras fracturadas)	75 % mínimo
Partículas planas o alargadas, ASTM D 4791	8 % máximo

Fuente: Dirección General de Caminos. *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes*, 2001.

Tabla III. **Especificaciones para agregado fino**

Equivalente de arena, AASHTO T176	35 % mínimo
Índice plástico, AASHTO T90	4 % máximo
Graduación No 2 o No 3 de AASHTO M 29	

Fuente: Dirección General de Caminos. *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes*, 2001.

La mezcla de agregado debe ser uniforme en calidad y densidad y su peso unitario, según AASHTO, no debe ser menor de 1 360 kilogramos por metro cúbico.

La mezcla de agregados o de agregados y polvo mineral, según *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes*, de la Dirección General de Caminos debe tener un índice plástico determinado según el método AASHTO T 90, menor del 4 por ciento excepto cuando el polvo mineral esté constituido por cal hidratada o cemento hidráulico.

#### **1.3.4.1. Granulometría del agregado**

La granulometría de partículas es determinada por un análisis de tamices efectuado sobre las muestras del agregado. El análisis de tamices consiste en pasar la muestra sobre una serie de tamices cada uno de los cuales tiene aberturas de un tamaño específico, los tamices están denominados de acuerdo al tamaño de sus aberturas. Las partículas gruesas quedan atrapadas en los tamices superiores, las partículas de tamaño medio pasan a través de los tamices medianos, y las partículas finas pasan a través de los tamices inferiores. La granulometría es determinada al calcular el peso del contenido de cada tamiz después de haber efectuado el análisis de tamices, luego se resta el contenido de cada tamiz del peso total de la muestra (ver tabla IV).

Tabla IV. **Graduaciones de agregados para pavimento de concreto asfáltico (ASTM D 3 515)**

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

*Fuente: Dirección General de Caminos. Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes, 2001.*

#### **1.3.4.2. Peso específico**

El peso específico de un agregado es la proporción entre el peso de un volumen dado de agregado y el peso de un volumen igual de agua.

#### **1.3.4.3. Dureza del agregado**

Los agregados deben ser capaces de resistir la abrasión y degradación durante la producción, colocación, compactación de la mezcla de pavimentación y durante la vida de servicio.

#### **1.3.4.4. Capacidad de absorción**

Todos los agregados son porosos, algunos más que otros, la cantidad de líquido que un agregado absorbe cuando es sumergido en un baño determina su porosidad.

## **2. ASPECTOS DE SEGURIDAD PARA LA MANIPULACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE**

Una planta dosificadora de asfalto es un conjunto de equipos mecánicos electrónicos en donde los agregados son combinados, calentados, secados y mezclados con asfalto para producir una mezcla asfáltica en caliente que debe cumplir con ciertas especificaciones.

El manejo de agregados es, particularmente peligroso, ya que produce gran cantidad de polvo, por lo cual es una amenaza para los pulmones, los ojos y puede contribuir a una mala visibilidad, especialmente cuando los camiones, los cargadores de tractor o cualquier otra maquinaria se encuentre en operación, la visibilidad reducida en el área de trabajo es una causa de accidentes.

La unidad de mezclado en una planta dosificadora y algunos ensayos para el control de calidad del asfalto y mezclas asfálticas producen demasiado ruido, y este es peligroso, es dañino para el oído y puede distraer la atención de los trabajadores, ocasionando que pierdan la concentración en la maquinaria que están operando.

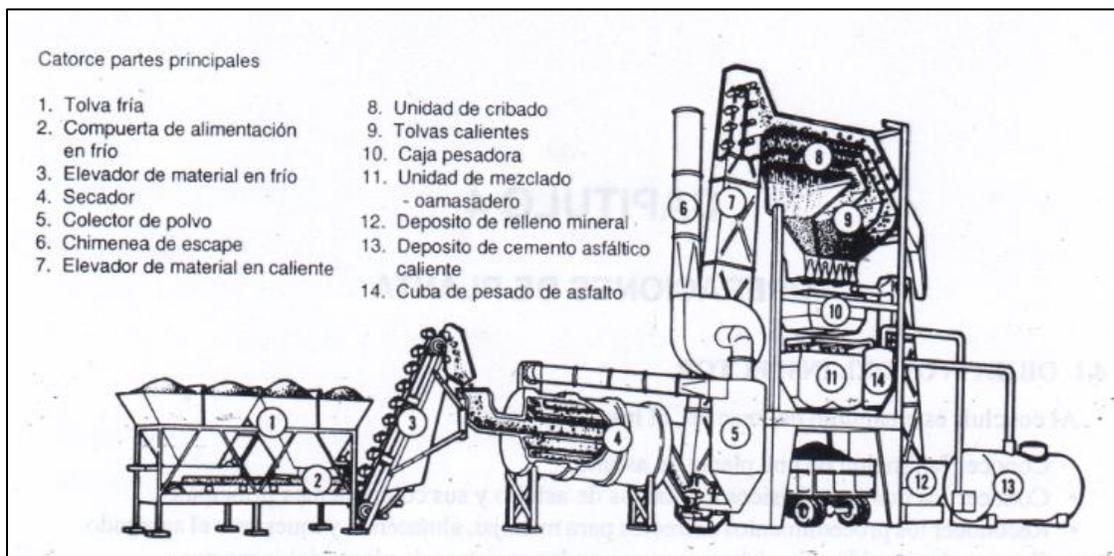
Nunca se deberá usar ropa suelta en una planta de asfalto, pues esta puede ser atrapada en el equipo.

La planta y el patio deberán mantenerse libres de alambres, líneas sueltas, tubos, mangueras o cualquier otro tipo de obstáculo, ya que pueden ocasionar caídas u otros accidentes. Las líneas de alto voltaje, las conexiones

de campo y las superficies mojadas del suelo constituyen otros peligros importantes.

Las llamas de los quemadores y las altas temperaturas alrededor de los secadores de la planta constituyen peligros obvios, no deberá permitirse ninguna humareda cerca de los tanques de almacenamiento de asfalto o de combustible.

Figura 2. **Planta dosificadora de asfalto**



Fuente: Principio de construcción de pavimentos de mezclas asfáltica en caliente, *Asphalt Institute*, serie No 22 1997.

## 2.1. **Equipo de seguridad**

Es cualquier equipo destinado a ser llevado o sujetado por el trabajador para que le proteja de uno o varios riesgos que puedan amenazar su seguridad o su salud, así como cualquier complemento o accesorio destinado a tal fin, el

equipo de seguridad no tiene la finalidad de realizar una tarea o actividad si no proteger de los riesgos que la actividad presenta.

El equipo de seguridad debe ser llevado por el trabajador y utilizarlo de la forma prevista por el fabricante, los complementos o accesorios que contribuya a asegurar la protección de las personas, también se le considera equipo de seguridad.

### **2.1.1. Protección para los ojos**

Cuando se está manejando asfalto caliente, se usarán gafas protectoras químicas y una careta, ya sea en el laboratorio o en cualquier toma de muestra.

Cuando se esté expuesto a rayos ultravioleta (UV) deben utilizarse gafas adecuadas a la longitud de onda de la radiación UV para toda persona expuesta a la radiación (ver figura 3).

Figura 3. **Gafas protectoras químicas**



Fuente: laboratorio de Asfalgua.

### 2.1.2. Protección para las quemaduras

Es conveniente que los cuellos de las camisas puedan cerrarse completamente, para evitar quemaduras en cuello ya que cuando el asfalto se encuentra muy viscoso la temperatura de este es muy alta aproximadamente 250 grados centígrados.

Los puños de las mangas deberán abrocharse de manera que haya expuesto la menor superficie de piel. Los guantes con mangas que se extienden arriba del brazo deben usarse un poco sueltos para que se puedan quitar rápidamente en el caso de que lleguen a cubrirse de asfalto (ver figura 4).

Figura 4. **Equipo de protección para quemaduras**



Fuente: laboratorio de Asfalguá.

### **2.1.3. Protección para los pies**

Debido a las altas temperaturas de las mezclas asfálticas, ya que los trabajadores tienen que caminar sobre la mezcla, es recomendable el uso de botas con punta de acero de tipo industrial, con protección térmica que además tenga una suela resistente al calor (ver figura 5).

Figura 5. **Botas industriales**



Fuente: laboratorio de Asfalgua.

## **2.2. Señalización**

Es importante que en la planta se identifiquen los lugares peligrosos y que se marque y coloquen letreros informando sobre el peligro, se deberá indicar los lugares que tengan temperatura elevada.

Las sustancias químicas peligrosas deben estar bien identificadas, se deberá señalar los lugares de los extinguidores y capacitar a los trabajadores sobre la forma de usarlos.

El patrón que tienen que seguir los vehículos dentro de la planta deberá estar bien identificados y a la vista.

### **2.3. Almacenamiento de asfalto**

Los tanques de almacenamiento de asfalto deberán ser calibrados para que la cantidad remanente de material en el tanque pueda ser determinada en cualquier momento. También deberán ser calentados para mantener el asfalto lo suficientemente fluido para que pueda moverse por las líneas de carga y descarga. El calentamiento se hace eléctricamente o circulando aceite caliente a través de tuberías (serpentes) alrededor del tanque. Independientemente del método usado, nunca una llama deberá entrar en contacto directo con el tanque.

Cuando se usa aceite circulante caliente, el nivel de aceite en el depósito de la unidad de calentamiento deberá revisarse periódicamente. Una disminución en el nivel puede indicar escape de aceite hacia el tanque, lo cual puede causar contaminación de asfalto.

Se puede instalar una bomba o espiga en el sistema de circulación, se deberá tener mucha precaución, puesto que la presión en las líneas puede causar salpicaduras de asfalto caliente.

### **2.4. Responsabilidad del inspector de planta**

Su función principal consiste en observar la operación de la planta y muestrear los productos finales para revisar la conformidad de la muestra. El inspector debe saber cómo y por qué se debe efectuar el trabajo. El inspector debe estar enterado de todo lo que esté sucediendo y deberá notificar cualquier

problema al supervisor de planta. Sin embargo, un inspector nunca deberá asumir la responsabilidad de graduar cualquiera de los controles de la planta o de fijar cualquier medidor, manómetro o contador.

## **2.5. Muestreo de asfalto**

Normalmente las muestras de asfalto se toman de una válvula de muestreo en un tanque de camión o de almacenamiento. A continuación se presentan reglas que deben seguirse durante el muestreo de asfalto.

- Tomar las muestras en las válvulas de muestreo diseñadas con este propósito, para garantizar que las muestras sean representativas de todo el cargamento. Las muestras de inmersión tomadas de la parte alta del tanque no son generalmente representativas. La Norma AASHTO T 40 describe otros métodos de muestreo y también algunas especificaciones de agencias gubernamentales.
- Usar solamente recipientes nuevos, limpios y secos.
- Permitir que, por lo menos un litro de asfalto drene de la válvula antes de tomar la muestra.
- Sellar inmediatamente los recipientes llenos con tapas limpias, secas y de ajuste apretado, limpiar cualquier material que se haya derramado sobre el recipiente usando un trapo limpio y seco, nunca usar un trapo empapado o sumergido en solvente.
- Marcar todos los recipientes claramente.

- Recordar que el cemento asfáltico está caliente cuando es muestreado, por esta razón, usar ropa de protección (guantes, careta, camisa de manga larga), para evitar quemaduras.

## **2.6. Muestreo de mezclas asfálticas**

El muestreo de mezclas asfálticas se deberá realizar en los camiones que transportan el producto terminado, escogiendo aleatoriamente un camión de cada diez que salgan de la planta.

Se muestrea 1 000 gramos aproximadamente con una pala, utilizando todo el equipo de seguridad mencionado desde el número 2.1 a 2.5 de este trabajo.

## **2.7. Regulaciones para los camiones transportadores de mezcla**

- Previo a su uso debe inspeccionar cada camión para asegurar que la parte posterior de la caja sobresalga lo suficiente, por encima de las ruedas traseras, para que pueda descargar la mezcla dentro de la tolva de la pavimentadora. Si esto no es así, entonces se debe instalar un mandil (placa para extender el tamaño longitudinal de la caja del camión sobre las llantas del mismo) con placas laterales para extender la caja y prevenir derramamiento de mezcla enfrente de la pavimentadora.
- Lona impermeable para tiempos fríos, o cuando el trayecto sea bastante largo, para evitar que la mezcla se enfríe demasiado.

- La caja del camión debe elevarse lentamente, cuando la carga es descargada rápidamente ocurre segregación, debido a que los agregados gruesos ruedan por los lados de la carga.



### 3. ENSAYOS DE CEMENTO ASFÁLTICO

En Guatemala, la Dirección General de Caminos es la entidad encargada de velar porque se tenga buen control de calidad y que se cumplan las especificaciones sobre asfaltos de pavimentación, estas especificaciones están regidas en las *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes*, (2001) sección 401 (pavimentos de concreto asfáltico en caliente) y estas a su vez están basadas en las normas de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y de la American Society for Testing and Materials (ASTM) (ver tabla V).

Tabla V. **Normas Internacionales AASHTO Y ASTM aplicables a asfaltos**

Ensayo	AASHTO	ASTM
Viscosidad	T- 201	D- 2170
	T- 202	D- 2171
		D-2196
Penetración	T- 49	D- 5
Punto llama	T- 48	D- 92
Prueba película delgada	T- 179	D- 1754
Prueba de torsión	Sin Norma	
Punto de ablandamiento	T- 53	D- 3695
Peso específico	T-228	D- 70

Fuente: elaboración propia, con aporte de las Normas AASHTO Y ASTM.

### **3.1. Prueba de viscosidad (ASTM D 2 196 métodos de prueba estándar para las propiedades reológicas de los materiales no newtonianos de rotación (Viscosímetro tipo Brookfield))**

El funcionamiento del viscosímetro tipo Brookfield se basa en el principio de la viscosimetría rotacional.

#### **3.1.1. Descripción del ensayo**

Mide la viscosidad captando el par de torsión necesario para hacer girar a velocidad constante un vástago inmerso en la muestra del fluido a estudiar.

El par de torsión es proporcional a la resistencia viscosa sobre el eje sumergido, y en consecuencia, a la viscosidad del fluido.

#### **3.1.2. Equipo a utilizar**

- Viscosímetro rotacional de Brookfield (ver figura 6)
- Cámara ambiente Thermocell de Brookfield
- Vástago (11cm de longitud, peso de 12,67g y cónica en la punta)
- Controlador digital de temperatura
- Beaker de 500 ml
- Horno con temperatura máxima de 160 °C

- Pinzas
- Gafas protectoras químicas
- Equipo de protección para quemaduras
- Cronómetro
- Cápsulas para el viscosímetro rotacional Brookfield (de longitud 9.3 cm, peso 25 g)
- Termómetro láser

Figura 6. **Equipo a utilizar para la viscosidad**



Fuente: laboratorio de Asfalguá.

### 3.1.3. Procedimiento para realizar la prueba

- Calentar el asfalto a 150 °C, en el horno, durante dos horas en un beaker de 500 ml.
- Luego se vierte, utilizando el equipo de seguridad para quemaduras y las gafas protectoras químicas, no más de 11 gramos de asfalto en la cápsula, se deja enfriar hasta que llega a 110 °C y luego se coloca la cápsula en el viscosímetro rotacional de Brookfield utilizando las pinzas.
- Se programa el viscosímetro rotacional para que dé 20 revoluciones por minuto a 115 °C, se toma la lectura de la viscosidad a cada 15 minutos y cuando esta lectura se normalice y sea uniforme se toma el promedio de las dos últimas viscosidades registradas por el viscosímetro de Brookfield.
- Subir la temperatura del viscosímetro de Brookfield a 135 °C, se toma la lectura de la viscosidad a cada 15 minutos y cuando esta lectura se normalice y sea uniforme se toma el promedio de las dos últimas viscosidades leídas en el viscosímetro de Brookfield (ver figura 7).
- Subir la temperatura del viscosímetro de Brookfield a 165 °C se toma la lectura de la viscosidad a cada 15 minutos y cuando esta lectura se normalice y sea uniforme se toma el promedio de las dos últimas viscosidades medidas por el viscosímetro de Brookfield.
- Graficar los datos de la viscosidad *versus* temperatura que el viscosímetro rotacional de Brookfield proporciona, en escala semilogarítmica (ver figura 8).

- Encontrar la temperatura a la cual se obtienen las siguientes viscosidades: 0,17 Pa y 0,28 Pa que serán las temperaturas de mezclado y compactación respectivamente.

Figura 7. **Ensayo de viscosidad**



Fuente: laboratorio de Asfalga.

Se realizó la prueba de viscosidad obteniendo el siguiente resultado.

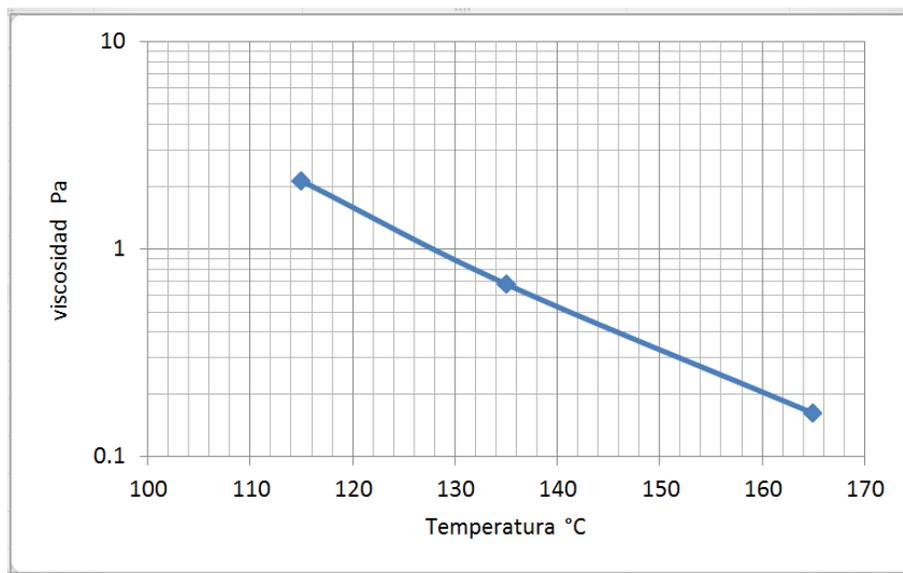
Tabla VI. **Temperatura y viscosidad del cemento asfáltico**

Temperatura (°C)	Viscosidad (Pa)
115	2,144
135	0,68125
165	0,1625

Fuente: elaboración propia, con el apoyo del Laboratorio de Asfalga.

Se grafican los datos obtenidos en el ensayo de viscosidad en una escala semilogarítmica de base 10.

Figura 8. **Carta reológica del cemento asfáltico**



Fuente: elaboración propia, con el apoyo del Laboratorio de Asfalga.

### 3.2. **Ensayo de penetración ASTM D-5 (penetración de materiales bituminosos)**

Nos permite determinar la consistencia y grado de resistencia que poseen los materiales bituminosos a la penetración.

#### 3.2.1. **Descripción del ensayo**

La prueba de penetración da una medición empírica de la consistencia de un material, en términos de la distancia que se hunde una aguja estándar en el

material, para una carga, un intervalo de tiempo prescrito y temperatura específica.

### **3.2.2. Equipo a utilizar**

- Penetrómetro universal.
- Baño maría con temperatura de 25 °C.
- Recipientes cilíndricos de estaño para muestra (5 cm de diámetro y 3,5 cm de altura).
- Aguja de acero inoxidable, endurecida estándar (longitud 4-4,5 cm de aguja expuesta, peso 2,5 g).
- Cronómetro.
- Wype.
- Desengrasante.
- Beaker con capacidad de 500 ml.
- Horno con temperatura máxima de 160 °C.
- Equipo de protección para las quemaduras.
- Gafas protectoras químicas.

Figura 9. **Equipo de penetración**



Fuente. laboratorio de Asfalgua.

### **3.2.3. Procedimiento para realizar la prueba**

- Calentar el asfalto en el horno en un beaker de 300ml durante dos horas.
- Colocar 100 gramos de asfalto caliente en un cilindro de metal utilizando las gafas protectoras químicas y el equipo de protección para quemaduras.
- Dejar enfriar el cemento asfáltico durante 24 horas para que la muestra esté a temperatura ambiente.
- Pasada las 24 horas, el cemento asfáltico se sumerge en baño maría durante 3 horas a una temperatura de 25 °C (77 °F).
- Colocar la aguja normalizada y un peso total de 100 gramos en el penetrómetro y verificar si este se encuentra nivelado.

- Sacar la muestra de asfalto del baño maría y colocarla en posición nivelada en el penetrómetro.
- Dejar la punta de la aguja rozando el asfalto sin que penetre
- Deja caer la aguja durante 5 segundos teniendo cuidado de no tardarse tanto, ya que la temperatura puede variar, se realiza el procedimiento de penetrar el asfalto 5 veces (limpiar la aguja con el wype cada vez que se penetre el cemento asfáltico). La penetración está dada como la distancia promedio en unidades de 0,1 d/mm que la aguja penetra a la muestra (ver figura 10).
- La penetración, también puede realizarse a 4 °C (39,2 °F) con la aguja cargada hasta un peso total de 200 g y con penetraciones permitidas durante 60 segundos.

Se realizó la prueba de penetración a 25 °C con el procedimiento anteriormente descrito, obteniendo las siguientes lecturas de la penetración (ver tabla VII).

Tabla VII. **Ensayo de penetración a 25 °C**

No Penetración	Medida (0.1 d/mm)
1	75
2	77
3	75
4	75
5	74

Fuente: laboratorio de Asfalgua.

Figura 10. **Ensayo de penetración**



Fuente: laboratorio de Asfalgua.

Se realiza un promedio de las penetraciones obtenidas.

$$Pe = \frac{75+77+75+75+74}{5} = 75 \text{ d/mm}$$

Entonces, la penetración del cemento asfáltico es de 75 (0,1d/mm).

### **3.3. Punto llama ASTM D 92 (punto de inflamación para materiales bituminosos)**

El punto llama corresponde a la temperatura a la que el asfalto puede ser calentado con seguridad, sin peligro de que se inflame en presencia de una llama.

#### **3.3.1. Descripción del ensayo**

Esta temperatura es más baja que la necesaria para que el material entre en combustión; por lo tanto, este análisis sirve como prueba de seguridad en la operación de las plantas asfálticas en caliente.

Es importante conocer esta información, ya que el cemento asfáltico es calentado durante su almacenaje con el fin de mantener una viscosidad lo suficientemente baja para que el material pueda ser bombeado.

#### **3.3.2. Equipo a utilizar**

- Copa abierta de Cleveland (cubierta del punto de inflamación, quemador de prueba, copa, placa sobre tablero) (ver figura 11).
- Calentador eléctrico con reóstato.
- Termómetro (ASTM 11 C/IP 28 C GB 89).
- Gas propano.

- Horno con temperatura máxima de 160 °C.

Figura 11. **Equipo a utilizar en punto llama**



Fuente: laboratorio de Asfalga.

### **3.3.3. Procedimiento para realizar la prueba**

El asfalto que se va a ensayar se coloca en un recipiente especial y se calienta de manera que la temperatura aumente uniformemente. A intervalos frecuentes se pasa por la superficie una llama pequeña y se registra la temperatura a la que surja una llama en cualquier punto de la misma, denominada punto de llama, o de inflamación.

El resultado del punto de inflamación es de 318 °C

### **3.4. Prueba de película delgada (prueba de película delgada en horno rotatorio (RTFOT) ASTM D 2872 (efectos de calor y aire en una película de asfalto en movimiento))**

Es un procedimiento que mide los cambios que tienen lugar en un asfalto durante el proceso de mezclado en caliente, sujetando al material asfáltico a condiciones de endurecimiento similares a las de una operación normal de una planta de mezclado en caliente.

#### **3.4.1. Descripción del ensayo**

Se determina la consistencia del material antes y después del procedimiento de RTFOT, usando, ya sea la prueba de penetración o una prueba de viscosidad, para estimar el grado de endurecimiento que tendrá lugar en el material cuando se use para producir la mezcla en caliente en la planta.

#### **3.4.2. Equipo a utilizar**

- Botellas de vidrio normalizadas para el horno resistente al calor. Miden 6,4 cm de diámetro y 13,97 cm de altura (ASTM D 2892).
- Horno rotatorio RTFO (ver figura 12)
- Cronómetro
- Extractor de botellas
- Termómetro (ASTM 11C/IP 28 C GB 89)

- Limpiador de frascos
- Horno con capacidad máxima de 160 °C
- Balanza para medir en gramos
- Equipo utilizado en 3.2.2
- Equipo utilizado en 3.6.2
- Beaker de 700 ml
- Gafas protectoras químicas
- Equipo de protección para quemaduras

Figura 12. **Equipo utilizado para RTFOT**



Fuente: laboratorio de Asfalgua.

### 3.4.3. **Procedimiento para realizar la prueba**

- Encender el horno rotatorio RTFOT 24 horas antes de realizar la prueba de envejecimiento.
- Colocar en un horno con temperatura máxima de 160 °C una muestra de asfalto de 500 ml, y las botellas de vidrio durante dos horas, se pesan las botellas antes y después de calentarlas.
- Luego de las dos horas que las botellas pasaron en el horno, utilizando las gafas protectoras químicas y el equipo de protección para quemaduras, se pesa  $35 \pm 5$  gramos de asfalto en cada una de las botellas de vidrio.

- Colocar las botellas de vidrio con el asfalto dentro del horno rotatorio RTFOT a 163 °C, y se pone a girar las botellas de vidrio en el RTFOT durante 85 minutos inyectándole aire a las botellas. la rotación de la botella expone continuamente el cemento asfáltico en películas delgadas, la abertura de las botellas pasa, durante cada rotación completa, por un chorro de aire que remueve de la botella cualquier acumulación de vapores.
- Terminando los 85 minutos se extraen de las botellas 100 gramos de cemento asfáltico para realizar el ensayo de penetración, 35 gramos para realizar punto de ablandamiento y se pesan dos botellas para determinar por diferencia de masas el porcentaje de pérdida de asfalto.

Se realizó el proceso de envejecimiento en el horno rotatorio RTFO, logrando muestrear asfalto de las botellas para realizarle la prueba de pérdida de masa, penetración y punto de ablandamiento; los resultados de los ensayos son los siguientes.

Tabla VIII. **Pérdida de masa por envejecimiento del cemento asfáltico**

Antes de la prueba			Después de la prueba		
Peso bruto (g)	Tara (g)	Peso Neto (g)	Peso bruto (g)	Tara (g)	Peso Neto (g)
192	156,9	35,1	191,9	156,9	35

Fuente: laboratorio de Asfalga.

Se determinará el porcentaje de pérdida de masa que ocurrió dentro del horno rotatorio RTFOT.

$$\% \text{ perdida} = \frac{35.1 - 35}{35.1} * 100 = 0,29 \%$$

Se muestreó asfalto de tres botellas del horno RTFO para determinar la penetración luego del envejecimiento producido (ver tabla IX).

Tabla IX. **Penetración del asfalto luego de envejecerlo**

Después de la Prueba	
No. penetración	Medida(0,1mm)
1	41
2	43
3	44
4	41
5	44

Fuente: laboratorio de Asfalgua.

Se determina un promedio de las penetraciones realizadas.

$$\text{penetracion} = \frac{41 + 43 + 44 + 41 + 44}{5} = 43 \text{ d/mm}$$

La penetración del cemento asfáltico es de 43 (d/mm).

Se muestreó asfalto de dos botellas del horno RTFOT para determinar el punto de ablandamiento luego del envejecimiento producido (ver tabla X).

Tabla X. **Punto de ablandamiento después de la prueba RTFOT**

Después de la prueba RTFOT	
BOLAS	Temperatura a la que topó el fondo (°C)
Lado derecho	64
Lado izquierdo	65

Fuente. laboratorio de Asfalga

Se determina el promedio de las temperaturas a la cual las bolas tocaron el fondo, recordando que no tiene que haber una diferencia de más de un grado Celsius entre cada temperatura.

$$P.Ablandamiento = \frac{64 + 65}{2} = 64,5^{\circ}C$$

El punto de ablandamiento del cemento asfáltico es 64,5 °C

### **3.5. Prueba de torsión**

Se utiliza para determinar la elasticidad que presentan los cementos asfálticos.

#### **3.5.1. Descripción del ensayo**

Este método de prueba es útil para confirmar que el cemento asfáltico tiene propiedades elásticas.

Es importante hacer notar que esta prueba, a pesar de ser aceptada en varios países de Europa, además de México y Argentina, no está dentro de las Normas AASHTO ni ASTM.

### **3.5.2. Equipo a utilizar**

- Cilindro metálico (5.5cm de diámetro y 4cm de altura).
- Baño maría a 25 °C.
- Aparato rotacional de recuperación elástica (ver figura 13).
- Cronómetro.
- Horno con capacidad máxima de 160 °C.
- Beaker de 500 ml.
- Gafas protectoras químicas.
- Equipo de protección para quemaduras.
- Wype.
- Tornillo de metal para hacer girar el equipo de recuperación elástica (7,5 cm de altura y 0,8 cm de diámetro).
- Vástago de metal con indicador de ángulo (10 cm de alto y 2,5 cm de diámetro).

Figura 13. **Equipo para recuperación elástica por torsión**



Fuente. laboratorio de Asfalgua.

### **3.5.3. Procedimiento para realizar la prueba**

- Calentar 300 ml de cemento asfáltico en un horno con temperatura máxima de 160 °C durante 3 horas.
- Llenar el cilindro metálico con cemento asfáltico hasta una marca de referencia que este posee, utilizando las gafas protectoras químicas y el equipo de protección para quemaduras.
- Colocar el vástago hundiéndolo 1 cm en el asfalto, teniendo cuidado que el ángulo de recuperación elástica sea de 180°.

- Dejar enfriar el cemento asfáltico durante 24 horas para que este tenga la temperatura ambiente.
- Culminada las 24 horas y que el asfalto tenga la temperatura ambiente, el equipo de recuperación elástica se sumerge en baño maría durante 3 horas a 25 °C.
- Dentro del baño maría se gira el vástago de un solo golpe y con velocidad constante haciendo llegar el ángulo a 0° en menos de 30 segundos.
- Dejar 30 minutos para que el cemento asfáltico pueda recuperarse.
- Tomar la lectura de recuperación que el cemento asfáltico obtuvo pasados los 30 minutos.

Se realizó la prueba de recuperación elástica obteniendo el siguiente resultado: 6 por ciento de recuperación

### **3.6. Punto de ablandamiento ASTM D 3695 (anillo y bola)**

Los asfaltos son materiales termoplásticos, por lo cual no puede hablarse de un punto de fusión en el término estricto de la palabra, se ha definido por conveniencia, un punto de ablandamiento convencional, determinado por la temperatura a la que alcanza un determinado estado de fluidez.

### **3.6.1. Descripción del ensayo**

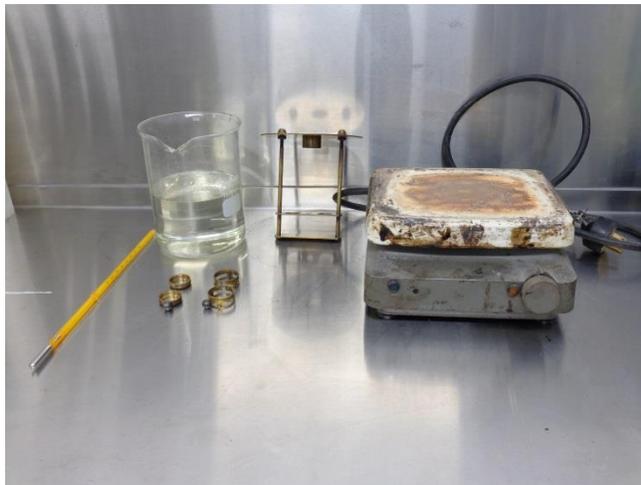
La prueba más común para determinar el punto de ablandamiento de un cemento asfáltico es la denominada de anillo y bola.

### **3.6.2. Equipo a utilizar**

- Dos anillos de bronce de 5/8 de pulgada de diámetro interior y de ¼ de pulgada de altura.
- Dos balines de acero de 3/8 de pulgada de diámetro.
- Baño maría a 25 °C.
- Agua o glicerina. Si el punto de ablandamiento es menor a 80 °C se utiliza agua, y si es mayor a 80 °C se utiliza glicerina.
- Cronómetro.
- Equipo para punto de ablandamiento (dos anillos en escuadra: superior 2,3 cm diámetro exterior y 1,98 diámetro interior, inferior 1,9 cm diámetro exterior y 15,98 cm diámetro interior; desde arriba hasta el resalto 0,44 cm de alto, desde resalto hasta abajo 0,2 cm de alto. dos bolas de acero endurecido de 0,95 cm de diámetro y peso entre 3,45 y 3,55 gramos. Guía para el centrado de bola, la bola es centrada en la muestra por tres pasadores. Base de acero fundido y barra de soporte) (ver figura 14).
- Beaker de 300 y 800 ml.

- Termómetro.
- Estufa.
- Gafas protectoras químicas.
- Equipo de protección para quemaduras.

Figura 14. **Equipo para punto de ablandamiento**



Fuente: laboratorio de Asfalguá.

### **3.6.3. Procedimiento de la prueba**

- Calentar en un beaker 100 ml de cemento asfáltico en un horno con temperatura máxima de 160 °C durante 3 horas.
- Colocan los anillos sobre papel acerado, utilizando el equipo de protección para quemaduras y las gafas protectoras químicas, se vierte

el cemento asfáltico dentro de los anillos, dejándolo sobre el límite superior del mismo.

- Enfriar el cemento asfáltico en los anillos durante 24 horas para que puedan tener la temperatura ambiente.
- Pasadas las 24 horas se sumergen los anillos en baño maría a 25 °C durante 2 horas.
- Extraer de los anillos el cemento asfáltico que se encuentra sobre el límite superior del anillo y se extrae cualquier resto de papel acerado de estos, de tal manera que el cemento asfáltico quede al ras de los límites del anillo.
- Dejar los anillos durante 2 horas en baño maría a 25 °C.
- Se sumergen en un beaker de 800 ml con agua o glicerina los anillos y el equipo de punto de ablandamiento colocando los balines sobre los anillos llenos de cemento asfáltico, se utiliza glicerina si el punto de ablandamiento sobre pasa de 80 °C.
- El beaker con todo el equipo de punto de ablandamiento se coloca en una estufa y se calienta a una velocidad de 5° C/minuto. Se comienza a medir la velocidad de 5 °C/minuto a partir de que el agua o la glicerina pase de 30 °C
- Cuando el cemento asfáltico baje debido al cambio de temperatura y toque la placa metálica que se encuentra a 1 pulgada por debajo de los

anillos se registra la temperatura a la cual descendió, siendo esta el punto de ablandamiento del cemento asfáltico.

- La prueba se realiza con dos anillos, si el cemento asfáltico de un anillo cae antes, se tiene que determinar la diferencia de la temperatura a la cual cayeron los balines recubiertos de cemento asfáltico; esta diferencia tiene que ser menor a 2,2 °C, si es mayor la prueba se tendrá que repetir.

Se realizó la prueba de punto de ablandamiento obteniendo los siguientes resultados (ver tabla XI).

Tabla XI. **Punto de ablandamiento del cemento asfáltico**

BOLAS	Temperatura a la que topo el fondo (°C)
Lado derecho	52
Lado izquierdo	51

Fuente. laboratorio de Asfalguá.

Se saca un promedio de la temperatura de las bolas. Si la diferencia de temperatura entre cada bola excede de un grado Celsius se tendrá que repetir el ensayo.

$$P.Ablandamiento = \frac{52 + 51}{2} = 52^{\circ}C$$

El punto de ablandamiento del cemento asfáltico es de 52 °C.

### **3.7. Peso específico ASTM D 70 (densidad de materiales bituminosos semisólidos)**

Es la proporción de la masa de cualquier volumen de material a la masa de un volumen igual de agua, ambos a temperatura determinada.

#### **3.7.1. Descripción del ensayo**

Existen dos razones importantes por las que se debe conocer el peso específico del cemento asfáltico.

- El asfalto se expande cuando es calentado y se contrae cuando se enfría. Esto significa que el volumen dado de una cierta cantidad de cemento asfáltico será mayor a altas temperaturas. Las medidas de peso específico proveen un patrón para efectuar correcciones de temperatura–volumen.
- El peso específico de un asfalto es esencial en la determinación del porcentaje de vacíos de un pavimento compactado.

#### **3.7.2. Equipo a utilizar**

- Baño maría (ver figura 15)
- Picnómetro con capacidad de 64 cm<sup>3</sup>
- Balanza para medir en decimas de gramos
- Beaker con capacidad de 300 ml

- Baño maría
- Trapo seco
- Gafas protectoras químicas
- Equipo de protección para quemaduras

Figura 15. **Equipo utilizado para peso específico**



Fuente: laboratorio de Asfalga.

### 3.7.3. **Procedimiento para realizar la prueba**

- Calentar 100 ml de cemento asfáltico en un horno con temperatura máxima de 160 °C durante 3 horas.
- Determinar peso de la tara (picnómetro más tapón seco), (peso A).

- Determinar peso de la tara (picnómetro más tapón seco) lleno con agua (peso B).
- Después que el asfalto es calentado durante tres horas, utilizando el equipo de protección para quemaduras y las gafas protectoras químicas, se vierte el asfalto líquido dentro del picnómetro evitando que el asfalto toque las paredes de este.
- El asfalto se deja enfriar durante 3 horas.
- Se sumerge la tara con el cemento asfáltico en baño maría durante 3 horas, sin que el agua entre dentro del picnómetro, el baño maría tiene que estar a 25 °C.
- Después del baño maría se saca el picnómetro y se secan con un trapo seco las paredes de este.
- Pesar la tara con el cemento asfáltico (peso C).
- Llenar la tara que contiene asfalto con agua hasta el borde y se vuelve a pesar (peso D).
- Calcular el peso específico con la siguiente ecuación.

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

Donde:

GB=peso específico bruto

A=peso de la tara

B=tara llena de agua

C=tara llena de cemento asfáltico

D=tara llena con asfalto y agua

- Se le realiza la corrección por temperatura con la siguiente ecuación.

$$Pe = \frac{GB * 0,997075}{0,9941 * 0,9990505}$$

Se determinó el peso específico del cemento asfáltico obteniendo los siguientes datos (ver tabla XII).

Tabla XII. **Datos para el cálculo del peso específico del asfalto**

Pesos	Descripción del peso	Cantidad(g)
A	Picnómetro más tapón seco.	38.64
B	Picnómetro más tapón más agua.	63.87
C	Picnómetro más tapón más asfalto.	55.94
D	Picnómetro más tapón más asfalto más agua.	64.78

Fuente. laboratorio de Asfalga.

Se realizó el cálculo del peso específico obteniendo los siguientes resultados

$$GB = \frac{55,94 - 38,64}{(63,87 - 38,64) - (64,78 - 55,94)} = 1,0555217$$

$$Pe = \frac{1,0555217 * 0,997075}{0,9941 * 0,9990505} = 1,0596866$$

El peso específico obtenido es de 1,0596866.

### 3.8. Análisis de resultados

Para llevar un buen control de calidad del cemento asfáltico para una mezcla asfáltica en caliente, para el uso de cemento asfáltico AC-20 se deberá estar dentro de los límites que la Norma AASHTO M-20 dictamina.

Tabla XIII. **Comparación de resultados de cemento asfáltico**

Ensayo	Unidad	Mínimo	Máximo	Resultado
Viscosidad cinemática 135°C	Cs-,min	300	-----	681
Punto de inflamación	°C	232	450	318
Penetración (25°C/100g/5s)	dmm	60		75
Solubilidad en tricloroetileno.	%	99		99
Pérdida de masa	%		0,5	0,29

Fuente: elaboración propia.

## **4. DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA**

### **4.1. Propiedades consideradas en el diseño de mezclas**

El objetivo principal del diseño de mezclas asfálticas de pavimentación, consiste en determinar una combinación y graduación económica de asfalto y agregados (dentro de los límites de las especificaciones del proyecto y Normas del país).

#### **4.1.1. Estabilidad**

La estabilidad de un asfalto es su capacidad para resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma bajo cargas repetidas, un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos (canales), ondulaciones (corrugación).

Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto menos durable que lo deseado (ver tabla XIV).

#### **4.1.2. Durabilidad**

La durabilidad de un pavimento asfáltico es la habilidad para resistir, durante su periodo de diseño, factores tales como desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto (polimerización y oxidación) y separación de las películas de asfalto. Estos factores pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito o una combinación de ambos (ver tabla XV).

Generalmente, la durabilidad de una mezcla puede ser mejorada de tres formas, usando la mayor cantidad posible de asfalto, usando una graduación densa de agregado resistente a la separación, diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad.

Tabla XIV. **Causas y efectos de la estabilidad baja en mezclas asfálticas en caliente**

ESTABILIDAD BAJA	
Causas	Efectos
Exceso de asfalto en la mezcla.	Ondulaciones, ahuellamiento y afloramiento y exudación.
Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla.	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente, durante un cierto tiempo; dificultad para la compactación.
Agregado redondeado sin o con pocas superficies trituradas	Ahuellamiento y canalización.

Fuente: *Principios de construcción de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente*. Manuales serie 22 1997.

Tabla XV. **Causas y efectos de poca durabilidad de las mezclas asfálticas**

Poca durabilidad	
Causas	Efectos
Bajo contenido de asfalto	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida del agregado.
Alto contenido de vacíos debido al diseño o a falta de compactación.	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración.
Agregados susceptibles al agua (hidrofilicos)	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado o desintegrado.

Fuente: *Principios de construcción de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente*. Manuales serie 22 1997.

#### 4.1.3. Impermeabilidad

La impermeabilidad de un pavimento asfáltico es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior, o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada. El grado de impermeabilidad está determinado por el tamaño de los vacíos, sin importar si están o no conectados, y por el acceso que tienen a la superficie del pavimento (Ver tabla XVI).

Tabla XVI. **Causas y efectos de las mezclas demasiado permeables**

Mezcla demasiado permeable	
Causas	Efectos
Bajo contenido de asfalto.	Las películas delgadas de asfalto causarán, tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla
Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño.	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento causando oxidación y desintegración de la mezcla
Compactación inadecuada.	Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a infiltración de agua y baja estabilidad.

Fuente: *Principios de construcción de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente*. Manuales serie 22 1997.

#### 4.1.4. Trabajabilidad

Esta descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada, trabajabilidad puede ser mejorada modificando los parámetros del diseño de la mezcla, el tipo de agregado y/o la granulometría (ver tabla XVII).

Las mezclas con demasiados gruesos son menos trabajables, ya que tienden a segregarse y dificultan la compactación.

Tabla XVII. **Causas y efectos de la falta de trabajabilidad de las mezclas**

Mala trabajabilidad	
Causas	Efectos
Tamaño máximo de partícula: grande.	Superficie áspera, difícil de colocar.
Demasiado agregado grueso.	Puede ser difícil de compactar.
Temperatura muy baja de mezcla.	Agregado sin revestir, mezcla poco durable.
Demasiada arena de tamaño medio.	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece blanda.
Bajo contenido de relleno mineral.	Mezcla altamente permeable.
Alto contenido de relleno mineral.	Mezcla muy viscosa, difícil de manejar, poco durable.

Fuente: *Principios de construcción de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente*. Manuales serie 22 1997.

#### **4.1.5. Flexibilidad**

Es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se agriete, a movimientos y asentamientos graduales de la subrasante. La flexibilidad es una característica deseable de todo pavimento asfáltico debido a que virtualmente todas las subrasantes se asientan bajo cargas o se expanden por expansión del suelo. La flexibilidad depende de la cantidad de asfalto de la mezcla.

#### 4.1.6. Resistencia a la fatiga

La fatiga en mezclas asfálticas ocurre por exposición continua de cargas sobre el pavimento, lo cual produce agrietamiento y demasiada flexión.

Tabla XVIII. **Causas y efectos de la poca resistencia a la fatiga de las mezclas**

Mala resistencia a la fatiga.	
Causa	Efecto
Bajo contenido de asfalto	Agrietamiento por fatiga.
Vacios altos de diseño	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Falta de compactación	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Espesor inadecuado de pavimento	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga.

Fuente: *Principios de construcción de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente*. Manuales serie 22 1997.

#### 4.1.7. Resistencia al deslizamiento

Resistencia al deslizamiento es la habilidad de la superficie del pavimento de minimizar el deslizamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie está mojada. La resistencia al deslizamiento se mide en el terreno con una rueda normalizada bajo condiciones controladas de humedad en la superficie del pavimento y a una velocidad de 65 Km/h.

Tabla XIX. **Causas y efectos de la poca resistencia al deslizamiento de las mezclas asfálticas**

Poca resistencia al deslizamiento	
Causas	Efectos
Exceso de asfalto	Exudación, poca resistencia al deslizamiento.
Agregado mal graduado	Pavimento liso, posibilidad de hidroplano.
Agregado pulido en la mezcla	Poca resistencia al deslizamiento.

Fuente: *Principios de construcción de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente*. Manuales serie 22 1997.

#### 4.2. **Método Marshall (AASHTO T 245)**

El propósito del método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. También provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacíos que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento.

El método Marshall, como se presenta en este trabajo, solo se aplica a mezclas asfálticas en caliente de pavimento que usan cemento asfáltico clasificado por viscosidad y penetración y que contienen agregados con tamaño máximo de una pulgada (25 mm) o menos. El método es usado, tanto para diseño en laboratorio, como para el control de calidad de la mezcla asfáltica en caliente en campo.

#### **4.2.1. Procedimiento del método Marshall**

El procedimiento del método Marshall se basa en determinar las cualidades que debe tener la mezcla (estabilidad, durabilidad, impermeabilidad, trabajabilidad flexibilidad y resistencia al deslizamiento), seleccionar un tipo de agregado y un tipo compatible de asfalto, que puedan ser combinados, para producir las cualidades deseadas de la mezcla.

El agregado, el asfalto y la mezcla de material pétreo y material bituminoso; debe llenar los requisitos establecidos en las Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes de la Dirección General de Caminos sección 401.

En el presente trabajo se utilizó con agregado de  $\frac{1}{4}$ ",  $\frac{3}{8}$ ",  $\frac{3}{4}$ " y cemento asfáltico que cumple todos los requisitos de las Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes de la Dirección General de Caminos.

El procedimiento para el diseño de mezcla asfáltica realizado en este trabajo es el siguiente:

- Se mezclan doce muestras de agregado (combinando agregado de  $\frac{1}{4}$ ",  $\frac{3}{8}$ ", y  $\frac{3}{4}$ "), la combinación utilizada fue 45 % del agregado de  $\frac{1}{4}$ ", 35 % del agregado de  $\frac{3}{8}$ " y 20 % del agregado de  $\frac{3}{4}$ "; el peso total de la muestra de agregado fue de 1 160 gramos.
- Se mezcla 4 por ciento de cemento asfáltico como porcentaje inicial, posteriormente se fue aumentando el porcentaje del cemento asfáltico en 0,5 por ciento o el porcentaje que uno desee (de acuerdo a la

experiencia del diseñador) cada tres pastillas; la temperatura de mezclado fue de 310 °F.

- Las muestras de las mezclas se compactaron a 75 golpes por cara, en la compactadora Marshall, la temperatura de compactación utilizada fue de 275 °F.
- Se determinó el peso específico de las muestras de la mezcla.
- Se realiza el ensayo de compresión y fluencia Marshall.

#### **4.2.1.1. Equipo a utilizar**

Equipo utilizado en el compactador automático para moldes de ensayo Marshall.

- Compactador automático resistente para moldes de ensayo Marshall (ver figura 16).
- Molde de compactación Marshall de 4" (ver figura 18).
- Grasa.
- Wype.
- Cuchara metálica (35 cm de longitud y 6,5 cm de ancho de cucharón) (ver figura 18).
- Espátula (18 cm de longitud y 1,8 cm de ancho) (ver figura 18).

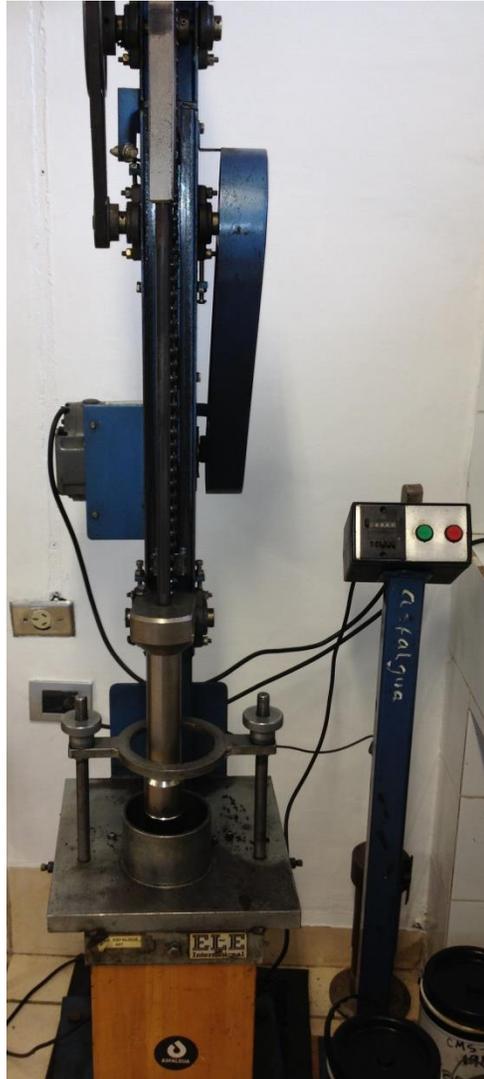
- Taras de aluminio resistente al calor (ver figura 18).
- Cemento asfáltico AC – 20.
- Agregado que cumpla los requisitos de la tabla 401-1 (graduación de agregado para pavimento de concreto asfáltico ASTM D 3515) de las *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes* de la Dirección General de Caminos.
- Estufa portátil.
- Cronómetro (ver figura 18).
- Termómetro infrarrojo de pistola.
- Báscula con precisión de 0,1 gramos.
- Extractor de muestras de 4" (Ver figura 19).
- Horno con temperatura máxima de 160 °C (ver figura 17).
- Equipo utilizado para el cálculo del peso específico de las muestras del compactador automático.
- Báscula con precisión de 0,1 gramos.
- Termómetro (ASTM 11C/IP 28C GB 89).
- Balanza de solución resistente, para medir pesos en el agua.

- Trapos secos.

Equipo utilizado para el cálculo de la estabilidad y fluencia Marshall.

- Máquina de compresión Marshall.
- Cabezal de ruptura Marshall de 4".
- Dial indicador de flujo.
- Baño termostático de agua a 60 °C.
- Cronómetro.
- Trapos secos.

Figura 16. **Martillo de compactación Marshall**



Fuente: laboratorio de Asfalgua.

Figura 17. Horno industrial



Fuente: laboratorio de Asfalgua.

Figura 18. **Taras de aluminio, cucharón, moldes para compactación Marshall y cronómetro**



Fuente: laboratorio de Asfalga.

Figura 19. **Extractor de muestras**



Fuente: laboratorio de Asfalagua.

Figura 20. Compactador Marshall



Fuente: laboratorio de Asfalga.

#### 4.2.1.2. Preparación de las muestras

El procedimiento según el Método Marshall se describe a continuación.

- Seleccionar una combinación de agregado que cumpla con los requisitos de las normas vigentes del país (ver tabla II y anexo). El diseño presentado en este trabajo será una mezcla asfáltica de  $\frac{3}{4}$ " (19mm) utilizará una combinación de agregado de 45 % de agregado de  $\frac{1}{4}$ ", 35 % de agregado de  $\frac{3}{8}$ " y 20 % de agregado de  $\frac{3}{4}$ ". La combinación utilizada cumple los requisitos de la tabla 401-1 de *las Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes* de la Dirección General de Caminos.
- Seleccionar un cemento asfáltico que cumpla con los requisitos de las normas vigentes del país. El diseño presentado en este trabajo utilizará un cemento asfáltico AC-20 que cumple con todo los requisitos solicitados por las normas guatemaltecas (ver anexo).

Se realizará una prueba de volumen para determinar la cantidad exacta de agregado a utilizar para el diseño de la mezcla.

- Realizar una prueba de volumen de pastillas (muestras de la mezcla a diseñar).
  - Determinar un peso tentativo de entre (1 100 y 1 200) gramos de agregado, con un 5,5 % de asfalto. Para el diseño presentado en este trabajo se realizó una prueba de volumen con un peso de 1 160 g y 5,5 % de asfalto. De

acuerdo a la combinación elegida, se determinó el peso de cada uno de los diferentes tamaños de agregado.

Tabla XX. **Peso de los diferentes tamaños de partículas de cada agregado utilizado para la prueba de volumen**

<b>Porcentaje de agregado</b>	<b>45 %</b>	<b>35 %</b>	<b>20 %</b>
<b>Tamiz</b>	<b>Agregado de 1/4"</b>	<b>Agregado de 3/8"</b>	<b>Agregado de 3/4"</b>
1"	0,00	0,00	0,00
3/4"	0,00	0,00	80,30
3/8"	0,00	60,98	147,11
No. 4	0,00	294,31	3,50
No 8	114,27	46,37	0,6
No. 50	279,17	0,93	0,12
No. 200	85,03	0,73	0,14
Pasa 200	43,53	2,68	0,84
Suma	522,00	406,00	232,00

Fuente: elaboración propia.

- Tamizar los agregados de 1/4", 3/8" y de 3/4" y separar cada tamaño de partículas obtenidas en taras o cualquier recipiente; el agregado deberá estar totalmente libre de humedad.
- Pesar en la balanza y en taras de aluminio resistentes al calor tamaños de agregados según tabla XX, teniendo cuidado que el peso total del agregado sea el seleccionado para el volumen.

- Colocar las taras con el agregado y el cemento asfáltico en un horno con temperatura de 160 °C durante 3 horas.
- Mientras el agregado y el cemento asfáltico es calentado, se prepara el equipo para el mezclado y compactado de la mezcla asfáltica.
- Se le coloca un poco de grasa al martillo compactador Marshall y a los moldes de compactación Marshall, se realiza esto para evitar que a mezcla se quede pegada en el martillo y en los moldes de compactación Marshall.
- Calentar (media hora antes de sacar el agregado y el cemento asfáltico) a 160 °C la cuchara para mezclar, la tara donde se mezclará y encender la estufa portátil para que pueda ser mantenida la temperatura de mezclado.
- Pasadas las 3 horas se saca la tara donde se mezclará el asfalto con el agregado, se le incorpora 5,5 % del peso total del agregado en asfalto. Se le vierte sobre el agregado.
- Mezclar el asfalto y el agregado durante tres minutos, tratando que la mezcla quede uniforme y que las partículas de agregado queden recubiertas en un 100 % de asfalto, tener cuidado que la temperatura no sobrepase de 330 °F y no baje de 270 °F, por esta razón se tiene que graduar bien la estufa portátil.

- Colocar la mezcla dentro de los moldes de compactación y con la espátula se le dan 15 golpes en los lados de la mezcla asfáltica y 10 en el centro.
- Se coloca el martillo Marshall y se mide la temperatura con el termómetro laser; cuando la temperatura se encuentre a 275 °F se procede a darle 75 golpes por cara a la mezcla.
- Culminado los primeros 75 golpes se le da vuelta a los moldes de compactación Marshall y se procede a darle 75 golpes nuevamente, todo este proceso tendrá que durar 30 segundos máximo.
- Realizado los 150 golpes, se dejan enfriar los moldes de compactación con la mezcla dentro durante 24 horas.
- Sacar la pastilla de asfalto con el extractor de muestras y pesarla.
- Pesar la pastilla sumergida en agua y tomar la temperatura a la cual está el agua.
- Sacar la pastilla del agua y secar la superficie, tratando que la pastilla este seco saturada, luego pesarla.
- Restar la masa de la pastilla sumergida a la masa de la pastilla seca saturada (volumen).
- El volumen deberá estar dentro de 509 a 525 gramos para que la mezcla no se salga del molde.

Posteriormente de haber obtenido la cantidad exacta de partículas de agregado a utilizar en la mezcla, se procederá a preparar las pastillas para el diseño. Las probetas de ensayos de las posibles mezclas de pavimento son preparadas haciendo que cada una contenga una ligera cantidad diferente de asfalto, el procedimiento de la preparación de las muestras es el siguiente.

- De acuerdo a la prueba de volumen realizada anteriormente, se determinó la cantidad y tamaño de las partículas de agregado que se van a utilizar para las pastillas.
- Preparar tres recipientes con la cantidad exacta de agregado determinada en la prueba de volumen, se meterán al horno a 150 °C durante 2 horas las muestras de agregado, el asfalto y el cucharón para mezclar. Previamente calentar la estufa portátil para mantener la temperatura del agregado y el asfalto, cuando estos ya estén calientes, para así simular todas las condiciones del mezclado en planta.
- La cantidad inicial de asfalto para el diseño será de 4 % del peso del agregado seco. Y se calcula con la siguiente ecuación.

$$Asf = peso\_agre - \frac{peso\_agregado}{1 + \%Asf}$$

- El porcentaje de asfalto estará aumentando en 0.5 % (o de acuerdo a la experiencia del diseñador) por cada tres recipientes de agregado a utilizar y se terminará de aumentar la cantidad de asfalto con base en la experiencia previa con los agregados de la mezcla, que, para asfalto convencional, estará en 6,5 % como máximo. El margen entre el

porcentaje inicial, intermedios y finales de les llamará puntos para efecto de los ejemplos prácticos.

Se describirá el procedimiento para la preparación del punto inicial de asfalto mezclando el asfalto con el agregado y compactando cada una de las pastillas. El procedimiento de los demás puntos será exactamente el mismo que el del punto inicial con diferencia en el porcentaje de asfalto contenido en la mezcla.

- Tamizar los agregados de  $\frac{1}{4}$ " ,  $\frac{3}{8}$ " y de  $\frac{3}{4}$ " y separar cada tamaño de partículas obtenidas en taras o cualquier recipiente, el agregado deberá estar totalmente libre de humedad.
- Pesarse en la balanza y en taras de aluminio resistentes al calor tamaños de agregados según la tabla XIX, teniendo cuidado que el peso total del agregado sea el determinado en la prueba de volumen
- Colocar las taras con el agregado y el cemento asfáltico en un horno con temperatura de 160 °C durante 3 horas.
- Mientras el agregado y el cemento asfáltico es calentado, se prepara el equipo para el mezclado y compactado de la mezcla asfáltica.
- Se le coloca un poco de grasa al martillo compactador Marshall y a los moldes de compactación Marshall, para evitar que la mezcla se quede pegada en el martillo y en los moldes de compactación Marshall.
- Calentar (media hora antes de sacar el agregado y el cemento asfáltico) a 160 °C la cuchara para mezclar, la tara donde se mezclará y encender

la estufa portátil para que pueda ser mantenida la temperatura durante el proceso de mezclado.

- Pasadas las 3 horas se sacan las tara donde se mezclará el asfalto con el agregado, se le incorpora 4 % del peso total del agregado en asfalto. Ce le vierte sobre el agregado.
- Mezclar el asfalto y agregado durante tres minutos, tratando que la mezcla quede uniforme y que las partículas de agregado queden recubiertas en un 100 % de asfalto, tener cuidado que la temperatura no sobrepase de 330°F y no baje de 270 °F, por esta razón se tiene que graduar bien la estufa portátil.
- Colocar la mezcla dentro de los moldes de compactación y con la espátula se le pegan 15 golpes en los lados de la mezcla y 10 en el centro.
- Colocar el martillo Marshall y se mide la temperatura con el termómetro láser y cuando la temperatura se encuentre a 275 °F se procede a darle 75 golpes a la mezcla.
- Después de los primeros 75 golpes se le da vuelta a los moldes de compactación Marshall y se procede a darle 75 golpes nuevamente, todo este proceso tendrá que durar 30 segundos máximo.
- Realizado los 150 golpes, se deja enfriar los moldes de compactación con la mezcla dentro durante 24 horas.

- Retirar las pastillas de la mezcla de los moldes de compactación Marshall con el extractor de muestras (ver figura 21).

Figura 21. **Muestra de mezcla asfáltica**



Fuente: laboratorio de Asfalgua.

#### **4.2.1.3. Determinación del peso específico AASHTO T 166**

El peso específico es la proporción del peso de cualquier volumen de material al peso de un volumen igual de agua. El peso específico total de la mezcla de cada probeta se determina tan pronto como las probetas recién compactadas se hayan enfriado a la temperatura ambiente, esta medición de peso específico es esencial para un análisis preciso de densidad-vacíos.

El procedimiento para la determinación del peso específico de la mezcla es el siguiente.

- Posteriormente de haber extraído las pastillas de los moldes y que estas poseen la temperatura ambiente, se pesa cada una de las muestras secas.

- En la balanza de solución resistente para medir pesos en el agua se determina el peso de las muestras dentro del agua.
- Se determina el peso de la muestra seco-saturada, es decir se saca la muestra del agua y con un trapo seco se limpia el exceso de agua de las paredes de la muestra y se determina el peso (ver figura 22).
- Obteniendo los tres pesos anteriormente descritos se utiliza la siguiente ecuación.

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

Donde:

Gmb: gravedad específica bruta de la muestra (peso específico)

A: masa seca de la muestra

B: masa seco-saturada de la muestra

C: masa del espécimen sumergido

Los resultados obtenidos de la determinación del peso específico de todos los puntos de asfalto para el diseño de una mezcla de tamaño máximo nominal de 19 mm con asfalto convencional es el que se muestra en la tabla XXI.

El peso específico puede ser determinado también por el ensayo Rice.

Figura 22. **Balanza para pesar en agua**



Fuente: laboratorio de Asfalga.

Tabla XXI. **Peso específico de las muestras ensayadas**

Peso específico					
% asfalto	4,00	4,5	5,30	5,60	5,75
A (g):	1 189,0667	1 198,9	1 221,6	1 219,8	1 221,91
B (g):	1 200,467	1 206,13	1 1223,3	1 221,467	1 223,61
C (g):	685,9	694,62	708,24	708,24	708,42
Gmb:	2,32897	2,34389	2,37164	2,37679	2,376056

Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.1.4. Ensayo de estabilidad y fluencia

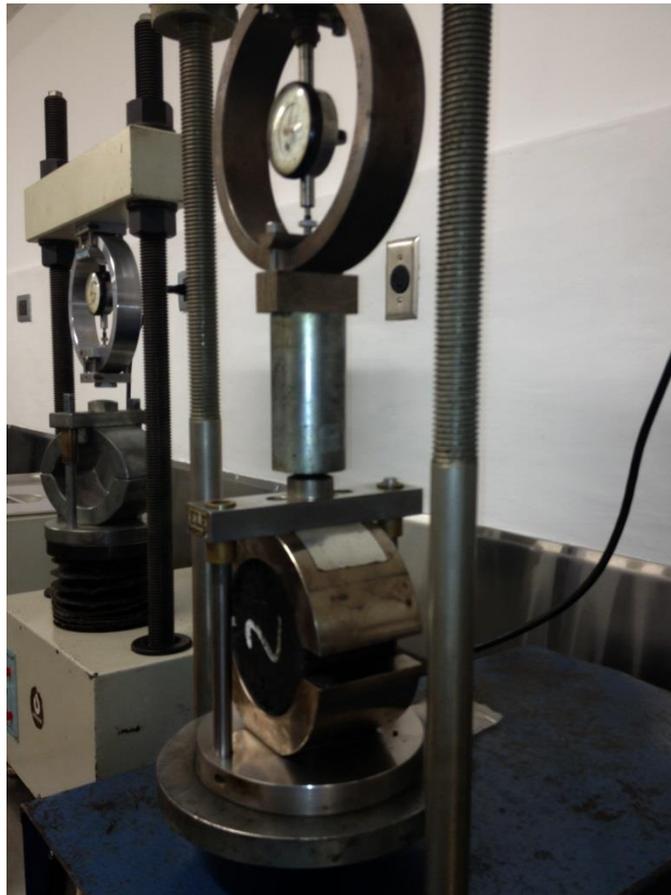
El ensayo de estabilidad está dirigido a medir la resistencia a la deformación de la mezcla. La fluencia mide la deformación, bajo carga, que ocurre en la mezcla.

El procedimiento de los ensayos es el siguiente:

- Las muestras son calentadas en un baño maría a 60 °C (140 °F) durante media hora. Esta temperatura representa normalmente la temperatura más caliente que un pavimento en servicio va a experimentar.
- Pasada la media hora la muestra es removida del baño María, secada en la superficie y colocada rápidamente en el aparato Marshall. El aparato consiste de un dispositivo que aplica carga sobre la probeta, y de dos diales de carga y de deformación.
- Se acciona el aparato Marshall para que aplique una carga a la muestra 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 muestra puede resistir. Se dejará de aplicar carga cuando se note que la velocidad de la aplicación de la carga varíe o tenga un salto en el dial de la estabilidad (ver figura 20 y figura 24).
- Se tiene que tener mucho cuidado de retirar inmediatamente el dial de fluencia cuando se deje de aplicar carga, ya que la muestra se estará deformando aun cuando ya no se le aplique carga.

- La carga de falla se registra como el valor de estabilidad Marshall y la lectura del dial de fluencia se registra como la fluencia.
- La carga de falla se determina utilizando la ecuación del aparato, es decir la obtenida de la calibración del mismo. Introduciendo el valor marcado por el dial de la estabilidad.

Figura 23. **Estabilidad y fluencia Marshall**



Fuente: laboratorio de Asfalga.

Se realizó la prueba de estabilidad y fluencia Marshall obteniendo los siguientes resultados de la lectura del dial de carga y la del dial de fluencia (ver tabla XXII).

Tabla XXII. **Ensayo de estabilidad y fluencia**

Estabilidad y fluencia					
% de asfalto	4,00	4,5	5,3	5,6	5,75
Dial estabilidad	275,5	268,3	265	252,67	243,67
Dial de fluencia	12	13	13,33	13	13,5

Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.1.5. **Valor de estabilidad Marshall**

El valor de estabilidad Marshall es una medida de la carga bajo la cual una probeta cede o falla. La estabilidad de las muestras se determina introduciendo el valor de la lectura que mostró el dial de estabilidad en la ecuación generada en la calibración del aparato Marshall. Para el ejemplo que se ha venido trabajando la ecuación es la siguiente (ver tabla XXIII):

$$Y = (6.8711904 + 8.1120424X) * \text{factor de corrección por volumen}$$

Donde:

Y= estabilidad Marshall

X= lectura proporcionada por el dial de estabilidad

Tabla XXIII. **Estabilidad Marshall de la muestra**

Estabilidad Marshall					
% de asfalto	4,00	4,5	5,3	5,6	5,75
Estabilidad Marshall(Lb)	2 271,66	2 183,33	2 183,58	2 056,51	1 983,50

Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.1.6. Valor de fluencia Marshall

La fluencia Marshall, medida en centésimas de pulgada, representa la deformación de la briqueta. La fluencia se determina a través del dial de fluencia de la máquina de compactación Marshall y es exactamente el valor dado por este.

Para el ejemplo que se ha venido trabajando el valor de fluencia Marshall obtenido es el siguiente: (ver tabla XXIV)

Tabla XXIV. **Valor de fluencia**

Valor de fluencia					
% de asfalto	4,00	4,5	5,3	5,6	5,75
Fluencia	12	13	13,33	13	13,5

Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.1.7. Análisis de densidad y vacíos

Una vez que se completan los ensayos de estabilidad y fluencia, se procede a efectuar un análisis de densidad y vacíos para cada serie de puntos y muestras, el propósito del análisis es el de determinar el porcentaje de vacíos en la mezcla compactada.

Análisis de vacíos (Va).

- Los vacíos son las pequeñas bolsas de aire que se encuentran entre las partículas de agregado revestidas de asfalto.

Vacíos de agregado mineral (VMA).

- La cantidad de vacíos de agregado mineral (VMA), está definida por el espacio intergranular de vacíos que se encuentra entre las partículas de agregado de la mezcla de pavimentación compactada, incluyendo los vacíos de aire y el contenido efectivo de asfalto y se expresa como un porcentaje de volumen total de la mezcla compactada.

Vacíos llenos de asfalto (VFA)

- El análisis de vacíos llenos de asfalto es el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregado de vacíos en el agregado mineral que se encuentran llenos de asfalto, se calculan al restar los vacíos de aire de los vacíos del agregado mineral y luego dividiendo por los vacíos del agregado mineral.

El procedimiento de cálculo para los vacíos en la mezcla se describe a continuación.

- Antes de realizar el ensayo de estabilidad y fluencia Marshall se determinan los vacíos en la mezcla.
- Luego de haber extraído las muestras de los moldes para compactación Marshall y que las muestras se encuentren a temperatura ambiente, se determina el peso de las muestras.
- Se sumergen las probetas en agua y se determina el peso que estas poseen dentro del agua.
- Luego de haber transcurrido cinco minutos las muestras en el agua, se retiran y con un trapo seco, se remueve la humedad que las muestras poseen en su exterior.
- Se determina el peso de las muestras seco-saturadas, es decir luego de haber secado las paredes exteriores de las muestras.
- Con un termómetro se determina la temperatura a la cual se encuentra el agua cuando las muestras son sumergidas en la misma.
- Se determina la gravedad específica bruta de la muestra utilizando la siguiente ecuación.

$$Gmb = \frac{A}{B - C} * Fa =$$

Donde:

A= masa seca de la muestra  
 B=masa seco- saturada de la muestra  
 C=masa de la muestra sumergida  
 Gmb=gravedad especifica bruta de la muestra  
 Fa=factor de corrección por temperatura

Realizando el procedimiento anteriormente descrito se determinaron las gravedades específicas brutas de las muestras obteniendo los siguientes promedios: (ver tabla XXV).

La temperatura del agua era a 24 °C por lo cual el factor de corrección por temperatura es de 1.000253.

Tabla XXV. **Gravedad específica bruta de la muestra**

Gravedad específica bruta de la muestra					
% de asfalto	4,00	4,5	5,3	5,6	5,75
Gmb	2,32897	2,33895	2,37220	2,37739	2,37668

Fuente: elaboración propia.

- Posteriormente de calcular la gravedad específica bruta de la muestra se determina la gravedad máxima específica teórica, esta puede ser determinada de forma teórica o por el ensayo Rice (Densidad teórica máxima) ASTM D 2 041 O AASHTO T 209, para el cálculo de la gravedad máxima específica se utilizará el método teórico con la siguiente ecuación.

$$Gmm = \frac{100}{\frac{\%Asf}{Pe} + \frac{\%Ag}{Ges}} =$$

Donde.

%asf= porcentaje de asfalto

Pe= peso específico del asfalto

%Ag= porcentaje de agregado

Ges=gravedad efectiva del agregado

Gmm=gravedad especifica máxima teórica

El peso específico del asfalto se determinó en el capítulo tres numeral 3.7, la gravedad efectiva del agregado (ver anexo).

El resultado de la gravedad máxima específica del diseño ejemplificado es el siguiente (ver tabla XXVI).

Tabla XXVI. **Gravedad específica teórica máxima**

Gravedad máxima especifica teórica					
%Asf	4,00	4,5	5,3	5,6	5,75
Gmm	2,52937	2,51128	2,48286	2,47237	2,46716

Fuente: elaboración propia.

- Determinar los vacíos en la mezcla con la siguiente ecuación.

$$Va(\%) = 100\left(1 - \frac{Gmb}{Gmm}\right)$$

Donde:

Gmb=gravedad especifica bruta de la mezcla

Gmm=gravedad especifica máxima teórica

Va(%)=porcentaje de vacíos

Realizando el procedimiento anteriormente descrito se determinó el porcentaje de vacíos en la mezcla, el promedio de los resultados es el siguiente: (ver tabla XXVII).

Tabla XXVII. **Vacíos en la mezcla**

Vacíos en la mezcla					
% Asfalto	4.00	4.5	5.3	5.6	5.75
% vacíos	7.92	6.66	4.48	3.87	3.69

Fuente: elaboración propia.

- Determinar los vacíos en el agregado mineral con la siguiente ecuación.

$$VMA = 100 - Pa * \frac{Gmb}{Gsb}$$

Donde:

VMA=vacíos de agregado mineral

Pa=porcentaje de agregado

Gmb=gravedad especifica bruta de la muestra

Gsb=gravedad especifica bruta del agregado

Realizando el procedimiento anteriormente descrito se determinaron los vacíos en el agregado mineral de la mezcla, el promedio de los resultados es el siguiente: (ver tabla XXVIII).

Tabla XXVIII. **Vacíos de agregado mineral**

Vacíos de agregado mineral					
% Asfalto	4.00	4.5	5.3	5.6	5.75
VMA	16.06	15.96	15.68	15.76	15.92

Fuente: elaboración propia.

- Determinar los vacíos llenos con asfalto con la siguiente ecuación.

$$VFA = 100 * \frac{VMA - Va}{VMA}$$

Donde.

VFA=vacíos llenos con asfalto

VMA=vacíos de agregado mineral

Va=vacíos en la mezcla

Realizando el procedimiento anteriormente descrito se determinaron los vacíos llenos con asfalto de la mezcla, el promedio de los resultados es el siguiente (ver tabla XXIX).

Tabla XXIX. **Vacíos llenos con asfalto**

Vacíos llenos con asfalto					
% asfalto	4,00	4,5	5,3	5,6	5,75
VFA	50,71	58,26	71,44	75,49	76,83

Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.1.8. Diseño de mezcla asfáltica en caliente por el método Marshall

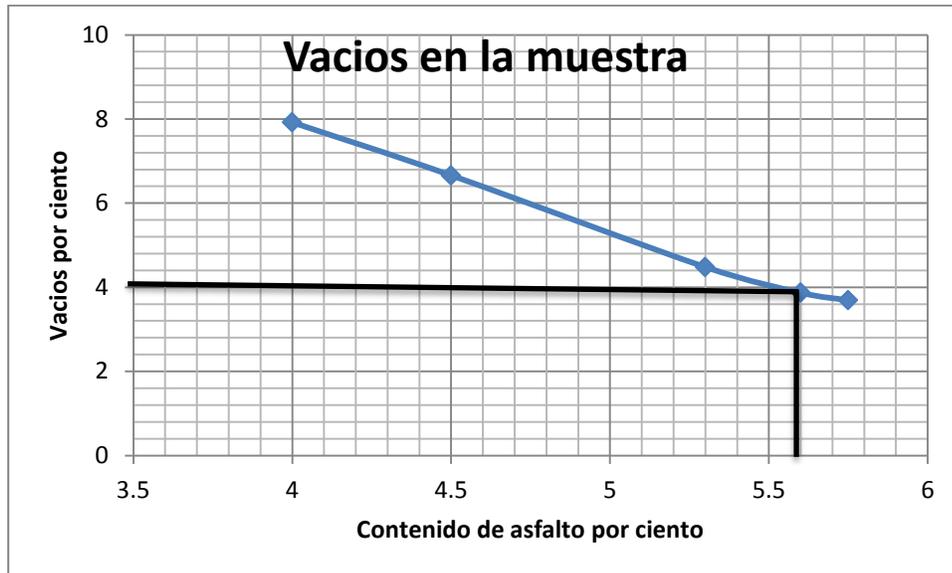
El contenido de diseño de asfalto en la mezcla final de pavimento se determina a partir de los resultados descritos anteriormente. Primero determinar el contenido de asfalto para cual el contenido de vacíos es de 4 por ciento y evaluar todas las propiedades calculadas y medidas de la mezcla para este contenido de asfalto. Si se cumplen todos los criterios de las *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes* de la Dirección General de Caminos sección 401, este es el contenido de diseño de asfalto, si no se cumplen todos los criterios será necesario hacer algunos ajustes o volver a diseñar la mezcla.

El procedimiento de diseño de una mezcla asfáltica en caliente es descrito a continuación.

- De acuerdo a los ensayos practicados del numeral 4.2.1.1 a 4.2.1.7 de este trabajo se grafican los resultados de la siguiente manera.
  - Para la gráfica uno de diseño se plotean los puntos del porcentaje de asfalto en la mezcla *versus* vacíos en la mezcla obtenidos del análisis de densidad de vacíos. Para obtener el punto óptimo de asfalto, se localiza el porcentaje de asfalto cuando la mezcla posee cuatro por ciento de vacíos (ver figura 25).

De acuerdo a las propiedades de la mezcla estudiada en este trabajo se obtuvo la siguiente gráfica. Que se muestra en la figura 25.

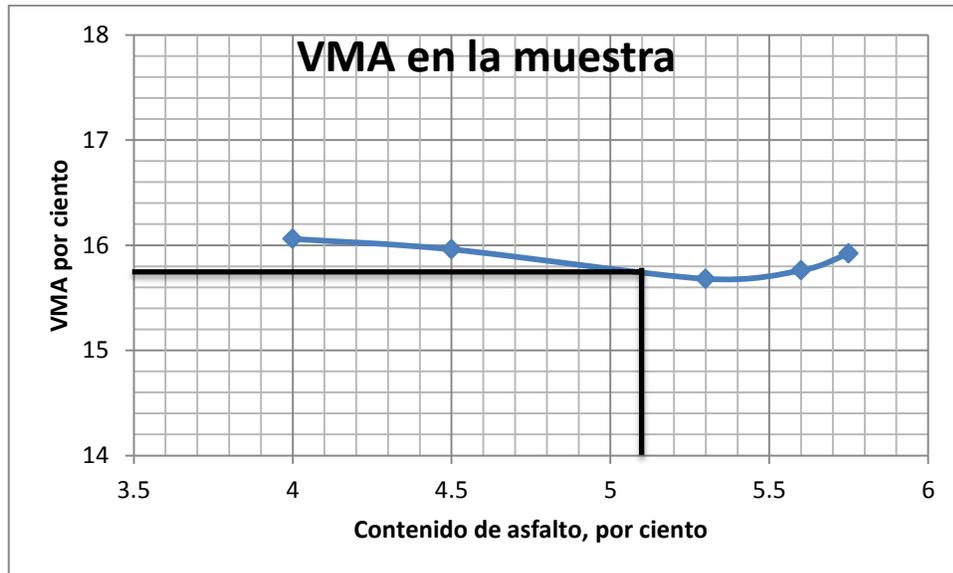
Figura 24. Punto óptimo de asfalto



Fuente: elaboración propia, con base en los resultados de la tabla XXV.

- Ploteada la gráfica de vacíos en la muestra se determinó el punto óptimo de asfalto, siendo este 5.52 por ciento de asfalto virgen.
  - Se valuarán todas las propiedades de la mezcla al 5.52 por ciento de asfalto.
  - Para la gráfica número dos de diseño se plotean el contenido de asfalto *versus* los vacíos de agregado mineral de las muestras. Se valúa el valor de vacíos de agregado mineral para 5,52 por ciento de asfalto (ver figura 26).

Figura 25. Vacíos de agregado mineral en la muestra

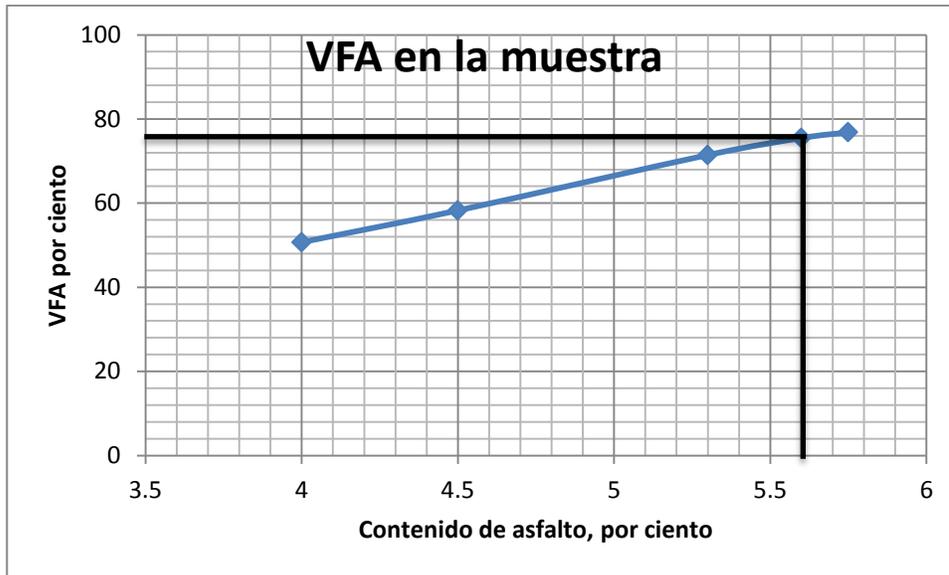


Fuente: elaboración propia.

Los vacíos de agregado mineral para el 5,52 por ciento de asfalto es de 15,65 por ciento.

- Para la gráfica número tres del diseño se plantean el porcentaje de asfalto *versus* los vacíos llenos de asfalto, se determina el valor de los vacíos llenos de asfalto a 5,52 por ciento de asfalto (ver figura 27).

Figura 26. Vacíos llenos de asfalto



Fuente: elaboración propia, con base en resultados de la tabla XVVIII.

El valor de los de los vacíos llenos de asfalto para 5,52 por ciento de asfalto es de 73 por ciento.

- Para la gráfica número cuatro del diseño se plotea el contenido de asfalto versus peso unitario, se determina el valor del peso unitario cuando la mezcla posea 5,52 por ciento de asfalto (ver figura 28).

El peso unitario de la mezcla se determina de la gravedad específica bruta de la muestra, ya que se multiplica por el peso unitario del agua 1 000 Kg/m<sup>3</sup>.

Figura 27. **Peso unitario de la muestra**

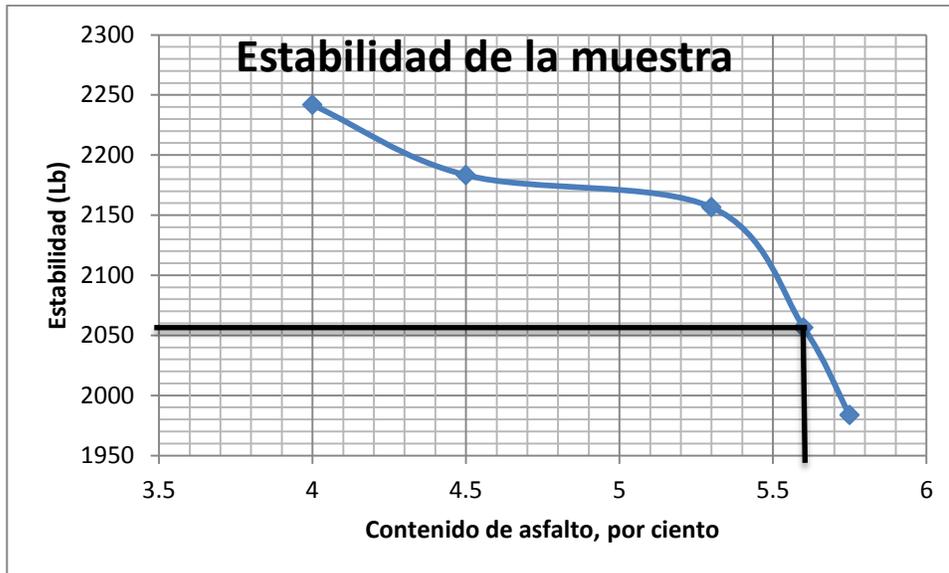


Fuente: elaboración propia.

El peso unitario de la muestra con 5,52 por ciento de asfalto es de 2 378 Kg/m³.

- Para la gráfica número cinco de diseño se plotea el porcentaje de asfalto *versus* estabilidad Marshall, se determina el valor de la estabilidad para el 5,52 por ciento de asfalto (ver figura 29).

Figura 28. Estabilidad de la muestra

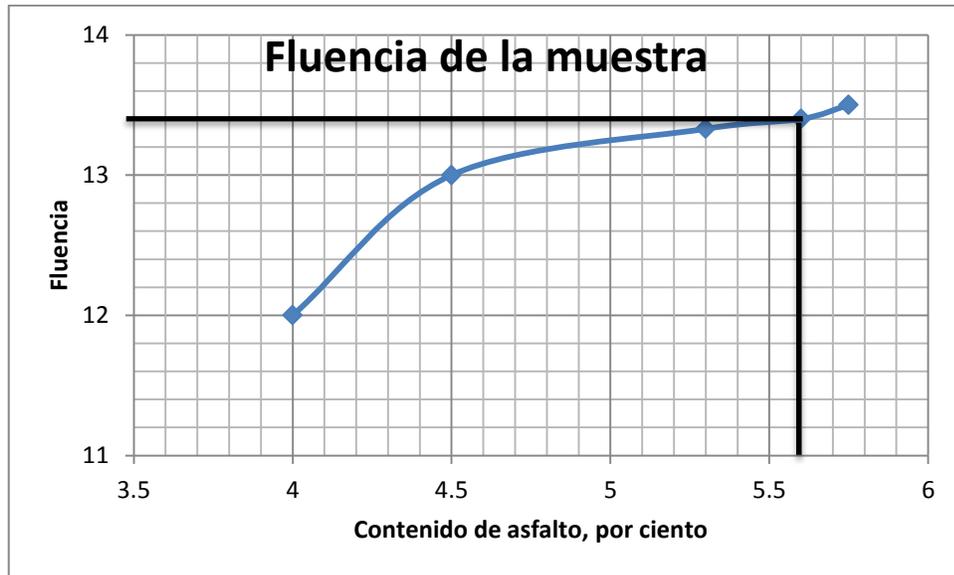


Fuente: elaboración propia.

La estabilidad de la muestra con 5.52 por ciento de asfalto es de 2 051 Lb.

- Para la gráfica de diseño número seis se plotea el valor de fluencia Marshall *versus* el contenido de asfalto de las muestras. Se determina la fluencia para el 5,52 por ciento de asfalto (Ver figura 30).

Figura 29. Fluencia de la muestra



Fuente: elaboración propia.

El valor de la fluencia Marshall para 5,52 por ciento de asfalto es de 13.4

Posteriormente de haber obtenido las propiedades que posee la mezcla con 5,52 por ciento de asfalto se comprobará si en realidad el punto óptimo de asfalto posee dichas propiedades realizando los ensayos descritos en los numerales de 4.2.1.1 a 4.2.1.7 de este trabajo.

Se realizaron los ensayos descritos en los numerales de 4.2.1.1 a 4.2.1.7 obteniendo los siguientes resultados (ver tabla 30).

Tabla XXX. **Propiedades de la mezcla en su punto óptimo de asfalto**

Vacíos (%)	VMA (%)	VFA (%)	P.U. (kg/m <sup>3</sup> )	Estabilidad Marshall (lb)	Fluencia Marshall (0,25mm)	Relación estabilidad fluencia
4	15,78	74,17	2 374,80	2 014,93	12,67	159,03

Fuente: elaboración propia.

#### **4.2.1.9. Análisis de los resultados del ensayo Marshall**

Los resultados del ensayo Marshall deberán ser analizados según norma vigente en el país, en este caso son las *Especificaciones para construcción de carreteras y puentes* de la Dirección General de Caminos.

Se comparan las especificaciones requeridas para mezclas asfálticas en caliente, con los resultados de diseño del método Marshall con el punto óptimo de asfalto, estos resultados se muestran en la tabla XXXI.

Tabla XXXI. **Análisis de resultados del método Marshall**

Ensayo	Datos de diseño	Rangos según Norma	Dimensional
Porcentaje de vacíos	4,07	De 3 a 5	%
VMA	15,78	14 mínimo	%
VFA	74,16	65 a 75	%
Peso unitario	2 374,80	N.A.	Kg/m <sup>3</sup>
Estabilidad Marshall	2 121	Mínimo 1 200	Lb
Fluencia Marshall	12,67	De 8 a 14	0,25mm
Relación estabilidad fluencia	167	De 120 a 275	Adimensional

Fuente: elaboración propia, con aporte de Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes de la Dirección General de Caminos.

La mezcla en estudio cumple con todos los requisitos que las *Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes* de la Dirección General de Caminos solicitan.

Dependiendo del lugar donde se utilizará la mezcla las propiedades deberán ser modificadas de acuerdo a criterio del diseñador.



## 5. ENSAYOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

El control de calidad de una mezcla asfáltica se lleva a cabo muestreando y ensayando el producto final de la planta. Los datos que surgen del muestreo y las pruebas determinan si la mezcla final cumple o no con las especificaciones de diseño y las normas vigentes.

El control de la temperatura es siempre importante en todas las fases de producción de la mezcla asfáltica en caliente.

Además de controlar la temperatura de la mezcla en caliente, existen varias pruebas usadas para determinar si la mezcla en caliente cumple o no con las especificaciones de diseño. Las distintas pruebas para el control de calidad de las mezclas asfálticas en caliente, se podrán realizar muestreándolas directamente después de haberse mezclado o cuando se encuentre perfectamente mezclado y compactado en el lugar de la obra.

Para llevar un buen control de calidad de las mezclas asfálticas en caliente se realizan los siguientes ensayos.

- Contenido de asfalto
- Granulometría
- Densidad de la mezcla
- Porcentaje de vacíos

- Susceptibilidad a la humedad
- Estabilidad Marshall

## **5.1. Ensayo de contenido de asfalto (AASHTO T 168)**

La prueba de contenido de asfalto, o extracción, mide el contenido de asfalto y proporciona el agregado para el ensayo granulométrico de la mezcla,

### **5.1.1. Descripción del ensayo**

Es la revisión final de todas las operaciones individuales que han hecho parte de la producción de la mezcla y puede ser de gran ayuda en la evaluación de la calidad de la mezcla.

Cuando el ensayo muestra variaciones significativas en el contenido de asfalto se deberán revisar todas las operaciones en planta para el mezclado del asfalto con el agregado.

### **5.1.2. Equipo a utilizar**

- Centrífuga
- Tricloroetileno y/o solvente
- Tara de aluminio resistente al calor
- Papel filtro

- Mascarilla protectora para vapores peligrosos
- Guantes para temperaturas altas
- Horno con temperatura máxima 160 °C
- Recipiente plástico con capacidad mínima de 5 galones
- Equipo de protección para quemaduras. Ver sección 2.1.2
- Beaker con capacidad de 500 ml
- Balanza electrónica
- Espátula

### **5.1.3. Procedimiento para realizar la prueba**

- Determinar una muestra de mezcla asfáltica representativa de entre 800 y 1200 gramos, la muestra puede ser extraída directamente del camión que se dirige al lugar de la obra, o extrayendo una pastilla del pavimento terminado.
- Se mete a calentar la mezcla asfáltica en el horno durante dos horas a no más de 160 °C. para que el asfalto se vuelva líquido y pueda ser introducido a la centrífuga.
- Luego de haberse extraído la humedad de la mezcla asfáltica en el horno, se saca la muestra utilizando el equipo completo de protección

para quemaduras y se pesa la mezcla en una tara de aluminio obteniendo el peso bruto antes de la centrífuga.

- colocar la mezcla asfáltica dentro la centrífuga.
- Utilizando la mascarilla y los guantes de látex se colocan 600 mililitros de tricloroetileno dentro de la centrífuga.
- Dispersar la muestra, agregando tricloroetileno de manera controlada, dosificándola adecuadamente con la espátula durante 5 minutos para que la extracción se vuelva más fácil.
- Programar la centrífuga para que empiece a girar y que se comience a extraer el asfalto combinado con el tricloroetileno, se requiere de cuidado para que el líquido expulsado por la centrífuga no se derrame y caiga dentro del recipiente plástico.
- Agregar 600 mililitros de tricloroetileno cada 15 minutos y detener el proceso cuando el solvente expulsado esté totalmente transparente. Los ciclos se deberán repetir hasta que el tricloroetileno expulsado por la centrífuga este totalmente transparente.
- Pesar el agregado obtenido luego de la extracción en la misma tara de aluminio y por diferencia de peso se determinan las proporciones constituyentes de la mezcla.

Se realizó el procedimiento anteriormente descrito obteniendo los siguientes datos (ver figura 31).

Figura 30. **Contenido de asfalto**



Fuente: laboratorio de Asfalguá.

Tabla XXXII. **Resultado de la extracción**

Tara	Peso bruto	Peso neto		Porcentaje de asfalto
321,70 g	1 121,70	800	44,20	5,53
Filtro 11,20 g	1 088,70	755,80	332,90	
332,90 g				

Fuente: elaboración propia.

## 5.2. **Ensayo de granulometría (AASHTO T11)**

Se debe verificar que la proporción de agregado no se haya inalterado por condiciones de desgaste.

### **5.2.1. Descripción del ensayo**

Un análisis granulométrico deberá efectuarse sobre el agregado extraído del ensayo de contenido de asfalto para revisar la graduación y compararla con la gradación especificada en el diseño.

### **5.2.2. Equipo a utilizar**

- Tamices (1", 3/4", 3/8", No 4, No 8, No 50, No 200)
- Tamizadora
- Balanza electrónica
- Tara de aluminio resistente al calor
- Horno con temperatura máxima de 160 °C
- Equipo de protección para quemaduras
- Cucharón metálico

### **5.2.3. Procedimiento para realizar la prueba**

- Posteriormente de haber realizado la prueba de contenido de asfalto el agregado obtenido se mete al horno durante 2 horas, utilizando el equipo de protección para quemaduras, para que este se encuentre libre de humedad.

- Dejar enfriar el agregado durante 24 horas, para que este se encuentre a temperatura ambiente.
- Colocar con un cucharón el agregado y se coloca dentro de los tamices. Los tamices deberán estar ordenados de forma ascendente, colocando el tamiz de abertura más grande en la parte superior, teniendo cuidado de no derramar la muestra.
- Se coloca el agregado en la tamizadora y se tamiza el agregado durante 10 minutos.
- Separado el agregado se procede a pesar de forma acumulada ascendentemente.
- Se determina el porcentaje de agregado retenido en cada tamiz y se compara con los datos de diseño del agregado.

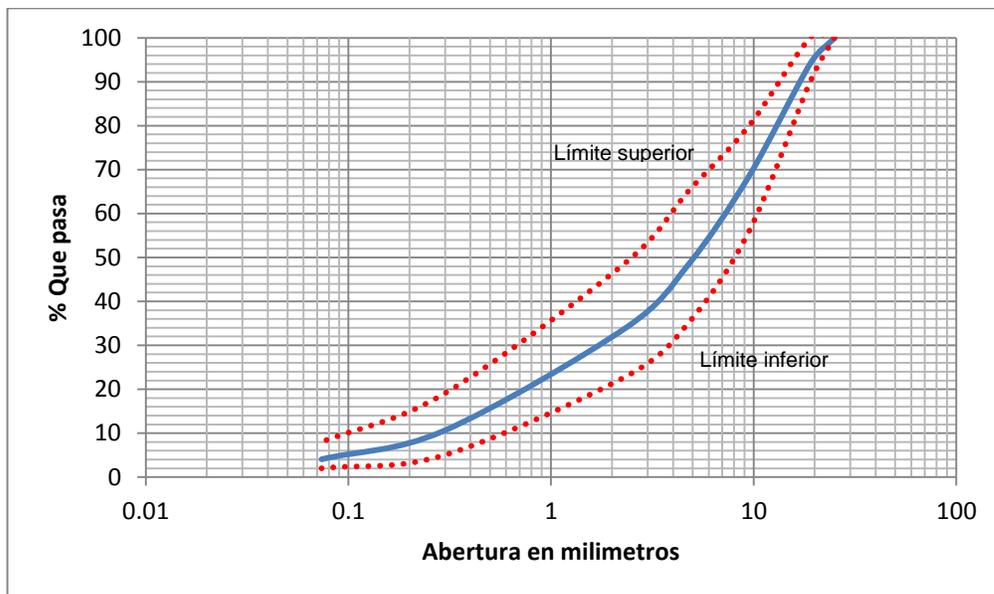
Se tamizó el agregado utilizado en el ensayo de extracción de asfalto de la forma anteriormente descrita obteniendo los siguientes resultados (ver tabla XXXIII y figura 31).

Tabla XXXIII. **Prueba granulométrica de la mezcla**

Prueba granulométrica						
Tamiz	Peso bruto (g)	Tara (g)	peso neto (g)	%Retenido	Porcentaje que pasa (%)	Límite superior e inferior (%)
1"	322,68	321,70	0,98	0,13	99,87	100
3/4"	3.66,33	321,70	44,64	5,92	94,08	90-100
3/8"	558,76	321,70	237,06	31,44	68,56	56-80
No 4	711,52	321,70	389,82	51,70	48,30	29-59
No 8	818,58	321,70	496,88	65,90	34,10	19-45
No 50	995,92	321,70	674,23	89,42	10,58	5-17
No 200	1 045,10	321,70	723,40	95,94	4,05	1-7

Fuente: elaboración propia.

Figura 31. **Granulometría de la mezcla**



Fuente: elaboración propia.

Los datos obtenidos se comparan con las Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes de la Dirección General de Caminos y con los criterios de diseño.

### **5.3. Ensayo de densidad en las mezclas (AASHTO T 209)**

Las determinaciones de densidad en el pavimento terminado son necesarias para garantizar una correcta compactación de la mezcla, estos ensayos se efectúan sobre muestras suministradas del pavimento.

#### **5.3.1. Descripción del ensayo**

Las especificaciones requieren que el pavimento se compacte hasta un porcentaje mínimo de la densidad máxima teórica o de la densidad obtenida mediante compactación en el laboratorio.

Cuando se usa la densidad obtenida mediante compactación de briquetas de laboratorio, las briquetas deben ser compactadas y sus densidades medidas.

#### **5.3.2. Equipo a utilizar**

- Balanza digital
- Balanza para pesar briquetas en el agua
- Perforadora saca núcleos
- Cuchilla

### 5.3.3. Procedimiento para realizar la prueba

- La muestra puede ser extraída directamente del camión o con una perforadora saca núcleos directamente del pavimento
- Extraer cualquier resto de suelo que se le haya quedado pegado a la briqueta extraída del pavimento, raspándola suavemente en las orillas de la misma
- Realizar el procedimiento 4.2.1.3
- Comparar los resultados de la densidad obtenida en el laboratorio con los obtenidos en el pavimento ya terminado. Y determinar que estos valores se encuentren dentro de lo establecido en las *Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes* de la Dirección General de Caminos
- Determinar el porcentaje de compactación en el campo con respecto al del laboratorio, esto se realiza con la siguiente ecuación

$$\%comp = \frac{\delta P}{\delta L} * 100$$

Donde:

$\delta P$ = densidad del pavimento

$\delta L$ =densidad del laboratorio

$\%comp$ = porcentaje de compactación

Por no tratarse de un trabajo de aplicación se realizó el procedimiento descrito anteriormente, con la variante que la briqueta en estudio no se extrajo del pavimento terminado, en su lugar se hizo la briqueta en el laboratorio dejando transcurrir una semana para realizar el ensayo. Se realizó el ensayo y se obtuvieron los siguientes datos.

- Densidad del pavimento: 2 372,2
- Densidad de la briqueta en el laboratorio: 2 374,8
- Porcentaje de compactación 99,88.

Los datos obtenidos son el promedio de, por lo menos, tres briquetas o muestras tomadas.

#### **5.4. Porcentaje de vacíos**

Es una prueba que se realiza al asfalto terminado para determinar si el diseño de mezcla aún posee las condiciones de laboratorio.

##### **5.4.1. Descripción del ensayo**

El porcentaje de vacíos se calcula a partir del peso específico total de cada probeta extraída del pavimento y del peso específico teórico de la muestra, este ensayo se hace para comprobar el porcentaje de vacíos que en realidad posee la muestra.

##### **5.4.2. Equipo a utilizar**

- Perforadora saca núcleos

- Cuchilla
- Balanza electrónica
- Balanza para medir pesos en el agua
- Trapo seco

#### **5.4.3. Procedimiento para realizar la prueba**

- La muestra puede ser extraída directamente del camión que sale de la planta o con una perforadora saca núcleos directamente del pavimento terminado.
- Raspar cualquier resto de suelo que se le haya quedado pegado a la muestra de pavimento.
- Realizar el procedimiento descrito en el numeral 4.2.1.7. hasta el cálculo de vacíos en la mezcla.
- Comparar los resultados de los vacíos obtenidos en el laboratorio con los obtenidos en el pavimento ya terminado. Y determinar que estos valores se encuentre dentro de lo normado en las *Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes* de la Dirección General de Caminos.

Por no tratarse de un trabajo de aplicación se realizó el procedimiento descrito anteriormente, con la variante que la briqueta en estudio no se extrajo del pavimento terminado, en su lugar se hizo la briqueta en el laboratorio

dejando transcurrir una semana para realizar el ensayo. Se realizó el ensayo y se obtuvieron los siguientes datos.

- Vacíos obtenidos en el laboratorio 4,07 %
- Vacíos obtenidos en el pavimento terminado: 4,10 %

Los datos obtenidos son el promedio de, por lo menos, tres briquetas o muestras tomadas.

## **5.5. Ensayo de susceptibilidad a la humedad**

Es necesario que tan susceptible es el pavimento a la humedad por lo cual se realiza este ensayo.

### **5.5.1. Descripción del ensayo**

Eventualmente las mezclas asfálticas presentan problemas asociados a pérdida de adherencia por acción del agua, que no son detectados con la caracterización de los agregados y del mismo ligante durante la elaboración del diseño Marshall.

### **5.5.2. Equipo a utilizar**

- Perforadora saca núcleos
- Baño maría a 60 °C
- Equipo utilizado 4.2.1.4

- Equipo utilizado 4.2.1.7
- Taras

### **5.5.3. Procedimiento para realizar la prueba**

- La muestra podrá ser extraída directamente del camión que lleva la carga de la planta o con la perforadora saca núcleos directamente en el pavimento.
- Raspar cualquier resto de suelo que se le haya quedado pegado a la muestra de pavimento
- Sumergir los núcleos en agua durante 72 horas.
- Realizar el procedimiento determinado en 4.2.1.4.
- Realizar el procedimiento determinado en 4.2.1.7.
- Determinar la diferencia de resultados entre los ensayos obtenidos en laboratorio y los obtenidos en pavimento.
- El porcentaje entre los resultados obtenidos en laboratorio y los obtenidos de los núcleos no deberá ser menor de 80 %.

Se realizó el procedimiento anteriormente descrito obteniendo los siguientes resultados (ver figura 33).

Figura 32. **Estabilidad y fluencia luego de 72 horas en agua**



Fuente: laboratorio de Asfalguá.

Tabla XXXIV. **Susceptibilidad a la humedad**

Prueba	Estabilidad (Lb)	Fluencia	Peso Unitario (Kg/m) <sup>3</sup>	Vacíos (%)
Laboratorio	2 121	12,67	2 374,80	4,07
Pavimento	1 798,80	14,87	2 114,60	3,87

Fuente: elaboración propia.

### 5.6. **Ensayo de estabilidad Marshall de mezclas asfálticas**

El valor de estabilidad Marshall es una medida de la carga bajo la cual una probeta cede o falla totalmente.

### **5.6.1. Descripción del ensayo**

Durante el ensayo, cuando la carga es aplicada lentamente, los cabezales superiores e inferiores 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.

### **5.6.2. Equipo a utilizar**

- Perforadora saca núcleos
- Cuchilla
- Aparato Marshall
- Baño maría con temperatura a 60 °C
- Trapo seco

### **5.6.3. Procedimiento para realizar la prueba**

- La muestra puede ser tomada directamente del camión que lleva la muestra o con una perforadora saca núcleos directamente del pavimento terminado.
- Raspar cualquier resto de suelo que se le haya quedado pegado a la muestra de pavimento.
- Realizar el procedimiento descrito en el numeral 4.2.1.7. para el cálculo de estabilidad.

- Comparar los resultados de la estabilidad obtenida en el laboratorio con los obtenidos en el pavimento ya terminado. Y determinar que estos valores se encuentre dentro de lo normado en las *Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes* de la Dirección General de Caminos.

Por no tratarse de un trabajo de aplicación se realizó el procedimiento descrito anteriormente, con la variante que la briqueta en estudio no se extrajo del pavimento terminado, en su lugar la briqueta se hizo en el laboratorio dejando transcurrir una semana para realizar el ensayo. Se realizó el ensayo y se obtuvieron los siguientes datos.

- Estabilidad en el laboratorio: 2 121,00
- Estabilidad en el pavimento terminado: 1 798,80

Los datos obtenidos son el promedio de por lo menos tres briquetas o muestras tomadas.



## CONCLUSIONES

1. El punto óptimo de asfalto calculado en este trabajo por el método Marshall cumple con las especificaciones requeridas por las *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes* 2001 Dirección General de Caminos.
2. Se tiene que tener principal cuidado en controlar la temperatura de la mezcla asfáltica, ya que influye de gran manera en las propiedades de la mezcla.
3. Si en la elaboración de las gráficas calculadas se nota un cambio abrupto en la tendencia, se deberá revisar el procedimiento y los cálculos realizados, ya que las gráficas deben poseer una tendencia uniforme.
4. Con el aumento del porcentaje de asfalto ciertas propiedades se modifican, por lo cual se determina un punto óptimo, donde se cumplan las propiedades volumétricas propuestas en la normativa.
5. El presente trabajo de graduación es una contribución a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, para mejorar la enseñanza–aprendizaje, en el curso de Pavimentos en la carrera de Ingeniería Civil, en lo referente a diseño de mezclas asfálticas en caliente por el método Marshall.

6. El presente trabajo es un manual de laboratorio que ofrece una bibliografía fácil de comprender e interpretar, facilitando la realización de los ensayos y a obtención de datos en laboratorio.
7. El presente trabajo determina las causas por las cuales el pavimento tiende a fallar, y recomienda las propiedades que se tienen que modificar para que el pavimento se comporte de la manera prevista y prevenir fallas en él.
8. El incremento en el porcentaje de asfalto para el diseño Marshall, puede ser aumentado según criterio y experiencia. El porcentaje inicial se determina de acuerdo a la experiencia y criterio del diseñador.
9. El asfalto utilizado para la realización de este trabajo de graduación es tipo AC-20, extraído y procesado en la refinería La Libertad, en el departamento de Petèn, cumple con la normativa propuesta por AASHTO y ASTM, los agregados utilizados en el diseño de mezcla asfáltica convencional utilizando AC-20, cumplen con la normativa descrita en *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes*, 2 001, de la Dirección General de Caminos, específicamente la sección 401 (Pavimentos de concreto asfáltico en caliente).

## RECOMENDACIONES

1. Es necesario obtener muestras que sean representativas de la mezcla asfáltica en caliente, para así obtener resultados que demuestren las condiciones del pavimento.
2. Al realizar ensayos a los asfaltos y mezclas asfálticas es importante el control de la temperatura de estos.
3. Procurar la calibración, mantenimiento y cuidado del equipo para la elaboración de los ensayos; de este modo se asegurara una adecuada obtención de datos. Asimismo, elaborar las gráficas de las pruebas de la manera más exacta posible, para evitar errores que puedan transformarse en datos poco confiables.
4. El laboratorio debe utilizar el equipo de seguridad en todo momento en la realización de los ensayos para el control de calidad del asfalto y mezclas asfálticas.
5. Realizar trabajos de investigación dando a conocer otros métodos de diseño para mezclas asfálticas en caliente.



## BIBLIOGRAFÍA

1. *Annual Book of ASTM standards, Section 4, Construction, Volume 04.03. Road and paving materials, vehicle- Pavements, Systems, ASTM international.* 2005. EE.UU, 721 p.
2. AVELLAN CRUZ, Dina. *Asfaltos modificados con polímeros.* Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería 2007. 125p.
3. Dirección General de Caminos. *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes.* Guatemala: MICIVI, 2001 sección 400, 22 p.
4. GARBER J., Nicolás. *Ingeniería de tránsito y carreteras.* 3a ed. Guatemala. Thomson 2004, 895 p.
5. MONTEJO, Alfonso, *Ingeniería de pavimentos fundamentos estudios básicos y diseño.* 3a ed. Medellín: Universidad Católica de Colombia. 568 p.
6. *Principles of construction of Hot Mix Asphalt Pavements. Asphalt Institute Manual Series No 22:* EE.UU. 1997, 423 p.



## APÉNDICE

## Resultado de ensayo de desintegración del agregado



### DESINTEGRACION DE LOS AGREGADOS POR ABRASION E IMPACTO EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES ASTM C 131

Fecha: 7 de mayo de 2013  
Material: Agregado 1/4" a 0  
Procedencia del material: Agreca  
Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad  
Tamaño nominal máximo: 1/4"

Graduación D No. De esferas 6 Peso de la carga 2,512g

#### Peso de la carga

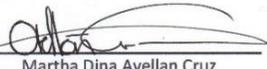
Pasa	Retenido	Tara (g)	Peso Bruto (g)	Peso Neto (g)
3/8"	No 4	316.90	2,816.90	2,500.00
No 4	No 8	316.90	2,816.90	2,500.00
Total				5,000.00

#### PESO DEL MATERIAL SECO TAMIZADO (MALLA No 12)

Peso bruto 4,360.00 gramos  
Tara 186.10 gramos  
Peso neto 4,173.90 gramos

PERDIDA (%): 16.52%

Efectuó:   
Eddy Efrain Arriaza Mejia

Vo.Bo.   
Inge. Martha Dina Avellan Cruz



Fuente: laboratorio de Asfalguá.

## Resultados de ensayo de desintegración del agregado



### DESINTEGRACION DE LOS AGREGADOS POR ABRASION E IMPACTO EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES ASTM C 131

Fecha: 8 de mayo de 2013  
 Material: Agregado 3/8" a No 8  
 Procedencia del material: Agreca  
 Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad  
 Tamaño nominal máximo: 3/8"

Graduación C      No. De esferas 8      Peso de la carga 3,350g

**Peso de la carga**

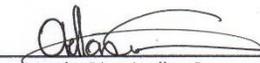
Pasa	Retenido	Tara (g)	Peso Bruto(g)	Peso Neto (g)
1/2"	3/8"	316.90	2,818.00	2,501.10
3/8"	No 4	316.90	2,816.90	2,500.00
Total				5,001.10

**PESO DEL MATERIAL SECO TAMIZADO (MALLA No 12)**

Peso bruto 4,728.00 gramos  
 Tara 442.00 gramos  
 Peso neto 4,286.00 gramos

PERDIDA (%): 14.30%

Efectuó:   
Eddy Efrain Arriaza Mejia

Vo.Bo.   
 Inga. Martha Dina Avellan Cruz



Fuente: laboratorio de Asfalguá.

## Resultado de ensayo de desintegración del agregado



### DESINTEGRACION DE LOS AGREGADOS POR ABRASION E IMPACTO EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES ASTM C 131

Fecha: 8 de mayo de 2013  
 Material: Agregado 1" a No 56  
 Procedencia del material: Agreca  
 Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad  
 Tamaño nominal máximo: 1"

Graduación B No. De esferas 11 Peso de la carga 4,582g

#### Peso de la carga

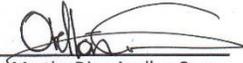
Pasa	Retenido	Tara (g)	Peso Bruto(g)	Peso Neto(g)
1"	3/4"	316.90	2,818.10	2,501.20
3/4"	1/2"	316.90	2,816.90	2,500.00
Total				5,001.20

#### PESO DEL MATERIAL SECO TAMIZADO (MALLA No 12)

Peso bruto 4,788.00 gramos  
 Tara 442.00 gramos  
 Peso neto 4,346.00 gramos

PERDIDA (%): 13.10%

Efectuó:   
 Eddy Efraim Arriaza Mejía

Vo.Bo.   
 Inga. Martha Dina Avellan Cruz



Fuente: laboratorio de Asfalagua.

## Resultado de ensayo de angularidad del agregado



### ENSAYO DE ANGULARIDAD PARA AGREGADO FINO (AASHTO TP 33)

Fecha: 15 de mayo de 2013  
 Material: Agregado de 1/4" a 0"  
 Procedencia del material: Agreca  
 Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad  
 Tamaño nominal máximo: 1/4"  
 Método: A

Peso bruto 339.90 g  
 Tara 189.30 g

Cantidad de agregado			Angularidad 1/4" metodo A		
pasa	retiene	Peso (g)	Variables		Cantidad
No 8	No 16	44	V=	Volumen del cilindro en ml	100
No 16	No 30	57	F=	Peso neto del agregado(g)	150.60
No 30	No 50	72	G=	Gravedad especifica	2.68
No 50	No 100	17	U=	Porcentaje de vacios	43.81
Peso total		190			

Formula Utilizada:

$$U = \frac{V - (F/G)}{V} * 100$$

Efectuó:   
 Eddy Efrain Arriaza Mejia

Vo.Bo.   
 Inga. Martha Dina Avellan Cruz



Fuente: laboratorio de Asfalgua.

## Resultado de ensayo de angularidad del agregado



### ENSAYO DE ANGULARIDAD PARA AGREGADO FINO (AASHTO TP 33)

Fecha: 16 de mayo de 2013  
Material: Agregado de 1/4" a 0"  
Procedencia del material: Agreca  
Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad  
Tamaño nominal máximo: 1/4"  
Método: C

Peso bruto 352.60 g  
Tara 189.30 g

Angularidad 1/4" metodo C		
	Variables	Cantidad
V=	Volumen del cilindro en ml	100.00
F=	Peso neto del agregado (g)	163.30
G=	Gravedad específica	2.68
U=	Porcentaje de vacíos	39.07

Formula Utilizada:

$$U = \frac{V - (F/G)}{V} * 100$$

Efectuó:   
Eddy Efrain Arriaza Mejia

Vo.Bo.   
Inga. Martha Dina Avellan Cruz



Fuente: laboratorio de Asfalgua.

## Resultado de ensayo de desintegración por sulfato del agregado



### DESINTEGRACION DE LOS AGREGADOS POR SULFATO AASHTO T-104

Fecha: 9 de mayo de 2013  
Material: Agregado de 1/4" a 0"  
Procedencia del material: Agreca  
Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad  
Tamaño nominal máximo: 1/4"  
Tipo de sulfato: Sulfato de sodio.

Tamiz	Peso (g)	Ciclo 4 (g)
Pasa No30 retiene No50	100	88.3
Pasa No16 retiene No30	100	94.8
Pasa No 8 retiene No 16	100	92.8
Pasa No 4 retiene No 8	100	89.7
Totales	400	365.6

% de pérdida permitido : 12.00%

% de pérdida del agregado: 8.60%

Efectuó:   
Eddy Efraín Arriaza Mejía

Vo.Bo.   
Inga Martha Dina Avellan Cruz

 Tecnología  
Experiencia  
Calidad  
11 Avenida 38-40, Zona 11 las Charcas  
PBX.2463-3500

Fuente: laboratorio de Asfalgua.

## Resultado de ensayo de desintegración por sulfato del agregado



### DESINTEGRACION DE LOS AGREGADOS POR SULFATO AASHTO T-104

Fecha: 9 de mayo de 2013  
Material: Agregado de 3/8" a No. 8  
Procedencia del material: Agreca  
Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad  
Tamaño nominal máximo: 3/8"  
Tipo de sulfato: Sulfato de sodio.

Tamiz	Peso (g)	Ciclo 4 (g)
Pasa 3/8" retiene No 4	330.1	294.6
Pasa 1/2" retiene 3/8"	330.2	295.9
Totales	660.3	590.5

% de pérdida permitido : 12.00%

% de pérdida del agregado: 10.57%

Efectuó:   
Eddy Efraín Arriaza Mejía

Vo.Bo.   
Inga. Martha Dina Avellan-Cruz



Fuente: laboratorio de Asfalguá.

## Resultado de ensayo de desintegración por sulfato del agregado



### DESINTEGRACION DE LOS AGREGADOS POR SULFATO AASHTO T-104

Fecha: 9 de mayo de 2013  
Material: Agregado de 1" a No. 56  
Procedencia del material: Agreca  
Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad  
Tamaño nominal máximo: 1"  
Tipo de sulfato: Sulfato de sodio.

Tamiz	Peso (g)	Ciclo 4 (g)
pasa 1" retiene 3/4"	500.8	447
Totales	500.8	447

% de pérdida permitido : 12.00%

% de pérdida del agregado: 10.74%

Efectuó:   
Eddy Efraín Arriaza Mejía

Vo.Bo.   
Inga. Martha Dina Avellan Cruz

 **ASFALGUA** Tecnología, Experiencia, Calidad  
11 Avenida 38-40, Zona 11 las Charcas  
PBX 2463-3500

Fuente: laboratorio de Asfalagua.

## Resultado de ensayo de equivalente de arena del agregado



### EQUIVALENTE DE ARENA AASHTO T - 176

Fecha: 20 de mayo de 2013  
 Material: Agregado de 1/4" a 0"  
 Procedencia del material: Agreca  
 Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad  
 Tamaño nominal máximo: 1/4"  
 Ciclos: 90  
 Tiempo de reposo luego de los ciclos: 20 minutos  
 Tiempo de reposo antes de los ciclos: 10 minutos

Equivalente de arena probeta 1			
Arena	2.2	% de arena	88.00%
Arcilla	2.5		

Equivalente de arena probeta 2			
Arena	2.4	% de arena	88.89%
Arcilla	2.7		

Promedio de los dos ensayos: 88.44%

Nota: Debajo de 35% no permite las Especificaciones Generales para la Construcción de carreteras y puentes

Efectuó:   
Eddy Efraim Arriaza Mejía

Vo.Bo.   
Inga. Martha Dina Avellan Cruz



Fuente: laboratorio de Asfalgua.

## Resultado de ensayo granulométrico del agregado



### GRANULOMETRIA DEL AGREGADO ASTM D 1515

Fecha: Lunes 6 de mayo de 2013  
 Material: Agregado de 1/4" a 0"  
 Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad  
 Tamaño máximo nominal: 1/4 Pulgada  
 Procedencia del material: Agreca  
 Peso Bruto total: 1,414.60 gramos  
 Tara : 316.9 gramos  
 Peso Neto total: 1,097.70 gramos

Tamiz	Peso bruto (g)	Tara (g)	Peso neto (g)	% retenido	% que pasa
1/2"	-	316.90	-	-	100.00
No 4	-	316.90	-	-	100.00
No 8	557.20	316.90	240.30	21.89	78.11
No 50	1,144.20	316.90	827.30	75.37	24.63
No 200	1,323.00	316.90	1,006.10	91.66	8.34

Peso bruto humedo: 1,419.90 gramos  
 Peso bruto seco: 1,414.60 gramos  
 Tara: 316.90 gramos  
 Porcentaje de humedad: 0.48%

Efectuó:   
 Eddy Efrain Arriaza Mejia

Vo.Bo. Inga.   
 Martha Dina Avellan-Cruz

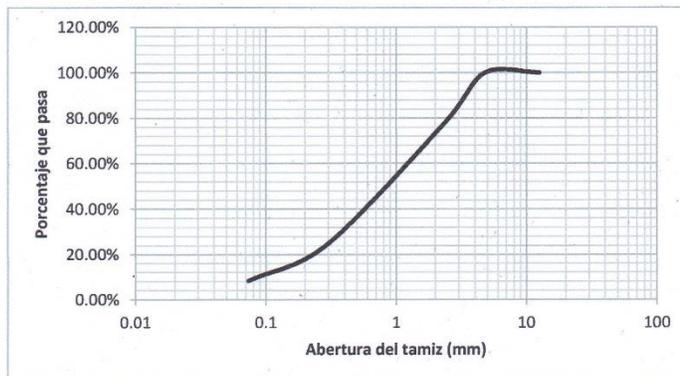


Fuente: laboratorio de Asfalgua.

## Grafica granulométrica del agregado

### GRAFICA GRANULOMETRICA AGREGADO 1/4" a 0"

Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
1/2"	12.5	100.00%
No. 4	4.75	100.00%
No. 8	2.36	78.11%
No. 50	0.29718	24.63%
No. 200	0.07366	8.34%



Efectuó:   
Eddy Efrain Arriaza Mejia

Vo.Bo.   
Inga. Martha Dina Avellan Cruz

 **ASFALGUA** Tecnología  
Experiencia  
Calidad  
11 Avenida 38-60, Zona 11 las Charcas  
PBX.2463-3800

Fuente: laboratorio de Asfalguá.

## Resultado de ensayo granulométrico del agregado



### GRANULOMETRIA DEL AGREGADO ASTM D 1515

Fecha: Lunes 6 de mayo de 2013  
 Material: Agregado de 3/8" a No. 8  
 Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad  
 Tamaño máximo nominal: 3/8 Pulgada  
 Procedencia del material: Agreca  
 Peso Bruto total: 1,034.20 gramos  
 Tara : 317.3 gramos  
 Peso Neto total: 716.9 gramos

Tamiz	Peso bruto (g)	Tara (g)	Peso neto (g)	% retenido	% que pasa
1/2"	-	316.90	-	-	100.00
3/8"	424.60	316.90	107.70	15.02	84.98
No 4	944.40	316.90	627.50	87.53	12.47
No 8	1,026.10	316.90	709.20	98.93	1.07
No 50	1,027.80	316.90	710.90	99.16	0.84
No 200	1,029.10	316.90	712.20	99.34	0.66

Peso bruto humedo: 1,034.30 gramos  
 Peso bruto seco: 1,029.30 gramos  
 Tara: 316.90 gramos  
 Porcentaje de humedad: 0.70%

Efectuó:   
 Eddy Efrain Arriaza Mejia

Vo.Bo.   
 Inga. Martha Dina Avellan Cruz

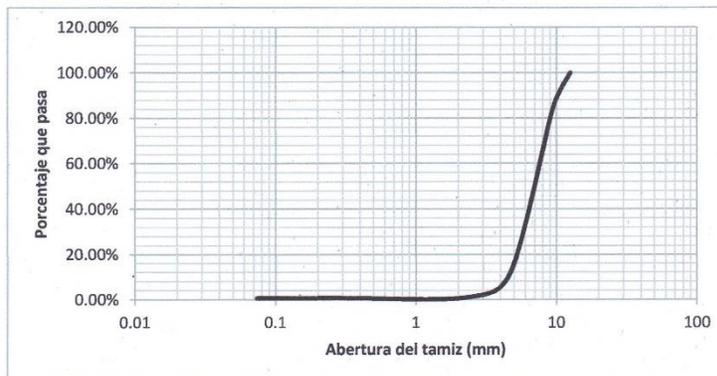


Fuente: laboratorio de Asfalguá.

## Grafica granulométrica del agregado

### GRAFICA GRANULOMETRICA AGREGADO 3/8" a No. 8

Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
1/2"	12.5	100.00%
3/8"	9.5	84.94%
No. 4	4.75	12.47%
No. 8	2.36	1.07%
No. 50	0.29718	0.84%
No. 200	0.07366	0.66%



Efectuó:   
Eddy Efrain Arriaza Mejia

Vo.Bo.   
Inga. Martha Dina Avellan-Gruz

 **ASFALGUA** Tecnología  
Experiencia  
Calidad  
!! Avenida 38-40, Zona 11 las Charcas  
PBX 2463-3500

Fuente: laboratorio de Asfalgua.

## Resultado de ensayo granulométrico del agregado



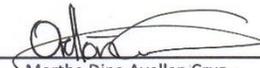
### GRANULOMETRIA DEL AGREGADO ASTM D 1515

Fecha: Lunes 7 de mayo de 2013  
 Material: Agregado de 1" a No. 56  
 Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad  
 Tamaño máximo nominal: 1 Pulgada  
 Procedencia del material: Agreca  
 Peso Bruto total: 1,854 gramos  
 Tara : 317.8 gramos  
 Peso Neto total: 1,536 gramos

Tamiz	Peso bruto (g)	Tara (g)	Peso neto (g)	% retenido	% que pasa
1"	-	316.90	-	-	1.00
3/4"	848.60	316.90	531.70	34.62	65.38
3/8"	1,822.70	316.90	1,505.80	98.03	1.97
No 4	1,845.90	316.90	1,529.00	99.54	0.46
No 8	1,845.90	316.90	1,529.00	99.54	0.46
No 50	1,846.60	316.90	1,529.70	99.59	0.41
No 200	1,847.60	316.90	1,530.70	99.65	0.35

Peso bruto humedo: 1,854.10 gramos  
 Peso bruto seco: 1,849.90 gramos  
 Tara: 316.90 gramos  
 Porcentaje de humedad: 0.27%

Efectuó:   
 Eddy Efraín Arriaza Mejía

Vo.Bo.   
 Inga. Martha Dina Avellan Cruz

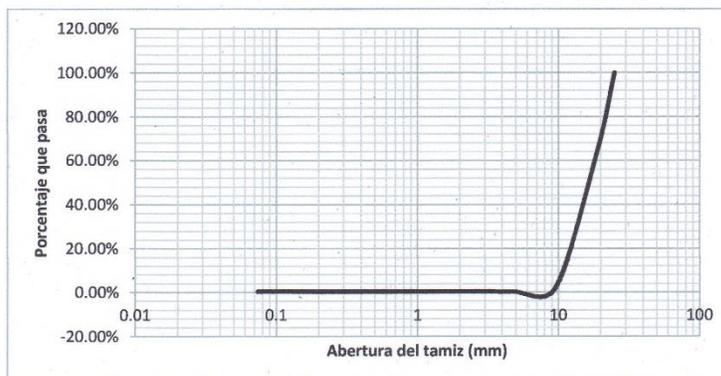


Fuente: laboratorio de Asfalguá.

## Grafica granulométrica del agregado

### GRAFICA GRANULOMETRICA AGREGADO 1" a No. 56

Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
1"	25	100.00%
3/4"	19	65.39%
3/8"	9.5	1.98%
No. 4	4.75	0.47%
No. 8	2.36	0.47%
No.50	0.29718	0.42%
No. 200	0.07366	0.36%



Efectuó:   
Eddy Efrain Arriaza Mejia

Vo.Bo.   
Inga. Martha Dina Avellen-Cruz

 **ASFALGUA** Tecnología  
Experiencia  
Calidad  
11 Avenida 38-40, Zona 11 las Charcas  
PBX 2463-3500

Fuente: laboratorio de Asfalgua.

## Resultado de ensayo de gravedad especifica del agregado



### GRAVEDAD ESPECIFICA AASHTO D854 - 07

Fecha: 14 de mayo de 2013  
 Material: Agregado de 1/4" a 0"  
 Procedencia del material: Agreca  
 Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad

Tara: Matraz, agua y tapón. Gramos  
 A: Peso seco al aire Gramos  
 B: Peso seco saturado al aire Gramos  
 C: B- (tara ) Gramos

Gravedad especifica. 1/4" a 0"				
A=	495.40	Gsb=	2.6592	% humedad
B=	500.00	Gss=	2.6838	
C=	313.70	Gsa=	2.7265	0.92%

Gsb: Gravedad especifica bruta. %w Porcentaje de humedad  
 Gss: Gravedad especifica seco saturada.  
 Gsa: Gravedad especifica aparente

#### Ecuaciones Utilizadas.

$$Gsb = \frac{A}{B - C}$$

$$Gss = \frac{B}{B - C}$$

$$Gsa = \frac{A}{A - C}$$

$$\%w = \frac{B - A}{B}$$

Efectuó:   
 Eddy Efrain Arriaza Mejia

Vo.Bo.   
 Inga. Martha Dina Avellan Cruz



Fuente: laboratorio de Asfalguá.

## Resultado de ensayo de gravedad especifica del agregado



### GRAVEDAD ESPECIFICA AASHTO D854 - 07

Fecha: 15 de mayo de 2013  
 Material: Agregado de 3/8" a No. 8  
 Procedencia del material: Agreca  
 Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad

Tara: Matraz, agua y tapón. Gramos  
 A: Peso seco al aire Gramos  
 B: Peso seco saturado al aire Gramos  
 C: B-tara Gramos

Gravedad específica. 3/8" a No. 8				
A=	411.50	Gsb=	2.6617	% humedad
B=	413.90	Gss=	2.6772	
C=	259.30	Gsa=	2.7037	

Gsb: Gravedad específica bruta. %w= Porcentaje de humedad  
 Gss: Gravedad específica seco saturada.  
 Gsa: Gravedad específica aparente

#### Ecuaciones Utilizadas.

$$Gsb = \frac{A}{B - C}$$

$$Gss = \frac{B}{B - C}$$

$$Gsa = \frac{A}{A - C}$$

$$\%w = \frac{B - A}{B}$$

Efectuó:   
 Eddy Efrain Arriaza Mejia

Vo.Bo.   
 Inga. Martha Dina Avellan Cruz



Fuente: laboratorio de Asfalagua.



## Resultado de ensayo de partículas planas y alargadas del agregado



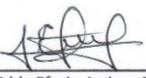
### PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS. ASTM D 4791

Fecha: 13 de mayo de 2013  
 Material: Agregado de 3/8" a No. 8  
 Procedencia del material: Agreca  
 Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad  
 Tamaño nominal máximo: 3/8"

Partículas planas y alargadas 3/8" relación 1/3		
Total del material (g)	200	100%
Partículas planas (g)	20.7	10.35%
Partículas restantes (g)	179	89.50%

Partículas planas y alargadas 3/8" relación 1/5		
Total del material (g)	20.7	100%
Partículas planas (g)	0	0.00%
Partículas restantes (g)	20.7	100.00%

#### Partículas planas y alargadas 8% máximo relación 1/5

Efectuó:   
 Eddy Efrain Arriaza Mejia

Vo.Bo.   
 Inga. Martha Dina Aveltan Cruz

**ASFALGUA**  
 Tecnología Experiencia Calidad  
 11 Avenida 38-60, Zona PBX

Fuente: laboratorio de Asfalguia.

## Resultado de ensayo de partículas planas y alargadas del agregado



### PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS. ASTM D 4791

Fecha: 13 de mayo de 2013  
 Material: Agregado de 1" a No. 56  
 Procedencia del material: Agreca  
 Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad  
 Tamaño nominal máximo: 3/8"

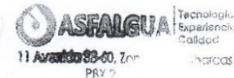
Partículas planas y alargadas 1" relación 1/3		
Total del material(g)	500.5	100%
Partículas planas(g)	17.5	3.50%
Partículas restantes (g)	483	96.50%

Partículas planas y alargadas 1" relación 1/5		
Total del material (g)	17.52	100%
Partículas planas(g)	0	0.00%
Partículas restantes (g)	17.52	100.00%

#### Partículas planas y alargadas 8% máximo relación 1/5

Efectuó:   
 Eddy Efrain Arriaza Mejia

Vo.Bo.   
 Inga. Martha Dina Avellan Cruz



Fuente: laboratorio de Asfalguá.

## Resultado de ensayo de peso unitario del agregado



### PESO UNITARIO AASHTO T - 19

Fecha: 9 de mayo de 2013  
Material: Agregado de 1/4" a 0"  
Procedencia del material: Agreca  
Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad  
Tamaño nominal máximo: 1/4"

Peso unitario suelto		
Peso bruto	9.210	Kg
Tara	5.588	kg
Peso neto	3.621	kg
Volumen tara	0.0020865	m <sup>3</sup>
P.U.	1,735.55	Kg/m <sup>3</sup>

Peso unitario mínimo AASHTO T 19 1,360.00 Kg/m<sup>3</sup>

Efectuó:   
Eddy Efraín Arriaza Mejía

Vo.Bo.   
Inga. Martha Dina Avellan Cruz

 Tecnología  
Experiencia  
Calidad  
11 Avenida 38-60, Zona 11 las Charcas  
PBX 2463-3500

Fuente: laboratorio de Asfalagua

## Resultado de ensayo de peso unitario del agregado



### PESO UNITARIO AASHTO T - 19

Fecha: 10 de mayo de 2013  
 Material: Agregado de 3/8" a No. 8  
 Procedencia del material: Agreca  
 Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad  
 Tamaño nominal máximo: 3/8"

Peso unitario suelto	
Peso bruto	8.568 Kg
Tara	5.588 kg
Peso neto	2.980 Kg
Volumen tara	0.0020865 m <sup>3</sup>
P. U.	1,428.29 Kg/m <sup>3</sup>

Peso unitario varillado	
Peso bruto	8.905 Kg
Tara	5.590 kg
Peso neto	3.315 kg
Volumen tara	0.0020865 m <sup>3</sup>
Pu	1,588.79 Kg/m <sup>3</sup>

Peso unitario mínimo AASHTO T 19 1,360.00 Kg/m<sup>3</sup>

Efectuó:   
Eddy Efraín Arriaza Mejía

Vo.Bo.   
 Ings. Martha Dina Avellan Cruz



Fuente: laboratorio de Asfalguá.

## Resultado de ensayo de peso unitario del agregado



### PESO UNITARIO AASHTO T - 19

Fecha: 11 de mayo de 2013  
 Material: Agregado de 1" a No. 56  
 Procedencia del material: Agreca  
 Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad  
 Tamaño nominal máximo: 1"

Peso unitario suelto	
Peso bruto	8.590 Kg
Tara	5.590 kg
Peso neto	3.000 kg
Volumen tara	0.0020865 m <sup>3</sup>
Pu	1,437.97 Kg/m <sup>3</sup>

Peso unitario varillado	
Peso bruto	8.869 Kg
Tara	5.590 kg
Peso neto	3.279 kg
Volumen tara	0.0020865 m <sup>3</sup>
Pu	1,571.41 Kg/m <sup>3</sup>

Peso unitario mínimo AASHTO T 19 1,360.00 Kg/m<sup>3</sup>

Efectuó:   
 Eddy Efraín Arriaza Mejía

Vo.Bo.   
 Inga. Martha Dina Avellan Cruz



Fuente: laboratorio de Asfalgua.

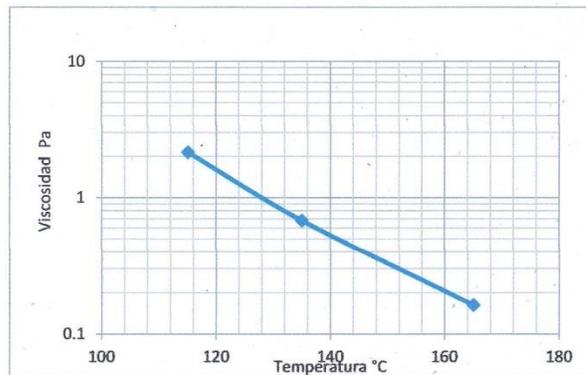
## Control de calidad de AC-20



### CONTROL DE CALIDAD DEL CEMENTO ASFALTICO

Fecha: 3 de Junio a 1 de julio de 2013  
 Material: AC-20  
 Procedencia del material: Perenco, Guatemala  
 Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad.

Analisis	Especificacion	RESULTADO	Dimensional
Penetracion	ASTM D - 5	75	d/mm
Punto de ablandamiento	ASTM D - 3695	51.5	°C
Recuperacion por torsion	-----	6	%
Peso especifico	ASTM D- 70	1.0596866	
Envejecimiento y oxidacion del cemento asfaltico.			
Penetracion	D - 2872	43	d/mm
Punto de ablandamiento	D - 2872	64.5	°C
Perdida de masa	D - 2872	0.29	%



Viscosidad	
Temperatura (°C)	Viscosidad (pa)
115	2.144
135	0.68125
164.5	0.1625

Efectuó

Eddy Efrain Arriaza Mejia

Vo.Bo.

Inga.

Martha Dina Aveilan Cruz



Fuente: laboratorio de Asfalgua.

## Resultado de ensayo de punto de ablandamiento del asfalto



### PUNTO DE ABLANDAMIENTO (ASTM D - 3695)

Fecha: 4 de Junio de 2013  
Material: AC-20  
Procedencia del material: Perenco, Guatemala  
Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad.

Sumergido en : Agua

Nota: Se utilizó agua ya que el punto de ablandamiento es menor que 100°C

Bolas	Temperatura a la que topo el fondo (°C)
Lado derecho	52
Lado izquierdo	52

Temperatura promedio a la que topo el fondo 52 (°C)

Efectuó   
Eddy Efraín Arriaza Mejía

Vo.Bo.   
Inga. Martha Dina Avellan-Cruz

 Tecnología  
Experiencia  
Calidad  
11 Avenida 38-40, Zona 11 las Charcas  
PBX 2463-3500

Fuente: laboratorio de Asfalgua.

## Resultado de ensayo de punto de ablandamiento del asfalto



### PUNTO DE ABLANDAMIENTO (ASTM D - 3695)

Fecha: 4 de Junio de 2013  
Material: AC-20  
Procedencia del material: Perenco, Guatemala  
Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad.

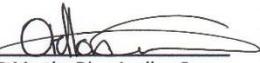
Sumergido en : Agua

Nota: Se utilizo agua ya que el punto de ablandamiento es menor que 100°C

Bolas	Temperatura a la que topo el fondo (°C)
Lado derecho	52
Lado izquierdo	51

Temperatura promedio a la que topo el fondo 51.5 (°C)

Efectuò   
Eddy Efrain Arriaza Mejia

Vo.Bo.   
Inga. Martha Dina Avellan Cruz



Fuente: laboratorio de Asfalgua.

## Resultado de ensayo de película delgada del asfalto



### PELICULA DELGADA RTFO (ASTM D - 2872)

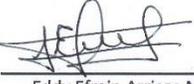
Fecha: 3 de Junio de 2013  
Material: AC-20  
Procedencia del material: Perenco, Guatemala  
Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad.

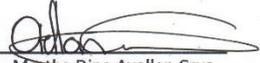
#### Pérdida de masa.

Antes de la prueba		
Peso bruto(g)	Tara(g)	Peso neto(g)
192	156.9	35.1

Después de la prueba		
Peso Pruto(g)	Tara(g)	Peso neto(g)
191.9	156.9	35

Pérdida de masa= 0.29%

Efectuó   
Eddy Efraín Arriaza Mejía

Vo.Bo.   
Inga. Martha Dina Avellan Cruz

 Tecnología  
Experiencia  
Calidad  
11 Avenida 38-60, Zona 11 las Charcas  
PBX 2443-3500

Fuente: laboratorio de Asfalagua.

## Resultado de ensayo de película delgada del asfalto



### PELICULA DELGADA RTFO (ASTM D - 2872)

Fecha: 3 de Junio de 2013  
Material: AC-20  
Procedencia del material: Perenco, Guatemala  
Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad.

#### Pérdida de masa.

Antes de la prueba		
Peso bruto(g)	Tara(g)	Peso neto(g)
190.7	155.6	35.1

Después de la prueba		
Peso Pruto (g)	Tara(g)	Peso neto(g)
190.5	155.6	34.9

Pérdida de masa= 0.57%

Efectuó   
Eddy Efrain Arriaza Mejia

Vo.Bo.   
Inga. Martha Dina Avellan Cruz



Fuente: laboratorio de Asfalguá.

## Resultado de ensayo de película delgada del asfalto



### PELICULA DELGADA RTFO (ASTM D - 2872)

Fecha: 3 de Junio de 2013  
 Material: AC-20  
 Procedencia del material: Perenco, Guatemala  
 Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad.  
 Temperatura: 25 °C

#### Prueba de penetración

Antes de la Prueba	
No Penetracion	Medida (0.1mm)
1	74
2	71
3	73
4	73
5	73

Despues de la Prueba	
No Penetracion	Medida(0.1mm)
1	41
2	43
3	44
4	41
5	44

Promedio de penetración antes del RTFO (0.1mm) 73.

Promedio de penetración despues del RTFO (0.1mm) 43

Efectuó   
Eddy Efrain Arriaza Mejia

Vo.Bo.   
Inga. Martha Dina Avellan-Cruz



Fuente: laboratorio de Asfalgua.

## Resultado de ensayo de película delgada del asfalto



### PELICULA DELGADA (ASTM D - 2872)

Fecha: 4 de Junio de 2013  
Material: AC-20  
Procedencia del material: Perenco, Guatemala  
Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad.

#### Punto de ablandamiento

Sumergido en : Glicerina

Antes de la prueba RTFO	
Bolas	Temperatura a la que topo el fondo (°C)
Lado derecho	52
Lado izquierdo	52

Después de la prueba RTFO	
Bolas	Temperatura a la que topo el fondo (°C)
Lado derecho	64
Lado izquierdo	65

Temperatura promedio a la que topo el fondo (°C) 52

Temperatura promedio a la que topo el fondo (°C) 64.5

Efectuó   
Eddy Efrain Arriaza Mejia

Vo.Bo.   
Inga. Martha Dina Avellan Cruz



Fuente: laboratorio de Asfalguá.

## Resultado de ensayo de penetración del asfalto



### ENSAYO DE PENETRACION A 25 °C (ASTM D - 5)

Fecha: 10 de Junio de 2013  
Material: AC-20  
Procedencia del material: Perenco, Guatemala  
Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad.  
Temperatura: 25 °C

Dimensional: 0.1 mm  
Peso Bruto: 187.2 gramos  
Tara: 13.3 gramos  
Peso Neto: 173.9 gramos

No. Penetración	Medida (0.1mm)
1	74
2	71
3	73
4	73
5	73

Promedio de penetración 73 (0.1mm)

Efectuó   
Eddy Efraín Arriaza Mejía

Vo.Bo.   
Inga. Martha Dina Avellan Cruz

 Tecnología  
Experiencia  
Calidad  
11 Avenida 38-60, Zona 11 las Charcas  
PBX 2443-3500

Fuente: laboratorio de Asfalgua.

## Resultado de ensayo de penetración del asfalto



### ENSAYO DE PENETRACION A 25 °C (ASTM D - 5)

Fecha: 3 de Junio de 2013  
Material: AC-20  
Procedencia del material: Perenco, Guatemala  
Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad.  
Temperatura: 25 °C

Dimensional: 0.1 mm  
Peso Bruto: 193.7 gramos  
Tara: 14.8 gramos  
Peso Neto: 178.9 gramos

No. Penetración	Medida (0.1mm)
1	75
2	77
3	75
4	75
5	74

Promedio de penetración: 75

Efectuó:   
Eddy Efrain Arriaza Mejia

Vo.Bo.   
Inga. Martha Dina Avellan Cruz



Fuente: laboratorio de Asfalguá.

## Resultado de ensayo de penetración del asfalto



### ENSAYO DE PENETRACION A 4 °C (ASTM D - 5)

Fecha: 3 de Junio de 2013  
Material: AC-20  
Procedencia del material: Perenco, Guatemala  
Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad.  
Temperatura: 4°C

Dimensional: 0.1 mm  
Peso Bruto: 230 gramos  
Tara: 14.8 gramos  
Peso Neto: 215.2 gramos

No. Penetración	Medida (0.1mm)
1	24
2	23
3	26

Promedio de penetración 24

Efectuó   
Eddy Efrain Arriaza Mejia

Vo.Bo.   
Inga. Martha Dina Avellan Cruz



Fuente: laboratorio de Asfalgua.

## Resultado de ensayo de peso específico del asfalto



### PESO ESPECIFICO (ASTM D - 70)

Fecha: 4 de Junio de 2013  
 Material: AC-20  
 Procedencia del material: Perenco, Guatemala  
 Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad.

Sumergido: Baño maria      Hora de inicio: 11:15 horas  
    Hora fin: 14:15 horas  
    Temperatura: 25 °c

Peso específico	1.0596866
-----------------	-----------

- A= Picnometro mas tapon seco.
- B= Picnometro más tapon mas agua
- C= Picnometro más tapon más asfalto
- D= Picnometro más tapon más asfalto más agua

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

- A= 38.64 gramos
- B= 63.87 gramos
- C= 55.94 gramos
- D= 64.78 gramos
- GB 1.05552166
- Pe= 1.059686646

Factor de correccion

$$Pe = \frac{GB * 0.997075}{0.9941 * 0.9990505} =$$

Efectuó   
Eddy Efraín Arriaza Mejía

Vo.Bo.   
 Inga. Martha Dina Avellan Cruz



Fuente: laboratorio de Asfalguá.

## Resultado de ensayo de peso especifico del asfalto



### PESO ESPECIFICO (ASTM D - 70)

Fecha: 4 de Junio de 2013  
Material: AC-20  
Procedencia del material: Perenco, Guatemala  
Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad.

Sumergido: Baño maria Hora de inicio 11:15 horas  
Hora fin 14:15 horas  
Temperatura 25 °c

Peso específico	<b>1.0612625</b>
-----------------	------------------

A= Picnometro más tapon seco.  
B= Picnometro más tapon más agua  
C= Picnometro más tapon más asfalto  
D= Picnometro más tapon más asfalto más agua

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

A= 38.64 gramos  
B= 63.87 gramos  
C= 56.23 gramos  
D= 64.82 gramos  
GB 1.057091346  
Pe= 1.061262526

Factor de correccion

$$Pe = \frac{GB * 0.997075}{0.9941 * 0.9990505} =$$

Efectuò   
Eddy Efraim Arriaza Mejia

Vo.Bo.   
Inga. Martha Dina Avellan Cruz

 Tecnología Experiencia Calidad  
11 Avenida 38-40, Zona 11 las Charcas  
PBX 2443-3500

Fuente: laboratorio de Asfalgu.



## Resultado de prueba de recuperación elástica del asfalto



### PRUEBA DE RECUPERACION ELASTICA POR TORSION

Fecha: 11 de Junio de 2013  
Material: AC-20  
Procedencia del material: Perenco, Guatemala  
Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad.

Hora de inicio 14:15 horas  
Hora fin 14:45 horas  
Temperatura 25 °C

Recuperacion.	6.00%
---------------	-------

Peso bruto	<u>513.6</u>	Gramos
Tara	<u>218.7</u>	Gramos
Peso neto	<u>294.9</u>	Gramos

Efectuò   
Eddy Efraim Arriaza Mejia

Vo.Bo.   
Inga. Martha Dina Avellan Cruz

 **ASFALGUA** | Tecnología, Experiencia, Calidad  
11 Avenida 38-40, Zona 11 las Charcos.  
PBX 2463-3500

Fuente: laboratorio de Asfalgua.

## Resultado de prueba de recuperación elástica del asfalto



### PRUEBA DE RECUPERACION ELASTICA POR TORSION

Fecha: 11 de Junio de 2013  
Material: AC-20  
Procedencia del material: Perenco, Guatemala  
Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad.

Hora de inicio: 15:05 horas  
Hora fin: 15:35 horas  
Temperatura: 25 °c

Recuperacion.	5.00%
---------------	-------

Peso bruto: 487.2 Gramos  
Tara: 218.7 Gramos  
Peso neto: 268.5 Gramos

Efectuó   
Eddy Efrain Arriaza Mejia

Vo.Bo.   
Inga. Martha Dina Avelan Cruz



Fuente: laboratorio de Asfalguá.

## Resultado de ensayo de viscosidad del asfalto



### ENSAYO DE VISCOSIDAD ASTM D-1439

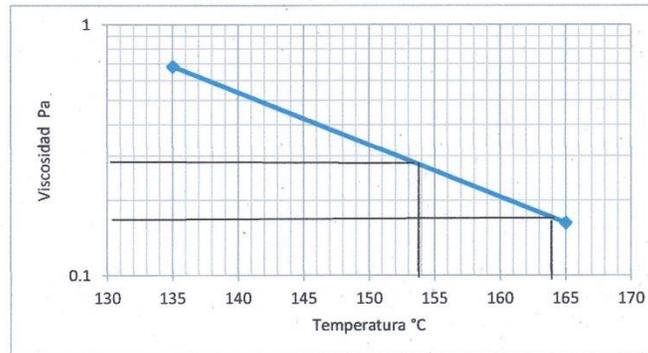
Fecha: 1 de Julio de 2013  
 Material: Cemento asfaltico AC-20  
 Procedencia del material: Perenco, Guatemala  
 Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad.  
 Numero de vástago: 27  
 Modelo del viscosímetro: RDV+11PRO  
RDV + II PRO

**Viscosímetro rotacional de Brookfield**

Revoluciones por minuto (RPM) 20

	Viscosidad (pa)	Temperatura F°
Compactacion	0.28	305.6
Mezclado	0.17	321.8

**GRAFICA VISCOSIDAD-TEMPERATURA**



Nota: La temperatura de compactación se determina cuando el cemento asfáltico alcanza 0.28 Pascales de viscosidad, la temperatura de Mezclado se alcanza cuando el cemento asfáltico posee 0.17 Pascales de viscosidad.

Efectuó   
 Eddy Efraín Arriaza Mejía

Vo.Bo.   
 Inga. Martha Dina Avellan Cruz

Fuente: laboratorio de Asfalgua.

## Resultados de ensayos de control de calidad de la mezcla



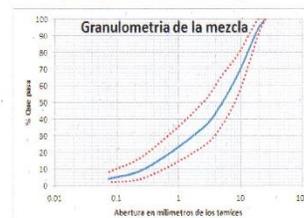
### Control de calidad para Mezcla Asfáltica

Fecha: 15 de julio de 2,013  
 Material: Mezcla asfáltica de 19 mm  
 Procedencia del agregado: Agreca  
 Procedencia del asfalto: Perenco  
 Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad  
 Contenido de asfalto: 4.00%  
 Temperatura del agua: 24°C

No.	Peso neto muestra	Peso neto en agua	Peso neto muestra saturada	Volumen sin corregir	Factor de corrección	Volumen corregido	Gravedad específica bruta de la mezcla	Promedio
1	1177.5	685	1190.3	505.3	1.000253	505.43	2.330298832	2.328971448
2	1195.6	694.62	1205.1	510.48	1.000253	510.61	2.342109387	
3	1194.1	690.08	1206	515.92	1.000253	516.05	2.314506125	

Análisis volumétrico.	
Gmb:	Gravedad específica bruta de la mezcla 2.3290
Gsb:	Gravedad específica bruta del agregado 2.6636
Gse:	Gravedad específica efectiva del agregado 2.6841
Gb:	Gravedad específica del asfalto 1.0612625
Pb:	Peso asfalto 4.00%
Ps:	Peso del agregado 96.00%
Análisis de desidad.	
V.M.A.	Vacios agregado mineral 16.06%
Va.	Vacios de aire 7.92%
Pba.	Contenido de asfalto absorbido 0.30369%
V.F.A.	Vacios llenos de asfalto 50.71%
G.m.m.	Gravedad específica máxima teórica de la mezcla AASHTO T 209 2.52937
Relación polvo asfalto 0.7697	

Granulometría	
Abertura (mm)	% que pasa
25	99.87
19	94.08
9.5	68.56
4.75	48.3
2.36	34.1
0.29718	10.58
0.07366	4.058



No.	Carga (Lbs)	Volumen de la muestra	Factor de corrección	Carga corregida	Promedio de carga	Fluencia	Promedio de fluencia	Relación estabilidad fluencia
1	2,243.8	505.43	1.04	2,333.6	2,271.66	13.33	12.00	189.30
2	2,239.2	510.61	1.00	2,239.2		11.00		
3	2,242.2	516.05	1.00	2,242.2		11.67		



Efectuó:   
Eddy Efrain Arriaza Mejía

Vo.Bo.   
Inga. Martha Dina Avellan Cruz

Fuente: laboratorio de Asfalgua.

## Resultados de ensayos de control de calidad de la mezcla



### Control de calidad para Mezcla Asfáltica

Fecha:	15 de julio de 2,013
Material:	Mezcla asfáltica de 19 mm
Procedencia del agregado:	Agreca
Procedencia del asfalto:	Perenco
Proyecto	Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad
Contenido de asfalto:	4.50%
Temperatura del agua:	24°C

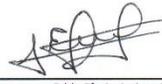
No.	Peso neto muestra	Peso neto en agua	Peso neto muestra saturada	Volumen sin corregir	Factor de corrección	Volumen corregido	Gravedad específica bruta de la mezcla	Promedio
1	1191.6	690.08	1200.4	510.32	1.000253	510.45	2.335005487	2.343895389
2	1198.7	694.62	1204.3	509.68	1.000253	509.81	2.351867839	
3	1206.5	699.16	1213.7	514.54	1.000253	514.67	2.344812843	

Análisis volumetrico.		
Gmb:	Gravedad específica bruta de la mezcla	2.3439
Gsb:	Gravedad específica bruta del agregado	2.6636
Gse:	Gravedad específica efectiva del agregado	2.6841
Gbd:	Gravedad específica del asfalto	1.0612625
Pb:	Peso asfalto	4.50%
Ps:	Peso del agregado	95.50%
Análisis de densidad.		
V.M.A.	Vacios agregado mineral	15.96%
V.v.	Vacios de aire	6.66%
Pba.	Contenido de asfalto absorbido	0.30369%
V.F.A.	Vacios llenos de asfalto	58.26%
G.m.m.	Gravedad específica máxima teórica de la mezcla AASHTO T 209	2.511284
	Relación polvo asfalto	0.7736

Granulometría	
Abertura (mm)	% que pasa
25	99.87
19	94.08
9.5	68.56
4.75	48.3
2.36	34.1
0.29718	10.58
0.07366	4.058



No.	Carga (Lbs)	Volumen de la muestra	Factor de corrección	Carga corregida	Promedio de carga	Fluencia	Promedio de fluencia	Relación estabilidad fluencia
1	2,188.6	510.45	1.00	2,188.60	2,183.33	13.50	13.00	167.95
2	2,179.3	509.81	1.00	2,179.30		12.90		
3	2,182.1	514.67	1.00	2,182.10		12.60		

Efectuó:   
Eddy Efrain Arriaza Mejia

Vo.Bo.   
Inga. Martha Dina Avellan Cruz

**ASFALGUA** Tecnología Española Calidad  
11 Avenida 38-60, Zona 11 las Charcas  
PBX 2463-3600

Fuente: laboratorio de Asfalgua.

## Resultados de ensayos de control de calidad de la mezcla



### Control de calidad para Mezcla Asfáltica

Fecha: 16 de julio de 2,013  
 Material: Mezcla asfáltica de 19 mm  
 Procedencia del agregado: Agreca  
 Procedencia del asfalto: Perenco  
 Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad  
 Contenido de asfalto: 5.30%  
 Temperatura del agua: 24°C

No.	Peso neto muestra	Peso neto en agua	Peso neto muestra saturada	Volumen sin corregir	Factor de corrección	Volumen corregido	Gravedad específica bruta de la	Promedio
1	1183.2	685.54	1185.8	500.26	1.000253	500.39	2.365170112	2.371645177
2	1221.9	708.24	1223.3	515.06	1.000253	515.19	2.37234497	
3	1259.7	730.94	1260.8	529.86	1.000253	529.99	2.377420451	

Análisis volumetrico		
Gmb:	Gravedad específica bruta de la mezcla	2.3716
Gsb:	Gravedad específica bruta del agregado	2.6636
Gse:	Gravedad específica efectiva del agregado	2.6841
Gb:	Gravedad específica del asfalto	1.0612625
Pb:	Peso asfalto	5.30%
Ps:	Peso del agregado	94.70%
Análisis de desidad.		
V.M.A.	Vacios agregado mineral	15.68%
Va:	Vacios de aire	4.47%
Pba:	Contenido de asfalto absorbido	0.30369%
V.F.A.	Vacios llenos de asfalto	71.44%
G.m.m.	Gravedad específica máxima teórica de la mezcla AASHTO T 209	2.482866
Relación polvo asfalto		0.7712

Granulometria	
Abertura (mm)	% que pasa
25	99.87
19	94.08
9.5	68.56
4.75	48.3
2.36	34.1
0.29718	10.58
0.07366	4.058



No.	Carga (Lbs)	Volumen de la muestra	Factor de corrección	Carga corregida	Promedio de carga	Fluencia	Promedio de fluencia	Relación estabilidad fluencia
1	2,193.6	500.39	1.04	2,281.34	2,183.58	12.80	13.33	163.81
2	2,180.3	515.19	1.00	2,180.33		14.00		
3	2,176.1	529.99	0.96	2,089.06		13.19		



Efectuó: Eddy Efrain Arriaza Mejía

Vo.Bo. Inga. Martha Dima Avellan Cruz

Fuente: laboratorio de Asfalguá.

## Resultados de ensayos de control de calidad de la mezcla



### Control de calidad para Mezcla Asfáltica

Fecha: 17 de julio de 2,013  
 Material: Mezcla asfáltica de 19 mm  
 Procedencia del agregado: Agreca  
 Procedencia del asfalto: Perenco  
 Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad  
 Contenido de asfalto: 5.52%  
 Temperatura del agua: 24°C

No.	Peso neto muestra	Peso neto en agua	Peso neto muestra saturada	Volumen sin corregir	Factor de corrección	Volumen corregido	Gravedad específica bruta de la	Promedio
1	1257.4	729.32	1258.6	529.28	1.000253	529.41	2.375680169	2.37420184
2	1267.5	735.83	1269.8	533.97	1.000253	534.11	2.373728861	
3	1276.4	740.36	1278.2	537.84	1.000253	537.98	2.37319649	

Análisis volumetrico.		
Gmb:	Gravedad específica bruta de la mezcla	2.3742
Gsb:	Gravedad específica bruta del agregado	2.6636
Gse:	Gravedad específica efectiva del agregado	2.6841
Gb:	Gravedad específica del asfalto	1.0612625
Pb:	Peso asfalto	5.52%
Ps:	Peso del agregado	94.48%
Análisis de desidad.		
V.M.A.	Vacios agregado mineral	15.79%
Va.	Vacios de aire	4.08%
Pba.	Contenido de asfalto absorbido	0.30369%
V.F.A.	Vacios llenos de asfalto	74.16%
G.m.m.	Gravedad específica máxima teórica de la mezcla AASHTO T 209	2.475163
	Relación polvo asfalto	0.775

Granulometría	
Abertura (mm)	% que pasa
25	99.87
19	94.08
9.5	68.56
4.75	48.3
2.36	34.1
0.29718	10.58
0.07366	4.058



No.	Carga (Lbs)	Volumen de la muestra	Factor de corrección	Carga corregida	Promedio de carga	Fluencia	Promedio de fluencia	Relación estabilidad fluencia
1	2,119.1	529.41	0.96	2,034.4	2,014.93	13.50	12.67	159.03
2	2,120.6	534.11	0.96	2,035.8		12.00		
3	2,123.3	537.98	0.93	1,974.7		12.51		

Efectuó:   
 Eddy Efraim Arriaza Mejía

Vo.Bo.   
 Inga. Martha Dina Avellan Cruz



Fuente: laboratorio de Asfalgua.

## Resultados de ensayos de control de calidad de la mezcla



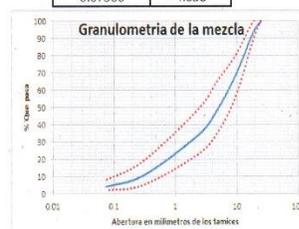
### Control de calidad para Mezcla Asfáltica

Fecha: 16 de julio de 2.013  
 Material: Mezcla asfáltica de 19 mm  
 Procedencia del agregado: Agreca  
 Procedencia del asfalto: Perenco  
 Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad  
 Contenido de asfalto: 5.60%  
 Temperatura del agua: 24°C

No.	Peso neto muestra	Peso neto en agua	Peso neto muestra saturada	Volumen sin corregir	Factor de corrección	Volumen corregido	Gravedad específica bruta de la mezcla	Promedio
1	1209.3	703.7	1211.3	507.6	1.000253	507.73	2.382387707	2.37679052
2	1231.6	712.78	1232.9	520.12	1.000253	520.25	2.367915097	
3	1218.5	708.24	1220.2	511.96	1.000253	512.09	2.380068755	

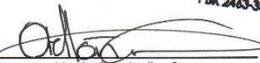
Análisis volumétrico.		
Gmb:	Gravedad específica bruta de la mezcla	2.3768
Gsb:	Gravedad específica bruta del agregado	2.6636
Gse:	Gravedad específica efectiva del agregado	2.6841
Gb:	Gravedad específica del asfalto	1.0612625
Pb:	Peso asfalto	5.60%
Ps:	Peso del agregado	94.40%
Análisis de desidad.		
V.M.A.	Vacios agregado mineral	15.76%
Va.	Vacios de aire	3.87%
Pba.	Contenido de asfalto absorbido	0.30369%
V.F.A.	Vacios llenos de asfalto	75.50%
G.m.m.	Gravedad específica máxima teórica de la mezcla AASHTO T 209	2.47237
	Relación polvo asfalto	0.7745

Granulometría	
Abertura (mm)	% que pasa
25	99.87
19	94.08
9.5	68.56
4.75	48.3
2.36	34.1
0.29718	10.58
0.07566	4.058



No.	Carga (Lbs)	Volumen de la muestra	Factor de corrección	Carga corregida	Promedio de carga	Fluencia	Promedio de fluencia	Relación estabilidad fluencia
1	2,057.1	507.73	1.04	2,139.40	2,083.94	13.20	13.00	160.30
2	2,054.3	520.25	1.00	2,054.32		13.00		
3	2,058.1	512.09	1.00	2,058.10		12.80		

Efectuó:   
Eddy Efrain Arriaza Mejía

Vo.Bo.   
Inga. Marthá Dina Avellan Cruz


**ASFALGUA** Tecnología Expansión Calidad  
 11 Avenida 38-60, Zona 11 las Charcas  
 PBX 2463-3800

Fuente: laboratorio de Asfalgua.

## Resultados de ensayos de control de calidad de la mezcla



### Control de calidad par a Mezcla Asfaltica

Fecha: 17 de julio de 2,013  
 Material: Mezcla asfaltica de 19 mm  
 Procedencia del agregado: Agreca  
 Procedencia del asfalto: Perenco  
 Proyecto: Tesis: Introducción al diseño de mezclas asfálticas en caliente, guía práctica y teórica para su control de calidad  
 Contenido de asfalto: 5.75%  
 Temperatura del agua: 24°C

No.	Peso neto muestra	Peso neto en agua	Peso neto muestra saturada	Volumen sin corregir	Factor de corrección	Volumen corregido	Gravedad específica bruta de la	Promedio
1	1203.7	699.16	1204.6	505.44	1.000253	505.57	2.381489395	2.376056146
2	1230.9	712.78	1232	519.22	1.000253	519.35	2.370671392	
3	1217.3	705.97	1218.3	512.33	1.000253	512.46	2.376007651	

Análisis volumetrico.	
Gmb:	Gravedad específica bruta de la mezcla 2.3761
Gsb:	Gravedad específica bruta del agregado 2.6636
Gse:	Gravedad específica efectiva del agregado 2.6841
Gb:	Gravedad específica del asfalto 1.0612625
Pb:	Peso asfalto 5.75%
Ps:	Peso del agregado 94.25%
Análisis de desidad.	
V.M.A.	Vacios agregado mineral 15.92%
Va.	Vacios de aire 3.69%
Pba.	Contenido de asfalto absorbido 0.30369%
V.F.A.	Vacios llenos de asfalto 76.83%
G.m.m.	Gravedad específica máxima teórica de la mezcla AASHTO T 209 2.46716226
Relación polvo asfalto 0.7743	

Granulometria	
Abertura (mm)	% que pasa
25	99.87
19	94.08
9.5	68.55
4.75	48.3
2.36	34.1
0.29718	10.58
0.07366	4.058



No.	Carga (Lbs)	Volumen de la muestra	Factor de corrección	Carga corregida	Promedio de carga	Fluencia	Promedio de fluencia	Relación estabilidad fluencia
1	1,995.5	505.57	1.04	2,075.3	2,010.11	13.50	13.50	148.90
2	1,980.0	519.35	1.00	1,980.0		13.00		
3	1,975.0	512.46	1.00	1,975.0		14.00		



Efectuó: Eddy Efrain Arriaza Mejia

Vo.Bo. Inga. Martha Dina Avellan Cruz

Fuente: laboratorio de Asfalgua.

## **ANEXO**

## Anexo 1. Ficha técnica ac-20



**Perenco Guatemala Limited**

5ª Av. 5-55 Zona 14, Torre 4, Nivel 12 Edificio Europlaza  
PBX (502) 2384-6100 FAX (502) 2384 - 6192 (502) 2384 - 6196

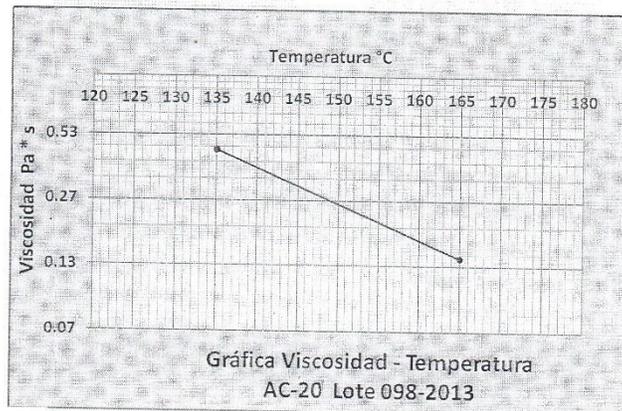


### RESULTADO DE ANALISIS DE LABORATORIO

Certificado No. 285670A0200

PRODUCTO:	ASFALTO
ESPECIFICACION:	AC-20 [ASTM D 3381]
METODO DE ENSAYO:	AASHTO T-316
VISCOSIMETRO:	DV-II +
VASTAGO	21
RPM	20
FECHA:	Noviembre 30 de 2,013
HORA:	10:30
TANQUE:	01
LOTE:	098 - 2,013

AC-20



Firma del representante de Perenco:

Nombre: Hugo Castillo T.

LABORATORIO REFINERIA LA LIBERTAD  
2384-6100 Ext. 111 La Libertad, Petén  
e-mail: laboratoriolibertad@qt.perenco.com

Fuente: laboratorio de Asfalagua.

## Anexo 2. Ficha técnica viscosidad- temperatura



**Perenco Guatemala Limited**

5ª Av. 5-55 Zona 14, Torre 4, Nivel 12 Edificio Europlaza  
PBX (502) 2384-6100 FAX (502) 2384 - 6192 (502) 2384 - 6196



### RESULTADO DE ANALISIS DE LABORATORIO

Certificado No. 285670A0200

PRODUCTO:	ASFALTO
ESPECIFICACIÓN:	AC-20 [ASTM D 3381]
FECHA:	Noviembre 30 de 2,013
HORA:	10:30
TANQUE:	01
LOTE:	098 - 2,013

ANALISIS	RESULTADO	ESPECIFICACION ASTM D 3381 TABLA 2	METODO ASTM
GRAVEDAD ESPECIFICA, 60°F,	1.062	N.E.	D 70
PESO (Lbs/Gal)	8.738	N.E.	D 70
GRAVEDAD ESPECIFICA, 77°F,	1.058	N.E.	D 70
PENETRACION, 77°F, 100g, 5 seg.	84	60 min.	D 5
VISCOSIDAD, 140°F, POISES	2,063	2,000 ± 400	D 2171
VISCOSIDAD, 275°F, cSt.	434	300 min.	D 2170
FLASH POINT, COC, °F	520	450 min.	D 92
PUNTO DE ABLANDAMIENTO, °F.	114	N.E.	D 36
SOLUBILIDAD EN TCE, %	99.97	99.0 min.	D 2042
ENSAYOS AL RESIDUO TFOT			D 1754
VISCOSIDAD, 140°F, POISES	6,096	10,000 max.	D 2171
DUCTILIDAD, 77°F, 5 cm/minuto	>100	50 min.	D 113
VTS	3.46	** *	

\* mín. = mínimo

max. = máximo

N.E. = No Especifica

\*\* Dato Calculado sin especificación ASTM, para uso exclusivo del interesado.

Firma del representante de Perenco:

Nombre: Hugo Castillo T.

LABORATORIO REFINERIA LA LIBERTAD  
2384-6100 Ext. 111 La Libertad, Petén  
e-mail: [laboratoriolibertad@gt.perenco.com](mailto:laboratoriolibertad@gt.perenco.com)

Fuente: laboratorio de Asfalagua.

