

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROPUESTA DE NORMAS PARA CLASIFICAR, DESARROLLAR Y UTILIZAR  
EL ASFALTO EN GUATEMALA

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

HUGO ROLANDO CASTILLO TARACENA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE 1999

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 tesis titulado:

**Propuesta de normas para clasificar, desarrollar y utilizar el asfalto en Guatemala**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química con fecha 19 de enero de 1999.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Hugo Rolando Castillo Taracena". The signature is stylized and cursive.

Hugo Rolando Castillo Taracena.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
VOCAL III	Ing. Jorge Benjamín Gutiérrez Quintana
VOCAL IV	Br. Oscar Stuardo Chinchilla Guzmán
VOCAL V	Br. Mauricio Alberto Grajeda Mariscal
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas.

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

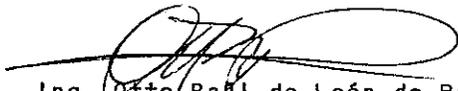
DECANO	Ing. Julio Ismael González Podszueck
EXAMINADOR	Ing. Rodolfo Francisco Espinosa Smith
EXAMINADOR	Ing. Otto Raul De León De Paz
EXAMINADOR	Ing. Julio Enrique Rivera Palacios
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Química, Ing. Otto Raúl de León de Paz, después de conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Jefe de Departamento, al trabajo de Tesis del estudiante, Hugo Rolando Castillo Taracena, titulado: **PROPUESTA DE NORMAS PARA CLASIFICAR, DESARROLLAR Y UTILIZAR EL ASFALTO EN GUATEMALA**, procede a la autorización del mismo.

  
Ing. Otto Raúl de León de Paz  
DIRECTOR ESCUELA INGENIERIA QUIMICA



Guatemala, noviembre de 1,999

/ga

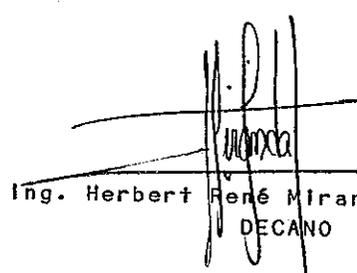
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de Tesis titulado: **PROPUESTA DE NORMAS PARA CLASIFICAR, DESARROLLAR Y UTILIZAR EL ASFALTO EN GUATEMALA**, del estudiante **Hugo Rolando Castillo Taracena**, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

  
Ing. Herbert René Miranda Barrios  
DECANO



Guatemala, noviembre de 1,999.

/ga

## **DEDICATORIA**

**Al creador universal, a mi madre Gloria Taracena de Castillo y a mi padre Hugo Rolando Castillo Vega.**

## **AGRADECIMIENTOS**

**Al ingeniero Roberto Linde de Basic Resources**

**Al C.E.S.E.M. de la Universidad de San Carlos de Guatemala**

**A escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos  
de Guatemala.**

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VI
RESUMEN	XII
INTRODUCCIÓN	XIV
ANTECEDENTES	
1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ASFALTO	1
2. CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS ASFALTOS	
2.1 Asfalto tipo natural	5
2.2 Asfalto por refinación	7
3. COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO	8
4. TIPOS DE ASFALTO CEMENTO SEGÚN CLASIFICACIÓN UTILIZADA EN GUATEMALA	
4.1 Criterios utilizados	10
4.2 Pruebas de los actuales criterios para especificaciones del asfalto	10
4.2.1 Prueba de viscosidad	11
4.2.2 Prueba de penetración	12
4.2.3 Punto de Flama "Flash Point"	12
4.2.4 Horno de película delgada "Thin Film Oven Test"	13
4.2.5 Horno de película delgada rotatoria "Rolling Thin Film Oven Test"	13
4.2.6 Ductilidad	13
4.2.7 Prueba de solubilidad	14
5. ESPECIFICACIÓN SUPERPAVE	
5.1 Aspectos generales	16
5.2 Descripción del equipo utilizado en la especificación Superpave	17
5.3 Clasificación del asfalto	20
5.4 Aspectos para poder seleccionar un asfalto	23

6. RESULTADOS	27
7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	37
CONCLUSIONES	48
RECOMENDACIONES	50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
BIBLIOGRAFÍA	52
ANEXOS	53
APÉNDICES	54

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### Gráficas

No.	Título	Pág.
1	Grados altos de diseño de asfalto	56
2	Grados bajos de diseño de asfalto	57

### Tablas

No.	Título	Pág.
I.	Temperatura promedios máximas y mínimas en grados centígrados para todos los departamentos de Guatemala.	53
II.	Desviaciones estándar de temperaturas ambiente máximas y mínimas proporcionadas por el INSIVUMEH.	54
III.	Datos de temperatura ambiente máxima y mínima así como la temperatura a 20 mm de la superficie asfáltica durante un período de 7 días , basados en el Superpave para el Petén.	54

IV

Datos de temperatura ambiente máxima y  
Mínima así como la temperatura a 20 mm de  
la superficie asfáltica durante un período de  
7 días, basados en el Superpave para la  
ciudad de Guatemala.

55

## LISTA DE SÍMBOLOS

- (s) Medida que indica la rigidez a la deformación bajo carga constante.
- (m) Representa la pendiente del gráfico del logaritmo de la rigidez en función del logaritmo del tiempo.
- (G\*) Módulo de corte complejo, factor utilizado en el reómetro de corte dinámico.
- ( $\zeta$ ) Ángulo de fase, factor que junto al módulo de corte se utiliza en el reómetro de corte dinámico.
- S Desviación estándar.
- T Temperatura.
- (X) Media aritmética de los datos.

**ASTM**

Es un conjunto de normas establecidas en los Estados Unidos de Norteamérica, dichas normas incluyen aspectos de evaluaciones y materiales.

**Cíclico**

Compuesto de hidrocarburo perteneciente a los alifáticos pero con cadena que se cierra en forma de anillo.

**Coloide**

Es intermedio entre las soluciones y los precipitados. Están constituidos por una fase dispersa y una fase dispersante, las partículas dispersas son las partículas coloidales, dichas partículas tienen un tamaño aproximado de 10 a 100 nanómetros.

**Craqueo**

Situación que se presenta en algunos materiales como el asfalto, lo cual es indispensable debido a que las moléculas grandes se descomponen o dividen en moléculas pequeñas e insaturadas, que son fáciles de oxidar. El craqueo se puede producir por elevación exagerada de la temperatura y por presiones físicas.

**Destilación**

Método utilizado para separar los componentes de una solución líquida, que depende de la distribución de estos componentes entre una fase de vapor y una fase líquida teniendo en cuenta que ambos componentes están presentes en ambas fases.

<b>Horno de película Delgada rotatoria</b>	“RFTO o Rolling Thin Film Oven Test”. El horno de película delgada rotatoria es un equipo utilizado para simular el envejecimiento del asfalto en la mezcla asfáltica, está constituido por un horno eléctrico, con circulación.
<b>Latitud</b>	Distancia de un lugar al ecuador de la tierra.
<b>Licuefacción</b>	Paso de un gas al estado líquido.
<b>Mezcla homogénea</b>	Combinación de dos o más sustancias puras en proporciones variables, la composición puede variar.
<b>Molécula apolar</b>	O molécula no polar. Molécula con distribución equitativa de las nubes electrónicas que forman los varios enlaces de dicha molécula.
<b>Molécula polar</b>	Una molécula polar es aquella en la cual la distribución no es equitativa de las nubes electrónicas; por tanto, una parte de la molécula será más positiva y la otra más negativa.
<b>Norma</b>	Es una especificación técnica u otro informe a que tiene disponibilidad todo público, el cual se basa en resultados de la ciencia así como la tecnología y lo empírico bien aplicado, es dirigida por un organismo reconocido a nivel nacional e internacional.

<b>Oxidación</b>	Es cualquier cambio químico en el cual una sustancia pierde electrones y por consiguiente aumenta su estado de oxidación.
<b>Pavimentos altos</b>	Es la mezcla asfáltica que se encuentra a 20 mm de la superficie de la cinta asfáltica y se utiliza como base para encontrar la temperatura alta de pavimentación.
<b>Petróleo</b>	Sustancia compuesta en su 95% por hidrocarburos, en forma de líquidos, sólidos y gases, se encuentra en la corteza de la tierra y su composición es tan variada como variado es el lugar de donde se obtiene.
<b>PG (Performance Grade)</b>	O grado de clasificación, es la nomenclatura con la cual se designa al asfalto por el programa Superpave. Dicho grado consta de una temperatura máxima de diseño y una mínima.
<b>Propuesta de norma</b>	Documento preliminar que se somete a un estudio o bien a una encuesta pública, con el objeto de conocer sus observaciones y comentarios, los cuales se analizan para elaborar un documento de norma nacional correspondiente.
<b>Recipiente de presión de envejecimiento</b>	"PAV Pressure Aging Vessel". Lo constituye un recipiente cilíndrico que consta de una cámara de envejecimiento y un horno, se introduce aire dentro del

recipiente simulando un envejecimiento por oxidación, los controles del mismo son en forma digital.

### **Reómetro de corte**

#### **Dinámico**

Instrumento que somete al asfalto a una carga constante y a una oscilación, consta de dos platos de los cuales el inferior se encuentra fijo. Existen dos tipos de reómetros de corte dinámico el primero donde el torque está fijo y el otro donde la distancia que se moverá el plato superior es fija, las frecuencias son controladas por programas de computadoras.

### **Reómetro de flexión**

#### **Viga**

Instrumento encargado de medir las propiedades asfálticas a bajas temperaturas de pavimentación. Este instrumento lo constituye un molde de aluminio generalmente, un recipiente donde se somete a un baño constante el asfalto, una carga constante es inducida al asfalto lo cual provoca flexiones en el asfalto, todo es controlado también por un programa de computadora.

### **Superpave**

"Superior Performance Pavement" (grado superior de desarrollo) en este caso del asfalto. Es un programa desarrollado en los Estados Unidos de América el cual investigó y desarrolló un sistema de evaluación del asfalto en todas las etapas de su vida, estas etapas abarcan desde cuando se obtiene en forma original hasta cuando está en servicio en las carreteras por periodos indefinidos de tiempo. El Superpave se basa en las propiedades

físicas del asfalto así como también toma en cuenta las situaciones climáticas para cada región donde se va a utilizar dicho asfalto.

**Temperatura de  
Pavimentación**

Es la temperatura encontrada por el sistema Superpave, quedando el criterio del diseñador si tomarla como se encuentra o variarla según sus necesidades; es decir, es la temperatura que aproxima a los grados PG de diseño la cual es encontrada por las correlaciones del sistema Superpave.

## **RESUMEN**

Se estableció un conjunto de normas para la clasificación del asfalto, es decir, su nomenclatura. Dicho análisis se llevó a cabo tomando en cuenta al asfalto en tres momentos: a) en su etapa inicial, b) cuando se está mezclando con el material de impregnación y c) cuando tiene cierto tiempo de servicio en las carreteras.

El presente trabajo analiza la nomenclatura del asfalto que se utiliza actualmente en Guatemala (basada en las normas ASTM), las especificaciones y pruebas de calidad del asfalto que se utilizan en Guatemala y su comparación con las especificaciones del sistema Superpave que es la base de este análisis.

Para encontrar los grados de diseño del asfalto para Guatemala se utilizaron como base las normas ASTM y AASHTO, así como los datos de temperaturas máximas y mínimas promedio para los 22 departamentos de Guatemala, tomando como base la información del INSIVUMEH de aproximadamente 20 años de registro. Al adaptarse los grados de diseño de asfalto para Guatemala, se obtienen las normas para su especificación y utilización tomando como base aspectos geográficos y climáticos del país, así como también situaciones de carga y velocidad de tráfico en las carreteras del país. Se seleccionaron dos regiones del país (central y norte) para evaluar la adaptación del sistema Superpave a la realidad de diseño guatemalteco. Estos resultados se compararon con los datos obtenidos por medio del registro del INSIVUMEH.

Debe tomarse en cuenta que las aplicaciones y análisis de dichas normas encontradas en este trabajo, están sometidas al criterio del diseñador de carretera y de aspectos económicos de la refinería, por lo cual, el análisis expuesto es la base para una mejor utilización del asfalto.

## INTRODUCCIÓN

El presente estudio pretende establecer un conjunto de normas que pueden indicar la clasificación adecuada del asfalto cemento, así como su comportamiento. Dicho análisis se basa en las propiedades físicas y reológicas, desde el manipuleo y bombeo del mismo, su comportamiento en la mezcla asfáltica y por último, la etapa de su envejecimiento.

El presente estudio se basa en la hipótesis: es posible crear en Guatemala un conjunto de normas para la nomenclatura y clasificación del asfalto, así como su comportamiento en todas las etapas de su vida.

Los objetivos del presente estudio establecen que es necesario plantear un conjunto de normas para el comportamiento del asfalto, dichos criterios se basan en las normas ASTM y AASHTO aplicadas a Guatemala. Lo anterior se justifica porque es necesario proyectar el comportamiento del asfalto basado en sus propiedades físicas y a la vez, contar con material actualizado en cuanto a la industria petrolera se refiere, por lo cual es necesario un análisis de los actuales criterios utilizados en Guatemala para clasificar el asfalto y para observar su comportamiento, porque las diferentes industrias tanto la productora del asfalto, como las consumidoras se basan en diferentes criterios y normas que actualmente no cumplen con los requisitos de utilización del asfalto. Esto ha dado motivo para crear confusiones en Guatemala respecto a qué asfalto debe utilizarse.

Se proponen, en este trabajo, un conjunto de normas que provean el criterio que generalice la clasificación del asfalto. Dicho planteamiento se basa en el análisis del sistema de clasificación SUPERPAVE y algunas normas ASTM acordes a dicho sistema. Pero, obviamente, acorde a las necesidades y características físicas de Guatemala y a las posibilidades en la refinería.

Como se sabe, actualmente en el país, el asfalto cemento se clasifica principalmente de acuerdo a la viscosidad que presenta evaluado mediante la prueba de viscosidad que se basa en la norma ASTM D2171 o la norma AASHTO T202 (Ref.4).

Al igual que para la calidad que va a exhibir el asfalto en el país, se presentan como material de apoyo algunas normas ASTM que son una evaluación de las características físicas del mismo.

Los anteriores criterios, actualmente, no cumplen con las necesidades para clasificar adecuadamente el asfalto cemento en el país, debido a que su clasificación se restringe a pruebas que no tienen en cuenta aspectos físicos del lugar donde se va a usar la mezcla asfáltica. También estos criterios no toman en cuenta los cambios en el comportamiento que exhibe un asfalto a diferentes temperaturas, pues se conoce que el comportamiento de un asfalto a diferentes temperaturas varía bastante. Los criterios actuales de clasificación del asfalto pueden incluir en su clasificación errores ya que generalizan las características de los asfaltos sin tomar en cuenta los aspectos mencionados.

Por lo cual, se pretende establecer normas que cubran esos vacíos que actualmente tienen dichos criterios que se utilizan.

## **ANTECEDENTES**

### **1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ASFALTO**

La palabra asfalto se derivada del término asphaltic. Término que fue adoptado por la "Homeric Greeks" cuyo significado es fijo o estable. El término asphaltic fue llevado hasta el latín, luego al francés "asphalte" y últimamente al inglés "asphalt" (Ref.5). Ya se usaba en las civilizaciones antiguas, por ejemplo en Sumeria, alrededor del 6,000 antes de Cristo existía una industria primitiva que producía y utilizaba asfalto. Los egipcios lo utilizaron para proteger superficies del agua, esto alrededor de 2,600 A.C. (Ref.5).

Partiendo del concepto de que el petróleo crudo está constituido por gran cantidad de diferentes sustancias químicas incluyendo gases, líquidos y sólidos que van desde el metano hasta el asfalto (Ref.1). Esto también incluye al asfalto, aproximadamente el 95% del peso del asfalto está compuesto de hidrocarburos, el porcentaje restante viene a constituirse en dos grupos: heteroátomos y metales, siendo los heteroátomos principalmente nitrógeno, oxígeno y azufre, frecuentemente vienen a reemplazar a los átomos de carbono en la estructura molecular (Ref. 4).

Este tipo de átomos consiste principalmente de la fuente de donde provenga el crudo y su exposición al envejecimiento. Así los metales presentes, pueden estar alrededor de 1% y pueden indicar la fuente de donde proviene el asfalto.

En términos naturales puede decirse que asfalto son las sustancias de color oscuro que pueden estar en forma líquida, sólida o casi sólida y que está compuesto esencialmente de hidrocarburos que son solubles la mayoría en sulfuro de carbono. Existen a veces, minerales de diferentes proporciones, el asfalto se obtiene en forma natural o por refinación (Ref.5).

El asfalto es una mezcla de hidrocarburos solubles unos con otros en proporciones diversas, la agrupación de los mismos se da según sus características físicas, dando lugar a una estructura coloidal característica (Ref.5).

Para el análisis de las fracciones en el asfalto, se utiliza actualmente el método de "Cromatografía de Corbet" que es un método estándar de separación del asfalto en 4 fracciones y el método de "Precipitación de Rostler" (Ref.4).

En el asfalto existen básicamente tres tipos de moléculas, las alifáticas cíclicas y aromáticas.

Las alifáticas o parafínicas son lineales en forma tridimensional, son moléculas de aceite. Los cíclicos o nafténicos son tridimensionales saturados con anillos de átomos de carbono, los aromáticos son achatados o aplastados anillos de carbono que fácilmente se apilan y tienen una fuerte fragancia (Ref.5).

Todas estas moléculas actúan unas con otras de varias formas, según la fuente del crudo y se afectan por diversos factores, principalmente por la temperatura lo cual explica la viscoelasticidad natural del asfalto, poder de absorción y son una fase intermedia entre aceites y asfaltenos, los maltenos tienen anillos aromáticos combinados con anillos nafténicos y cadenas parafínicas y se sabe que los asfaltenos tienen bastante carácter aromático, son bastante pesados, claro está que para estudiar el asfalto se han supuesto estas conclusiones ya que no se

puede decir que en la fase continua sólo existan parafinas ya que también se encuentran anillos aromáticos, esto es producto de la versatilidad de compuestos existentes en el asfalto y en diferentes proporciones (Ref.2). También se clasifica al asfalto en: maltenos y asfaltenos.

Puede decirse que los asfaltenos son los más pesados y precipitan, se ponen en contacto con un hidrocarburo de bajo punto de ebullición saturado, precipitan como materiales terrosos y oscuros (Ref.5).

Los maltenos se dividen en resinas y aceites, las resinas tienen mayor poder de absorción y son una fase intermedia entre aceites y asfaltenos, los maltenos tienen anillos aromáticos combinados con anillos nafténicos y cadenas parafínicas y se sabe que los asfaltenos tienen bastante carácter aromático, son bastante pesados, claro está que para estudiar el asfalto se han supuesto estas conclusiones ya que no se puede decir que en la fase continua sólo existan parafinas ya que también se encuentran anillos aromáticos. Esto es producto de la versatilidad de compuestos existentes en el asfalto y en diferentes proporciones.

En general, se puede decir que el carácter aromático decrece en el asfalto, desde los asfaltenos hasta las resinas y en los aceites, los maltenos tienen principalmente hidrocarburos saturados como nafténicos y parafinas aunque también tienen gran cantidad de anillos aromáticos, elevado en las resinas y reducido en los aceites.

Aparte de eso se sabe que tanto en el asfalto, producto de la refinación y el de tipo natural, existen trazas de oxígeno, nitrógeno y azufre, como también de otras sustancias (Ref.2).

Las moléculas del asfalto están divididas en dos grupos, polares y no polares, formando las polares una red y es por ello que el asfalto tiene sus propiedades elásticas, las moléculas no polares forman el cuerpo del material alrededor del circuito y estas contribuyen a la viscosidad del asfalto, moléculas polares y no polares coexisten en una mezcla homogénea (Ref.4). El análisis de la composición química del asfalto hasta la fecha sigue siendo bastante complejo y está sometido constantemente a mucho estudio.

## **2. CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS ASFALTOS**

Básicamente, existen dos tipos de asfalto en el mundo, los asfaltos tipo natural y los asfaltos producidos a partir del crudo del petróleo por destilación.

### **2.1 Asfaltos de tipo natural**

Los asfaltos naturales son materiales que se extraen del subsuelo y no crean ningún problema de fabricación, exceptuando cuando se incorporan a algún proceso de fabricación como por ejemplo pinturas, caucho etc. (Ref.5).

Existe una clasificación de estos tipos de asfaltos: asfaltos nativos y asfaltitas duras.

Los asfaltos nativos sólidos o semisólidos se clasifican así.

- a. Puros o casi puros
- b. Del lago Bermúdez
  - Asfalto del lago Trinidad
  - Del lago de Iraq, Boetón y Selenitza
  - Asfaltos de roca europeos y americanos

Por su parte, las asfaltitas duras se clasifican en:

- Gilsonita
- Grahamita

- **Pez lustrosa Manjak**  
(Ref.5).

Se sabe que dependiendo de la fuente, así será la composición de dichos asfaltos, tanto para los asfaltos de tipo natural como para los asfaltos de tipo de refinación. El yacimiento natural más importante existente de asfalto natural es el lago Trinidad (lo que fuera anteriormente las Antillas Británicas). Se puede decir que entre la materia mineral que existe entre los asfaltos de tipo natural se encuentran en diferentes proporciones, arcilla y arena de sílice fina, algunos minerales raros como titanita, circón, rutilo, glaucofana, etc.

Lo anterior no se encuentra en todos los asfaltos por refinación y lo que se encuentra está en diferentes proporciones.

La diferencia de los asfaltos naturales con los asfaltos de tipo de destilación es que junto a materiales hidrocarburoados pesados se encuentran minerales diversos, cosa que en los asfaltos producto de la refinación no, sóloamente los encontramos en una pequeña cantidad. Se puede decir que en el mundo la utilización de asfaltos naturales representa el 3% de la producción total de petróleo (Ref.1).

En la producción de asfalto de Guatemala no se utiliza el asfalto de tipo natural sino solamente el que es producto de la refinación por la carencia de yacimientos de este tipo.

## 2.2 Asfaltos por refinación

Estos se obtienen como residuo de la destilación de ciertos petróleos crudos, la calidad depende de los pozos petrolíferos, es decir, de la fuente de producción del mismo, ya que como se sabe la calidad va a variar dependiendo de la cantidad de asfaltos existentes en el crudo, por ejemplo, se sabe que algunos crudos casi no contienen asfaltos, en cambio algunos contienen 20% de asfaltos o más.

La refinación del petróleo para producir asfalto, se hace básicamente por destilación del petróleo a la presión atmosférica (Ref.1) esto para separar los productos ligeros como la gasolina, queroseno, quedando un residuo que contiene aceites pesados y asfaltos. Luego se destila al vacío para evitar a temperaturas elevadas (más de 400 grados centígrados) porque puede existir un cracking (Ref.1). El cracking es indeseable y contrario a la durabilidad del producto cuando el asfalto está expuesto a los agentes atmosféricos; es decir, se descomponen las moléculas en algunas más pequeñas y no saturadas por tanto son fáciles de oxidar.

El equipo básico para dicha refinación aparte de un quemador, incluye la torre de destilación, condensadores y enfriadores o refrigerantes, obteniéndose en la parte superior de la torre un destilado ligero, por la parte inferior de la torre se obtiene el residuo o asfalto como materia prima (Ref.5).

El asfalto es un material termoplástico, a causa de la gradual licuefacción cuando es calentado, tiene gran habilidad para fluir a altas temperaturas. El asfalto cemento está compuesto principalmente de betumen, el cual por definición es ampliamente disuelto en disulfuro de carbono (Ref.5).

### 3. COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO

El comportamiento del asfalto, depende, básicamente, de dos aspectos: la temperatura a la cual es expuesto y el índice de carga, pero estos factores son relativos y dependen de la intensidad con que se apliquen al asfalto, ya que como se sabe tiene propiedades elásticas y viscosas a la vez.

A altas temperaturas o sosteniendo grandes cargas, el asfalto actúa como un líquido viscoso, se sabe que agua aire y asfalto caliente (a temperaturas mayores de 60 grados centígrados) son descritos como fluidos newtonianos (Ref. 4). También en estas condiciones los líquidos viscosos se denominan plásticos porque una vez empiezan a fluir no retornan a su original posición, pero también puede hablarse de una influencia de las propiedades químicas del asfalto (Ref.5).

Así puede decirse que la mezcla de asfalto puede comportarse como un plástico. A temperaturas intermedias el asfalto exhibe cualidades de un material viscoso y de un material elástico a la vez (Ref.3). Puede decirse que cuando el asfalto se calienta actúa como un lubricante y permite al agregado ser mezclado, pero cuando se enfría actúa como un pegamento o goma y agarra a los agregados, he ahí la principal característica viscoelástica del asfalto, es decir, su comportamiento viene a depender de la temperatura y la carga a la cual es sometido el asfalto .

El envejecimiento del asfalto se da, porque el asfalto tiene moléculas orgánicas las cuales reaccionan con el oxígeno del medio ambiente, es decir la famosa "oxidación", la cual provoca cambios en las moléculas de asfalto (Ref.3).

Así el asfalto cemento se vuelve más duro lo cual en climas calientes se acentúa más y provoca que se quiebre dicho asfalto, así también algunas malas compactaciones provocan que existan más espacios vacíos donde el oxígeno reacciona filtrándose por los mismos.

## **4. TIPOS DE ASFALTO CEMENTO SEGÚN CLASIFICACIÓN UTILIZADA EN GUATEMALA.**

### **4.1 Criterios utilizados**

El asfalto cemento, comercialmente se ha vendido dependiendo de ciertos rangos; basados generalmente en la penetración. Esto es bastante ortodoxo ya que es demasiado empírico y actualmente se realiza la clasificación basado a un examen de viscosidad. (Ref.5).

La prueba es realizada a 60 grados centígrados y la viscosidad está dada en centipoises. La serie más utilizada internacionalmente consiste de los grados, por ejemplo, AC-2.5, AC-5, AC-10, AC-20 y AC-40. El numeral indica la viscosidad en cientos de poises a 60 grados centígrados.

Es decir, la clasificación del asfalto cemento depende principalmente de la prueba de viscosidad, sin tomar en cuenta muchos otros elementos que afectan fuertemente al asfalto, como por ejemplo la variación de las propiedades del asfalto a diferentes temperaturas.

### **4.2 Pruebas de los actuales criterios para especificaciones del asfalto**

En Guatemala se utilizan ciertas especificaciones para los grados estándar de pavimentos, adoptados por la AASHTO y la ASTM que vienen a determinar las características finales del producto.

Los tests son los siguientes.

Prueba	Norma
Viscosidad a 60 C	AASHTO (T202), ASTM (D2171)
Viscosidad a 135 C	AASHTO (T201), ASTM (D2170)
Penetración	AASHTO (T49), ASTM (D5)
Punto de flama	AASHTO (T48), ASTM (D92)
Película delgada en horno	AASHTO (T149), ASTM (D1754)
Película delgada rotatoria en horno	AASHTO (T240), ASTM (D2872)
Ductilidad	AASHTO (T5), ASTM (D113)
Solubilidad en tricloroetileno	AASHTO (T44), ASTM (D2042)
Evaluación de la mancha	AASHTO (T102)
Prueba de agua	AASHTO (T55), ASTM (D95)

#### 4.2.1 Prueba de viscosidad

La prueba de viscosidad se realiza a una temperatura de 60 grados centígrados ya que esta temperatura aproxima la máxima temperatura de la superficie de asfalto pavimento en servicio en los Estados Unidos.

También puede escogerse una mínima viscosidad, esto se realiza a 135 grados centígrados ya que esta temperatura aproxima la temperatura de la mezcla para asfaltos calientes (Ref.4).

La prueba de viscosidad determina la clasificación de asfaltos que se utilizan actualmente en Guatemala y en algunos otros países y representa una medida de bombeo y manipuleo del asfalto, pues por medio de esta prueba se puede encontrar la consistencia del asfalto.

Uno de los problemas que exhibe esta clasificación es que la tolerancia para esta nomenclatura es del 20% más o menos. Esto indica que un AC-20 por ejemplo puede ser un AC-16 o un AC-24, un rango demasiado generalizado, tomando en cuenta los cambios de comportamiento que exhibe el asfalto sometido a diversas condiciones. Esta nomenclatura es la más utilizada actualmente en Guatemala.

#### 4.2.2 Prueba de penetración

Esta prueba tenía la cualidad que en ella se basaba la antigua clasificación antes de que se hiciera la evaluación que actualmente se utiliza en Guatemala. La evaluación de penetración es bastante empírica, el test se realiza a 25 grados centígrados (77 grados fahrenheit) pero se sabe que no tienen mucha significación los resultados del mismo, el procedimiento y criterios los da la norma ASTM (D5) o la norma AASHTO (T 49) (Ref.4).

#### 4.2.3 Punto de flama "Flash Point"

Al ser calentado el asfalto, emite gases los cuales son combustibles, el punto de flama indica la temperatura a la cual el asfalto en presencia de alguna flama, flamea instantáneamente. Esta temperatura generalmente está debajo de la temperatura a la cual el material soporta combustión. O sea que es una prueba de seguridad (Ref.4).

#### 4.2.4 Horno de película delgada "Thin Film Oven Test"

Es una prueba que incluso en nuestro país, no se utiliza muy a menudo actualmente, (TFO) es una evaluación que simula condiciones de envejecimiento, es decir, mide la resistencia del asfalto a cambiar bajo condiciones que producen envejecimiento. El procedimiento está especificado en la norma ASTM (D1754)(Ref.4).

#### 4.2.5 Horno de película delgada rotatoria "Rolling Thin Film Oven Test"

Este es un método de envejecimiento, este método viene a simular el envejecimiento que sufre el asfalto durante la etapa de la construcción, la prueba se realiza a temperatura de 163 grados centígrados.

El procedimiento es regido por la norma ASTM (D2872). Es decir el (RFTO) es una prueba que mide las condiciones de envejecimiento pero no en el tiempo de servicio del ligante ya en el pavimento, sino cuando se está realizando la mezcla, por eso es que se utiliza la temperatura indicada (Ref.4).

#### 4.2.6 Ductilidad

Esta propiedad, que a la vez es un método utilizado, es bastante popular ya que es requerido por las empresas que se dedican a la construcción de carreteras y la ductilidad es la elongación en centímetros a la cual el hilo del material (asfalto) se quiebra, la prueba se realiza a una temperatura de 25 grados centígrados.

El otro procedimiento lo dicta la norma ASTM(D113) (Ref.4). La ductilidad solamente evalúa el material a una temperatura ambiente; por lo tanto, actualmente no se confía mucho en los resultados del mismo.

#### 4.2.7 Prueba de solubilidad

Es una medida del grado de pureza del asfalto, así esta prueba se basa en que la porción del asfalto cemento que es soluble en disulfuro de carbono, representa el constituyente cemento activo, pero la materia inerte, sustancias inorgánicas y sales son insolubles (Ref.4).

En Guatemala se llevan a cabo la mayoría de estas pruebas, algunas empresas requieren sólo de algunas y se basan en diversidad de criterios para considerar cuáles especificaciones van a requerir. Actualmente, la elección del asfalto cemento ha quedado a criterio de los ingenieros encargados de la construcción de carreteras, pero esta elección se ha basado en la experiencia y no en criterios realmente científicos, por lo tanto, hay tanta diversidad en los criterios de elección actualmente en nuestro medio.

Muchas de estas pruebas tienen un carácter muy empírico, así es conocido por las personas que trabajan en el campo de los asfaltos, que la relación entre el resultado de la prueba y el rendimiento tiende a no ser muy bueno, algunas otras limitaciones existen, por ejemplo, la penetración describe sólo la consistencia a una temperatura media, pero por ejemplo, a temperaturas inferiores no se puede determinar el comportamiento del asfalto con estos datos, así se tiene que la actual clasificación puede clasificar asfaltos muy diferentes dentro del mismo rango cuando, sometidos a diferentes cargas y temperaturas, se van a comportar de manera diferente.

Así se puede decir que dos asfaltos tienen la misma viscosidad a 60 grados centígrados, tienen igual penetración a 25 grados centígrados, pero sucede que a inferiores o a mayores temperaturas de 60 grados centígrados los asfaltos se van a comportar de manera totalmente diferente.

## **5. ESPECIFICACIÓN SUPERPAVE**

### **5.1 Aspectos generales**

Por todos los problemas presentados anteriormente y reconociendo las deficiencias en los actuales sistemas, el Programa Estratégico de Investigación de Carreteras (SHRP) de los Estados Unidos de América, investigó y propuso un nuevo sistema de criterios de nomenclatura y evaluación del sistema.

Este nuevo criterio es el SUPERPAVE que se basa en un conjunto de evaluaciones de las propiedades físicas del asfalto modificadas, utilizando para ello normas existentes tanto en ASTM como en AASHTO.

El programa SUPERPAVE se basa esencialmente en las condiciones que señalan las 3 etapas críticas del desarrollo del asfalto, la primera etapa representa desde su producción, bombeo y manipuleo hasta su almacenamiento, la segunda etapa representa al asfalto cuando es utilizado para la mezcla en la construcción y su envejecimiento durante la mezcla y construcción, la tercera etapa representa o simula el desarrollo del adhesivo o asfalto en su envejecimiento o cuando ha pasado cierto período de servicio(Ref.3).

El equipo utilizado para el programa Superpave es el siguiente.

Equipo	Propósito
Horno de película delgada rotatorio	Simulación del asfalto. Características de envejecimiento.
Reómetro de corte dinámico	Mide las propiedades a altas e intermedias temperaturas.
Viscosímetro rotacional	Mide las propiedades a altas e intermedias temperaturas,
Examen directo de tensión	Mide las propiedades a bajas temperaturas.

## 5.2 Descripción del equipo utilizado en la especificación superpave

### a. Horno de película delgada rotatoria

Al igual que en anteriores especificaciones un horno de película delgada rotatoria (RFTO) también es utilizado de acuerdo a la norma AASHTO 240 o ASTM D2872.

El procedimiento del RFTO es un procedimiento de envejecimiento en la etapa de preparación de la mezcla, simula el envejecimiento que sufre el ligante asfáltico durante la construcción, como se dijo, ya ha sido adoptado por anteriores especificaciones (Ref.3). El sistema de evaluación SUPERPAVE requiere de la evaluación del mismo, para poder introducirlo a la evaluación de un grado de asfalto adecuado.

b. Recipiente de presión de envejecimiento (PAV)

Se utiliza un recipiente de presión de envejecimiento (PAV) éste no ha sido utilizado en anteriores especificaciones, el procedimiento de envejecimiento a presión constante pretende simular el envejecimiento del ligante asfáltico que está en servicio. Este ensayo requiere de un material que ya haya sido envejecido en un RTFO; es decir, se auxilia del anterior método (Ref.2).

Esta prueba da las condiciones en la última etapa del asfalto, es decir, cuando está en servicio a diferencia del RTFO que es una prueba del envejecimiento pero en la mezcla de construcción. Se basa en la norma AASHTO PP1.

c. Reómetro de flexión de viga (BBR)

También la especificación SUPERPAVE cuenta con reómetro de flexión viga (BBR por sus siglas en inglés). Este método determina la rigidez a la deformación bajo carga constante (S) y la pendiente del gráfico del logaritmo de la rigidez en función del logaritmo del tiempo (m).

El símbolo (m) lo determina la norma AASHTO TP1(Ref.3). El ensayo se lleva a cabo con asfaltos que han sido envejecidos por el método PAV y también con el método RTFO. Este método constituye un gran logro para medir la calidad del asfalto hacia la deformación, anteriores especificaciones no tomaban en cuenta este factor, pues aunque se sabe la importancia del mismo, no existía un criterio para poder establecer esta propiedad. La rigidez a la deformación bajo carga constante (S) tiene un valor de 300 Mpa que es máximo, un valor de  $m = 0.300$  que debe de ser mínimo.

d. Viscosímetro rotacional

Este método intenta determinar la viscosidad de los ligantes asfálticos a altas temperaturas, su procedimiento está descrito en la norma ASTM D4402; se lleva a cabo con un viscosímetro cilíndrico rotacional coaxial, el método es para asfalto cemento no envejecido, realizándose la prueba a 135 grados centígrados (Ref.2).

e. Reómetro de corte dinámico

Hablar del reómetro de corte dinámico es hablar de la permanente deformación que sufre el asfalto; es decir, este método encuentra un factor de deformación, el cual representa una medida de la resistencia del asfalto al rodamiento de diversas cargas, el método encuentra un módulo de corte complejo ( $G^*$ ) y el ángulo de fase( $\phi$ ) que relacionados de la siguiente manera ( $G^*/\sin\phi$ ) nos plantean el factor de deformación (Ref.2).

El procedimiento es utilizado en ligantes nuevos y ligantes que han sido envejecidos en un horno de película delgada rotatoria (RFTO) y en un equipo de envejecimiento a presión (PAV)(Ref.2). Este método se basa en la norma AASHTO TP5.

f. Examen directo de tensión

Esta prueba se basa en que los estudios demuestran que si el ligante asfáltico puede alargarse a menos de 1% de su largo original, el crackeo es menos frecuente a ocurrir.

El examen de tensión mide a bajas temperaturas la deformación específica en el momento de rotura de ligantes asfálticos y emplea un equipo de tracción directa. Es decir, el examen directo de tensión simula las condiciones del pavimento como cuando ocurre un encogimiento, a bajas temperaturas de resquebrajamiento. Este procedimiento es aplicable sólo a los asfaltos que tienen una carga constante entre 300 y 600 Mpa y un valor  $m$  de 0.300 o más, si esto no es así, entonces no es necesaria dicha prueba. Este procedimiento describe la determinación de la deformación específica de la tracción en el momento de la rotura de los ligantes asfálticos, se determina por la norma AASHTO TP3. El ensayo se realiza sobre asfaltos que han sido envejecidos en el PAV (Ref.2 y 3).

### **5.3 Clasificación del asfalto**

Básicamente, la especificación Superpave ofrece una clasificación global de los asfaltos, basados en las características físicas de los mismos, es decir, las propiedades físicas requeridas en las pruebas permanecen constantes, aunque las temperaturas a las cuales estas condiciones deben variar, dependiendo del clima al cual es expuesto el asfalto.

Para la nomenclatura de los asfaltos en este caso, se tiene la designación PG X-Y, lo que indica que PG es "performance grade" o grado de desarrollo del asfalto que se va a tratar siendo X la temperatura máxima e Y la temperatura mínima del pavimento designada (Ref.3).

Este sistema toma en cuenta los siguientes aspectos:

**Seguridad:** con el punto de flama se cumple este requisito, norma T48, cumple el requisito expuesto anteriormente del punto de flama; es decir, la temperatura a la cual el asfalto puede calentarse sin peligro de que se encienda instantáneamente (Ref.2).

**Bombeo y manipuleo:** se toma en cuenta para que los asfaltos en la especificación, puedan bombearse y manipularse con facilidad para las mezclas en caliente, así la especificación Superpave requiere una viscosidad máxima de 3 pa.s, esto existe en la norma ASTM D4402 (Ref.3).

**Deformación sufrida por el asfalto:** se determina utilizando un reómetro de corte dinámico. El principio de esta evaluación se basa en la respuesta de los asfaltos a soportar cargas, que a su vez dependen de dos componentes, la elasticidad que es una propiedad recuperable y la viscosidad que no es recuperable, así cuando un asfalto se deforma permanentemente es debido a la acumulación de componentes que no son recuperables (Ref.3).

En esta especificación se plantea un factor de deformación el cual representa una medida de la rigidez o resistencia del asfalto, para el asfalto original este factor debe de ser de 1.00 Kpa y de 2.00 Kpa para el asfalto envejecido por el método de envejecimiento del asfalto utilizando un horno de película delgada rotatoria (Ref.2).

**El envejecimiento:** este puede catalogarse para el sistema Superpave, encontrando una masa perdida requerida, utilizando el horno de película delgada

rotatoria o RFTO, esta masa perdida para cualquier grado no debe sobrepasar el 1.00%.

**Fracturas del asfalto por fatiga:** esta ocurre generalmente a bajas temperaturas, cuando el pavimento tiene cierto período de servicio, para determinarlo se utiliza el procedimiento del horno de película delgada rotatoria y el de envejecimiento a presión o PAV en sus siglas en inglés.

Es de notarse también que en el asfalto puede ocurrir craqueo, esto ocurre a bajas temperaturas, ya que si la tensión aumenta en el asfalto excediendo la fuerza de tensión de la mezcla el resquebrajamiento ocurre, la evaluación puede ser sometida al envejecimiento por medio de la evaluación RFTO o PAV por sus siglas en inglés, para lo cual el Superpave propone un valor  $m$  (pendiente del gráfico logaritmo de rigidez vs. tiempo de ligantes asfálticos utilizando el reómetro de flexión) un valor de  $m=0.300$  después de 60 segundos de carga es requerido para todos los asfaltos (Ref.3).

De esa manera los estudios han demostrado que si el asfalto puede alargarse a menos del 1% de su largo original durante este período de contracción, el resquebrajamiento o craqueo es menos frecuente que ocurra.

El endurecimiento del asfalto por almacenamiento: cuando el asfalto se deposita en tanques, por ejemplo, durante periodos de tiempo estacionarios, particularmente a bajas temperaturas, existe asociación química de moléculas existiendo entonces el fenómeno del endurecimiento, para la especificación Superpave debe de cuantificarse (Ref.3).

Por tanto, esta evaluación es requerida utilizando las pruebas de envejecimiento (el método del horno de película delgada rotatoria y el de

envejecimiento a presión o sus siglas en inglés respectivamente RFTO y PAV) así como pruebas de reómetro de flexión son requeridas para obtener el deslizamiento rígido y el valor "m" anteriormente citado (Ref.3).

Es decir, la especificación Superpave se diferencia de otras especificaciones debido a que las propiedades físicas requeridas en las pruebas permanecen constantes, pero las temperaturas a las cuales estas propiedades deben cumplirse varían para cada grado. La alta y baja temperatura deben de ser encontradas para poder aplicar estas pruebas.

#### **5.4 Aspectos para poder seleccionar un asfalto**

El programa Superpave contiene aspectos relevantes para poder seleccionar un grado de asfalto adecuado, la cualidad de esta especificación radica en que el grado seleccionado cubre en su selección al asfalto desde el manipuleo o bombeo hasta su envejecimiento cuando está sometido a un determinado tiempo de servicio el pavimento; es decir, no solamente se aplica al asfalto original. Para seleccionar un PG esta especificación se basa en lo siguiente.

**Área geográfica.** Se puede desarrollar un mapa mostrando el grado de asfalto a ser utilizado, claro está basado a la intemperie de la región o también a la decisión política, lo anterior implica que para encontrar el grado de asfalto adecuado el sistema Superpave indica un parámetro que se basa en la situación geográfica del lugar, pero existen consideraciones de tipo económico para la refinería o para el país donde se aplique, que van a determinar el grado exacto de asfalto, que a la vez no afecten estas consideraciones ni tampoco los parámetros del Superpave.

**Temperatura de pavimentación.** Este es trabajo del diseñador.

**Temperatura de aire.** También el diseñador la determina, las cuales se convierten para determinar la temperatura de pavimentación que es la que interviene en la clasificación del grado o PG (Ref.3).

En los Estados Unidos y Canadá, para encontrar la temperatura del aire se utilizan las estaciones con 20 años de registro mínimo; para ello se utilizan un promedio de siete días para cada año de operación, esto para la temperatura máxima. La media y la desviación estándar fueron calculadas; de igual manera para encontrar la mínima, utilizaron un día del año y su media y desviación estándar fueron calculadas en todos los años de operación, claro está. Estas temperaturas las encuentra el diseñador a un criterio adecuado al país en que se evalúe y no necesariamente de la misma manera que en el Superpave (Ref.3).

Pero, como se mencionó anteriormente, la temperatura del aire no es la de diseño sino la de pavimentación. En el sistema Superpave la máxima temperatura se encuentra a 20 mm debajo de la superficie de la cinta asfáltica y la mínima temperatura se encuentra en la superficie de la cinta asfáltica.

Para convertir la temperatura del aire a temperatura de pavimentación el sistema Superpave propone una ecuación que se basa en modelos para fluidos de calor y balances de energía.

Para dicha ecuación, las constantes que se toman en cuenta son absorción solar (0.90), transmisión de radiación directa del aire (0.81), radiación atmosférica (0.70), y velocidad del viento (4.5 m/s), esta ecuación es para encontrar la máxima temperatura o para pavimento altos.

$$T_{20\text{mm}} = (T_{\text{air}} - 0.00618 \text{ lat}^2 + 0.2289 \text{ lat} + 42.2) (0.9545) - 17.78$$

Donde:  $T_{20mm}$  = Temperatura designada para pavimento alto a una profundidad de 20 mm.

$T_{air}$  = Temperatura alta del aire en promedio para siete días, o utilizando el criterio del diseñador.

$Lat$  = La latitud geográfica del proyecto.

Para encontrar la temperatura mínima del pavimento utilizamos la siguiente ecuación.

$$T_{surf} = 0.859 * T_{air} + 1.7$$

Donde  $T_{surf}$  = Temperatura en la superficie

$T_{air}$  = Temperatura mínima del aire encontrada por el diseñador (Ref.3).

Pero el sistema Superpave deja al criterio del diseñador el grado de confiabilidad alcanzado para un PG, por ejemplo se puede contar con un grado de confiabilidad cerca del 50% o uno cerca del 96%, etc. Esto depende de la política de la empresa o de aspectos económicos, nivel de tráfico o de otros aspectos, pero no afecta de sobremanera pues el sistema ya tiene sus parámetros establecidos en los tests. Claro está, la estadística puede acercarse a esos niveles de confiabilidad.

El sistema Superpave también considera al tráfico expuesto sobre la carretera asfaltada, una más alta temperatura es utilizada para contrarrestar el lento trasiego de tráfico en la carretera, o la lenta velocidad de carga, aquí el sistema ha encontrado a través de años de investigación, que seis grados de incremento compensan lo anterior.

También si existe un extremado número de tráfico pesado, por ejemplo, existen localidades donde se excede a las 10,000,000, este valor equivale a un eje individual de carga (ESAL por sus siglas en inglés), este ESAL equivale a 18,000 (80-kN). Si el tráfico está entre los 10,000,000 y 30,000,000 de ESAL, entonces el diseñador tiene que considerar utilizar grados más altos de temperatura que los basados en la temperatura del clima de la localidad. Si excede a 30,000 utilizar grados aún más altos de temperatura máxima (Ref.3).

Se ve entonces cómo la especificación SUPERPAVE toma en cuenta múltiples aspectos que no se han tomado en las normas individuales que se utilizan en Guatemala y en algunos otros países.

## 6. RESULTADOS

1. La correlación utilizada por el sistema Superpave sí es adecuada en Guatemala para obtener los grados de diseño PG. Lo anterior se demuestra al comparar las medias respectivas de las temperaturas ambiente máxima y temperatura a 20mm de la superficie asfáltica. Para la región del Petén:  $(X)T_{\text{ambiente máxima}} = 85.00$  grados centígrados, y  $(X)T_{20\text{mm}} = 88.43$  grados centígrados,  $S(T_{20\text{mm}}) = 2.77$ , lo cual representa la desviación de la temperatura a 20mm en la superficie asfáltica. Para la región de la ciudad de Guatemala:  $(X)T_{\text{ambiente máxima}} = 71$  grados centígrados,  $(X)T_{20\text{mm}} = 75.14$  grados centígrados y  $S(T_{20\text{mm}}) = 1.64$ . También una desviación de la temperatura.
2. Establecimiento de propuestas de normas en cuanto a la nomenclatura y comportamiento del asfalto en sus etapas de vida.

**Norma 1. Determinación de un mapa de grados de asfalto para la región de Guatemala basado en las diferentes situaciones geográficas y climáticas del país**

**Objeto:** esta norma crea un criterio para poder establecer el grado de asfalto adecuado a la región donde se aplique.

Es claro que no todos los grados teóricos son factibles ni rentables, pero pueden crear un criterio para poder establecer un PG adecuado.

A continuación se establecen los grados utilizando la temperatura ambiente promedio máxima y la temperatura promedio mínima para todas las estaciones que proporcionan datos de aproximadamente 20 años por medio del INSIVUMEH.

**Campo de aplicación:** se aplica a todos los departamentos del país de Guatemala y mediante un previo análisis pueden realizarse aproximaciones para toda la región centroamericana.

**Principio del método:** consiste en establecer un mapa de grados de diseño del asfalto basado a las latitudes de cada departamento de Guatemala y a las diversas temperaturas ambientes existentes, contando con datos de aproximadamente 20 años de las diversas temperaturas.

**Procedimiento:** consiste en someter a análisis los diferentes datos de temperaturas proporcionados por el INSIVUMEH como temperaturas ambiente y luego encontrar las temperaturas de diseño mediante las correlaciones expuestas en este informe (ver antecedentes) expuestas por el programa Superpave.

Se aplica el criterio de la desviación estándar para obtener factores de seguridad en la selección de las temperaturas de diseño.

**Informe del ensayo:** deben expresarse los resultados en grados PG  $X + / -$ , donde:  $X$  = Temperatura máxima de diseño en grados centígrados.  $Y$  = Temperatura mínima de diseño en grados centígrados. El signo más sobre menos indica que pueden existir grados  $Y$  negativos o positivos.

Para los grados PG existentes en Guatemala se cuenta con una desviación estándar de aproximadamente (2) para los datos de temperatura de todo el país, ambiente máxima y mínima.

A un 98% de confiabilidad se presentan los siguientes datos de grados de diseño o grados PG.

La otra forma a utilizarse como medio de comparación es la que proporciona exactamente el método Superpave es decir la temperatura máxima de cada día durante siete días y la temperatura mínima en el mismo periodo se encontró una desviación aproximada de dos.

A un 98% de confiabilidad se tiene los siguientes grados de diseño del asfalto, basados en su comportamiento.

Petén:	PG 58+14	Santa Rosa:	PG 58+12
Alta Verapaz:	PG 52+13	Izabal:	PG 57+16
Baja Verapaz:	PG 56+10	Escuintla:	PG 56+13
Chimaltenango:	PG 51+9	Retalhuleu:	PG 60+16
Guatemala:	PG 52+10	Suchitepéquez:	PG 59+13
Sacatepéquez:	PG 48+7	Totonicapán:	PG 54+7
Sololá:	PG 53+9	San Marcos:	PG 48+3
Chiquimula:	PG 55+12	Quiché:	PG 50+6
Jalapa:	PG 49+9	Quetzaltenango:	PG 49+3
Jutiapa:	PG 59+16	Huehuetenango:	PG 53+6
El Progreso:	PG 61+5		
Zacapa:	PG 61+15		

La otra forma a utilizarse como medio de comparación es la que proporciona exactamente el método Superpave; es decir, la temperatura máxima de cada día durante siete días y la temperatura mínima en el mismo periodo se encontró una desviación aproximadamente de dos.

A un 98 % de confiabilidad se tiene los siguientes grados de diseño.

Ciudad capital: PG 48+10

Libertad Petén: PG 58+9

Nota: las siguientes normas están creadas en base a las tres etapas de desarrollo en que se basa el sistema Superpave, es decir la primera es producción bombeo y manipuleo inclusive el almacenamiento, la segunda el envejecimiento en mezcla y producción y la tercera envejecimiento del asfalto pero en servicio, es decir cuando tiene cierto tiempo (indefinido) en las carreteras.

## **Norma 2. Establecimiento de seguridad del asfalto utilizado**

**Objeto:** esta norma establece un parámetro de seguridad en el manipuleo y operación del asfalto creado, basado en el examen del punto de flama.

**Campo de aplicación:** es aplicable al asfalto que está expuesto a un calentamiento o manipuleo, considerando las necesidades requeridas en el medio.

**Principio del método o procedimiento:** este método se basa en la norma AASHTO T48.

**Informe del ensayo:** se debe presentar la temperatura y la mínima temperatura requerida es de 230 grados centígrados para cualquier PG.

### **Norma 3. Determinación de la viscosidad del asfalto**

**Objeto:** esta norma determina la viscosidad del asfalto a altas temperaturas, ocupándose por lo tanto de la etapa de bombeo y manipuleo del asfalto.

**Campo de aplicación:** se aplica utilizando el asfalto recién obtenido, es decir en su etapa de manipuleo inicial, lo que es lo mismo que decir un asfalto no envejecido.

**Principio del método:** se realiza con un viscosímetro cilíndrico rotacional, utilizando para ello el procedimiento descrito en la norma ASTM D4402.

**Informe del ensayo:** se debe presentar para cualquier asfalto un máximo valor de 3 pa.s o 3000 cp.

### **Norma 4. Determinación de envejecimiento del asfalto en la mezcla y construcción**

**Objeto:** esta norma encuentra el porcentaje de masa que se pierde por volatilización en los momentos anteriores al mezclado del asfalto con los materiales para la construcción.

**Campo de aplicación:** este procedimiento se aplica a un asfalto nuevo para envejecerlo, es decir se está analizando la etapa de envejecimiento del asfalto durante su mezcla con materiales para preparar la cinta asfáltica.

**Procedimiento:** el procedimiento lo dicta la norma AASHTO 240 o ASTM D2872 utilizando para ello un horno de película delgada rotatoria RFTO.

**Informe del ensayo:** se debe obtener una masa perdida no mayor de 1%.

### **Norma 5. Determinación de envejecimiento del asfalto cuando está en servicio**

**Objeto:** el objeto de esta norma es contar con un parámetro que dicte un valor que prediga el envejecimiento del asfalto cuando ya está en servicio, es decir, cuando se encuentra en las carreteras, siendo indispensable este dato para poder diseñar dicho asfalto y evitar en la medida de lo posible dicho envejecimiento.

**Campo de aplicación:** esta norma es aplicable a asfaltos que han sido envejecidos, es decir la etapa de envejecimiento en servicio.

**Procedimiento:** este procedimiento utiliza un recipiente de presión de envejecimiento PAV y se basa en la norma AASHTO PP1, y utiliza en forma previa el procedimiento del RFTO, es decir, para obtener la simulación de un asfalto envejecido en servicio es necesario obtener primero un asfalto envejecido en la etapa de preparación de la mezcla.

**Campo de aplicación:** se lleva a cabo dicho ensayo con asfaltos envejecidos y con asfaltos envejecidos en servicio, es decir, esta prueba abarca la etapa de envejecimiento durante la mezcla del asfalto (volatilización) y la etapa de envejecimiento del asfalto cuando ya está en servicio.

**Procedimiento:** lo dicta la norma AASHTO TP1 de la cual se obtienen la rigidez a la deformación (S) y la pendiente del gráfico de la rigidez en función del logaritmo del tiempo (m).

**Informe del ensayo:** la rigidez a la deformación bajo carga constante debe de tener un valor de 300 Mpa como máximo, un valor de  $m=0.300$  que debe ser lo mínimo.

#### **Norma 8. Determinación de la tensión requerida en el asfalto**

**Objeto:** contar con un ensayo capaz de determinar la tensión permitida previa al craqueo de la muestra en cuestión.

**Campo de aplicación:** se utiliza en asfaltos que han sido envejecidos con el PAV, es decir, para un envejecimiento en servicio.

**Procedimiento:** este procedimiento viene a determinarse por la norma AASHTO TP3.

Dicho procedimiento sólo se aplica a asfaltos que tengan una carga constante entre 300 y 600 Mpa (S) y un valor m de 0.300 o más, si no es así, entonces no es necesaria dicha prueba.

**Informe del ensayo:** debe tenerse un alargamiento de menos de 1% del largo original del asfalto durante el ensayo para que se tenga certeza de que exista menos craqueo.

### **Norma 9. Determinación de craqueo por fatiga**

**Objeto:** el objeto de esta norma es contar con datos que expliquen cómo se comporta el asfalto respecto al craqueo existente durante el envejecimiento del asfalto.

**Campo de aplicación:** es utilizado como un criterio en los asfaltos envejecidos en la mezcla y en los asfaltos envejecidos durante el servicio, es decir es una prueba que se aplica para la segunda y tercera etapa del criterio Superpave.

**Procedimiento:** después de envejecer al asfalto en mezclado y servicio (RFTO y PAV) se deben obtener los datos por medio del reómetro de corte dinámico (descritos en AASHTO TP5)  $G^*$  (módulo de corte complejo) y  $\phi$  (ángulo de fase) luego estos datos deben relacionarse así: multiplicarse el módulo de corte complejo por el seno del ángulo de fase ( $G^* \sin \phi$ ), este dato es llamado factor de fatiga por craqueo.

**Informe del ensayo:** se debe de tener un máximo valor de 5000 Kpa.

**Norma 10. Determinación de la carga (cantidad de tráfico) que soportará la carretera en funcionamiento**

**Objeto:** esta norma observa si en la carretera donde se utilizará el asfalto, el tráfico será de carga pesada o si será de carga liviana y de esta forma compensar con la temperatura alta de diseño, dichas cargas.

**Campo de aplicación:** este criterio se utiliza en asfaltos envejecidos en servicio, es decir, cuando ya están en sus respectivas carreteras.

**Procedimiento:** si la carga en la carretera en funcionamiento es lenta, puede incrementarse seis grados en la temperatura alta de diseño del asfalto, pero si el tráfico pesado es bastante grande, se debe considerar incrementar mucho más que los grados PG obtenidos en el diseño.

**Informe del ensayo:** este informe se hace basado a un eje individual de carga, que puede tomarse de referencia como aproximadamente (80 KN). Si se tiene menos de 10,000,000 ejes individuales de carga entonces se tiene una baja velocidad de carga. Si se tiene una baja velocidad de carga puede incrementarse seis grados a la alta temperatura del PG. Si se tiene un tráfico que oscila entre 10,000,000 y 30,000,000 entonces se tiene que utilizar un incremento mayor de los seis grados propuestos. Si el cálculo indica que es mayor de 30,000,000 entonces debe considerarse un mayor incremento utilizando claro está el criterio del diseñador.

## 7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La ecuación propuesta por el sistema Superpave puede adaptarse a las condiciones climáticas de Guatemala, los datos proporcionados en la tabla III y IV (ver apéndice A) muestran la relación de las medias aritméticas de las temperaturas máxima de ambiente y a 20mm de la superficie, las cuales para la región del Petén son 85 y 88.43 grados centígrados respectivamente, esta diferencia de 3.43 grados centígrados viene a reducirse a 0.66 grados al contar con la desviación estándar para la T20mm la cual es 2.77 a un 50 % de certeza lo que acerca ambas temperaturas.

De la misma manera se pueden analizar los datos para la región central de la ciudad capital la cual muestra las temperaturas respectivas de 71 grados centígrados y 75.14 grados centígrados con una desviación estándar para esta última de 1.81, la diferencia de 4.14 grados centígrados entre ambas temperaturas se reduce a 0.52 grados al contar con el 98 % de certeza para la última temperatura (dos veces la desviación estándar), lo cual es un indicio de lo factible que es utilizar los datos promedio de temperaturas proporcionados por el INSIVUMEH.

Se observa en los resultados, que se obtienen diversos grados de diseño en la región de Guatemala en todos sus departamentos. Esto, como resultado de los diversos climas registrados en esta región centroamericana y también por las diversas latitudes existentes. Los grados PG indican una temperatura máxima de diseño sobre la cual (a temperaturas mayores que ésta) deben cumplirse los ensayos descritos en las normas anteriormente citadas, también indican una

---

temperatura mínima de diseño bajo la cual deben cumplirse los ensayos de las normas.

Utilizando los datos del INSIVUMEH que se ha encargado de llevar un registro durante un periodo largo, de las temperaturas máxima y mínima, durante aproximadamente 20 años (ver anexos) se registra un grado PG máximo de 61 y un mínimo de 3. Estos resultados se obtienen utilizando la ecuación de diseño propuesta en los antecedentes y que proporciona un resultado de temperatura a 20mm de la superficie de la capa asfáltica.

Dicha ecuación toma en cuenta la latitud y la temperatura ambiente registrada en la región. Al observar los grados obtenidos se tiene que todos los grados inferiores de diseño están bastante cercanos, con excepción del grado 3 para regiones muy frías como Quetzaltenango, pero aún así no son diferencias muy grandes entre dichos grados.

Debe tenerse claro que lo anterior solamente es un criterio indicador para definir donde deben estar los grados reales de diseño; pero todo depende en cierta forma de las políticas de construcción existentes y de las posibilidades de cada refinera.

El apéndice B (gráficas 1), indica que la diferencia entre los grados altos de diseño de asfalto (grados PG) para todos los departamentos de Guatemala no es significativa, tampoco existe diferencia significativa entre los grados bajos de diseño de asfalto (ver apéndice B gráfica 2). Como ejemplo de comparación de los grados altos de diseño puede citarse a la región de Zacapa, cuyo grado alto de PG es de 61, al comparar dicho valor con cualquier otra región de Guatemala (ver apéndice B) se puede apreciar que la diferencia no es grande (no excede los 10 grados PG).

Otro procedimiento utilizado para determinar la nomenclatura del asfalto que podría utilizarse, se basa exactamente en el sistema Superpave el cual utilizando una muestra de siete días proporciona los grados del asfalto encontrado. Para obtener los datos del sistema Superpave en este otro procedimiento, se utilizó la región central del país y una región del área norte.

Para las regiones evaluadas los datos obtenidos son similares y se encuentran entre los rangos permitidos de diferencia según la desviación estándar que presentan los mismos. Se utilizan noviembre y diciembre (estación de verano en Guatemala) para obtener los datos de temperatura máxima y mínima, así como la temperatura en la cinta asfáltica a 20mm dentro de dicha capa para la región del Petén (ver apéndice A. tabla III) y para la región central la ciudad de Guatemala (ver apéndice A. tabla IV). Con estos datos se calculó la temperatura máxima de diseño, utilizando la ecuación de diseño. En las mismas tablas también se encuentran los datos reales de temperatura a 20mm en la cinta asfáltica para observar su comportamiento o correlatividad.

Se observa incremento de aproximadamente 4 grados centígrados entre la temperatura ambiente y la temperatura real a 20mm de la superficie en la cinta asfáltica. Dicho incremento es uniforme y es un aporte para justificar la ecuación de diseño que es aplicable en Guatemala, pues es necesario sumar otras condiciones como: la absorción solar, radiación de transmisión directa del aire, radiación atmosférica y velocidad del viento. La similitud de las condiciones en el país es un factor favorable para poder aplicar dicha ecuación de diseño. Los resultados utilizando este procedimiento se calcularon para esta época del año ya que en un país como Guatemala las diferencias de temperatura no son muy grandes.

Lo dicho anteriormente indica que no existen muchos grados PG factibles en Guatemala ya que las diferencias entre los mismos son pequeñas.

Los resultados mencionados se basan en el método Superpave que viene a adaptarse a nuestras condiciones, dicho método considera (a diferencia de otros criterios utilizados en Guatemala) el comportamiento del asfalto desde la etapa de su formación y manipuleo.

También el sistema Superpave considera como segunda etapa la mezcla del asfalto con los materiales de construcción para formar la mezcla asfáltica y la última etapa cuando el asfalto se encuentra en la etapa de envejecimiento; es decir, cuando ya está sobre las carreteras no importando el período de tiempo que esté en servicio.

Las propuestas de normas consideradas tienen en su contenido, tomar en cuenta estas tres etapas de vida del asfalto, por lo tanto la norma 2 (o propuesta de norma 2) es un parámetro de seguridad, el cual ya es utilizado en nuestro país como una prueba para el asfalto y por ser imprescindible viene ahora a ser adoptado en dichas propuestas de normas, con esta prueba se está consciente de que no exista algún flameo instantáneo no deseado, durante la manipulación del asfalto el cual como se sabe puede ser sumamente peligroso, pues los gases emitidos por el asfalto son combustibles.

De tal forma que el o los grados de asfalto encontrados para ser utilizados en Guatemala, deben cumplir con este requisito.

Actualmente, en Guatemala, la prueba de viscosidad indica prácticamente la nomenclatura del asfalto utilizado, dicha prueba se realiza a 60 grados centígrados simulando la temperatura a la cual el asfalto se encuentra en servicio en las

carreteras, por lo tanto se obtiene una nomenclatura por ejemplo de AC-20 (el número 20 está en cientos de poises), pero aparte de que esta temperatura de dicha prueba no es muy práctica existe en dicha prueba una tolerancia del 20%, es decir, existen muchos AC-20 bastante diferentes.

La propuesta de norma 3 encuentra la viscosidad del asfalto a altas temperaturas (135 grados centígrados generalmente) para asfalto no envejecido y no intenta como se hace actualmente en nuestro medio determinar un tipo de asfalto basándose solamente en una prueba, sino considerar muchos aspectos en sí. Así pues, el grado de asfalto encontrado debe de cumplir a las temperaturas deseadas (máximas y mínimas de diseño) con el requisito impuesto por esta norma, ya que las condiciones del asfalto a altas temperaturas así lo indican, sin esta propuesta de norma no es posible tener un parámetro para regir las condiciones del asfalto a condiciones de manipuleo del mismo en cualquiera de sus etapas de vida.

La propuesta de norma 4 crea un criterio para tener un límite de envejecimiento en el asfalto el cual ocurre por volatilización.

La volatilización ocurre cuando se está realizando la mezcla con los materiales de impregnación para obtener la mezcla asfáltica; en otras palabras, el grado PG adecuado debe de cumplir con esta condición para contar con un buen asfalto.

La prueba del horno de película delgada rotatorio se utiliza actualmente en Guatemala y por su importancia no puede obviarse en este análisis.

La propuesta de norma 5 indica la simulación de la condición de envejecimiento, la cual ocurre por medio de la oxidación de los asfaltos con el oxígeno, debido a que se está trabajando a condiciones de temperaturas

intermedias, pues estas temperaturas son las existentes cuando el asfalto está en servicio en las carreteras.

En los criterios actuales para evaluar el asfalto no se tiene noción de crear esta condición de envejecimiento por servicio, por lo tanto, esta norma cubre esta parte imprescindible que proporciona un criterio para poder formarse una idea del tiempo de vida de las cintas asfálticas guatemaltecas.

La propuesta de norma 6 es un criterio que proporciona un factor de deformación al rodamiento de diversas cargas que sufre el asfalto, este criterio no es utilizado actualmente en Guatemala. La prueba de penetración utilizada actualmente en Guatemala es un intento de medir la consistencia del asfalto y por tanto poder proporcionar un factor de deformación. Pero la prueba de penetración se vuelve muy empírica debido a que la prueba se realiza a 25 grados centígrados sin tomar en cuenta las otras temperaturas de desarrollo del asfalto.

Es imprescindible contar con un asfalto que muestre un comportamiento viscoelástico y no solamente un comportamiento viscoso por ejemplo. Ya que se requiere de un comportamiento viscoso en el bombeo del mismo pero cuando está en servicio para que no exista craqueo se requiere de un comportamiento elástico. La propuesta de norma 6 intenta crear los parámetros para lograr dicho comportamiento viscoelástico al proporcionar un factor de deformación, es por tanto una norma que toma en cuenta la deformación del asfalto en su etapa inicial (primera fase del sistema) y en su etapa final es decir cuando está en servicio (tercera fase del sistema).

Cuando se tiene al ligante nuevo, se establece como parámetro 1.00 Kpa y para ligantes envejecidos 2.00 Kpa para el factor de deformación. La prueba incluye un módulo de corte complejo  $G^*$  el cual es una medida de la resistencia

total a deformarse el material cuando es sometido a repetidas cargas en movimiento y dicha prueba también incluye un ángulo de fase el cual es una medida de las relativas cantidades de recuperable y no deformación recuperable, es decir es un indicativo de las propiedades viscosas y elásticas del material.

Para un material viscoso (como lo es el asfalto a temperaturas altas) se requiere un factor de deformación mínimo menor que cuando se tiene un material elástico (cuando tenemos al asfalto a temperaturas intermedias, es decir cuando está en servicio), he ahí la diferencia entre ambos parámetros.

La propuesta de norma 7 viene a tomar en cuenta la rigidez a la deformación que sufre el asfalto principalmente cuando está en servicio. Esta propuesta de norma hace referencia a temperaturas intermedias que son las temperaturas presentes en la cinta asfáltica (al menos en nuestro medio), también toma en cuenta la rigidez a la deformación presente en la mezcla asfáltica es decir a temperaturas altas. El asfalto esperado debe de presentar condiciones viscosas pero también elásticas cuando se presentan condiciones de deformación, estas condiciones pueden presentarse cuando el asfalto es sometido a cargas constantes por ejemplo cuando está en servicio y es sometido a la carga puesta por el constante tráfico, en la siguiente norma se presentan datos de mínimo y máximo valores de rigidez a la deformación.

Como se ha establecido, para crear este criterio, el asfalto encontrado y sus propiedades físicas se determinan por varios factores como el criterio del diseñador, las normas proveen un parámetro, es decir el criterio del diseñador toma en cuenta factores como el económico para la refinería en cuestión o factores de apreciación en cuanto a los grados PG por ejemplo el factor de carga soportado por las carreteras (cantidad de tráfico por hora), en todos estos sentidos

las normas indican por donde deben estar los grados PG o grados de diseño adecuados.

La propuesta de norma 8 viene a evaluar la tensión permitida previa al craqueo de la muestra en cuestión, el craqueo que se presenta en el asfalto en servicio no ha sido evaluado actualmente en Guatemala puesto que no ha existido una prueba que lo considere, a la temperatura adecuada de servicio; ni, tampoco, a las condiciones adecuadas de envejecimiento del mismo.

La tensión se ha tratado de evaluar en nuestro medio con la prueba de la ductilidad, la cual es demasiado empírica y realmente no proporciona ningún dato práctico, debido a que la prueba se realiza a 25 grados centígrados y no toma en cuenta otras temperaturas ni otras condiciones debido a que la prueba se realiza con un asfalto original o no envejecido (ver los antecedentes de este mismo trabajo).

El craqueo o resquebrajamiento del asfalto ocurre principalmente por la oxidación de las moléculas del asfalto con el oxígeno; es decir, se da principalmente en la tercera etapa del presente estudio. La etapa del envejecimiento del asfalto en servicio, la oxidación provocada puede evaluarse en cierta forma por la siguiente propuesta de norma. La evaluación en el asfalto envejecido viene en proporción directa con el tiempo de servicio de las carreteras donde dicho asfalto va a emplearse.

El asfalto no debe estirarse o tensarse mucho respecto a su largo original en su estado de evaluación, lo anterior determina su resistencia, lo mismo cuando esté sometido a condiciones reales de servicio, por lo tanto se ha puesto el parámetro de 1% como máximo de tensionamiento.

La propuesta de norma 9 viene a establecer un parámetro en el cual se toma en cuenta el craqueo por fatiga en el asfalto, el asfalto sufre fatiga cuando tiene determinado tiempo de servicio en las carreteras, por lo tanto este depende del tiempo de servicio y la cantidad de carga existente. También la fatiga viene a darse en el asfalto cuando se está realizando la mezcla.

Estos parámetros respecto de la fatiga no se habían establecido claramente, pues no se contaba con una prueba que proporcionara datos de fatiga, como se dijo anteriormente la prueba de penetración y ductilidad trataban de formar un criterio para el tema del craqueo por fatiga y de otros, pero como se ha analizado no tienen mayor aporte y son obsoletas. Una vez más el reómetro de corte dinámico es utilizado y el factor de resistencia a la deformación viene a ser utilizado junto con el ángulo de fase (datos proporcionados por el reómetro) para determinar un factor de craqueo por fatiga.

El factor de craqueo por fatiga debe de ser de preferencia bajo, por lo tanto, los factores enunciados también deben de serlo, pues el PG deseado debe de presentarse bastante elástico para cubrir estos parámetros.

La propuesta de norma 10 considera un factor que no ha sido tomado en cuenta por los anteriores criterios utilizados en el país. Dicho factor es el de la cantidad de carga que reciben las carreteras cuando están en servicio; es decir, cuando el asfalto está envejecido. La siguiente norma no toma en cuenta los años de servicio de la carpeta asfáltica sino la cantidad de tráfico sobre la misma. Para ello ha establecido un eje individual de carga el cual es aproximadamente de 80 KN. Si se tiene un tráfico cercano a los 10,000 (ejes individuales de carga) pero menor se puede considerar algún incremento en la temperatura alta de diseño y conforme el aumento de los ejes individuales de carga puede el diseñador seguir considerando aumentos en la alta temperatura de diseño, es decir, en la alta

temperatura del PG. Como se sabe, la alta carga en el asfalto produce craqueo debido a que se está considerando el asfalto a temperatura intermedia como es la que muestra el ambiente guatemalteco en las carreteras, a dichas temperaturas como se dijo anteriormente existe la oxidación, por lo tanto el incremento de la alta temperatura de diseño viene a compensar dicha carga, pues de esta manera se está obligando a que los requisitos de la calidad del asfalto (las propuestas de normas anteriormente citadas) se cumplan a temperaturas mayores que las propuestas al inicio.

De esta manera el rango de las propiedades físicas del asfalto se hace más reducido al incrementar la alta temperatura de diseño debido a que se está aumentando las propiedades viscosas del asfalto (el asfalto a altas temperaturas presenta condiciones de material viscoso) y a la vez reduciendo las elásticas, de esta forma se compensa dicha carga de tráfico. El asfalto a temperaturas altas e intermedias presenta sus propiedades reológicas más claramente por lo cual la temperatura alta de diseño se encarga de dicho aspecto.

## CONCLUSIONES

1. Es factible elaborar un sistema de normas en Guatemala para nomenclatura y comportamiento del asfalto; basado en las propiedades físicas del asfalto a sus diferentes temperaturas. Las normas propuestas toman en cuenta: las tres etapas de vida del asfalto, estado original, envejecimiento en la mezcla asfáltica y envejecimiento cuando está en servicio en las carreteras.
2. Los criterios actuales utilizados en Guatemala para observar la calidad del asfalto no cumplen con los requisitos de fabricación del asfalto. En primer lugar, porque las pruebas actuales se vuelven demasiado empíricas al no tomar en cuenta todas las temperaturas de comportamiento del asfalto y en segundo lugar, porque no toman en cuenta al asfalto durante todas sus etapas de comportamiento, las propuestas de normas basadas en el sistema Superpave toman en cuenta todos estos aspectos utilizando para ello todas las normas ASTM y AASHTO.
3. La ecuación de diseño utilizada en el sistema SUPERPAVE y aplicada al medio guatemalteco proporciona un método práctico para obtener las temperaturas de diseño, ya que las temperaturas encontradas a 20 mm de la superficie de la cinta asfáltica muestran uniformidad en la mismas y se muestran cercanas a la temperatura máxima del ambiente con desviaciones estándar que las aproximan, con lo cual el sistema se complementa para nuestro medio ya que

contamos con datos de temperaturas máximas y mínimas de aproximadamente 20 años proporcionadas por el INSIVUMEH lo cual indica datos bastante estables.

4. Para la región de Guatemala la temperatura alta de diseño no presenta diferencias significativas para todos los departamentos. Ni diferencias de latitud ni las de temperaturas son extremas, por ello existen muy pocos grados o solamente un grado PG factible comercial y técnicamente (desde el punto de vista de la refinería en cuestión). Lo mismo sucede con la temperatura baja de diseño ya que con un grado cercano a cero es posible cumplir con los requisitos expuestos por las propuestas de normas.
5. El sistema propuesto de normas basa la nomenclatura del asfalto en las tres etapas de vida del mismo y a sus propiedades físicas. El sistema utilizado actualmente lo hace con base en la viscosidad del asfalto.

## RECOMENCACIONES

1. Los grados de diseño de asfalto (grados PG) que pueden utilizarse en Guatemala, deberán basarse en las propuestas de normas de este trabajo, dichas propuestas de normas indican que son muy pocos los grados de diseño de asfalto PG, o solamente uno es factible (entiéndase al término factible, como al asfalto que cumple con las propuestas de normas de este informe y que a la vez sea posible su elaboración para la refinería que lo elabore). De esta manera se contribuye a la calidad del asfalto y efectividad en sus aplicaciones.
2. Actualizar la información en cuanto a hidrocarburos se refiere, ya que la información que tiene la USAC es antigua e inadecuada. Esta actualización se basa en estudios de investigación y análisis bibliográficos para aplicarlos en Guatemala, ya que todos los crudos tienen diferencias y dependen de cuál sea su fuente de extracción.
3. Al utilizar los grados de diseño de asfalto propuestos en este informe debe evaluarse el tipo de carretera que se desea construir, para ello, debe crearse un organismo encargado de evaluar dichos aspectos. Estos criterios incluyen principalmente: velocidad del tráfico y carga del tráfico a la que va a estar expuesta dicha carretera, pues estos aspectos influyen en la temperatura máxima de diseño, por lo que debe aumentarse la misma.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Kirk Raymond, E. y otros. **Enciclopedia de tecnología.** Primera edición en español. México: editorial Hispanoamericana, 1961, pp. 790-787-798.
2. **Método de ligantes asfálticos, una versión ilustrada.** 1ª edición en español. Santiago de Chile. s.e. Agosto de 1996, pp. 1-22-31-75.
3. **Superpave.** U.S.A. s.e. Noviembre 1995, pp. 2-3-8-12-20-26-35-44-46-47-50-54.
4. **The Asphalt Handbook.** 4ª edición. U.S.A. s.e. 1989, pp. 3-6-34-35-38- 39.
5. Manuel Velasquez, **Asfaltos.** Plaza de Santa Ana Madrid: editorial Dossat, 1961, pp. 4-7-8-10-12-14-16.

## BIBLOGRAFÍA

1. **ALFARO Véliz, Luis y otros. Prácticas primarias. 5ª Edición. Guatemala:** editora educativa, 1996.
2. **DATOS meteorológicos de las cabeceras departamentales. 2ª Edición. Guatemala:** Ministerio de comunicaciones, transportes y obras públicas, 1995.
3. **ENCICLOPEDIA temática Sopena. Basada en la enciclopedia Generale "Le nove muse", volumen 1. Barcelona España:** editorial Ramón Sopena, 1987.
4. **FRED H. Redmore. Fundamentos de Química. Estados Unidos:** editorial Prentice Hall, 1981.
5. **WINGROVE, Alan y Robert L. Caret. Química orgánica. 1ª Edición en español. Estados Unidos:** editorial Harla, 1984.

## ANEXOS

Tabla I. Temperaturas promedios máximas y mínimas en grados centígrados para los departamentos de Guatemala.

Departamento	Temperatura máxima	Temperatura mínima
<b>Petén</b>	<b>31.3</b>	<b>19.7</b>
Baja Verapaz	28.3	19.4
Alta Verapaz	24.5	13.0
Izabal	29.7	21.4
Chimaltenango	23.4	12.2
Guatemala	24.5	14.0
Sacatepéquez	20.8	11.3
Sololá	26.2	13.5
Chiquimula	27.4	17.1
Jalapa	21.7	21.6
El progreso	34.3	19.7
Zacapa	34.1	21.2
Santa Rosa	31.1	16.4
Escuintla	29.4	18.1
Retalhuleu	33.6	21.1
Suchitepéquez	31.8	17.8
Totonicapán	26.5	10.7
San Marcos	20.0	06.0
Quiché	23.0	10.2
Quetzaltenango	21.7	05.8
Huehuetenango	25.4	09.9

Fuente: Datos obtenidos del INSIVUMEH, en un periodo aproximado de 20 años de registro.

## APÉNDICE A

Tabla II. Desviaciones estándar de las temperaturas ambiente máximas y mínimas proporcionadas por el INSIVUMEH para obtener grados de diseño del asfalto, utilizándose para ello una región para cada punto cardinal del país.

Departamento	S(máxima)	S(mínima)
Guatemala	2.00	1.98
Petén	2.17	1.71
Zacapa	1.70	1.54
San Marcos	2.17	2.45
Santa Rosa	1.20	1.91

Tabla III. Datos de temperatura ambiente máxima y mínima así como la temperatura a 20 mm de la superficie asfáltica, durante un periodo de siete días basándose en el sistema Superpave para la región de Petén. Periodo del 4 al 10 de diciembre de 1998.

Temperatura ambiente Máxima grados centígrados	Temperatura ambiente mínima grados centígrados.	Temperatura a 20mm max. Grados centígrados.
(día primero) 82	(día primero) 58	(día primero) 86
(día segundo) 87	(día segundo) 61	(día segundo) 91
(día tercero) 86	(día tercero) 60	(día tercero) 90
(día cuarto) 82	(día cuarto) 57	(día cuarto) 86
(día quinto) 81	(día quinto) 56	(día quinto) 84
(día sexto) 88	(día sexto) 64	(día sexto) 91
(día séptimo) 87	(día séptimo) 63	(día séptimo) 91

S(T. ambiente máxima) = 2.72

(X) T. ambiente máxima = 85.00

S(T. ambiente mínima) = 2.80

(X) T 20 mm máxima = 88.43

S(T.20 mm máxima) = 2.77

Nota: lo anterior se indica en grados centígrados.

Tabla IV. Datos de temperatura ambiente máxima y mínima así como la temperatura a 20 mm de la superficie asfáltica, durante un período de siete días basándose en el sistema Superpave para la región de la ciudad de Guatemala. Período del 20 al 26 de noviembre de 1998.

Temperatura ambiente máxima. Grados centígrados	Temperatura ambiente mínima. Grados centígrados	Temperatura a 20mm max. Grados centígrados
(día primero) 72	(día primero) 60	(día primero) 76
(día segundo) 73	(día segundo) 61	(día segundo) 77
(día tercero) 70	(día tercero) 57	(día tercero) 73
(día cuarto) 74	(día cuarto) 62	(día cuarto) 77
(día quinto) 69	(día quinto) 57	(día quinto) 73
(día sexto) 70	(día sexto) 58	(día sexto) 74
(día séptimo) 72	(día séptimo) 59	(día séptimo) 76

S (T. ambiente máxima) = 1.73

(X)T. ambiente máxima = 71.00 C

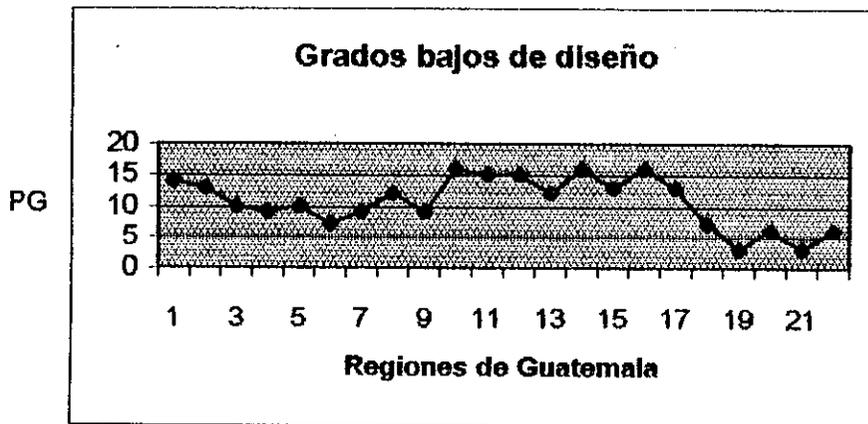
S(T. ambiente mínima) = 1.81

(X) 20 mm máxima = 75.14 C

S(T20 mm) = 1.61

Nota: los anteriores datos están en grados centígrados.

Figura 2. Grados bajos de diseño de asfalto.



El eje de regiones indica los 22 departamentos que actualmente existen en Guatemala y se clasifican bajo la siguiente numeración.

- |                  |                 |
|------------------|-----------------|
| 1= Petén         | 12= Zacapa      |
| 2= Alta Verapaz  | 13= Santa Rosa  |
| 3= Baja Verapaz  | 14= Izabal      |
| 4= Chimaltenango | 15= Escuintla   |
| 5= Guatemala     | 16= Retalhuleu  |
| 6= Sacatepéquez  | 17= Suchi.      |
| 7= Sololá        | 18= Totonicapán |
| 8= Chiquimula    | 19= San Marcos  |
| 9= Jalapa        | 20= Quiché      |
| 10= Jutiapa      | 21= Quetzalt.   |
| 11= El Progreso  | 22= Huehuet.    |