



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

ASFALTOS MODIFICADOS CON POLÍMEROS

Martha Dina Avellán Cruz

Asesorado por el Ing. Sergio Vinicio Castañeda Lemus

Guatemala, mayo de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

ASFALTOS MODIFICADOS CON POLÍMEROS

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

MARTHA DINA AVELLAN CRUZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, MAYO DE 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero Spinola de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Jeovanni Rudaman Miranda Castañon
EXAMINADOR	Ing. Sergio Augusto Melgar Murcia
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

ASFALTOS MODIFICADOS CON POLÍMEROS,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, el día 17 de agosto de 2006 .

Martha Dina Avellán Cruz

AGRADECIMIENTOS A:

**Dios y
la Virgen Maria**

Por estar en cada momento de mi vida,
permitirme concluir esta etapa y compartirla
con las personas que quiero y aprecio.

**Universidad de
San Carlos de
Guatemala**

Por los conocimientos adquiridos.

**Facultad de
Ingeniería**

Con cariño y respeto.

Ing. José Agüero

Con cariño y aprecio, por permitirme formar
parte de Asfalguia y transmitirme parte de sus
conocimientos, todos los días aprendo algo
nuevo.

Asfalguia

A todo su personal, especialmente al Lic.
José Luis Agüero, Ing. Cesar Quiroz, Alvaro
Martínez, Edwin Rodríguez, William Flores,
Sergio Samayoa, Luís Castillo, de cada uno
he aprendido algo.

**Ing. Sergio Vinicio
Castañeda Lemus**

Con aprecio, por su tiempo y ayuda para
realizar este trabajo de graduación.

ACTO QUE DEDICO A:

- Mis papas,
Juan José y
Gladys** Gracias por cada minuto de entrega y sacrificio, por la perseverancia y la fe que me han enseñado a tener en todo y en cada persona. Por los consejos que he necesitado y me han dado, en fin, por estar allí siempre, este logro también es suyo. Por ustedes soy lo que soy. Luv ya
- Mis Hermanos** Juanjo, gracias por la paciencia, por hacerme reír cuando estoy de malas, pero sobre todo por estar allí siempre.

Diego, por siempre hacerme tiempo y aguantarme.
- Mis Hermanas** Regi, me hubiera gustado que estuvieras aquí (TQM).

Lauris, ¿que puedo decir? Gracias por escucharme aunque a veces te aburra.
- Mi Familia** Apo, Acun, tíos, primos (son muchos....) por darme ánimos para continuar siempre en la lucha.
- A mis amigos** Maracas, Darlin, Ana Lucia, Roberto, Pablo, Walter Jose (p, Rodrigo, Gustavo, Wilder, Milcar, Marvin, Luís España, Henry, Jorge Mario, Sergio, Mariela.

A Dios
Y a la Virgen
María

Por permitirme compartir este momento con cada uno de
ustedes, que hacen que mi vida no sólo tenga sentido, sino
que la alegran.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. ASFALTO	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Definición	2
1.3 Producción del asfalto	2
1.4 Composición química del asfalto	4
1.5 Propiedades físicas de los asfaltos de pavimentación	5
1.5.1 Durabilidad	5
1.5.2 Adhesión y cohesión	5
1.5.3 Susceptibilidad a la temperatura	6
1.5.4 Endurecimiento y envejecimiento	7
1.5.5 Pureza	8
1.6 Clasificación de los asfaltos de pavimentación	9
1.6.1 Cementos asfálticos	9
1.6.1.1 Caracterización por penetración	9

1.6.1.2	Caracterización por viscosidad	10
1.6.1.3	Caracterización por comportamiento	10
1.6.2	Asfaltos rebajados	11
1.6.2.1	Asfaltos de curado rápido	11
1.6.2.2	Asfaltos de curado medio	11
1.6.2.3	Asfaltos de curado lento	11
1.6.3	Asfaltos emulsificados	11
1.6.3.1	Emulsión aniónica	11
1.6.3.2	Emulsión cationica	12
1.7	Especificaciones sobre cementos asfálticos	12
1.7.1	Normas	12
1.7.2	Ensayos	13
1.7.2.1	Viscosidad	13
1.7.2.2	Penetración	14
1.7.2.3	Punto de inflamación	15
1.7.2.4	Prueba de película delgada rotativa	15
1.7.2.5	Ductilidad	16
1.7.2.6	Solubilidad	16
1.7.2.7	Peso específico	16
1.7.2.8	Punto de ablandamiento	17
2.	POLÍMEROS	19
2.1	Antecedentes	19
2.2	Definición	20
2.3	Elaboración de polímeros	20

2.3.1	Productos naturales	21
2.3.2	Hulla o carbón mineral	21
2.4	Producción de los polímeros	22
2.4.1	Polimerización en cadena	22
2.4.2	Polímeros de reacciones por pasos	23
2.5	Clasificación de los polímeros	23
2.5.1	Clasificación por su estructura química	23
2.5.1.1	Polímeros de cadena carbónica	23
2.5.1.2	Polímeros de cadena heterogénea	24
2.5.2	Clasificación por su comportamiento mecánico	24
2.5.2.1	Plásticos	24
2.5.2.2	Elastómeros	24
2.5.2.3	Fibras	25
2.5.3	Clasificación por su desempeño mecánico	25
2.5.3.1	Termoplásticos convencionales	25
2.5.3.2	Termoplásticos especiales	25
2.5.3.3	Termoplásticos de ingeniería	25
2.5.3.4	Termoplásticos de ingeniería especiales	25
2.6	Polímeros utilizados en la modificación de asfaltos	25
2.6.1	Acetato de etilo	26
2.6.2	Acetato de vinilo	26
2.6.3	Estireno	26
2.6.4	Butadieno	27

3.	ASFALTOS MODIFICADOS	29
3.1	Antecedentes	29
3.2	Definición	32
3.3	Polímeros utilizados en la modificación de asfaltos	32
3.3.1	Elastómeros	32
3.3.2	Plastómeros	32
3.4	Asfaltos modificados con polímeros tipo elastómeros	32
3.4.1	Latex, hule natural, SBS, SBR	33
3.4.2	Hule de llanta	34
3.5	Asfaltos modificados con polímeros tipo plastómeros	34
3.5.1	Polietileno	35
3.5.2	PVC	35
3.5.3	EVA	36
3.6	Especificaciones sobre asfaltos modificados	37
3.6.1	Normas	37
3.6.2	Ensayos	37
3.6.2.1	Recuperación elástica por torsión	38
3.6.2.2	Resiliencia	39
3.6.2.3	Recuperación elástica por ductilometro	39
4.	INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS	41
4.1	Diseño de mezcla asfáltica	41
4.1.1	Método de diseño <i>Marshall</i>	41
4.1.1.1	Caracterización de agregados	43
4.1.1.2	Caracterización de asfaltos	43

4.1.1.3	Elaboración de probetas de ensayo	43
4.2	Caracterización de materiales	44
4.2.1	Agregado mineral	44
4.2.1.1	Agregado grueso	44
4.2.1.2	Agregado fino	46
5.	DESARROLLO EXPERIMENTAL	49
5.1	Caracterización de materiales	49
5.1.1	Agregados	49
5.1.2	Polímeros	50
5.1.3	Cemento asfáltico	50
5.1.3.1	Caracterización del asfalto tipo AC-20 convencional	51
5.1.4	Cementos asfálticos modificados	52
5.2	Propuesta de diseño de mezcla asfáltica	55
6.	EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA	57
6.1	Descripción del proyecto	57
6.1.1	Localización geográfica	57
6.1.2	Zona de influencia	57
6.1.3	Características climatológicas	57
6.2	Características técnicas	59
6.2.1	Equipo utilizado en la aplicación de la mezcla	59
6.2.2	Mano de obra necesaria	59
6.2.3	Aplicación de la mezcla	60
6.2.4	Costos	63

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS	65
7.1 Agregados	65
7.2 Polímeros	65
7.3 Asfalto	65
7.4 Aplicación de mezcla asfáltica modificada	67
CONCLUSIONES	69
RECOMENDACIONES	71
BIBLIOGRAFÍA	73
ANEXOS	75
APÉNDICE	91

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Proceso de refinación del petróleo para la obtención del asfalto	4
2.	Comportamiento del asfalto	7
3.	Viscosímetros capilares	13
4.	Penetrómetro	14
5.	Compatibilidad asfalto- polímero	30
6.	Comportamiento asfalto convencional vrs modificado	31
7.	Equipo ensayo recuperación elástica por torsión	38
8.	Penetrómetro modificado	39
9.	Ductilometro	40
10.	Penetración a 25° C	53
11.	Penetración a 4° C	53
12.	Punto de ablandamiento	54
13.	Recuperación elástica por torsión	54
14.	Localización geográfica del proyecto	58
15.	Aplicación de mezcla asfáltica modificada	61
16.	Compactación de mezcla asfáltica modificada	62

TABLAS

I. Historia del asfalto	2
II. Composición química del asfalto	5
III. Normas AASHTO y ASTM aplicables a asfaltos	12
IV. Normas AASHTO y ASTM aplicables a asfaltos modificados	37
V. Tipos de abrasión	45
VI. Distribución de agregados para prueba de desintegración al sulfato de sodio	46
VII. Resultados caracterización de agregados	49
VIII. Resultados caracterización del asfalto convencional	51
IX. Resultados caracterización de asfaltos modificados	52
X. Comparación de costos	64

LISTA DE SÍMBOLOS

AASHTO	<i>American Association of State Highway And Transportation Officials</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
AC-20	Cemento asfáltico convencional
AC-20E	Cemento asfáltico modificado con polímeros de tipo elastómero
AC-20P	Cemento asfáltico modificado con polímeros de tipo plastómeros
°C	Grados centígrados
dmm	Décimas de milímetro
%	Porcentaje

GLOSARIO

Agregado	Material granular duro de composición mineralógica como la arena, la grava, la escoria o la roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.
Agregado grueso	Agregado retenido en el tamiz de 4.75 mm (# 4).
Agregado fino	Agregado que pasa el tamiz de 4.75 mm (# 4).
Ahuellamiento	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 del pavimento bajo efectos del tráfico o, pueden ser generados por un desplazamiento de la superficie misma del pavimento. Ocurren como resultado del movimiento plástico de una mezcla que tiene muy poca estabilidad para resistir el tráfico.
Alquitrán de hulla	Material de color carmelito oscuro a negro, producido mediante la destilación destructiva del carbón bituminoso de piedra.
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, de color entre carmelito oscuro y negro, en el 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.
Asfalto modificado	Producto resultante de la incorporación en el asfalto de un polímero o de hule molido.
Bitumen	Sustancia cementante de 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.
Compactación	Acto de comprimir un volumen dado de material en un volumen más pequeño. Generalmente la compactación se logra usando los rodillos o compactadores neumáticos.
Consistencia	Describe el grado de fluidez o plasticidad de un cemento asfáltico a determinada temperatura. La consistencia de un cemento asfáltico varía con la temperatura: por lo tanto es necesario usar una temperatura patrón cuando se está comparando la consistencia de un cemento asfáltico con

la de otro. La temperatura utilizada para este propósito es 60°C (140°F).

Deformación	Cualquier cambio que presente un pavimento respecto a su forma original.
Densidad	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.
Desintegración	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 periodos fríos, agregado sucio o desintegrable, muy poco asfalto en la mezcla o sobrecalentamiento de la mezcla asfáltica.
Ductilidad	Capacidad de una sustancia para ser estirada o estrechada en forma delgada.
Estabilidad	Capacidad de una mezcla asfáltica de resistir deformación bajo las cargas impuestas. La estabilidad está en función de la cohesión y la fricción interna del material.
Flexibilidad	Capacidad del pavimento asfáltico de ajustarse a los asentamientos en la fundación.
Grietas	Fracturas en la superficie del pavimento asfáltico.

Impermeabilidad	Capacidad de un pavimento asfáltico de resistir el paso de aire y agua dentro o a través del mismo.
Mezcla asfáltica en caliente	Mezclas de planta que deben ser colocadas y compactadas a temperaturas elevadas.
Ondulaciones	Deformación en el pavimento, dando origen a un movimiento plástico caracterizado por ondas en la superficie del pavimento.
Penetración	Consistencia de un material bituminoso, se expresa como la distancia, en décimas de milímetro (0.1 mm), que una aguja patrón penetra verticalmente una muestra del material bajo condiciones específicas de carga, tiempo y temperatura.
Poise	Unidad, centímetro-gramo-segundo, de viscosidad absoluta.
Polímero	Sustancia que consiste en grandes moléculas formadas por muchas unidades pequeñas que se repiten.
Resistencia a la fatiga	Capacidad de un pavimento asfáltico para resistir flexión repetida causada por cargas móviles. Entre mas alto contenido de asfalto, mayor será la resistencia a la fatiga.
Resistencia al deslizamiento	Propiedad de la superficie asfáltica de resistir el deslizamiento, particularmente cuando esta mojado.

Stoke	Unidad de viscosidad cinemática igual a la viscosidad de un fluido en poises dividida entre la densidad del fluido en gramos por centímetro cúbico.
Tamiz	Aparato de aberturas cuadradas, utilizado para separar tamaños de material.
Trabajabilidad	Facilidad con que las mezclas de pavimentación pueden ser colocadas y compactadas.
Vacíos	Espacios de aire en una mezcla compactada rodeados de partículas cubiertas de asfalto.
Viscosidad	Medida de la resistencia al flujo. Método usado para medir la consistencia del asfalto.
Viscosidad absoluta	Método utilizado para medir viscosidad usando el poise como la unidad de medida. Este método hace uso de un vacío parcial para inducir el flujo en el viscosímetro.
Viscosidad cinemática	Método utilizado para medir viscosidad usando el poise como la unidad de medida.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación, fue realizado con el fin de evaluar las características de los asfaltos modificados y su uso para pavimentación de carreteras. Se evalúan las ventajas, costo/ beneficio, que representa el uso de un asfalto modificado; las propiedades físico-mecánicas de éste y cómo contribuyen a la reducción de la susceptibilidad térmica del asfalto, haciéndolo más rígido a temperaturas elevadas y más flexible a bajas temperaturas. Se llevó a cabo una aplicación de mezcla asfáltica modificada y se comparó con el procedimiento seguido en la aplicación de mezcla asfáltica convencional.

Es necesario adecuarse a las demandas actuales de tráfico, pero también se deben prever las futuras, esto se logra mediante una mejor selección de materiales, es decir, es necesario caracterizarlo para poder evaluar sus propiedades físicas y mecánicas, se hace por medio de la aplicación normas y ensayos.

En esta investigación se evaluaron las características físico- mecánicas del asfalto convencional y de los asfaltos modificados, además de los agregados utilizados para el diseño de mezcla asfáltica modificada, de acuerdo a los procedimientos y especificaciones aplicables indicados por ASSHTO y ASTM.

OBJETIVOS

General

Evaluar las características físico-mecánicas de asfaltos AC-20 modificados con polímeros, de acuerdo a las especificaciones aplicables.

Específicos

1. Evaluar las características físico-mecánicas de los asfaltos modificados utilizando dos tipos de polímeros.
2. Realizar un diseño de mezcla en el cual se utilice asfalto modificado.
3. Evaluar las características físico-mecánicas de un AC- 20 y de asfaltos modificados por medio de las normas aplicables.
4. Llevar a cabo una aplicación de mezcla asfáltica modificada con polímero de tipo elastómero.
5. Presentar información sobre asfaltos modificados con polímeros.

INTRODUCCIÓN

Las carreteras en Guatemala ocupan un lugar muy importante dentro de su infraestructura debido a que contribuyen al desarrollo del país, por ello es necesario darles el mantenimiento adecuado para alargar su vida útil. Existen diferentes tratamientos, entre los que se encuentra: el uso de mezclas asfálticas en caliente, en frío. Actualmente se quiere introducir en Guatemala el uso de mezcla con asfaltos modificados.

El uso de cemento asfáltico modificado es una técnica usada en varios países con el fin de aprovechar los asfaltos en la pavimentación de vías. Éste consiste en la adición de polímeros a los asfaltos convencionales con el fin de mejorar sus características mecánicas; es decir, su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y del tránsito (peso vehicular); además, incrementan la adherencia en la interfase entre el material pétreo y el material asfáltico, conservándola aún en presencia del agua. Estas mezclas aumentan la resistencia a la deformación, a los esfuerzos de tensión repetida y, por lo tanto a la fatiga, reducen el agrietamiento, así como la susceptibilidad de las capas asfálticas a las variaciones de temperatura.

El presente trabajo de investigación se realizó con el fin de evaluar las características físico-mecánicas de asfaltos modificados con dos tipos de polímeros; se compararon sus características físicas por medio de ensayos de laboratorio; se realizó un diseño de mezcla asfáltica modificada y posteriormente se hizo una aplicación. Para esto se contó con el apoyo de la empresa Asfalgua S. A. (Asfaltos de Guatemala) y el CII (Centro de Investigaciones de Ingeniería). Este trabajo fue realizado tomando en cuenta las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes

año 2001 de la Dirección General de Caminos, específicamente las secciones 401 (Pavimentos de concreto asfáltico en caliente) y la 411 (Asfaltos modificados).

1. ASFALTO

1.1 Antecedentes

El término asfalto, se deriva del vocablo acadio *asphatu* o *asphallo*, que significa dividirse, resquebrajarse. Posteriormente, fue adoptado por los griegos como adjetivo cuyo significado es estable, seguro y al verbo estabilizar o asegurar. De, donde se supone que el primer uso del asfalto en las civilizaciones antiguas es que fue utilizado en forma de cemento, para asegurar o unir objetos. Del griego pasó al latín, después al francés (asphalte) y finalmente al inglés (asphalt)¹.

Desde la antigüedad hasta hoy en día, el asfalto ha sido utilizado como cemento para ligar, cubrir o impermeabilizar objetos. Es un material muy versátil, se puede decir que es el material de ingeniería más antiguo utilizado por el hombre².

A principios del siglo XIX el descubrimiento del asfalto refinado por medio de la destilación del petróleo crudo y el auge de la industria automovilística, dió lugar al aumento en el consumo de este. Fue utilizado como material para pavimentar caminos y otras aplicaciones.

¹ Herbert Abraham. *Asphalts and Allied Substance* (New York, 1916) p. 3

² JPh. Pfeiffer. *The properties of Asphaltic Btumen* (London, 1950), p.3

Tabla I. Historia del asfalto.

AÑO	USO
6000 a. C.	En Sumeria, se utilizaba en la industria de navegación. La torre de Babel es una de las tantas construcciones en donde se utilizó cómo mortero.
3200- 2600 a. C.	Utilizado por los egipcios para impermeabilizar.
2600- 540 a. C.	Excavaciones arqueológicas recientes indican el amplio uso del asfalto en Mesopotamia y el Valle del Indo como aglomerante para albañilería y construcción de carreteras y para capas de impermeabilización en estanques y depósitos de agua.
300 a. C.	Se emplea ampliamente en Egipto para embalsamamientos.
1802 d. C.	En Francia se emplea roca asfáltica para pavimentación de suelos, puentes y aceras.
1838 d. C.	En Filadelfia se emplea roca asfáltica importada en la construcción de aceras.
1870 d. C.	Construcción del primer pavimento asfáltico en Newark, Nueva Jersey por el profesor E. J. DeSmedt, químico belga.
1876 d. C.	Construcción del primer pavimento de tipo sheet asphalt en Washington D. C. con asfalto de lago importado.
1902 d. C.	En Estados Unidos se obtienen de la destilación del petróleo aproximadamente 120,000 barriles al año.

Fuente: Conferencia: Esquema Actual y Futuro de Producción de Asfaltos en PEMEX Refinación. Ing.: Jorge Rodríguez Villar.. 2000

1.2 Definición

El asfalto se define como una mezcla de hidrocarburos, derivado del petróleo naturalmente o por destilación³.

1.3 Producción del asfalto

El asfalto se obtiene de la refinación por destilación del 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

³ J. Ph. Pfeiffer. The Properties of Asphaltic Bitumen. (Amsterdam, 1950) p. 3

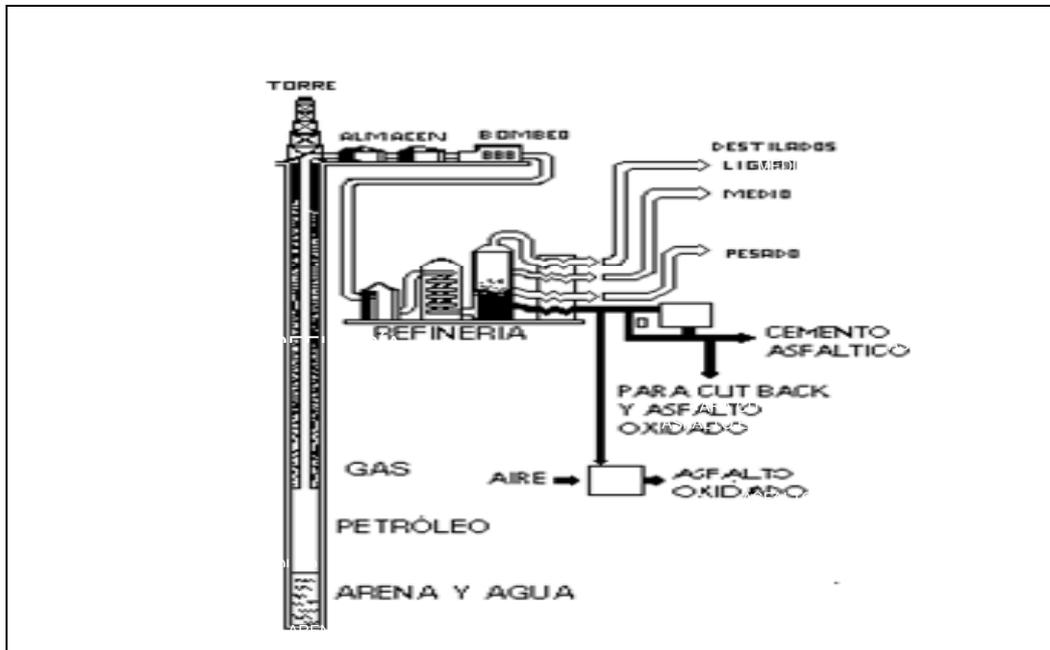
temperatura. Existen dos procesos de destilación con los cuales puede ser producido después de haber combinado los crudos de petróleo:

- destilación por vacío
- extracción con solventes

Las fracciones livianas se separan por destilación simple. Los destilados mas pesados, mejor conocidos como gasóleos, pueden ser separados solamente mediante una combinación de calor y vacío. Puede ser producido usando destilación por vacío a una temperatura aproximada de 480°C (900°F), esta puede variar un poco dependiendo del crudo de petróleo que se esté refinando, o del grado de asfalto que se esté produciendo. En el proceso de extracción con solventes, se remueven mas gasóleos del crudo, dejando así un asfalto residual.

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.

Figura 1. Proceso de refinación del petróleo para obtención del asfalto.



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

1.4 Composición química del asfalto

Está constituido por tres grupos básicos: asfaltenos, resinas y 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 o agregado es el asfaleno.

En los asfaltenos se concentran todos los metales contenidos en el crudo: Ni, V, Fe, Co, Mn, en una proporción apreciable el oxígeno, el azufre y el nitrógeno. El 80- 85% de los asfaltenos son átomos de carbono, la relación C: H se encuentra entre 0.8 y 0.87. Los asfaltenos son producto de la condensación de las resinas.

Tabla II. Composición química del asfalto.

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

Fuente: Conferencia: Introducción a la Química del Asfalto por: Ing. German Garzón, Costa Rica, 2004

1.5 Propiedades físicas del asfalto de pavimentación

Las propiedades físicas de mayor importancia para el diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos son:

1.5.1 Durabilidad: es la medida de que 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 de definir solamente en términos de las propiedades del asfalto. Esto debido a que el comportamiento del pavimento es 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.

1.5.2 Adhesión y cohesión: la adhesión se refiere a la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación.

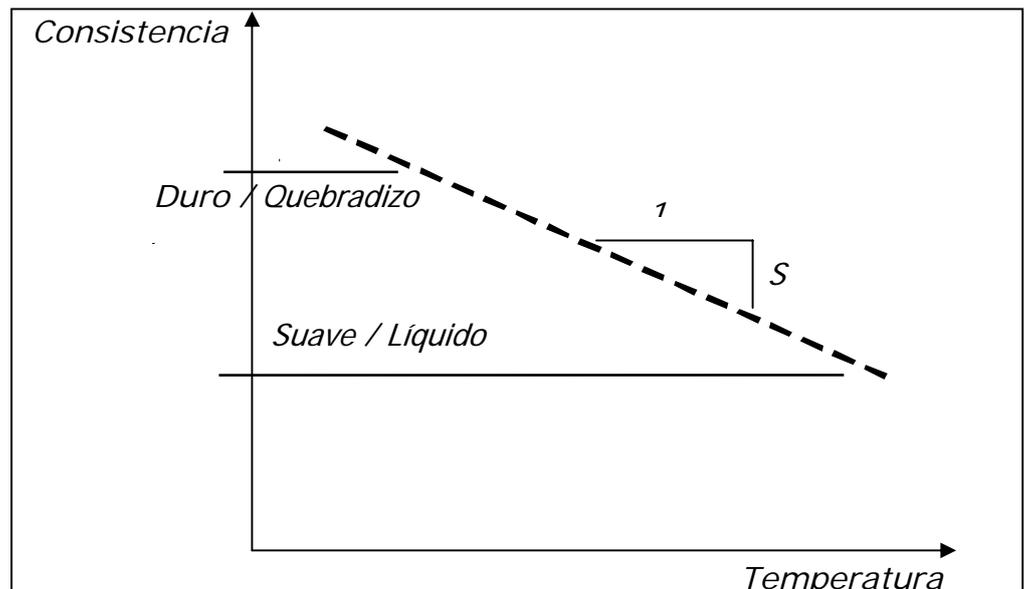
Cohesión por otro lado, es la capacidad del asfalto de mantener firmes las partículas del agregado en el pavimento terminado.

1.5.3 Susceptibilidad a la temperatura: el asfalto es un material termoplástico, se vuelve mas viscoso (duro) a medida que su temperatura disminuye y menos viscoso (blando) conforme su temperatura aumenta. Esta característica es conocida como susceptibilidad a la temperatura.

La susceptibilidad térmica varía entre asfaltos de petróleos de diferente origen, aun si estos tienen el mismo grado de consistencia.

Su importancia radica en que el asfalto debe tener suficiente fluidez a temperaturas altas para que pueda cubrir las partículas del agregado durante el mezclado y así permitir que estas se desplacen unas con respecto de otras durante la compactación. Luego deberá volverse lo suficientemente viscoso, a temperatura ambiente normal para mantener unidas las partículas del agregado.

**Figura 2. Comportamiento del asfalto
(Consistencia vrs. Temperatura)**



Fuente: Principios de Construcción de Mezcla Asfáltica en Caliente. Asphalt Institute.

La gráfica muestra como el asfalto cambia de consistencia conforme cambia de temperatura, a este cambio se le conoce como susceptibilidad térmica y es la pendiente de la recta (S).

- 1.5.4 Endurecimiento y envejecimiento:** 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 mas fácilmente a altas temperaturas (como las temperaturas de construcción) y en películas delgadas de asfalto (como la película que cubre las partículas del agregado).

El asfalto se encuentra a altas temperaturas y en películas delgadas, mientras está revistiendo las partículas de agregado durante el mezclado, esto hace que la oxidación y el endurecimiento más severo ocurran en esta etapa.

No todos 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 mas corto que pueda obtenerse en la práctica.

El endurecimiento del asfalto continúa en el pavimento después de la construcción. Una vez mas 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.

1.5.5 Pureza: El cemento asfáltico está constituido en su mayor parte por bitumen, el cual es por definición un material totalmente soluble en bisulfuro de carbono. Aproximadamente el 99.5% de los asfaltos refinados son solubles en bisulfuro de carbono y si contienen impurezas estas son inertes.

Normalmente el cemento asfáltico carece de agua, ya que esta fue pérdida durante el proceso de refinación. Cuando no pierde toda el agua se vuelve espumoso al ser calentado a temperaturas superiores a 100°C (212°F). La pureza de un

cemento asfáltico esta definida por su carencia de humedad, así como de cualquier impureza.

1.6 Clasificación de los asfaltos de pavimentación

De acuerdo a la *American Society for Testing and Materials* (ASTM), los asfaltos de pavimentación se clasifican en tres grupos generales:

1.6.1 Cementos asfálticos: se dividen bajo tres diferentes sistemas, cada uno abarca diferentes grados con distintos rangos de consistencia.

1.6.1.1 Caracterización por penetración: se aplica la norma ASTM D- 946 (Clasificación Estándar por Grado de Penetración para Cementos Asfálticos Utilizados en Pavimentación). Esta abarca los siguientes grados de penetración:

- 40 – 50
- 60 – 70
- 85 – 100
- 120 – 150
- 200 – 300

Este método se efectúa dejando penetrar una aguja dentro de una muestra de asfalto bajo una carga dada. La distancia que penetra la aguja en la muestra en un tiempo determinado es medida en décimas de milímetro (0.1 mm). Un grado 200- 300 indica que la aguja penetró en la muestra, bajo condiciones específicas de 200 a

300 décimas de milímetro. Esta es una indicación de un asfalto “blando”, un grado 40- 50 es indicación de un asfalto “duro”.

1.6.1.2 Caracterización por viscosidad: se aplica la norma ASTM D- 3381 (Clasificación Estándar por Grado de Viscosidad para Cementos Asfálticos Utilizados en Pavimentación) clasifica los asfaltos en base a su viscosidad absoluta a 60°C. El poise (P) es la unidad normal de medida. Dependiendo de esta, los asfaltos se clasifican en:

- **AC- 5 (500 ± 100):** utilizado en la fabricación de emulsiones asfálticas para riego de impregnación, riego de liga, en estabilizaciones y en mezclas asfálticas en caliente.
- **AC- 10 (1000 ± 200):** utilizado en la fabricación de emulsiones asfálticas para carpetas y morteros de mezcla en frío.
- **AC- 20 (2000 ± 400):** utilizado en la fabricación de mezclas en caliente, emulsiones asfálticas usadas en morteros y carpetas de mezclas en frío.
- **AC- 30 (3000 ± 600):** utilizado en la fabricación de mezclas en caliente, emulsiones para carpetas y mezclas en frío.

1.6.1.3 Caracterización por comportamiento: este sistema fue elaborado por el Instituto de Asfalto de Estados Unidos y propuesto en el programa SHRP (Strategic Highway Research Program), aunque también esta incluido en la norma ASTM D- 6373 (Especificación Estándar por Grado de Comportamiento) incluye el

conocimiento de las temperaturas máximas y mínimas del pavimento en función de la temperatura del aire y la latitud geográfica. La ventaja de este sistema es que predice como se va a comportar el asfalto al envejecer. Se puede envejecer el asfalto a corto y largo plazo, posteriormente se mide su viscosidad.

1.6.2 Asfaltos rebajados: conocidos como asfaltos diluidos, son cementos asfálticos que han sido mezclados con solventes de petróleo. Existen tres clases:

1.6.2.1 Asfalto de curado rápido (RC): asfalto diluido, compuesto de cemento asfáltico y un disolvente tipo nafta o gasolina de alta volatilidad.

1.6.2.2 Asfalto de curado medio (MC): asfalto diluido, compuesto de cemento asfáltico y un disolvente como la kerosina de media volatilidad.

1.6.2.3 Asfalto de curado lento (SC): asfalto diluido, compuesto de cemento asfáltico y aceites pesados de baja volatilidad.

1.6.3 Asfaltos emulsificados: es una emulsión de cemento asfáltico y agua que contiene una pequeña cantidad de un agente emulsionante. Es un sistema heterogéneo que normalmente contiene dos fases inmiscibles (asfalto y agua), en donde el agua forma la fase continua de la emulsión y pequeños glóbulos de asfalto forman la fase discontinua. La emulsión de asfalto puede ser:

1.6.3.1 Emulsión aniónica: los glóbulos de asfalto están cargados negativamente.

1.6.3.2 Emulsión cationica: los glóbulos de asfalto están cargados positivamente

1.7 Especificaciones sobre cementos asfálticos

En Guatemala, la Dirección General de Caminos es la entidad encargada de velar porque se cumplan las especificaciones sobre asfaltos de pavimentación, incluidas en el libro **ESPECIFICACIONES GENERALES PARA CONSTRUCCION DE CARRETERAS Y PUENTES**, (año 2001) en la sección 401 (Pavimentos de concreto asfáltico en caliente). Estas se basan en las normas de la *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) y de la *American Society for Testing and Materials* (ASTM).

1.7.1 Normas

Tabla III Normas AASHTO y ASTM aplicables a asfaltos.

ENSAYO	AASHTO	ASTM
Viscosidad	T - 201 T - 202	D - 2170 D - 2171
Penetración	T - 49	D - 5
Punto de Inflamación	T - 48	D - 92
Prueba de Película Delgada en Horno	T - 179	D - 1754
Prueba Giratoria de Película Delgada en Horno	T - 240	D - 2872
Ductilidad	T - 51	D - 113
Solubilidad	T - 44	D - 2042
Peso Especifico	T - 228	D - 70
Punto de Ablandamiento	T - 53	D - 3695

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente, Condensado por: Dina Avellán.

1.7.2 Ensayos

1.7.2.1 Viscosidad ASTM D 2171(Viscosidad de asfalto por viscosímetro capilar de vacío): las especificaciones de los trabajos de pavimentación indican valores de viscosidad a temperaturas de 60°C (140 °F), son utilizadas para clasificar el cemento asfáltico, representan la viscosidad de este a la temperatura más alta que el pavimento puede llegar a experimentar durante su servicio. La viscosidad a 135°C (275°F) corresponde aproximadamente, a la viscosidad del asfalto durante el mezclado y la colocación. El conocer la consistencia de un asfalto dado a estas dos temperaturas, ayuda a determinar si es apropiado o no para el pavimento que se está diseñando. El poise (P) es la unidad normal de medida.

Figura 3. Viscosímetros capilares (ASTM D - 2171)



Fuente: Laboratorios ProIn Asfaltos.

1.7.2.2 Penetración ASTM D 5 (Penetración de materiales bituminosos): el ensayo de penetración es otra medida de consistencia. La prueba esta incluida en las especificaciones basadas en viscosidad para impedir que sean utilizados los cementos asfálticos que tengan valores inapropiados de penetración a 25°C (77°F). Es aplicable a materiales con viscosidades dentro de un rango de 0.0036 a 20,000 Pascales por segundo (Pa* s), equivalentes a 0.036 a 200,000 P.

Figura 4. Penetrómetro (ASTM D-5).



Fuente: Laboratorio Asfalga.

1.7.2.3 Punto de inflamación ASTM D 92 (Punto de inflamación para materiales bituminosos): es la temperatura mas baja a la cual se separan los materiales volátiles de la muestra y crean un destello en presencia de una llama abierta. Es importante hacer notar que punto de inflamación no es lo mismo que punto de combustión (temperatura más baja a la cual el cemento asfáltico se inflama y se quema). Se determina para identificar la temperatura máxima a la cual este puede ser manejado y almacenado sin peligro de que se inflame. El aparato utilizado con este fin es llamado Copa Abierta de Cleveland.

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.

1.7.2.4 Prueba de película delgada en horno (TFO) ASTM D 1754 (Efectos de calor y aire en materiales asfálticos) y Prueba de película delgada en horno rotatorio (RTFO) ASTM D 2872 (Efectos de calor y aire en una película en movimiento de asfalto): son procedimientos que exponen una muestra de cemento asfáltico, a condiciones que se aproximan a las que se dan durante las operaciones en las plantas de mezclado en caliente. Las pruebas de viscosidad y penetración efectuadas sobre las muestras obtenidas después de los ensayos de TFO o RTFO, son usadas para medir el endurecimiento anticipado del material durante la construcción y servicio del pavimento.

- 1.7.2.5 Ductilidad ASTM D 113 (Ductilidad de materiales bituminosos):** es una medida de cuanto puede ser estirada una muestra de asfalto antes de que se rompa en dos. Se obtiene mediante una prueba de extensión, en donde una probeta de cemento asfáltico es extendida o estirada a una velocidad y a una temperatura específica, hasta que el hilo de cemento asfáltico se rompa. La longitud del hilo en el momento del corte se mide en centímetros y se denomina ductilidad. Las condiciones establecidas para la realización de este ensayo son: una temperatura de $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ y a una velocidad de 5 cm. / min.
- 1.7.2.6 Solubilidad ASTM D 2042 (Solubilidad de asfaltos en tricloroetileno):** este ensayo es utilizado para medir la pureza de un cemento asfáltico. Una muestra es sumergida en un solvente (tricloroetileno) en donde se disuelven sus componentes cementantes activos. Las impurezas como sales, el carbono libre y los contaminantes inorgánicos no se disuelven sino que se depositan en forma de partículas. Estas impurezas insolubles son luego filtradas fuera de la solución y medidas como un porcentaje de la muestra original.
- 1.7.2.7 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 una temperatura determinada. El peso específico es determinado generalmente usando el

método del picnómetro. Los resultados para el asfalto, como para el agua, se expresan normalmente en términos de peso específico a una temperatura dada. Esto se debe a que este varía con la expansión y la contracción del cemento asfáltico a diferentes temperaturas.

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

- 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.

1.7.2.8 Punto de ablandamiento ASTM D 3695 (Anillo y bola):

proporciona una relación de la dureza del asfalto (duro o blando). Para realizar este ensayo, una pelotita de acero es colocada en el centro de un anillo de acero, el cual es sumergido en un baño de agua o de glicerina. Se utiliza agua cuando el asfalto posee un punto de ablandamiento menor a 80°C y la glicerina es utilizada cuando el punto de ablandamiento es mayor a 80°C. La temperatura del baño debe estar controlada y aumentar a una tasa de 5°C por

minuto. En el momento en que la pelotita toca la base (25mm por debajo del anillo) la temperatura es tomada y este, es el punto de ablandamiento del asfalto.

2. POLÍMEROS

2.1 Antecedentes

El término proviene del griego poli (muchos) y meros (parte), un polímero es una sustancia compuesta de muchas unidades repetidas (meros) conectadas por enlaces covalentes. La materia prima para la producción de un polímero es un monómero, es decir una molécula con una unidad de repetición. Para que un polímero exista es necesario que los monómeros se agrupen para formar una cadena polimérica, así cada monómero debe ser capaz de combinarse con otros dos monómeros como mínimo para que exista una reacción de polimerización. La mayoría de los polímeros están basados en un esqueleto de carbono, por lo que son materiales orgánicos.

En el siglo XVI con el descubrimiento de América, españoles y portugueses tuvieron el primer contacto con un material extraído del árbol nativo (*Vahea Brasiliensis*), este era producto de la coagulación del caucho, el cual presentaba características de gran elasticidad y flexibilidad desconocidas en ese entonces, al ser llevado a Europa adquiere el nombre de hule o caucho.

En 1846 Christian Schönbien (químico alemán) mezcla algodón con ácido nítrico dando origen a la nitrocelulosa que fue el primer polímero semisintético. Años más tarde, (1862) Alexander Parker (inglés) patenta la nitrocelulosa, también conocida como parquetina.

El primer polímero sintético fue producido por Leo Baekeland en 1912 a partir de la reacción entre fenol y formaldehído, dando origen a un producto sólido (resina fenólica) conocido como baquelita. Todos estos compuestos fueron tratados como macromoléculas y en 1953 el creador de esta teoría el

científico alemán Hermann Staudinger obtuvo el Premio Nóbel de Química.

En Norteamérica, (1910) los laboratorios de la casa Du Pont, el químico W. H. Carothers descubre por medio de reacciones de condensación de poliamidas un polímero al que bautiza con el nombre de Nylon. Con la segunda guerra mundial (1939 – 1945) hubo un gran auge en el campo de investigación de los polímeros sintéticos, un ejemplo es el descubrimiento del hule sintético (SBR) en Alemania.

Hoy en día, el uso de los polímeros se ha expandido a varias aplicaciones debido a su baja densidad, alta resistencia a la corrosión, alta resistencia mecánica y otras propiedades importantes.

2.2 Definición

Un polímero es una sustancia que consiste en grandes moléculas formadas por muchas unidades pequeñas que se repiten, llamadas monómeros. El número de unidades que se repiten en una molécula grande se llama grado de polimerización.

Los materiales con un grado elevado de polimerización se denominan altos polímeros. Los homopolímeros son polímeros con un solo tipo de unidad que se repite. En los copolímeros se repiten varias unidades distintas⁴.

2.3 Elaboración de los polímeros

La utilización comercial de un nuevo producto como el caso de los polímeros depende del costo y sus propiedades. El costo, depende básicamente de su

⁴ S.V.Canevarolo. Ciencia dos Polímeros. (Brasil, 2002) p. 5

proceso de polimerización y la disponibilidad de los monómeros. Así, las principales fuentes de materia prima para la producción de monómeros son:

- Productos Naturales.
- Hulla o Carbón Mineral.
- Petróleo.

2.3.1 Productos naturales: en un principio esta fue la fuente utilizada para la producción de polímeros comerciales. La primera macromolécula modificada fue la celulosa, la cual se encuentra en la mayoría de los vegetales y presenta una estructura química constituida por unidades de glucosa enlazadas por átomos de oxígeno formando largas cadenas. Cuando son eliminados los grupos hidroxilos por diferentes reacciones, se obtienen derivados de la celulosa. Cuando esta reacciona con ácido nítrico da origen a la nitrocelulosa, de igual forma se puede obtener el acetato de celulosa.

De todos los productos naturales, el petróleo es el más importante. A través de la destilación fraccionada del crudo, se pueden obtener varios productos (naftas, gasolina, kerosina, diesel, grasas parafinitas, aceites lubricantes, etc.). La fracción de donde se obtienen los polímeros es la nafta, la cual al ser procesada genera varias partes gaseosas con moléculas saturadas e insaturadas. Las moléculas insaturadas (etileno, propileno, butadieno, butano, isobutileno) son separadas y aprovechadas para la producción de polímeros.

2.3.2 Hulla o carbón mineral: al ser sometida a un proceso de destilación en seco, se pueden obtener gas de hulla, amonio,

alquitrán de hulla o coque. Del gas de hulla es posible separar el etileno (para posteriormente producir polietileno), metano (que por medio de oxidación produce formaldehído, materia básica para la formación de resinas de tipo fenol- formaldehído, urea- formaldehído) y finalmente, el amonio que es utilizado para producir urea y aminas para resinas epóxicas.

El alquitrán de hulla es una mezcla compleja que por destilación produce benceno (utilizado para producir fenol y estireno).

Del coque se obtiene acetileno, el cual por hidrogenación produce etileno y este reacciona con ácido clorhídrico produciendo cloruro de vinilo.

2.4 Producción de los polímeros

Los polímeros al igual que muchos materiales se obtienen a partir de materia prima en plantas especializadas. El proceso para producir un polímero es llamado polimerización, existen dos tipos:

2.4.1 Polimerización en cadena: el material inicial para la polimerización en cadena con frecuencia es un monómero, en el que hay un enlace doble que se puede abrir con la ayuda de un compuesto llamado iniciador (sustancia orgánica o inorgánica o también puede ser un catalizador que no se consume en la reacción). Se lleva a cabo utilizando temperatura elevada y presión baja, este proceso es conocido también como polimerización por adición.

Las estructuras mas frecuentes para llevar a cabo este tipo de reacción son los hidrocarburos, en los que el carbono y el hidrogeno pueden formar cadenas rectas (hidrocarburos alifáticos) y anillos de benceno (hidrocarburos aromáticos).

2.4.2 Polímeros de reacciones por pasos: en este caso se unen dos monómeros en grupos cortos que crecen gradualmente, pero también se libera un derivado de bajo peso molecular, por ello se le llama también reacción por condensación.

En estos polímeros, la longitud promedio de la partícula es controlada cuando se lleva a cabo la reacción, esto significa que el grado de polimerización o número de meros es controlado.

2.5 Clasificación de los polímeros

Existen tres formas de clasificar los polímeros:

- Por su estructura química.
- Por su comportamiento mecánico.
- Por su desempeño mecánico.

2.5.1 Clasificación por su estructura química: esta analiza un polímero en cuanto a la estructura del mero. Existen de cadena carbónica y de cadena heterogénea.

2.5.1.1 Polímeros de cadena carbónica:

- Poliolefinas.
- Polímeros de tipo dienos.

- Polímeros de tipo estirenicós.
- Polímeros de tipo cloruros.
- Polímeros de tipo fluoruros.
- Polímeros de tipo acrílicos.
- Esteres polivinílicos.
- Poli (fenol- formaldehído).

2.5.1.2 Polímeros de cadena heterogénea:

- Poliéteres.
- Poliésteres.
- Policarbonato.
- Poliamidas.
- Poliuretanos.
- Aminoplásticos.
- Celulósicos.
- Siliconas.

2.5.2 Clasificación por su comportamiento mecánico: los polímeros pueden ser clasificados por su comportamiento mecánico en:

2.5.2.1 Plásticos: son materiales poliméricos sólidos a temperatura ambiente. Existen dos tipos:

- Termoplásticos
- Termorígidos: a este grupo pertenecen los elastómeros.

2.5.2.2 Elastómeros: son deformables a temperatura ambiente, al aplicarle un esfuerzo son comprimibles, pero recobran su

forma original al ser retirado este. La flexibilidad de los elastómeros se debe a cadenas flexibles, las cuales se amarran unas con otras. Entre las principales propiedades de los elastómeros se pueden mencionar:

- Aceptan grandes deformaciones, manteniendo su modulo de elasticidad y resistencia mecánica una vez deformados.
- Una vez retirado el esfuerzo, se recuperan totalmente de la deformación.

2.5.2.3 Fibras: en este grupo se encuentran el Nylon, poliéster, etc.

2.5.3 Clasificación por su desempeño mecánico: se basa en cuanto al desempeño mecánico cuando son utilizados para diferentes funciones. Existen los siguientes tipos:

2.5.3.1 Termoplásticos convencionales

2.5.3.2 Termoplásticos especiales

2.5.3.3 Termoplásticos de ingeniería

2.5.3.4 Termoplásticos de ingeniería especiales

2.6 Polímeros utilizados en la modificación de asfaltos

Actualmente los cementos asfálticos son modificados con elastómeros, SBR y SBS, o con plastómeros (EVA), los nombres completos para estos

compuestos son los siguientes: Acetato de Etil-vinilo (EVA), Estireno-Butadieno- Latex (SBR) y Estireno-Butadieno-Estireno (SBS).

A continuación se presenta un resumen de las propiedades de estos compuestos.

2.6.1 Acetato de etilo: líquido inflamable, incoloro con olor característico a frutas, su punto de ebullición es de 77°C (171 °F). Es incompatible y reacciona con los oxidantes, catalizadores para polímeros de vinil, peróxidos, ácidos fuertes, cloruro de aluminio. Puede polimerizarse si es contaminado o sujeto a calentamiento.

2.6.2 Acetato de vinilo: líquido incoloro, con olor característico a frutas, inflamable. Es incompatible y reacciona con los oxidantes, ácidos, bases, sílica gel, alumina, azocompuestos, ozono. Su punto de ebullición es de 72°C (162 °F) y su punto de inflamación es de 492.78°C (919.01 °F). Puede polimerizarse si es contaminado.

2.6.3 Estireno: líquido incoloro a amarillo, aceitoso. Puede formar peróxidos en circunstancias específicas, iniciando una polimerización explosiva. La sustancia se puede polimerizar debido al calentamiento suave bajo la influencia de la luz, con peligro de incendio o explosión. Reacciona fácilmente con oxidantes fuertes, arriba de 31 °C (88°F) puede formar mezclas explosivas vapor / aire. Tiene un punto de ebullición de 145 °C (293°F), su densidad relativa es de 0.9 mg/ml, su temperatura de auto ignición es de 490 °C (914°F).

2.6.4 Butadieno: gas licuado comprimido, incoloro, su punto de ebullición es de $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (24.8°F), su punto de fusión es de $-109\text{ }^{\circ}\text{C}$ (-164°F). Extremadamente inflamable. La sustancia puede formar peróxidos en circunstancias específicas, iniciando una polimerización explosiva, puede polimerizarse debido al calentamiento suave bajo la influencia de la luz, con peligro de incendio o explosión. Se descompone con explosión por calentamiento rápido a presión. Reacciona vigorosamente con oxidantes y otras muchas sustancias, originando peligro de incendio y explosión. Ataca al cobre y sus aleaciones, formando compuestos sensibles al choque

3. ASFALTOS MODIFICADOS

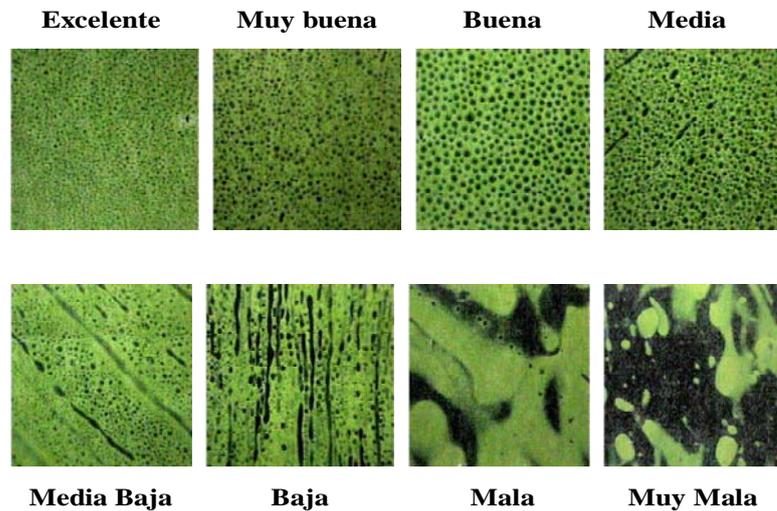
3.1 Antecedentes

En lo que concierne al aspecto histórico de la modificación de ligantes hidrocarbonatos con polímeros, la idea de modificar asfalto con polímeros se remonta a 1960 en Italia, Francia y Alemania, donde se llevaron a cabo los primeros proyectos de prueba. En esta época en Estados Unidos también surgió la inquietud llevándose a cabo los primeros proyectos de construcción en 1960. En Italia se construyeron más de 1000 Km. de carreteras con este tipo de asfalto, poniendo capas de rodamiento con asfaltos modificados con polímeros ya sea base seca o látex.

Para llevar a cabo la modificación de asfalto, se debe conocer la compatibilidad de este con el modificador para que coexistan como sistema, es decir debe ser miscible, lo que indica una mezcla monofásica. La inmiscibilidad se traduce en la aparición de una segunda fase. Un polímero es compatible con el asfalto cuando la heterogeneidad de la mezcla no se puede apreciar por un examen visual.

Los asfaltos más ricos en fracciones aromáticas y resinas serán los más compatibles, ya que estas fracciones son las que permiten que el polímero se disuelva. Los asfaltos menos compatibles son los más ricos en asfaltenos y saturados.

Figura 5. Compatibilidad asfalto- polímero



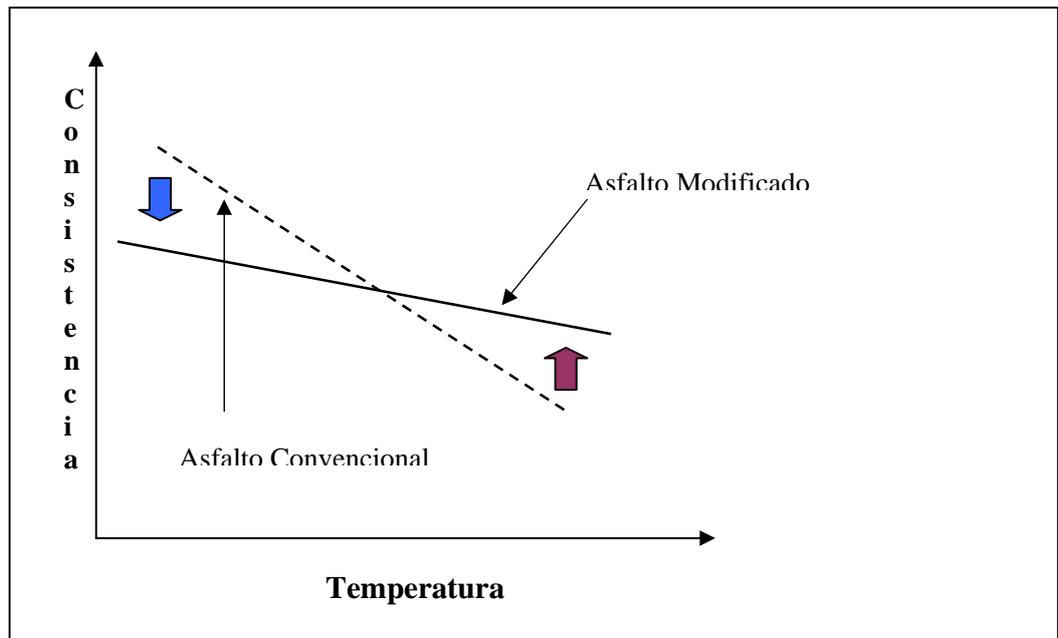
Fuente: Conferencia: Introducción a la Química del Asfalto por: Ing. German Garzon, Costa Rica, 2004

El comportamiento del asfalto depende básicamente de tres factores:

- Temperatura
- Tiempo de carga
- Envejecimiento

A altas temperaturas y bajo cargas sostenidas, el asfalto se comporta como un líquido viscoso, es una mezcla plástica la cual provoca ahuellamiento. A bajas temperaturas y bajo cargas rápidas se vuelve frágil, ocasionando grietas transversales y agrietamiento térmico.

Figura 6. Comportamiento asfalto convencional vrs. asfalto modificado



Fuente: Introducción a la Reología de los Asfaltos Modificados. Conferencia dictada por: Ing. German Garzon Costa Rica, 2004..

El objetivo perseguido con la adición de polímeros al asfalto es el de mejorar su reología, buscando:

- Disminuir la susceptibilidad térmica. Disminuir la fragilidad en climas fríos y aumentar la cohesión en tiempos de calor.
- Disminuir la susceptibilidad a los tiempos de aplicación de carga.
- Aumentar la resistencia a la deformación permanente y a la rotura en un rango más amplio de temperaturas, tensiones y tiempo de carga.
- Mejorar la adherencia a los agregados.

3.2 Definición

Los asfaltos modificados son producto de la incorporación en el asfalto de un polímero o de hule molido. Esto se hace con el fin de modificar sus propiedades físicas y reológicas para disminuir su susceptibilidad a la temperatura, humedad y oxidación e incrementar la adherencia con el material pétreo. Aumentar la resistencia de las mezclas asfálticas a la deformación y esfuerzos de tensión repetidos⁵

3.3 Polímeros utilizados en la modificación de asfaltos

3.3.1 Elastómeros: son polímeros de respuesta elástica (caucho, SBS, SBR, Isopreno).

3.3.2 Plastómeros: rigidizan el asfalto ofreciendo resistencia, como consecuencia no son deformables elásticamente (PVC, EVA).

3.4 Asfaltos modificados con polímeros tipo elastómeros

Se requiere mezclar tres componentes: asfalto, resina base y un endurecedor, lo que complica la modificación ya que debe existir compatibilidad entre estos.

Los asfaltos modificados tienen una elevada resistencia mecánica, gran resistencia a la tracción, buen poder humectante y adhesión a los agregados. Si el trabajo con este tipo de asfalto es realizado dentro de los parámetros correctos, su tiempo de vida está condicionado por la vida del agregado, no por el asfalto; en otras palabras el pavimento se

⁵ H. L. Robinson. Polymers in Asphalt. (United States of America, 2004) p. 15

deteriora por trituración o abrasión del agregado antes que por la falla del ligante (asfalto). Su resistencia al envejecimiento es excelente.

Son empleados para casos específicos como:

- Zonas de frenado intenso, donde se requiere una gran resistencia al derrapaje.
- Zonas donde se requiere resistir a las maniobras o a los agentes químicos.
- Zonas donde se requiere mantener una buena rugosidad durante largos periodos de tiempo.

3.4.1 Latex, hule natural, SBS, SBR: este tipo de polímero es el más utilizado en la modificación del asfalto, el efecto de la adición de estos al asfalto es aumentar su intervalo de plasticidad y disminuir la susceptibilidad térmica. El punto de ablandamiento puede aumentar hasta 20°C, a temperaturas inferiores a 70°C los asfaltos tienen menor penetración, esto es interesante ya que a estas temperaturas se dan deformaciones en las superficies de rodamiento.

Los asfaltos son mas duros pero siguen siendo elásticos lo que evita la formación de roderas y el agrietamiento de las mismas. La rigidez de estos asfaltos ayuda a soportar los largos tiempos de carga sin deformaciones.

Entre -10°C y + 10°C el elastómero proporciona al asfalto mayor elasticidad sin aumentar la rigidez.

3.4.2 Hule de llanta: las propiedades que adquiere el asfalto al añadirle este tipo de hule son similares a las que se obtienen con el polímero SBR o SBS aunque, se deben utilizar dosificaciones más elevadas. Las llantas para ser utilizadas como agentes modificadores de asfalto requieren de un proceso físico para reducir sus dimensiones, el cual suele ser complejo.

Estos asfaltos modificados presentan altas viscosidades por lo que se requiere el empleo de algún fluidificante, alrededor del 6% de queroseno. Son usados principalmente en riegos de sello destinados a absorber las grietas debidas a contracciones y dilataciones, estos riegos son llamados SAM (membranas de absorción de tensiones).

3.5 Asfaltos modificados con polímeros tipo plastómeros

Debido a la forma en que estos polímeros se incorporan al asfalto aumentan de forma considerable su viscosidad, incluso en bajas dosificaciones.

Si se aumenta la concentración del polímero, se llega a un punto en el cual la mayoría de los aceites están asociados con el polímero y se produce un cambio drástico en las propiedades físicas del asfalto. Estas se acercan más a las propiedades del polímero que a las del asfalto. Esto sucede cuando el contenido del polímero va de 8 – 10%, en este punto, el asfalto aumenta el intervalo de plasticidad, aumenta la resistencia a la ruptura, disminuye su sensibilidad térmica sobre todo en el intervalo de temperaturas de aplicación.

3.5.1 Polietileno: este polímero no tiene una alta compatibilidad con el asfalto ni le confiere propiedades espectaculares, pero se usa ya que es un componente de bajo costo y soluciona un problema ecológico, al poder disponer de los desechos de este material en las carreteras.

Los asfaltos modificados con este tipo de polímero termoplástico cuando son añadidos en bajas proporciones, poseen las siguientes propiedades:

- Buena resistencia al calor.
- Buena resistencia al envejecimiento.
- Baja viscosidad.

En el plano mecánico:

- La resistencia Marshall aumenta de 2 a 2.5 veces a 25°C mientras que a 0°C y -2.5°C es prácticamente igual a la de un asfalto convencional.
- Buena flexibilidad a baja temperatura.
- Cuando es utilizado en concentraciones de 7% aumenta la rigidez del asfalto a temperaturas elevadas.
- Buena resistencia a deformaciones permanentes.

3.5.2 PVC: este polímero tiene baja compatibilidad con el asfalto, no es resistente al calor y se descompone por la acción de la luz solar. Resiste muy bien al agua y/o agentes químicos; es por esto que no es utilizado para la modificación de asfalto.

3.5.3 EVA: los polímeros o resinas Etilo-Vinil - Acetato son relativamente nuevos en la modificación de asfaltos, son muy compatibles con estos.

La relación acetato de vinilo/ etileno es muy importante, pudiéndose variar el contenido de acetato de vinilo de algún % hasta 50% o incluso mas. Cuando los contenidos de acetato de vinilo son bajos las propiedades se asemejan a las de los asfaltos mencionados anteriormente. Un polímero EVA con un contenido del 18% de acetato de vinilo es el más adecuado para ser usado en la construcción de carreteras. Cuando se aumenta la concentración de acetato de vinilo en el polímero (15 a 30%), adquiere un excelente poder adherente.

Los asfaltos modificados con EVA poseen las siguientes características:

- Buena estabilidad térmica a un costo razonable.
- Las dosificaciones de polímero oscilan entre el 2 hasta un 10% dependiendo de las propiedades que se pretende obtener.
- La temperatura de ablandamiento aumenta entre 6 y 12°C.
- Excelente resistencia al resquebrajamiento en flexión es decir a las fatigas provocadas por las flexiones o vibraciones repetidas.
- Aumentan la cohesión de las mezclas a medida que se aumenta el contenido del polímero.

3.6 Especificaciones de asfaltos modificados

Al igual que para los cementos asfálticos sin modificar, esta normativa se encuentra en el libro “ESPECIFICACIONES GENERALES PARA CONSTRUCCION DE CARRETERAS Y PUENTES”, año 2001 en la sección 411 (Asfaltos modificados), es regulada por la Dirección General de Caminos, están basadas en normas AASHTO y ASTM.

3.6.3 Normas

Tabla IV. Normas AASHTO y ASTM aplicables a asfaltos modificados

ENSAYO	AASHTO	ASTM
Viscosidad cinemática a 135°C	T - 201	D - 2170
Viscosidad dinámica a 60°C	T - 202	D - 2171
Penetración	T - 49	D - 5
Recuperación Elástica por Torsión	*****	*****
Prueba de Película Delgada en Horno	T - 179	D - 1754
Prueba Giratoria de Película Delgada en Horno	T - 240	D - 2872
Viscosidad Rotacional Tipo Haake	*****	D - 4402
Recuperación Elástica por Ductilometro	*****	D - 6084
Resilencia a 25°C	*****	D - 3407
Gravedad Especifica	T - 228	D - 70
Punto de Ablandamiento	T - 53	D - 3695

3.5.2 Ensayos

Las pruebas de viscosidad cinemática, viscosidad dinámica, penetración, gravedad específica, prueba de película delgada en horno, prueba giratoria de película delgada en horno y punto de ablandamiento se realizan de la misma manera que para asfaltos sin modificar.

3.5.2.1 Recuperación elástica por torsión: se utiliza para determinar la elasticidad que presentan los cementos asfálticos modificados. Este método de prueba es útil para confirmar que el material que ha sido añadido a la muestra tiene propiedades elásticas. No necesariamente identifica y especifica el tipo y el porcentaje de polímero utilizado. Para llevar a cabo la prueba se utiliza un cilindro de dimensiones especificadas, el cual se sumerge en la muestra de asfalto modificado y mediante un dispositivo de torsión se gira el cilindro 180° y se determina después de 30 minutos, el ángulo recuperado por el cilindro. 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.

Figura 7. Equipo ensayo de recuperación elástica por torsión.



Fuente: Laboratorios Asfalga.

3.5.2.2 Resiliencia ASTM D- 3407 (Método de prueba estándar para selladores de juntas, concreto y pavimentos asfálticos): al igual que la anterior determina la elasticidad y dureza que presentan los cementos asfálticos. Para llevar a cabo esta prueba se utiliza el penetrómetro usado para la prueba de penetración, con la única diferencia de que la aguja utilizada para la prueba es sustituida por la aguja de resiliencia.

Figura 8. Penetrómetro modificado (ASTM D- 3407).



Fuente: Laboratorio Asfalgua.

3.5.2.3 Recuperación elástica por ductilometro ASTM D-6084 (Método de prueba estándar para materiales bituminosos): la recuperación elástica de un material se determina mediante la tensión recobrada, después de alargar severamente el espécimen de muestra del material. Este se estira a una distancia, velocidad y temperatura específicas. A menos que se determine otra cosa la

prueba debe realizarse a una temperatura de $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$ y a una velocidad de $5 \pm 5 \text{ cm. / min.}$

Figura 9. Ductilometro (ASTM D – 6084)



Fuente: Laboratorio ProIn Asfaltos.

4 INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

4.1 Diseño de mezcla asfáltica: 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) que produzcan una mezcla con:

- Suficiente asfalto para proporcionar un pavimento durable.
- Buena estabilidad para satisfacer las demandas de tránsito sin producir deformaciones o desplazamientos.
- Suficiente trabajabilidad para evitar la segregación al momento de la colocación.
- Un contenido de vacíos lo suficientemente alto, para permitir una ligera cantidad de compactación adicional bajo las cargas producidas por el paso de vehículos sin que se produzca exudación.

El diseño de mezcla adecuado, es generalmente el más económico y que cumple satisfactoriamente los criterios mencionados anteriormente. De acuerdo a la normativa AASHTO y ASTM existen dos tipos de diseños de mezclas asfálticas:

- *Marshall*: Utilizado en el diseño debido a que se encuentra dentro de las “Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes” año 2001, sección 401(Pavimentos).
- *Hveem*

4.1.1 Método de Diseño *Marshall*: el concepto de este método fue desarrollado por Bruce Marshall, ingeniero del estado de Mississippi. En su forma actual, surgió de una investigación iniciada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos en

1943.⁶ Su propósito es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método 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* solo se aplica a mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación, que usan cemento asfáltico clasificado por penetración o viscosidad y que contienen agregados con tamaño máximo de 25 mm (1 pulgada). Puede ser usado para el diseño en laboratorio o para el control de campo de pavimentos.

Se deben utilizar probetas 64 × 102 mm de diámetro. Una serie de muestras, cada una con la misma combinación de agregados pero con diferente contenido de asfalto, son preparadas de acuerdo a procedimientos específicos.

Los dos datos más importantes del diseño de mezclas del método *Marshall* son:

- Análisis de la relación vacíos- densidad
- Prueba de estabilidad- flujo de las muestras compactadas.

A continuación se presenta la metodología seguida en el diseño realizado.

⁶Asphalt Institute. Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla en Caliente. (1998), 70.

4.1.1.1 Caracterización de agregados

- Análisis granulométrico (AASHTO T 11)
- Determinación del peso específico del agregado.
- Desintegración al sulfato de sodio(AASHTO T 104)
- Prueba de abrasión de los Ángeles (AASHTO T 96)
- Partículas planas y alargadas
- Índice plástico (AASHTO T 90)
- Equivalente de arena (AASHTO T 176)

4.1.1.2 Caracterización de asfaltos

Trabajado de acuerdo a lo indicado en las tablas III y IV.

4.1.1.3 Elaboración de probetas de ensayo

Cada una contiene una diferente cantidad de asfalto, las muestras son preparadas de la siguiente manera:

- El asfalto y los agregados se calientan y se mezclan hasta que todas las partículas estén revestidas de asfalto. Para simular el proceso de calentamiento y mezclado que ocurre en la planta.
- Luego de haber mezclado, es colocada en los moldes Marshall para después compactarlas con el martillo.
- Las probetas son compactadas mediante golpes del martillo. El número de golpes depende de la cantidad de

tránsito para la cual ha sido diseñada la mezcla. Luego de esto, se deja enfriar las briquetas y posteriormente son extraídas de los moldes.

Después de que las probetas han sido preparadas se procede a determinar el peso específico total, medir la estabilidad, la fluencia Marshall, analizar la densidad y el contenido de vacíos de cada una.

4.2 Caracterización de materiales

4.2.1 Agregado mineral: Conocido como roca, material granular o agregado mineral es cualquier material duro e 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 roca⁷.

4.2.1.1 Agregado grueso:

- **Granulometría ASTM C- 136 (Método estándar para el análisis de agregados por tamizado):** esta norma cubre la determinación de la distribución del agregado fino y grueso por tamizado.
- **Gravedad específica ASTM C- 127, 128 (Método estándar para determinar la gravedad específica y el porcentaje de absorción de agregado fino y grueso):** esta norma cubre la determinación de la gravedad específica y absorción de agregados. La gravedad específica puede ser expresada como

⁷ Asphalt Institute. Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. (1998), 36.

gravedad específica bulk (GSB), gravedad específica aparente (GSA). La GSB y el porcentaje de absorción son realizados a agregados que han sido sumergidos en agua durante un periodo de 24 horas.

- **Prueba de abrasión AASHTO T – 96 (Resistencia del agregado a la degradación por abrasión e impacto por medio de la máquina de los Ángeles):** esta norma cubre el procedimiento para evaluar el desgaste para agregados finos y gruesos. El desgaste máximo permisible es de 35%. De acuerdo a la graduación del material existen 4 tipos de abrasión:

Tabla V. Tipos de Abrasión

TIPO	RETENIDO	PESO (gr.)	No. DE ESFERAS	REVOLUCIONES	TIEMPO (min.)
A	1", 3/4", 1/2" y 3/8"	1250 ±10	12	500	17
B	1/2" y 3/8"	2500 ±10	11	500	17
C	1/4" y # 4	2500 ±10	8	500	17
D	# 8	2500 ±10	6	500	17

Fuente: Adaptación de Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing. AASHTO 1998. Vol. 2.

- **Desintegración al sulfato de sodio AASHTO T – 104 (Desintegración de agregados utilizando sulfato de sodio o de magnesio):** esta norma cubre el procedimiento para evaluar la desintegración del agregado cuando es sometido a efectos climáticos. Se realiza mediante inmersiones del agregado en una solución de sulfato de sodio o de magnesio y posteriormente el material es secado en un horno. Las fuerzas internas derivadas de

la constante rehidratación del material simulan la expansión del agua en casos de lluvia o estados de congelamiento. El porcentaje máximo permisible es de 12 %.

Tabla VI. Distribución de agregados para prueba de desintegración al sulfato de sodio.

RETENIDO DE TAMIZ	CANTIDAD (gr.)	CAPSULA
1"	1000	1
3/4"	500	
1/2"	670	2
3/8"	330	
1/4"	200	3
# 4	100	

Fuente: Adaptado de Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing. AASHTO 1998. Vol. 2.

- **Partículas planas y alargadas ASTM D 4791 (Partículas planas y alargadas en agregados):** esta norma cubre el procedimiento para evaluar el porcentaje de partículas planas y alargadas en una muestra de agregado. El porcentaje máximo permisible de partículas planas y alargadas es de 8%.

4.2.1.2 Agregado fino

- **Equivalente de arena AASHTO T 176 (Método de prueba estándar para el valor de equivalente de arena en suelos y agregados finos):** esta norma cubre el procedimiento para conocer la relación de material arcilloso o fino en una fracción del agregado. Esta prueba se realiza únicamente a agregados que

pasan el tamiz # 4 (4,75 mm). El término equivalente de arena se refiere a que la mayoría de suelos granulares así como agregados finos son una mezcla de partículas de arena y generalmente partículas indeseables de arcilla finos y polvo.

Para su utilización en pavimentos asfálticos, el agregado debe tener como mínimo un 35% de equivalente de arena.

- **Índice plástico AASHTO T 90 (Método de prueba estándar para determinar el valor de índice plástico en suelos granulares y agregados finos):** este ensayo se utiliza para determinar el contenido de agua de suelos o agregados, de acuerdo al cual el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido.

Para su uso en carreteras, es permisible hasta un máximo de 4% como límite plástico. Debido al tipo de material utilizado, este no tiene límite plástico.

5. DESARROLLO EXPERIMENTAL

5.1 Caracterización de materiales

5.1.1 Agregados: se utilizaron agregados de 1" a No. 56, 3/8" a 0" y 3/8" lavado, triturados en AGREGUA (Agregados de Guatemala), de su planta Palín Oeste.

Los resultados de las pruebas realizadas se incluyen en el anexo 2 y están dentro de las ESPECIFICACIONES GENERALES PARA CONSTRUCCION DE CARRETERAS Y PUENTES, 2001 sección 401 "Pavimentos de concreto asfáltico en caliente", reguladas por la Dirección General de Caminos.

Tabla VII. Resultados caracterización de agregados.

Prueba	Norma	Especificación	Resultados
Prueba de Abrasión de los Ángeles tipo B*	AASHTO T-96	35% Máx.	17.16
Prueba de Abrasión de los Ángeles tipo C*	AASHTO T-96	35% Máx.	21.04
Desintegración al sulfato de sodio**	AASHTO T-104	12% Máx.	4.69
Partículas planas y alargadas	ASTM D-4791	8% Máx.	2.95
Gravedad específica	ASTM C- 29	*****	2.6771
Equivalente de arena	AASHTO T-176	35% Min.	82.5
Índice plástico	AASHTO T-90	4% Máx.	No aplica
Análisis granulométrico	ASTM C- 136	*****	Cumple especificaciones

Nota:

* Los tipos de abrasión fueron únicamente el B y el C (debido al diseño de mezcla asfáltica utilizada Tamaño nominal máximo 19 mm.).

** Debido al tipo de mezcla a utilizar, solo se preparan las dos últimas cápsulas para el ensayo de desintegración al sulfato de sodio.

5.1.2 Polímeros:

Para definir la cantidad de polímero a utilizar se hicieron pruebas, empezando con un 0.5% y se fue aumentando de 0.5 en 0.5% hasta llegar a un 5%, posteriormente se decidió cual era el porcentaje óptimo, este proceso se realizó para ambos polímeros. Los polímeros utilizados fueron:

- Polímero de tipo elastómero (Elvaloy 4170 SBS de la casa Dupont)
- Polímero de tipo plastómero (Licomont BS- 100) (ver anexo 3 para ficha técnica de ambos polímeros).

5.1.3 Cemento asfáltico: extraído de la refinería la Libertad ubicada en el municipio de La Libertad en el departamento de Peten y comercializado por la empresa ProIn Asfaltos. Se adjunta la ficha técnica de este asfalto (Ver anexo 1).

Los ensayos se realizaron de acuerdo a las recomendaciones de las normas descritas en los capítulos 1 y 3.

5.1.3.1 Caracterización del asfalto tipo AC- 20 Convencional

Tabla VIII. Resultados caracterización del AC- 20 Convencional

PRUEBA	ASFALTO CONVENCIONAL (AC-20)	UNIDADES
Penetración, 100 gr., 5 seg., 25°C	77	dmm
Penetración, 200 gr., 60seg., 4°C	5	dmm
Gravedad Especifica 60°F/60°F	1.063	adimensional
Punto de Flama	330	°C
Gravedad API 60°F/60°F	1.6	°API
Pérdida de masa por calentamiento	0.89	%
Viscosidad cinemática a 135°C	441.8	Cst
Viscosidad por viscosímetro capilar de vacíos a 60°C	2162.2	P
Recuperación Elástica por Ductilometro, 25 °C	10	%
Recuperación Elástica por Torsión, 25 °C	3	%
Punto de Ablandamiento	47	°C
Masa/Unidad de volumen	8.73	Lbs/ gal
ENSAYOS AL RESIDUO TFOT		
Viscosidad, 60C	5317	P
Ductilidad, 25° C	105	cm

5.1.4 Cementos Asfálticos Modificados:

Tabla IX. Resultados caracterización de asfaltos modificados

PRUEBA	ASFALTO MODIFICADO CON POLIMERO ELASTOMERO (AC-20E)	ASFALTO MODIFICADO CON POLIMERO PLASTOMERO (AC-20P)	UNIDADES
Penetración, 100 gr., 5 seg., 25°C	58	54	dmm
Penetración, 200 gr., 60seg., 4°C	28	20	dmm
Gravedad Especifica 60°F/60°F	1.053	1.053	adimensional
Ductilidad, 4°C, 5 cm/min	7	2	cm
Gravedad API 60°F/60°F	1.6	1.58	°API
Pérdida de masa por calentamiento	2.1	2.1	%
Viscosidad Brookfield 135°C	2122	*****	cP
Recuperación Elástica por Ductilometro, 25 °C	85	10	%
Recuperación Elástica por Torsión, 25 °C	40	7	%
Punto de Ablandamiento	66	102	°C
Masa/ Unidad de volumen	8.73	8.73	Lbs/ gal
ENSAYOS AL RESIDUO TFOT			
Viscosidad, 60°C	5317	*****	P
Ductilidad, 25° C	105	*****	cm

A continuación se presentan gráficas de las propiedades más significativas de los cementos asfálticos evaluados.

Figura 10. Penetración a 25°C.

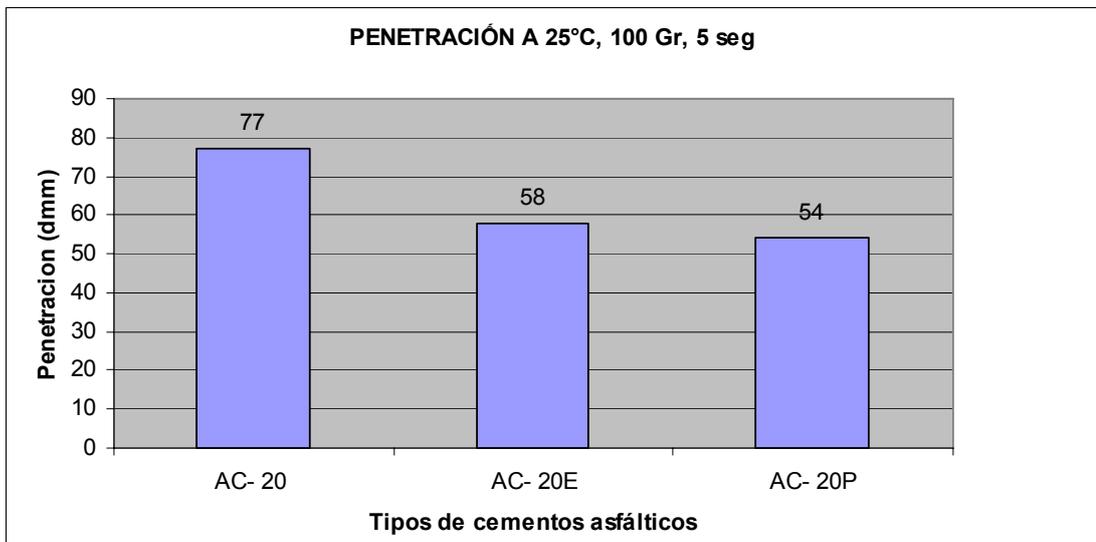


Figura 11. Penetración a 4°C.

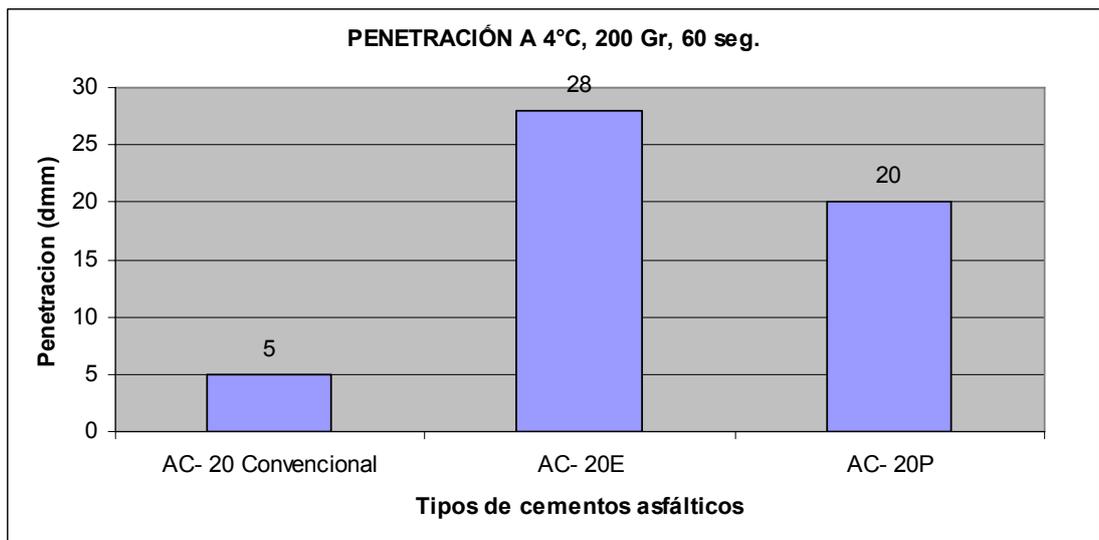


Figura 12. Punto de ablandamiento.

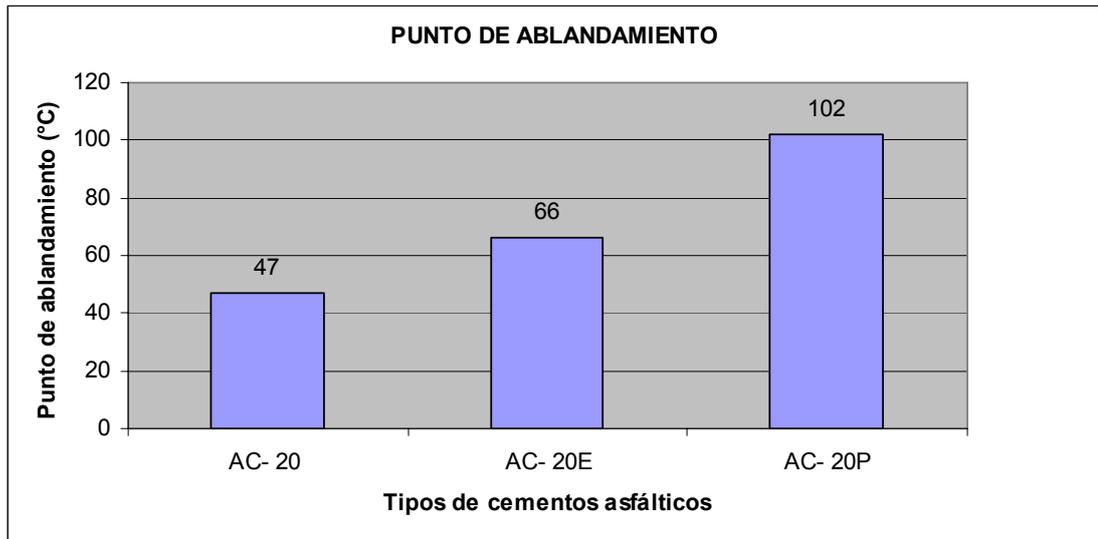
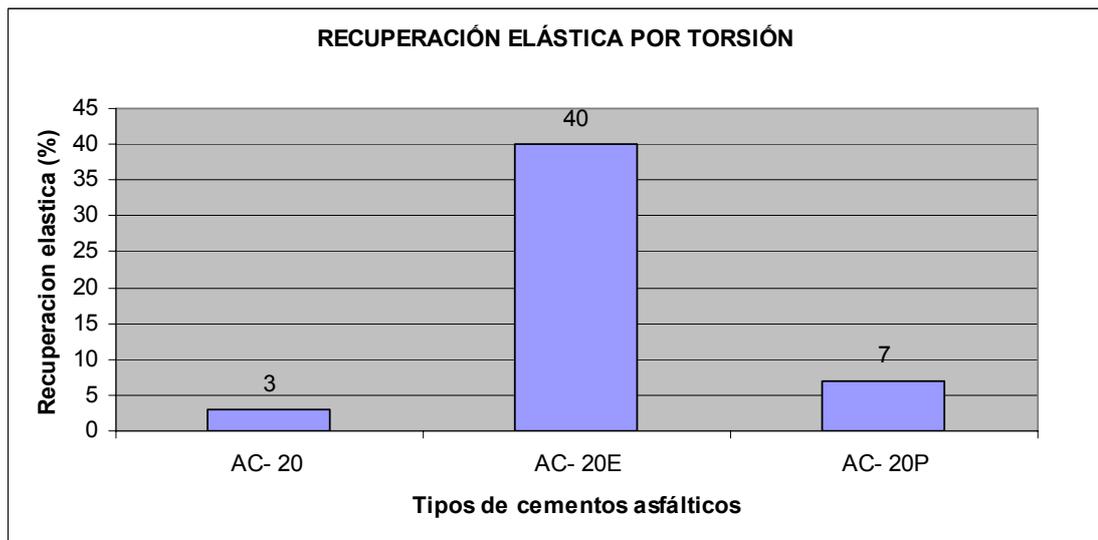


Figura 13. Recuperación elástica por torsión



5.2 Propuesta de diseño de mezcla asfáltica: el diseño de mezcla seleccionado para ser usado en un pavimento, es generalmente aquel que cumple de la manera mas económica, todos los criterios establecidos. En este caso debido a las cargas más pesadas a los que se ve sometida esta carretera (tramo de bacheo y mejoramiento, RD- 6), se llevo a la conclusión que, es necesario mejorar el comportamiento estructural del pavimento.

Se decidió utilizar una carpeta asfáltica usando asfalto modificado con polímeros de tipo elastómero (AC-20E), con un espesor promedio de 12 cm., colocados en 3 capas de 4 cm. cada una esto con el fin de adecuarse a las demandas actuales de tráfico (cargas más pesadas) además de garantizar mayor durabilidad, resistencia a las cargas, temperatura y envejecimiento. Se propone el diseño: tamaño nominal máximo de agregado 19mm y porcentaje óptimo de asfalto 5.30 (ver apéndice 1).

6 EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA

6.1 Descripción del proyecto

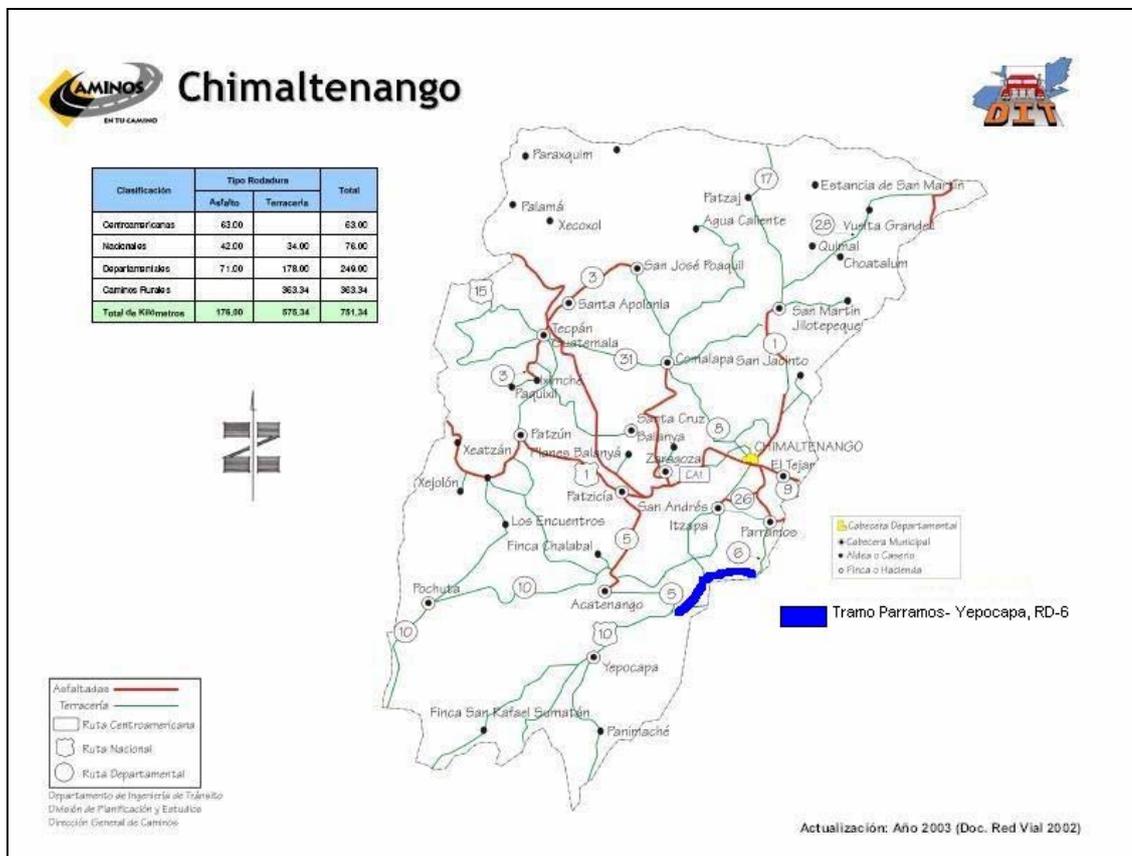
6.1.1 Localización geográfica: el tramo Parramos – Yepocapa inicia en el estacionamiento 61+ 300 y finaliza en el 68+ 300 de la RD 6 (Ruta departamental 6) , pertenece al departamento de Chimaltenango y colinda con los municipios de El Tejar al norte, al sur con Pastores al oeste con San Andrés Itzapa y al este con San Bartolomé. (ver gráfica No. 10)

6.1.2 Zona de Influencia: la habilitación de este tramo servirá de enlace para los municipios de Chimaltenango específicamente entre Parramos y Yepocapa, se verán beneficiados alrededor de 50,000 habitantes que se dedican principalmente a la agricultura, ya que se espera reducir el tiempo que emplean en movilizarse de un municipio a otro.

6.1.3 Características climatológicas: el proyecto abarca los municipios de Parramos y Yepocapa, ambos del departamento de Chimaltenango, ubicado en el altiplano central de la republica, el clima que predomina es templado en los meses de febrero a septiembre y frío durante los meses de octubre a enero cuando se siente la presencia de vientos mas o menos fuertes y relativamente fríos que pueden sobrepasar los 35 o 40 Km./ hora.

La temperatura máxima registrada ha sido de 26.8 °C y la temperatura mínima registrada de hasta 7°C. Los días en esta región se caracterizan por ser brumosos⁸.

Figura 14. Localización geográfica del proyecto (departamento de Chimaltenango)



Fuente: Dirección General de Caminos.

⁸ Boletín INSIVUMEH, enero 2007.

6.2 Características técnicas

El proyecto Parramos - Yepocapa se encuentra dentro de la clasificación del Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda (MICIVI), asignado al Fondo de Conservación Vial (COVIAL) como un tramo de bacheo y mejoramiento (BM) y tiene una longitud de 7kms, la colocación de la mezcla asfáltica modificada inició en el estacionamiento 66+ 920 y finalizó en el 67+ 733, con una longitud de 813 metros. Utilizándose para esto 360 toneladas de mezcla asfáltica modificada. Esta carpeta fue colocada sobre un pavimento flexible existente.

El área donde fue tendida la mezcla asfáltica modificada es un tramo plano con una sección curva.

6.2.1 Equipo utilizado en la aplicación de la mezcla: es básicamente el mismo que el utilizado en una aplicación de mezcla asfáltica sin modificar (no se utiliza la compactadora neumática).

:

- Camión regador: para aplicar el riego de liga.
- Máquina pavimentadora: para colocar la carpeta asfáltica del espesor requerido.
- Rodo Vibratorio de doble tambor: para la compactación.

6.2.2 Mano de obra necesaria: se requieren los operadores de cada maquina:

- Un operador del camión regador.
- Un operador para la maquina pavimentadora.
- Dos personas encargadas de emparejar las orillas de la pavimentadora.

- Un encargado de chequear el espesor de la carpeta.
- Un operador del rodo vibratorio.

6.2.3 Aplicación de la mezcla: la mezcla con asfalto modificado fue colocada sobre un pavimento asfáltico. El proceso a seguir es el siguiente:

- Se debe chequear siempre que la superficie este completamente nivelada libre y de cualquier clase de desechos antes de empezar a pavimentar.
- Aplicar un riego de liga a razón de 0.07 a 0.18 gal/m², con el fin de que exista adherencia entre la carpeta existente y la nueva.
- Chequear la temperatura a la que es entregada la mezcla asfáltica ya que no es adecuado compactar a temperaturas muy bajas.
- La pavimentación se lleva a cabo utilizando una pavimentadora o finisher, la cual esta conformada por dos unidades: la del tractor y la del enrasador. La unidad del tractor incluye una planta motriz y el enrasador es el encargado de colocar la carpeta de mezcla en caliente y controlar el espesor de esta aunque, el espesor es siempre revisado por un encargado que va midiendo con una varilla graduada. La plancha del enrasador debe ser calibrada para estar a la temperatura de la mezcla y evitar enfriamiento prematuro de la mezcla asfáltica.(Ver figura No. 15)

Figura 15. Aplicación de mezcla asfáltica modificada



- Se procede a compactar, esto consiste en comprimir el volumen de mezcla asfáltica para así obtener un volumen menor con el fin de aumentar la resistencia y estabilidad de la mezcla, también de cerrar los espacios por donde pueda colarse agua o aire, debido a que estos dos factores son dañinos. La carpeta fue compactada a 132 - 141°C (270 -285°F), se deben evitar temperaturas menores debido a que el tipo de asfalto utilizado ha sido modificado con polímeros de tipo elastómeros, lo cual hace que el bitumen se vuelva mas viscoso y esta propiedad aumenta conforme la temperatura disminuye. (Ver figura No. 16)

Figura 16. Compactación de mezcla asfáltica modificada



En el proceso de compactación fue utilizado únicamente un rodo vibratorio doble tambor. No es necesario utilizar una compactadota neumática.

El tiempo utilizado para la aplicación de la carpeta fue de 4 horas, empezando a las 9:30 a.m. y finalizando a las 13:15 p.m. considerando este tiempo de aplicación aceptable, las condiciones climáticas fueron favorables, con una temperatura ambiente de 27 °C.

6.2.4 Costos: el costo de la mezcla asfáltica modificada resulta más alto que el de la convencional hasta en un 27% pero, se pueden reducir los espesores de la carpeta hasta en un 20% y el ciclo de vida aumenta entre 20 – 30%.

6.2.4.1 Calculo del costo del tramo aplicado:

$$\text{Longitud} = 813\text{m}$$

$$\text{Ancho} = 7.6\text{m}$$

$$\text{Espesor} = 0.15\text{m}$$

$$\text{Espesor de carpeta modificada} = 0.12\text{m.}$$

Valor de la mezcla asfáltica colocada y compactada en obra = Q.580.00/ton.

Valor de la mezcla asfáltica modificada (AC-20E) (27% mas que la convencional) =

$$Q.580.00 \times 1.27 = Q.736.60$$

Toneladas necesarias para colocar 813 m. de mezcla convencional=

$$813 \times 7.6 \times 0.15 = 926.82\text{Ton}$$

Toneladas necesarias para colocar 813 m. de mezcla modificada (AC-20E) =

$$813 \times 7.6 \times 0.12 = 741.46\text{Ton}$$

Costo de mezcla asfáltica convencional =

$$926.82 \times Q.580.00 = Q.537,555.60$$

Costo de mezcla asfáltica modificada (AC-20E)=

$$741.46 \times Q736.6 = Q.546,159.44$$

Tabla X. Comparación de costos

	Costo (Q/ton)	Toneladas a utilizar (para 813 mts de longitud)	Total (Q)
Mezcla Convencional	580.00	926.82	537,555.60
Mezcla Modificada (AC-20E)	736.60	741.46	546,159.44

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1 Agregados

Los resultados obtenidos en los ensayos realizados a los agregados se encuentran dentro de las especificaciones establecidas por la Dirección General de Caminos en el libro “Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes” año 2001 (ver tabla VII ó apéndice 1).

7.2 Polímeros

Por las propiedades físico mecánicas de los polímeros (ver hoja técnica, anexo 2) se decidió utilizar polímeros elastómeros y plastómeros. El diseño de mezcla asfáltica fue realizado utilizando polímeros de tipo elastómeros debido a que son deformables elásticamente lo cual evita la formación de roderas en el pavimento en servicio, esta propiedad se debe a que son polímeros de tipo SBS.

7.3 Asfalto

Debido a que se requiere incrementar la resistencia a las cargas prolongadas y evitar el ahuellamiento producido por estas se necesita un asfalto con una respuesta elástica elevada, se decidió utilizar un AC-20E. Estas características se pueden observar en la recuperación elástica (por torsión y ductilometro) y en la penetración a 25 °C.

Los resultados del ensayo de penetración a 25°C muestran como el valor obtenido por el AC-20P fue menor que el obtenido por el AC-20E,

esto significa que el AC-20P es mas viscoso que el AC-20E. Entre el AC-20 y el AC-20E la penetración es menor en el último ya el valor de penetración de un AC-20 varía entre 70-90 dmm esto significa que al adicionar polímeros el asfalto se endurece. La disminución en los valores de penetración se debe a la inclusión de polímeros en el asfalto.(Ver tabla IX y figura 10)

Los resultados del ensayo de penetración a 4°C fueron menores para un AC-20P al compararlo con el AC-20E. Para un AC-20 el valor obtenido fue de 5 dmm, al compararlo con el AC-20E se observa que el asfalto es mas viscoso que un asfalto convencional, la adición de polímeros contribuye a que el asfalto no sea frágil a temperaturas bajas y conserve cierta elasticidad. (Ver tabla IX y figura 11)

Los resultados del ensayo de punto de ablandamiento del AC-20P fue mayor comparado con el del AC-20E esto significa que el AC-20P es un asfalto demasiado viscoso. El punto de ablandamiento del AC-20 fue de 47°C mientras que para un AC-20E este se incrementa, este resultado es proporcional a la penetración a 25°C, ya que al incrementar esta propiedad el punto de ablandamiento también aumenta (ver figura 12).

Una propiedad muy importante de los asfaltos modificados es la recuperación elástica, en el AC-20 P la recuperación elástica es muy poca en comparación con el AC-20E. El AC-20 prácticamente carece de esta propiedad (3%) es decir, no es elástico. (Ver figura 13)

En el caso de la recuperación elástica por ductilometro para un AC-20E se obtienen valores de 85% y para un AC-20P únicamente 10% de igual manera para el AC-20. (Ver tablas VIII y IX)

La pérdida de masa por calentamiento aumenta considerablemente para ambos asfaltos modificados al ser comparados con el AC- 20, esto quiere decir que se evaporan mas volátiles al modificar asfalto (ver tabla IX).

La masa por unidad de volumen se mantiene constante para los tres tipos de asfalto (ver tablas VIII y IX).

7.4 Aplicación de mezcla asfáltica modificada

Luego de haber comparado el comportamiento del asfalto modificado con polímeros de tipo elastómeros y plastómeros (ver tabla 9), se decidió realizar un diseño de mezcla asfáltica modificada utilizando asfalto modificado con elastómeros, esta fue debido a que es necesario mejorar el comportamiento estructural de los pavimentos para tratar de adecuarse a las demandas actuales de tráfico mediante una mejor selección de los materiales y diseños, para garantizar mayor durabilidad, resistencia a las cargas, temperatura y envejecimiento.

Se evaluaron las condiciones climáticas a las que se ve sometido el pavimento el cual por encontrarse en una zona templada (temperatura máxima 26.8°C), la probabilidad de que existan deformaciones es mayor que si el tramo estuviera ubicado en una zona fría.

El factor costo también se examino ya que a pesar de que la inversión inicial es mayor que la de una carpeta convencional la vida útil aumenta.

El tiempo utilizado para la aplicación es el mismo que para una mezcla convencional e incluso debería de hacerse de manera más rápida porque que es recomendable evitar el enfriamiento, de lo contrario la mezcla se vuelve más viscosa y no es posible realizar una buena compactación.

La mayor dificultad al momento de la aplicación de la mezcla asfáltica fue el hecho de que los transportistas de la mezcla, descubren el material al llegar a la obra, haciendo que la mezcla se enfríe lo que complica la compactación. Este problema se debe a la falta de instrucción al transportista.

Una ventaja importante de la aplicación de este tipo de mezcla es que se necesita menos personal para esparcir la mezcla y más económico porque no es recomendable utilizar la compactadora neumática.

CONCLUSIONES

1. Los agregados utilizados en el diseño de mezcla asfáltica modificada utilizando AC-20E, cumplen con la normativa descrita en Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes año 2001, de la Dirección General de Caminos, específicamente la sección 401 (Pavimentos de concreto asfáltico en caliente).
2. El asfalto utilizado para la realización de este trabajo de investigación es tipo AC- 20, extraído y procesado en la refinería La Libertad, en el departamento de Petén. Cumple con la normativa propuesta por AASHTO y ASTM.
3. El uso de polímeros para la modificación de asfaltos disminuye la susceptibilidad térmica de éste.
4. Se utilizaron polímeros tipo elastómeros en el diseño de mezcla asfáltica modificada en el tramo Parramos- Yepocapa debido a que mejoran las propiedades físico-mecánicas del AC-20 (ver tablas VIII y IX).
5. La adición de polímeros elastómeros mejora la resistencia a la deformación plástica de una mezcla asfáltica. Esto se observa en el comportamiento del AC- 20E en la recuperación elástica por torsión (ver tablas VIII y IX).
6. En el caso de polímeros de tipo elastómero la disminución de la susceptibilidad térmica se refleja en las propiedades físico-mecánicas del

AC-20E, específicamente el punto de ablandamiento (aumenta) y la penetración (disminuye).

7. Un obstáculo para la inclusión de polímeros en los cementos asfálticos es el incremento en el costo inicial, aunque se han demostrado los beneficios derivados de su uso, especialmente en Europa y Estados Unidos. Para la aplicación de mezcla modificada (813 metros de longitud), el costo resultó más alto que el de la convencional hasta en un 27%.
8. Cuando se utilizan polímeros elastómeros, el punto de ablandamiento aumenta, garantizando que el asfalto tendrá un buen desempeño trabajando a altas temperaturas.
9. El uso de polímeros elastómeros significa un aumento en la viscosidad, de esta forma la mezcla asfáltica es más resistente y el riesgo de fluir a temperaturas altas, disminuye.
10. La recuperación elástica aumenta de manera notable con la adición de polímeros de tipo elastómeros.
11. La temperatura de compactación para mezclas modificadas debe ser observada cuidadosamente, intentando no compactar a temperaturas menores de 132° C. De lo contrario la mezcla se vuelve más viscosa y difícil de manejar.
12. El uso de mezclas modificadas no altera los procedimientos usados normalmente en los trabajos de pavimentación.

RECOMENDACIONES

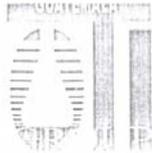
1. Llevar a cabo un estudio comparativo entre los beneficios obtenidos a largo plazo de la utilización de mezclas asfálticas modificadas y convencionales.
2. Darle seguimiento a esta investigación, utilizando diferentes clases de polímeros.
3. Es recomendable aplicar esta nueva técnica a la pavimentación de carreteras debido a que se pueden disminuir los espesores de la capa de rodadura y la capacidad estructural de ésta sigue siendo la misma; además, de disminuir costos en el mantenimiento preventivo.
4. Es recomendable observar la temperatura de compactación de la mezcla modificada, se deben evitar temperaturas menores a 132°C (270°F). De lo contrario la mezcla se vuelve muy viscosa por lo tanto no es trabajable.
5. Educar a los transportistas sobre la importancia de mantener la mezcla modificada tapada hasta el momento de descarga el camión de volteo en la *finisher*.
6. Capacitar a todo el personal involucrado en el manejo de mezcla asfáltica modificada a efecto de optimizar el proceso de aplicación.

7. Capacitar a los miembros de las entidades gubernamentales sobre las ventajas de este tipo de mezcla.
8. Incluir dentro del curso de pavimentos el diseño de mezclas asfálticas.

BIBLIOGRAFÍA

1. www.asphaltinstitute.org
2. Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes. Dirección General de Caminos. Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda. 2001
3. Comité Unido AASHTO- AGC- ARTBA, Guía de Especificaciones para Asfalto Modificado con Polímeros, EUA, 1992
4. Principles of Construction of Hot- Mix Asphalt Pavements. Asphalt Institute Manual Series No. 22. 1,997.
5. Annual Book of ASTM standards, Section 4, Construction, Volume 04.03. Road and paving materials, vehicle – Pavements, Systems, ASTM International.2005
6. Actualización Diseño del Pavimento CA- 1 Occidente Guatemala- San Lucas. Ing. José Leonel Aguilar Girón. Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda. Dirección General de Caminos. Guatemala. 2003.
7. The Shell bitumen handbook. Shell bitumen. Fifth edition. 2003.
8. The properties of asphaltic bitumen. JPh. Pfeiffer. Elsevier publishing company. 1950.
9. A Guide for Hot Mix Asphalt Pavement. National Asphalt Pavement Association. 2000.
10. Polymers in Asphalt. HL. Robinson. Rapra Technology's Limited. Vol 15. 2004
11. Ciencia Dos Polimeros. S. Canevarolo Jr. Ed. Artliber.2002

ANEXO 1. FICHA TÉCNICA AC-20



OIL TEST INTERNATIONAL

REPORT OF ANALYSIS

VESSEL: N/A PORT / TERMINAL: STORAGE CENTER DATE: JULY 06, 2006

SAMPLE OF: ASPHALT DRAWN BY: PRO IN ASFALT WITNESSED BY: N/A

YOUR REF: TANQUE No. 1 OTI REF: OTIGT06-311 LAB REF: LABASF-023-06

ANALYZED BY: OTI, GUATEMALA

SOURCE OF SAMPLE:		STORAGE CENTER	
METHOD	TEST	RESULTS	UNITS
ASTM D 5	Penetration of Bituminous materials 100 g/25 °C/ 5 s	75	dmm
ASTM D 70	Specific Gravity 60°F/60°F	1.039	adimensional
ASTM D 92	Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester	318	°C
ASTM D 1298	API Gravity 60°F/60°F	4.7	°API
ASTM D 1754	Effects of heat and air on asphaltic materials	0.30	%
ASTM D 2170	Kinematic viscosity of asphalts 135 °C	446.4	CSt
ASTM D 2171	Viscosity of asphalts by vacuum capillary Viscometer 60 °C	2270.8	P
	Test on residue of the oven		
ASTM D 113	Ductility of Bituminous Materials 25 °C	73	Cm
ASTM D 2171	Viscosity of asphalts by vacuum capillary Viscometer 60 °C	6029.1	P

*As per customer description:

Note this report of analysis may not be reproduced in part without the written permission of OTI Internacional of Guatemala S. A.

The results emitted by the laboratory only correspond to the analyzed sample which was submitted by Pro-In Asfalt

XO X 3176 - 3197 - 3198 ** Procedencia: Refinaria La Libertad Peten, Guatemala**

Walter Zelada Sanchez / OTI Chemist
OTI OIL TEST INTERNATIONAL GUATEMALA S.A.

ANEXO 2. FICHA TÉCNICA POLÍMEROS



Data sheets for over 62,000 metals, plastics, ceramics, and composites.

HOME • SEARCH • TOOLS • SUPPLIERS • FOLDERS • ABOUT US •

Searches: [Advanced](#) | [Material Type](#) | [Property](#) | [Composition](#) | [Trade Name](#) | [Manufacturer](#)

[Advertise with](#)

Free CD with 300 multiphysics presentations!

Dupont™ Elvaloy® 4170 Reactive Ethylene Terpolymer (RE



-  [Printer friendly version](#)
-  [Download to Excel \(requires Excel and Windows\)](#)
-  [Export data to your CAD/FEA program](#)

Material Notes:

A reactive ethylene terpolymer (RET) that can be used to modify the properties of asphalt binder used in pavi

Elvoy® 4170 is the most chemically reactive of the terpolymers manufactured by DuPont for use with asphalt, used with a wide range of asphalts, at mix levels as low as 1-2%.

Resulting polymer modified asphalt (PMA) is very stable, and can be stored for extended periods.

Availability: Globally

Information provided by DuPont.

Physical Properties	Metric	English	
Density	0.94 g/cc	0.034 lb/in ³	A
Bulk Density	0.577 g/cc	0.0208 lb/in ³	
Melt Flow	5 - 11 g/10 min	5 - 11 g/10 min	AS
Thermal Properties			
Melting Point	72 °C	162 °F	AS

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a cc requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conv We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that yo disclaimer and terms of use regarding this information. [Click here](#) to view all the property values for this datasheet as they were originally entere

TEST MY DESIGN
Outsource FEA from your desktop

www.testmydesign.com

1-818-225-8520 ext. 110

[TestMyDesign.com](#) lowers costs and speeds the design process as your FEA expert!

**ANEXO 3. REPORTE DE ANÁLIS DE AGREGADOS
REALIZADOS EN EL CENTRO DE INVESTIGACIONES
DE INGENIERÍA (CII)**



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



INFORME No. S.C. 602 O.T. No. 20886

INTERESADO: Martha Dina Avellán Cruz
 ASUNTO: ENSAYO DE DESGASTE POR ABRASION EN MAQUINA DE LOS ANGELES PARA AGREGADO GRUESO.
 PROYECTO: Trabajo de Graduacion
 DIRECCION: 6a. Av. 7-72, zona 8 de Mixco San Cristobal.
 FECHA: 27 de noviembre de 2006

REFERENCIAS	MUESTRAS			
	1	2	3	4
1. Norma de Ensayo	ASTM C-131	*****	*****	*****
2. Graduación	"B"	*****	*****	*****
3. % Desgaste	17.16	*****	*****	*****

OBSERVACIONES: a) Muestra proporcionada por el interesado.
 b) Muestra identificada como: Cantera Agregua PPO (1° a No.56)

ATENTAMENTE,



Ing. Francisco Javier Ecuté Bantes
 Jefe Sección de Concretos

Vo.Bo. X

Ing. Cesar Alfonso García Guerra
 DIRECTOR CII/USAC



FACULTAD DE INGENIERIA-USAC
 Edificio 1-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo 2476-3992. Planta 2443-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993
 Pagina web: <http://cii.usac.edu.gt>



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



INFORME No. S.C. - 617

O.T.No. 20886

INTERESADO: Martha Dina Avellán Cruz

ASUNTO: Ensayo de bondad en Agregado grueso
Material: Agregado Grueso. Según observaciones
Proyecto: Trabajo de Graduacion
Procedencia: -----
Solución utilizada: Sulfato De Sodio
FECHA: 30 de Noviembre 2006.

I.- RESULTADOS

PASA	TAMAÑOS RETENIDOS	Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
2 1/2" (63.5 mm)	1 1/2" (38.1 mm)	-----	-----	-----	-----	-----
1 1/2" (38.1 mm)	3/4" (19.05 mm)	24.35	0.00	0.00	4.69	1.14
3/4" (19.05 mm)	3/8" (9.52 mm)	70.28	1000.00	953.06	4.69	3.30
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	5.37	300.00	287.19	4.27	0.23
	Fondo					
TOTALES		100.00	1300.00	-----	-----	4.67

II.- OBSERVACIONES

- Muestra proporcionada por el interesado
- Identificación de la muestra TMN 19mm 60% agregado 3/8 a 0, 30% agregado de 1" a No.56, 10% agregado 3/8 lavada.

Atentamente,



[Signature]

Ing. Francisco Javier Ecuté Bantes
Jefe Sección de Concretos

Vo.Bo. *[Signature]*

Ing. Cesar Alfonso García Guerra
Director CII/USAC



**APÉNDICE 1. DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA
MODIFICADA (AC-20E)**



Resultados del diseño de concreto asfáltico

Fecha 17 de October de 2006
 Proyecto CA-01w Guatemala-Entrada San Cristóbal

Diseño de Concreto Asfaltico Tipo TMN.19mm. Con Asfalto Modificado
60% Agregado 3/8" a 0" Cantera AGREGUA PPO
30% Agregado 1" a No.56 Cantera AGREGUA PPO
10% Agregado 3/8" Lavado Cantera AGREGUA PPO

Pruebas Efectuadas	Símbolo	Resultado	Especificaciones
Número de Golpes por cara	****	75	75
Temperatura de Mezclado °F	****	320	300 --- 325
% Optimo de Asfalto	Pb	5.30	4 --- 10
% Asfalto Absorbido	Pba	0.4	*****
% Asfalto Efectivo	Pbe	4.91	*****
% Vacios de Aire	Va	4.0	3 --- 5
% Vacios Rellenos de Asfalto	Vfa	73.20	65 --- 75
Relación Estabilidad/Fluencia	REF	203.00	120 --- 275
Relación Polvo/Asfalto	Dp	1.10	0.6 --- 1.6
Grav.Específica Teórica Máxima de la Mezcla AASHTO T 209	Gmm	2.4785	*****
Grav.Específica Efectiva del Agregado	Gse	2.6771	*****
Gravedad Específica del Asfalto	Gb	1.065	*****
% Absorción de Agua	Pwa	0.78	*****
% Abrasión (tipo B) Prueba de los Angeles	****	17.16	35 max.
% Abrasión (tipo C) Prueba de los Angeles	****	21.04	35 max.
% Desintegración al Sulfato de Sodio	****	4.69	12 max.
% de Vestimiento del Agregado	****	100.00	> 95.0
% Equivalente de Arena	****	82.6	> 35.0
% Límite Líquido	L.L.	N.L	< 20.0
Peso Unitario Suelto	PUS	1837	> 1,360 Kgs./Metro3
% Caras Fracturadas	****	100	> 90.0
% Partículas Planas y Alargadas	PPA	1.7	< 8.0



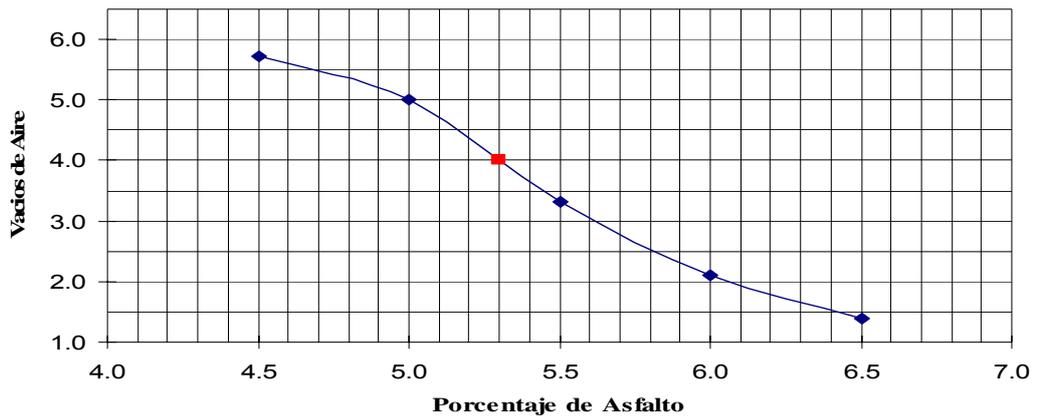
PORCENTAJE DE RESISTENCIA RETENIDA DE LA MEZCLA

Fecha _____
 Proyecto _____

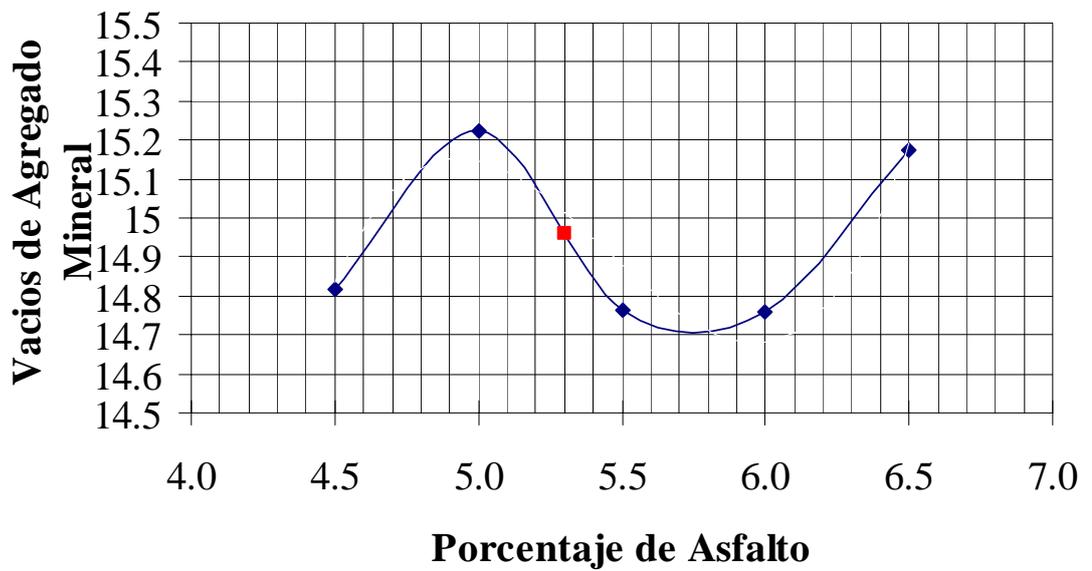
Temp. Agua. (°C) 21
 Fact. Corrección. 1.001364

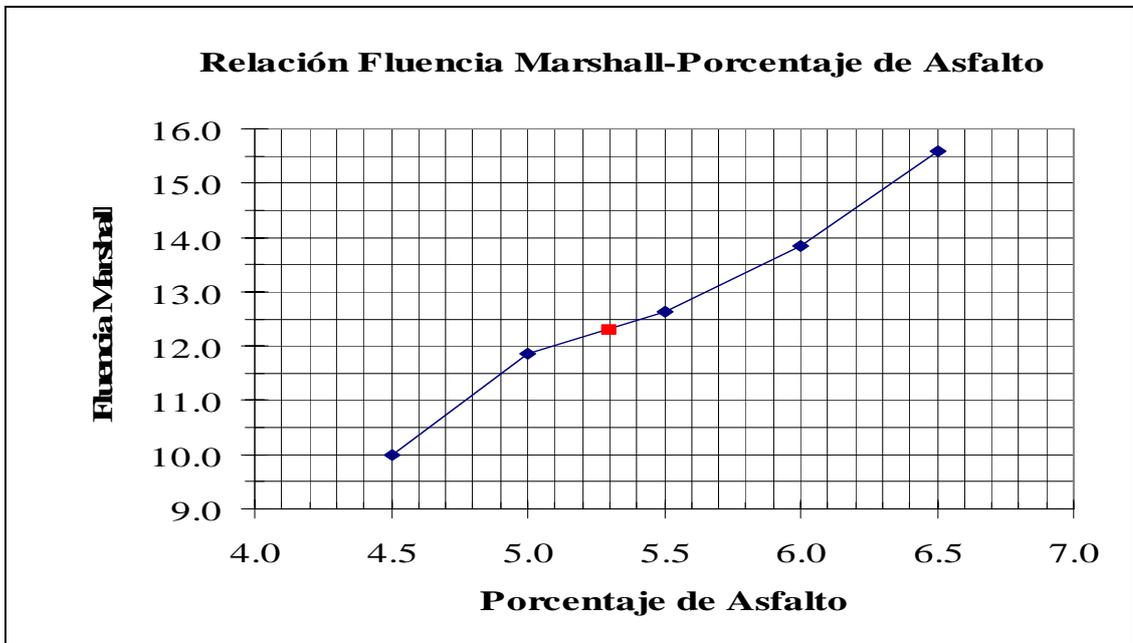
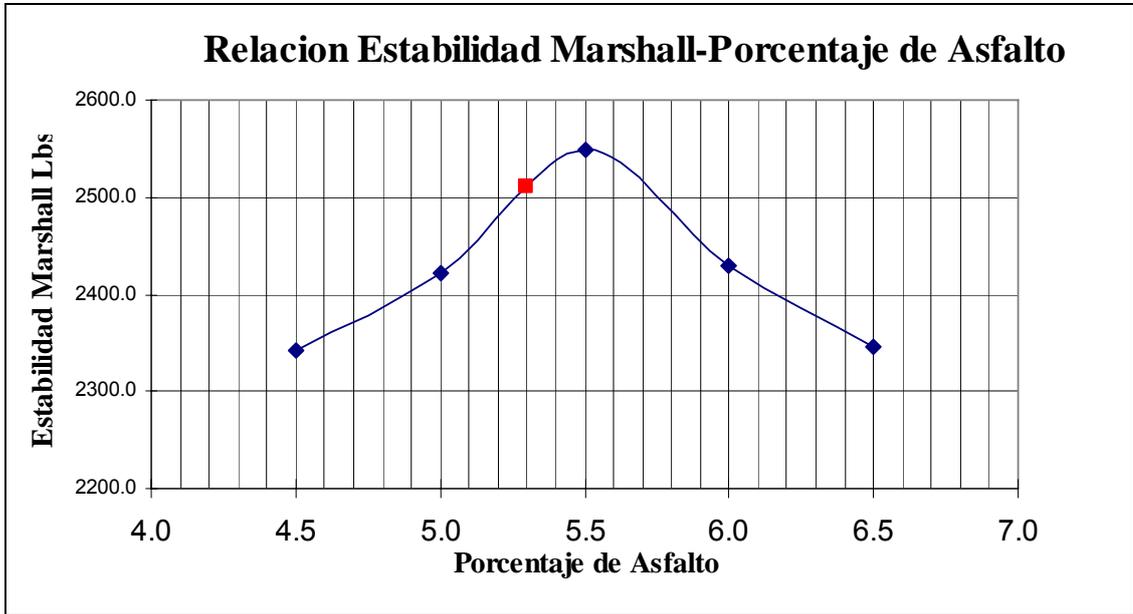
Test. No	% Asfalto	Peso en Aire	Peso Saturado	Peso en Agua	Vol. Sin Corregir	Vol. Corregido	Grav.Esp.Br.Mezcla	Promedio Gmb.
1	5.30	1207.3	1209.6	702.1	507.5	508.19	2.3757	
2	5.30	1209.6	1211.2	704.5	506.7	507.39	2.3840	
3	5.30	1220	1221.5	710.5	511	511.70	2.3842	2.3813
4	5.30	1197.3	1198.8	698	500.8	501.48	2.3875	
5	5.30	1203	1204.4	700	504.4	505.09	2.3818	
6	5.30	1200.8	1202	698.8	503.2	503.89	2.3831	2.3841
PORCENTAJE DE RESISTENCIA RETENIDA								
Estabilidad Marshall a 60°C								
Test. No.	% Asfalto	Fluencia Marshall	Lectura Micrómetro	0.5 Horas	Est.Marshall Corregida	Promedio		
1	5.30	13	294	2938	2938	2885		
2	5.30	13	274	2737	2737			
3	5.30	13.5	298	2979	2979			
				24 Horas	Est.Marshall Corregida	Promedio	% Resistencia Retenida	
4	5.30	12.5	261	2605	2605	2626	91.02	
5	5.30	14	284	2837	2837			
6	5.30	14	244	2434	2434			
Observaciones: Prueba efectuada con el Punto Optimo del Diseño.								

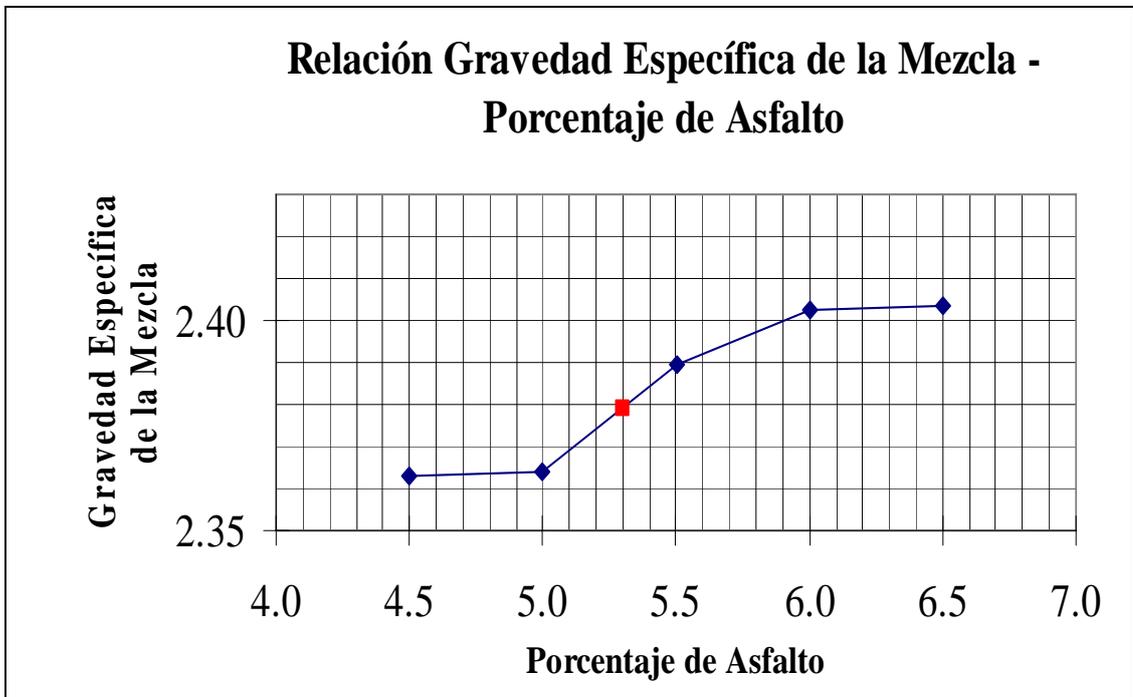
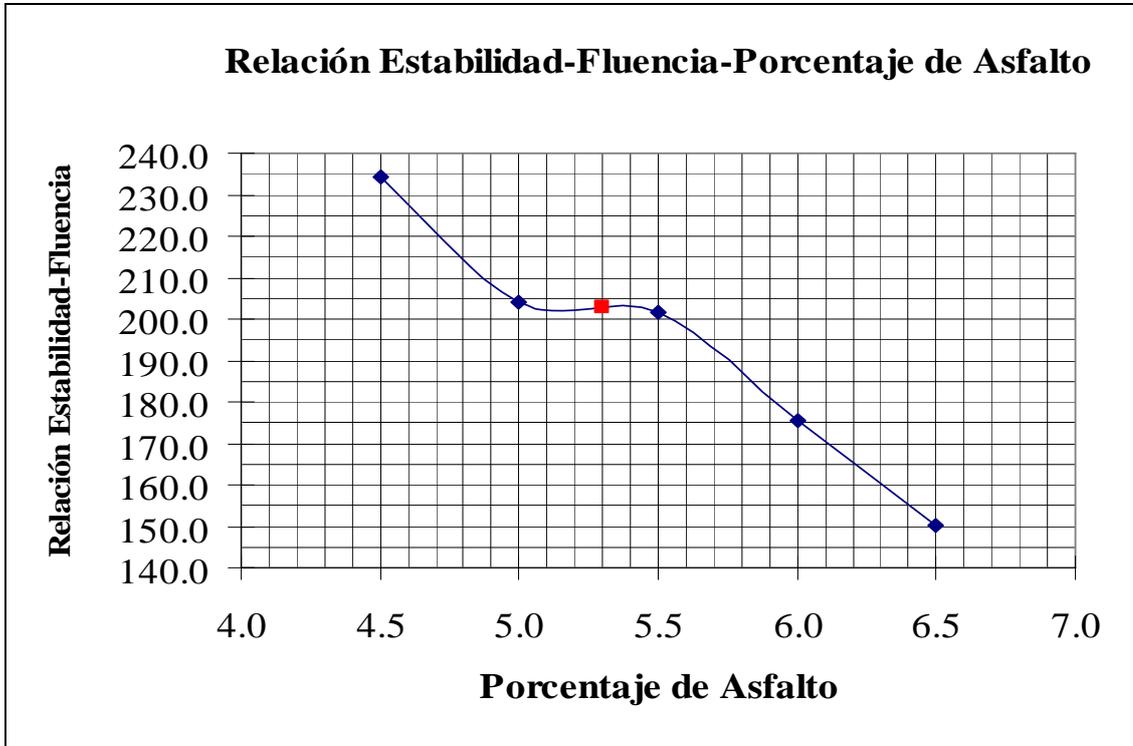
Relación Vacíos de Aire - Porcentaje de Asfalto



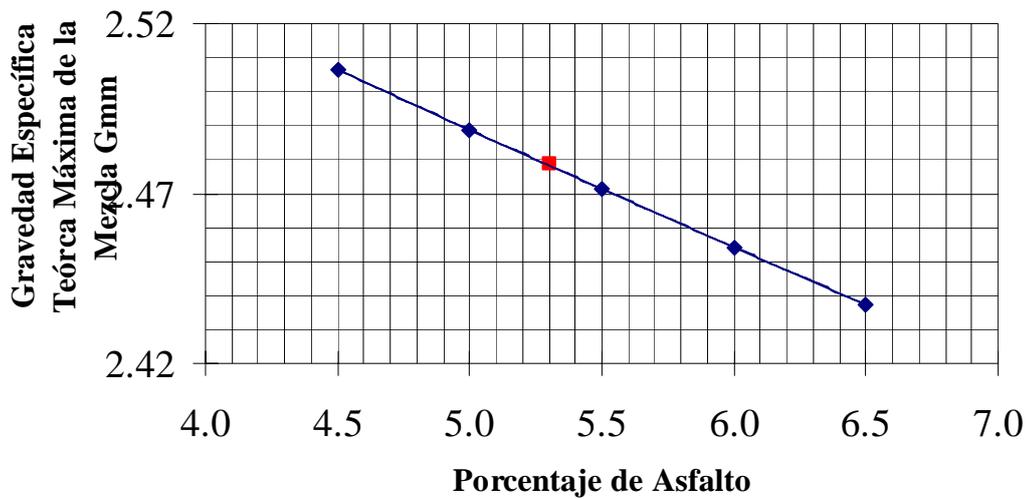
Relación V.M.A. - Porcentaje de Asfalto



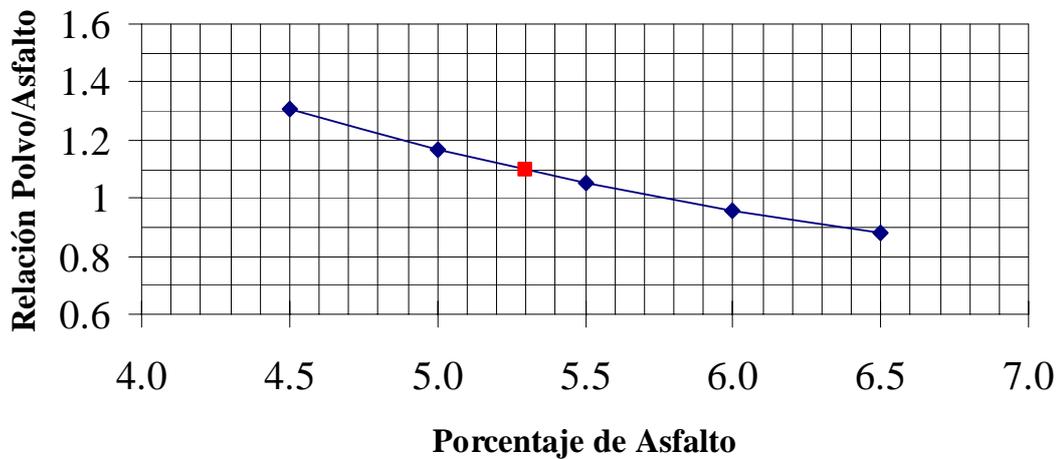




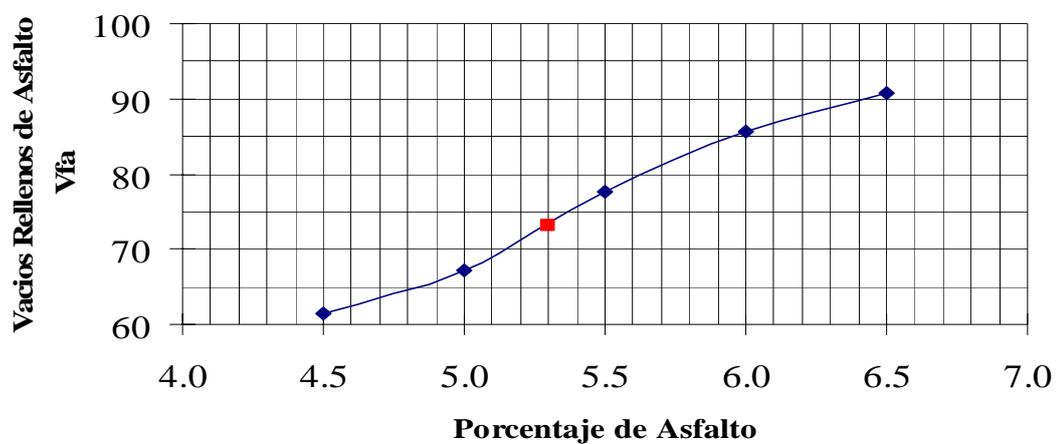
Relación Gravedad Específica Teórica Máxima de la Mezcla Gmm - Porcentaje de Asfalto



Relación Polvo/Asfalto - Porcentaje Asfalto



**Relación Vacíos Rellenos de Asfalto Vfa -
Pocentaje de Asfalto**





11 Avenida 38-60, Zona 11 Guatemala, C.A.

Tels.: (502) 476-0168 476-2358 442-0518/19

Fax: (502) 442-0517

CONTROL DE CALIDAD PARA CONCRETO ASFÁLTICO

Fecha: 16 de Octubre del 2006.

Tipo: TMN.19mm con Asfalto Modificado

Proyecto: CA- 01w Guatemala- Entrada San Cristobal

Estabilidad y Fluencia Marshall									
No.	%	Carga (Lbs.)	Volumen Muestra	Factor de Corrección	Carga Corregida	Promedio de Carga	Fluencia	Promedio Fluencia	Relación Estabilidad Fluencia
1	4.5	2343	504.95	1.04	2437	2342	10	10.0	234.2
2	4.5	2272	505.25	1.04	2363		10.5		
3	4.5	2141	503.85	1.04	2227		9.5		
Gravedad Específica bruta de la Mezcla									
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	4.5	1192.0	693.0	1197.7	504.7	1.000495	504.95	2.360631	2.3631
2	4.5	1194.8	696.8	1201.8	505.0	1.000495	505.25	2.364800	
3	4.5	1191.0	695.8	1198.6	503.6	1.000495	503.85	2.363800	
Análisis Volumétrico de Mezcla Asfáltica									
Gsb	Gravedad Específica Bruta Agregado			2.6493		Ps - Peso Agregado	2.25672953		
Gse	Gravedad Específica Efectiva Agregado			2.6771					
Pb	Contenido de Asfalto			4.5					
Vb total	0.0998479	V.M.A. - Vacíos agregado mineral					14.82		
Vsb	0.8518303	Va - Vacíos de aire					5.72		
Vse	0.8429764	Pbe - Contenido asfalto efectivo					4.10		
Vba	0.0088540	Pba - Contenido asfalto absorbido					0.40		
Vbe	0.0909940	Vfa - Vacíos llenos de asfalto					61.41		
Va	0.0571757	Gmm - Gravedad específica máxima teórica de la mezcla AASHTO T 209					2.5064		
VMA	0.1481697								
Pbe	0.0969086	Dp - Relación polvo asfalto					1.31		
Pba	0.0094295								



11 Avenida 38-60, Zona 11 Guatemala,
C.A.
Tels.: (502) 476-0168 476-2358 442-0518/19
Fax: (502) 442-0517

CONTROL DE CALIDAD PARA CONCRETO ASFÁLTICO

Fecha: 16 de octubre del 2006
 Tipo: TMN.19mm con Asfalto Modificado
 Proyecto: CA-01w Guatemala-Entrada a San Cristobal

Estabilidad y Fluencia Marshall									
No.	%	Carga (Lbs.)	Volumen Muestra	Factor de Corrección	Carga Corregida	Promedio de Carga	Fluencia	Promedio Fluencia	Relación Estabilidad Fluencia
1	5	2272	507.35	1.04	2363	2423	12.6	11.9	204.2
2	5	2474	507.35	1.04	2573		11		
3	5	2242	503.65	1.04	2332		12		
Gravedad Específica bruta de la Mezcla									
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	5	1198.4	693.5	1200.6	507.1	1.000495	507.35	2.362073	2.3642
2	5	1201.2	696.2	1203.3	507.1	1.000495	507.35	2.367600	
3	5	1190.0	688.8	1192.2	503.4	1.000495	503.65	2.362800	
Análisis Volumétrico de Mezcla Asfáltica									
Gsb	Gravedad Específica Bruta Agregado			2.6493		Ps - Peso Agregado	2.24593303		
Gse	Gravedad Específica Efectiva Agregado			2.6771					
Pb	Contenido de Asfalto			5					
Vb total	0.1109925	V.M.A. - Vacios agregado mineral					15.22		
Vsb	0.8477551	Va - Vacios de aire					5.01		
Vse	0.8389434	Pbe - Contenido asfalto efectivo					4.60		
Vba	0.0088116	Pba - Contenido asfalto absorbido					0.40		
Vbe	0.1021809	Vfa - Vacios llenos de asfalto					67.12		
Va	0.0500641	Gmm - Gravedad específica máxima teórica de la mezcla AASHTO T 209					2.4887		
VMA	0.1522449	Dp - Relación polvo asfalto					1.17		
Pbe	0.1088226								
Pba	0.0093844								



11 Avenida 38-60, Zona 11 Guatemala,
C.A.

Tels.: (502) 476-0168 476-2358 442-
0518/19

Fax: (502) 442-0517

CONTROL DE CALIDAD PARA CONCRETO ASFÁLTICO

Fecha: 0 de January de
1900

Tipo: TMN.19mm con Asfalto Modificado

Proyecto: CA-01w Guatemala-Entrada a San Cristobal

Estabilidad y Fluencia Marshall									
No.	%	Carga (Lbs.)	Volumen Muestra	Factor de Corrección	Carga Corregida	Promedio de Carga	Fluencia	Promedio Fluencia	Relación Estabilidad Fluencia
1	5.5	2474	504.35	1.04	2573	2549	12.6	12.6	201.7
2	5.5	2434	504.45	1.04	2531		12.4		
3	5.5	2444	501.95	1.04	2542		12.9		
Gravedad Específica bruta de la Mezcla									
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	5.5	1204.8	701.4	1205.5	504.1	1.000495	504.35	2.388820	2.3896
2	5.5	1203.5	701.2	1205.4	504.2	1.000495	504.45	2.385800	
3	5.5	1201.8	700.7	1202.4	501.7	1.000495	501.95	2.394300	
Análisis Volumétrico de Mezcla Asfáltica									
Gsb	Gravedad Específica Bruta Agregado			2.6493		Ps - Peso Agregado	2.25819042		
Gse	Gravedad Específica Efectiva Agregado			2.6771					
Pb	Contenido de Asfalto			5.5					
Vb total	0.1234076			V.M.A. - Vacios agregado mineral			14.76		
Vsb	0.8523818			Va - Vacios de aire			3.31		
Vse	0.8435221			Pbe - Contenido asfalto efectivo			5.11		
Vba	0.0088597			Pba - Contenido asfalto absorbido			0.39		
Vbe	0.1145479			Vfa - Vacios llenos de asfalto			77.60		
Va	0.0330704			Gmm - Gravedad específica máxima teórica de la mezcla AASHTO T 209			2.4713		
VMA	0.1476182								
Pbe	0.1219935			Dp - Relación polvo asfalto			1.05		
Pba	0.0094356								



CONTROL DE CALIDAD PARA CONCRETO ASFÁLTICO

Fecha: 16 de octubre del 2006

Tipo: TMN.19mm con Asfalto Modificado

Proyecto: CA-01w Guatemala-Entrada a San Cristobal

Estabilidad y Fluencia Marshall										
No.	%	Carga (Lbs.)	Volumen Muestra	Factor de Corrección	Carga Corregida	Promedio de Carga	Fluencia	Promedio Fluencia	Relación Estabilidad Fluencia	
1	6	2323	503.85	1.04	2416	2430	14.2	13.8	175.6	
2	6	2242	504.15	1.04	2332		12.7			
3	6	2444	502.05	1.04	2542		14.6			
Gravedad Específica bruta de la Mezcla										
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	6	1210.0	707.0	1210.6	503.6	1.000495	503.85	2.401512	2.4024	
2	6	1210.0	707.5	1211.4	503.9	1.000495	504.15	2.400100		
3	6	1207.7	707.0	1208.8	501.8	1.000495	502.05	2.405500		
Análisis Volumétrico de Mezcla Asfáltica										
Gsb - Gravedad Específica Bruta Agr.					2.6493					2.25823684
Gse - Gravedad Específica Efectiva Agr.					2.6771	Ps - Peso Agregado				
Pb - Contenido de Asfalto					6					
Vb total	0.1353453	V.M.A. - Vacíos agregado mineral				14.76				
Vsb	0.8523993	Va - Vacíos de aire				2.11				
Vse	0.8435394	Pbe - Contenido asfalto efectivo				5.61				
Vba	0.0088599	Pba - Contenido asfalto absorbido				0.39				
Vbe	0.1264855	Vfa - Vacíos llenos de asfalto				85.69				
Va	0.0211153	Gmm - Gravedad específica máxima teórica de la mezcla AASHTO T 209				2.4542				
VMA	0.1476007	Dp - Relación polvo asfalto				0.96				
Pbe	0.1347070									
Pba	0.0094358									



11 Avenida 38-60, Zona 11 Guatemala, C.A.

Tels.: (502) 476-0168 476-2358 442-0518/19

Fax: (502) 442-0517

CONTROL DE CALIDAD PARA CONCRETO ASFÁLTICO

Fecha: 0 de January de 1900

Tipo: TMN.19mm con Asfalto Modificado

Proyecto: CA-01w Guatemala-Entrada a San Cristobal

Estabilidad y Fluencia Marshall									
No.	%	Carga (Lbs.)	Volumen Muestra	Factor de Corrección	Carga Corregida	Promedio de Carga	Fluencia	Promedio Fluencia	Relación Estabilidad Fluencia
1	6.5	2252	505.25	1.04	2342	2346	14.7	15.6	150.4
2	6.5	2242	504.95	1.04	2332		16.4		
3	6.5	2272	505.85	1.04	2363		15.7		
Gravedad Especifica bruta de la Mezcla									
No.	%	Peso neto Muestra	Peso neto en Agua	Peso neto Muestra Saturada	Volumen sin Corregir	Factor de Corrección	Volumen corregido	Gravedad Especifica bruta de la Mezcla	Promedio
1	6.5	1216.6	711.8	1216.8	505.0	1.000495	505.25	2.407917	2.4035
2	6.5	1212.5	708.6	1213.3	504.7	1.000495	504.95	2.401200	
3	6.5	1214.7	709.8	1215.4	505.6	1.000495	505.85	2.401300	
Análisis Volumétrico de Mezcla Asfáltica									
Gse - Gravedad Específica Efectiva Agregado					2.6771				
Pb - Contenido de Asfalto					6.5				
Vb total	0.1466915	V.M.A. - Vacíos agregado mineral		15.17					
Vsb	0.8482547	Va - Vacíos de aire		1.39					
Vse	0.8394379	Pbe - Contenido asfalto efectivo		6.11					
Vba	0.0088168	Pba - Contenido asfalto absorbido		0.39					
Vbe	0.1378747	Vfa - Vacíos llenos de asfalto		90.86					
Va	0.0138707	Gmm - Gravedad específica máxima teórica de la mezcla AASHTO T 209		2.4373					
VMA	0.1517453	Dp- Relación polvo asfalto		0.88					
Pbe	0.1468365								
Pba	0.0093899								



GRAVEDADES ESPECIFICAS Y PORCENTAJE DE ABSORCION

Agregado 3/8" a 0" Cantera AGREGUA PPO
Fracción pasante Tamiz No.4

Temp. Agua (°C) 25 Factor Corrección 1

A	<u>594.2</u>
B	<u>600</u>
C	<u>374.5</u>

Peso seco al aire
 Seco Saturado al aire
 Seco Saturado en agua

Gravedad Especifica Bruta Gsb

A	<u>2.6350</u>
B-C	
B	<u>2.6608</u>
B-C	

Gravedad Especifica Aparente Gsa

A	<u>2.7046</u>
A-C	

Porcentaje de Absorción

B-Ax100	<u>0.98</u>
A	



GRAVEDADES ESPECIFICAS Y PORCENTAJE DE ABSORCION

Agregado 3/8" Lavado Cantera AGREGUA PPO
Fracción retenida en Tamiz No.4

Temp. Agua (°C) 25

Factor Corrección 1

A 655.8

Peso seco al aire

B 660

Seco Saturado al aire

C 413.4

Seco Saturado en agua

Gravedad Específica Bruta Gsb

A 2.6594

B-C

B 2.6764

B-C

Gravedad Específica Aparente Gsa

A 2.7054

A-C

Porcentaje de Absorción

B-Ax100 0.64

A

Fecha 9 de Octubre de 2006



GRAVEDADES ESPECIFICAS Y PORCENTAJE DE ABSORCION

Agregado 3/8" Lavado Cantera PPO "Cursa"
Fracción pasante tamiz No.4

Temp. Agua 25°C Fact. Corr. 1

A	<u>322.9</u>	Peso seco al aire
B	<u>325</u>	Seco Saturado al aire
C	<u>203.7</u>	Seco Saturado en agua

Gravedad Especifica Bruta Gsb

$$\frac{A}{B-C} = \frac{322.9}{325 - 203.7} = 2.6620$$
Gravedad Especifica Bruta Superficie Seco Saturado Gsb (s.s.s)

B-C

Gravedad Especifica Aparente Gsa

$$\frac{A}{A-C} = \frac{322.9}{322.9 - 203.7} = 2.7089$$

Porcentaje de Absorción

$$\frac{B-A \times 100}{A} = \frac{325 - 322.9}{322.9} \times 100 = 0.65$$



GRAVEDADES ESPECIFICAS Y PORCENTAJE DE ABSORCION

60%Agreg.3/8" a 0" PPO
10%Agreg.3/8" Lavado PPO
30%Agreg.1" a No.56 PPO
Fracción retenida en tamiz No.4

Temp. Agua	<u>25°C</u>	Fact. Corr.	<u>1</u>
A	_____	Peso seco al aire	
B	_____	Seco Saturado al aire	
C	_____	Seco Saturado en agua	
Gravedad Específica Bruta Gsb			
Gravedad Específica Bruta Superficie Seco Saturado Gsb (s.s.s)			
	<u>B</u>	<u>2.6756</u>	
	B-C		
Gravedad Específica Aparente Gsa			
	<u>A</u>	<u>2.7047</u>	
	A-C		
Porcentaje de Absorción			
	<u>B-Ax100</u>	<u>0.64</u>	
	A		

Fecha: 9 de Octubre de 2006

GRAVEDADES ESPECIFICAS Y PORCENTAJE DE ABSORCION



60% Agreg. 3/8" a 0" PPO
10% Agreg. 3/8" Lavado PPO
30% Agreg. 1" a No. 56 PPO
Fracción pasante tamiz No. 4

Temp. Agua	<u>25°C</u>	Fact. Corr.	<u>1</u>

A	_____	Peso seco al aire	
B	_____	Seco Saturado al aire	
C	_____	Seco Saturado en agua	
Gravedad Específica Bruta Gsb			
	A	2.6389	

	B-C		
Gravedad Específica Bruta Superficie Seco Saturado Gsb (s.s.s)			
	B	2.6609	

	B-C		
Gravedad Específica Aparente Gsa			
	A	2.7052	

	A-C		
Porcentaje de Absorción			
	B-Ax100	0.93	

	A		

Fecha 9 de Octubre de 2006



Gravedades Específicas y % de Absorción Integradas

10% Agregado 3/8" Lavado PPO				
Gravedad específica bruta Gsb				
Fracción retenido tamiz No.4 =	2.65854363	52.83	1.4045086	2.649271172
Fracción pasante tamiz No.4 =	2.6388861	47.17	1.24476257	Gsb
Gravedad específica bruta superficie seco saturado Gsb (s.s.s)				
Fracción retenido tamiz No.4 =	2.67559545	52.83	1.41351708	2.668678344
Fracción pasante tamiz No.4 =	2.66093124	47.17	1.25516127	Gsb s.s.s.
Gravedad específica aparente Gsa				
Fracción retenido tamiz No.4 =	2.70466571	52.83	1.42887489	2.704922921
Fracción pasante tamiz No.4 =	2.705211	47.17	1.27604803	Gsa
% de Absorción Integrada				
Fracción retenido tamiz No.4 =	0.64	52.83	0.33899326	0.78
Fracción pasante tamiz No.4 =	0.93	47.17	0.43847024	% Abs.
Fecha	9 de Octubre del 2006			



Gravedades Específicas y Porcentaje de Absorción Integradas para Diseño

60% Agreg. 3/8" a 0" PPO
10% Agreg. 3/8" Lavado PPO
30% Agreg. 1" a No. 56 PPO
Proyecto: CA-01w Guatemala-Entrada a San Cristóbal

Gravedad específica Bruta de los agregados Gsb.	
	2.6493
Gravedad específica Bruta superficie seco saturado Gsb (sss)	
	2.6687
Gravedad específica Efectiva de los agregados Gse	
<u>0.5</u>	2.6771
Gravedad específica Aparente Gsa	
	2.7049
Fecha <u>9 de Octubre de 2006</u>	

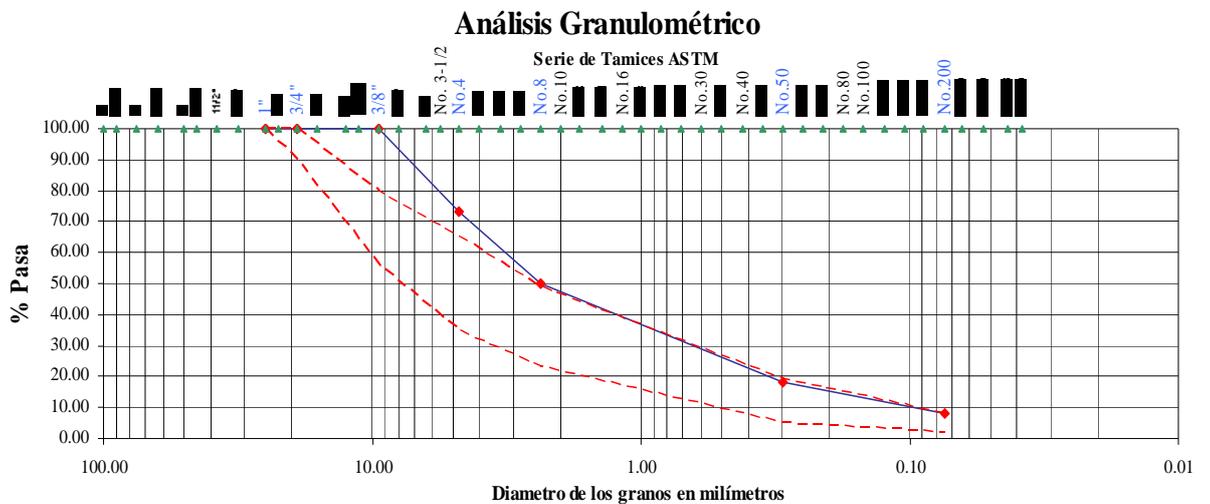


Fecha: 9 de Octubre de 2006
 Tamaño: TMN.19mm.
 Proyecto: CA-01w Guatemala-Entrada San Cristóbal

Peso Bruto	1036.5
Tara	114.6
Peso Neto	921.9

Tamiz	Diámetro (mm)	Peso Bruto Retenido	Peso Neto Retenido	% Retenido	% Pasa	Especificaciones	
1	25.00	114.6	0.0	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.00	114.6	0.0	0.00	100.00	90	100
3/8"	9.50	114.6	0.0	0.00	100.00	56	80
No. 4	4.75	360.7	246.1	26.69	73.31	35	65
No. 8	2.36	577.1	462.5	50.17	49.83	23	49
No. 50	0.29718	867.2	752.6	81.64	18.36	5	19
No. 200	0.07366	961	846.4	91.81	8.19	2	8

Agregado 3/8" a 0" Cantera AGREGUA PPO
Muestra tomada en Cantera





Análisis Granulométrico

Fecha: 10 de Octubre de 2006

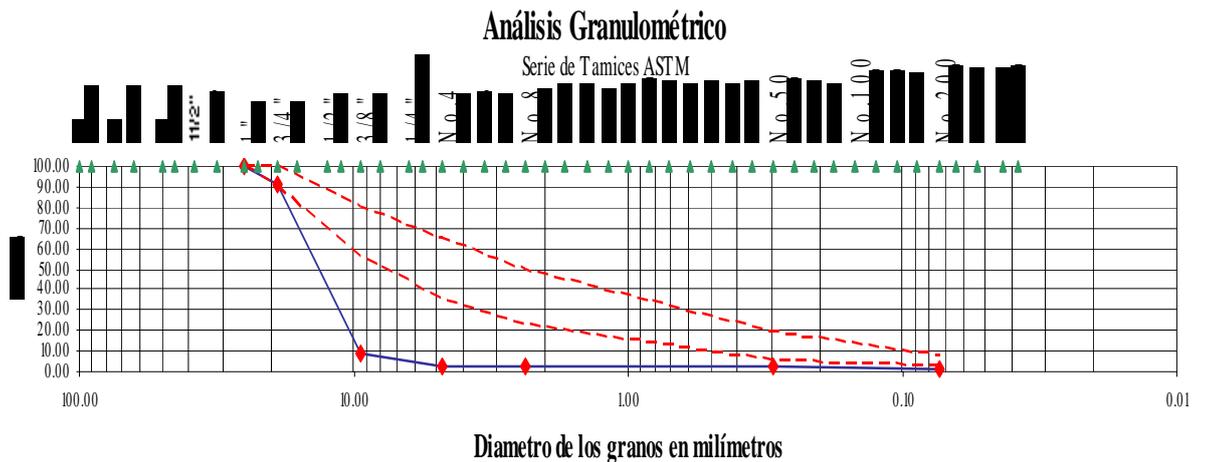
Tipo: TMN.19mm.

Proyecto: CA-01w Guatemala-Entrada a San Cristóbal

Peso Bruto	2222.6
Tara	359.7
Peso Neto	1862.9

Tamiz	Diámetro (mm)	Peso Bruto Retenido	Peso Neto Retenido	% Retenido	% Pasa	Especificaciones	
1	25.00	359.7	0.0	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.00	530.9	171.2	9.19	90.81	90	100
3/8"	9.50	2060.3	1700.6	91.29	8.71	56	80
No. 4	4.75	2177.2	1817.5	97.56	2.44	35	65
No. 8	2.36	2180.8	1821.1	97.76	2.24	23	49
No. 50	0.29718	2187.1	1827.4	98.09	1.91	5	19
No. 200	0.07366	2196.2	1836.5	98.58	1.42	2	8

Observaciones: Agregado 1" a # 56 Cursa "Palín Oeste
Muestra tomada en Cantera





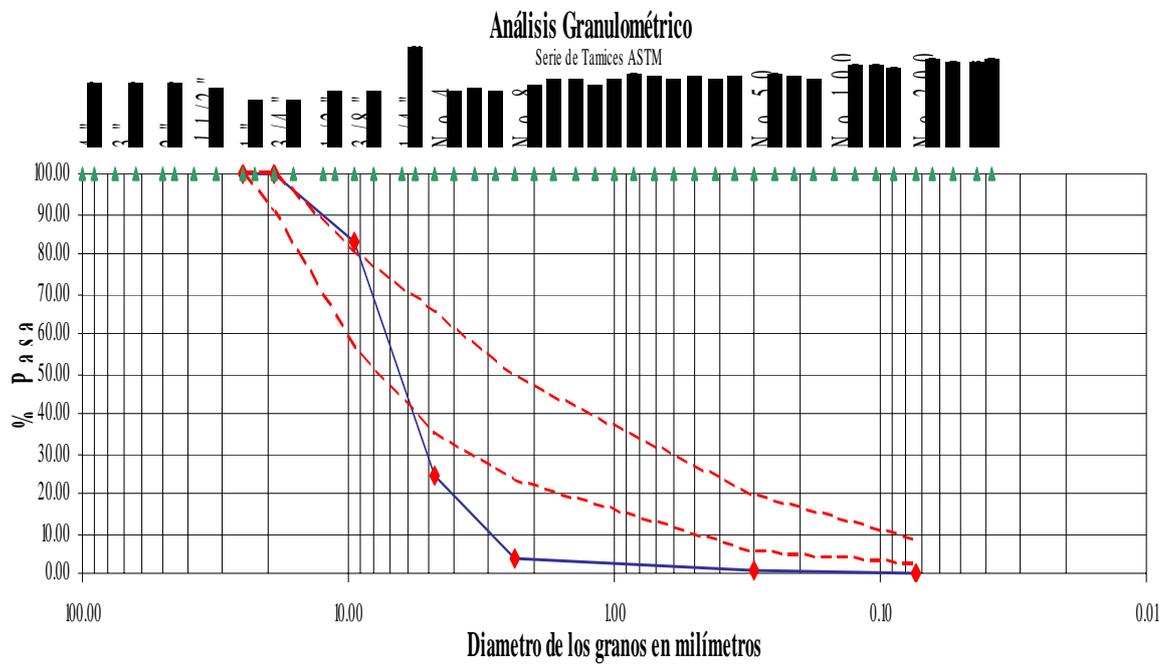
Análisis Granulométrico

Fecha: 9 de Octubre de 2006
Tipo: TMN 19 mm.
Proyecto: CA-01w Guatemala-Entrada a San Cristóbal

Peso Bruto	1558.5
Tara	143.1
Peso Neto	1415.4

Tamiz	Diámetro (mm)	Peso Bruto Retenido	Peso Neto Retenido	% Retenido	% Pasa	Especificaciones	
1	25.00	143.1	0.0	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.00	143.1	0.0	0.00	100.00	90	100
3/8"	9.50	379.2	236.1	16.68	83.32	56	80
No. 4	4.75	1210.2	1067.1	75.39	24.61	35	65
No. 8	2.36	1504.8	1361.7	96.21	3.79	23	49
No. 50	0.29718	1553.2	1410.1	99.63	0.37	5	19
No. 200	0.07366	1554.9	1411.8	99.75	0.25	2	8
Extracción del Porcentaje de Asfalto							
Peso Bruto Muestra	Tara	Peso Neto Muestra	Peso Filtro	Total (Filtro y Tara)	Peso Bruto Extracción	Peso Neto Extracción	Diferencia

Observaciones: Agregado 3/8" Lavado Cantera "Cursa"
Muestra tomada en Cantera





COMBINACION GRANULOMETRICA

Fecha: 10 de Octubre del 2006
 CA-01w Guatemala-Entrada a San
 Proyecto: Cristobal

TAMICES		1	2	3	1	2	3			
		24.08.06	13.09.06	13.09.06						
Plg.	mm	Fuente de Agregado			Fracciones de cada agregado			% Total	Especificaciones (Tipo 19 mm)	
		Cantera PPO	Cantera PPO	Cantera PPO	%	%	%			
		1" a No.56	3/8"a 0"	3/8" Lavado	30	60	10	100		
1"	25.0	100.00	100.00	100.00	30.00	60.00	10.00	100.00	100	100
3/4"	19.0	90.81	100.00	100.00	27.24	60.00	10.00	97.24	90	100
3/8"	9.50	8.71	100.00	83.32	2.61	60.00	8.33	70.95	56	80
No.4	4.75	2.44	73.31	24.61	0.73	43.98	2.46	47.17	35	65
No.8	2.36	2.24	49.83	3.79	0.67	29.90	0.38	30.95	23	49
No.50	0.30	1.91	18.36	0.37	0.57	11.02	0.04	11.63	5	19
No.200	0.074	1.42	8.19	0.25	0.43	4.91	0.03	5.36	2	8

Observaciones _____

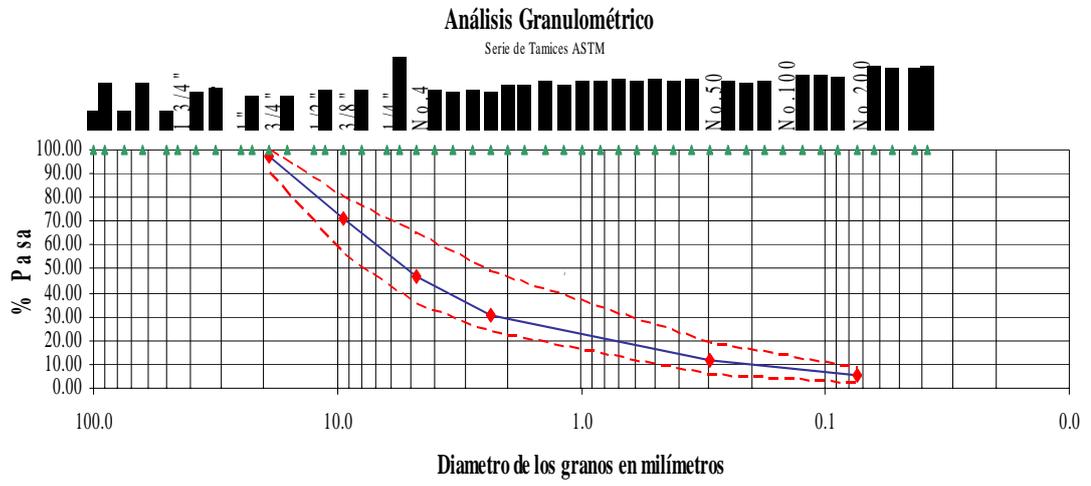


Análisis Granulométrico

Fecha: 10 de Octubre de 2006
Tipo: TMN 19mm
Proyecto: CA-01w Guatemala-Entrada a San Cristóbal

Tamiz	Diámetro (mm)	Peso Bruto Retenido	Peso Neto Retenido	% Retenido	% Pasa	Especificaciones	
1	25.00				100.00	100	100
3/4"	19.00				97.24	90	100
3/8"	9.50				70.95	56	80
No. 4	4.75				47.17	35	65
No. 8	2.36				30.95	23	49
No. 50	0.29718				11.63	5	19
No. 200	0.07366				5.36	2	8
Extracción del Porcentaje de Asfalto							
Peso Bruto Muestra	Tara	Peso Neto Muestra	Peso Filtro	Total (Filtro y Tara)	Peso Bruto Extracción	Peso Neto Extracción	Diferencia

Observaciones: Combinación Granulométrica
60% Agregado 3/8" a 0" PPO
30% Agregado 1" a No.56 PPO
10% Agregado 3/8" Lavado PPO





Gravedad Específica del Asfalto

Fecha: 12 de Octubre de 2006

Producto: Ac-20 Modificado

Gravedad Específica

A—Picnómetro	36.93	<i>gms.</i>
B-- Picnómetro + H2O	61.2	<i>gms.</i>
C-- Picnómetro + AC	53.49	<i>gms.</i>
D-- Picnómetro + H2O + AC	62.15	<i>gms.</i>

Gb	16.56	
	15.61	

Gb	1.0650	a 60°F
-----------	---------------	-----------

API	1.4	
------------	------------	--

Observaciones:

8.89

 Lbs./gal. a 60°F
AC-20 MODIFICADO



EQUIVALENTE DE ARENA

Fecha 10 de Octubre de 2006
 Proyecto CA-01w Guatemala-Entrada a San Cristóbal

1		2	
9:10	9:23	9:15	9:28
Min. 00:10	Min. 00:20	Min. 00:10	Min. 00:20
9:20	9:43	9:25	9:48

1. Lectura de Arena: 2.9 82.86 %
 Lectura de Arcilla: 3.5

2. Lectura de Arena: 2.8 82.35 %
 Lectura de Arcilla: 3.4

PROMEDIO EQUIVALENTE DE ARENA 82.61 %

Observaciones: Agregado Combinado
 60% Agregado 3/8" a 0 Cantera AGREGUA PPO
 10% Agregado 3/8" Lavado Cantera AGREGUA PPO
 30% Agregado 1" a No.56 Cantera AGREGUA PPO



FECHA
PROYECTO

11 de October de 2006
CA-01w Guatemala-Entrada a San Cristobal

PESOS UNITARIOS SUELTOS

AGREGADO 3/8" a 0" Cantera AGREGUA PPO		
1,689		
1,716		
1,710	1,705	Kgs/M3
AGREGADO 3/8" Lavado Cantera AGREGUA PPO		
1,456		
1,470		
1,462	1,463	Kgs/M3
AGREGADO 1" a No.56 Cantera AGREGUA PPO		
1,495		
1,491		
1,513	1,502	Kgs/M3
30% 1" a No.56 AGREGUA PPO		
1,839		
1,839	1,839	Kgs/M3

PESOS UNITARIOS VARILLADOS

AGREGADO 3/8" a 0" Cantera AGREGUA PPO		
1,921		
1,916		
1,914	1,917	Kgs/M3
AGREGADO 3/8" Lavado Cantera AGREGUA PPO		
1,654		
1,643		
1,648	1,648	Kgs/M3
AGREGADO 1" a No.56 Cantera AGREGUA PPO		
1,605		
1,601		
1,602	1,603	Kgs/M3

30% 1" a No.56 AGREGUA PPO		
2,063		
2,088	2,076	Kgs/M3



Partículas Planas y Alargadas, Caras Fracturadas y % de Vestimiento

Partículas Planas y Alargadas		
Agregado Total		
Peso Bruto Muestra	Tara	Peso Neto Muestra
283.5	83.5	200

Partículas Planas y Alargadas		
Peso Bruto Muestra	Tara	Peso Neto Muestra
89.4	83.5	5.9

Porcentaje Partículas Planas y Alargadas
2.95

Caras Fracturadas		
Agregado Total		
Peso Bruto Muestra	Tara	Peso Neto Muestra
		0

Caras Fracturadas		
Peso Bruto Muestra	Tara	Peso Neto Muestra
	0	0

Porcentaje Caras Fracturadas
100.00

Porcentaje de Vestimiento

Peso Unitario Suelto

Kgs./Metro3

Fecha: 11 de October de 2006

60% Agregado 3/8" a 0" Cantera AGREGUA PPO
10% Agregado 3/" Lavado" Cantera AGREGUA PPO
30% Agregado 1" a No.56 Cantera AGREGUA PPO
Proyecto: CA-01w Guatemala-Entrada San Cristobal



ENSAYO DE ABRASION EN MAQUINA DE LOS ANGELES AASHTO T-96

PROYECTO: CA-01w Guatemala-Entrada a San Cristobal FECHA: 17 de November de 2006

TIPO: "C"

CLIENTE: _____

Peso de la muestra antes	5000	Gms.
Peso de la muestra después	3948	Gms.
Diferencia	1052	Gms.

Diferencia	1052	Gms.	% Desgaste
Peso de la muestra antes	5000	Gms.	21.04

Observaciones: Agregado 3/8" a 0" CANTERA AGREGUA PPO
La prueba se realizó en el laboratorio del CII en la Universidad de San Carlos.

ENSAYO DE ABRASION EN MAQUINA DE LOS ANGELES AASHTO T-96

PROYECTO: CA-01w Guatemala-Entrada a San Cristobal FECHA: 17 de November de 2006

TIPO: "B"

CLIENTE: _____

Peso de la muestra antes	5000	Gms.
Peso de la muestra después	4142	Gms.
Diferencia	858	Gms.

Diferencia	858	Gms.	% Desgaste
Peso de la muestra antes	5000	Gms.	17.16

Observaciones: Agregado 1" a No.56 CANTERA AGREGUA PPO
La prueba se realizó en el Laboratorio de la USAC

