

# XXXVI CONVENCION NACIONAL DE INGENIEROS QUIMICOS 2, 3, 4 DE OCTUBRE DE 1996 MONTERREY, N. L.

## TENDENCIAS HACIA EL AÑO 2000 DE LOS ASFALTOS EN MEXICO

### AUTORES:

Leonardo Manriquez Olmos<sup>1</sup>, Agustín Heredia Veloz<sup>2</sup>, Abel Moreno Tovar<sup>1</sup>, Martín Jesús Ramos Toriello<sup>1</sup>, Edmundo R. Tenorio Lara<sup>1</sup>, Guillermo Centeno Nolasco<sup>1</sup>.

### COMPAÑÍA Y DIRECCION:

1.- INSTITUTO MEXICANO DEL  
PETROLEO.

Subdirección de Transformación Industrial.

Av. Eje Central Lázaro Cárdenas No. 152.

Tel. 3 68 93 33, Ext. 20602, Fax 3 68 93  
71.

C.P. 07730, México D.F.

2.- PETROLEOS MEXICANOS.

Pemex-Refinación Unidad de Control  
Químico.

Marina Nacional No. 329, Torre  
Ejecutiva 7o piso, Tel. 2-54-45-23, Fax 5-  
31-61-54 CP 11311, México D.F.

### RESUMEN

La tendencia mundial es hacia la refinación de crudos pesados mediante esquemas de alta complejidad. En México se prevé a corto plazo incrementar en la refinación de petróleo crudo la proporción de crudo Maya de 35 a 50 % volumen de donde se obtendrán mayores volúmenes de residuos aptos para producir asfaltos de alta calidad que demande el mercado nacional e internacional, por motivos económicos y ambientales los asfaltos rebajados tienden a desaparecer y ser sustituidos por emulsiones asfálticas, así mismo el asfalto grado viscosidad ( AC ) será el que prevalecerá a mediano plazo y el funcionalidad aditivado polimericamente será el asfalto del siglo XXI en México, estos retos tecnológicos serán satisfechos a través del crudo Maya cuyas reservas de este hidrocarburo hasta 1995 eran de 20.5 Mil Millones de barriles<sup>1</sup>, el crudo Maya por sus características y según los estándares de la oficina de Minas de EU, es clasificado como un crudo de base Intermedio-Nafténico<sup>2</sup>. Este tema tiene como finalidad investigar la calidad del asfalto proveniente del crudo Maya así como los actuales asfaltos de Pemex-Refinación del tipo penetración y AC en función de la susceptibilidad a la temperatura y comportamiento en campo, medido en términos de pruebas reométricas, de las actuales normas SHRP<sup>3</sup> (Strategic Highway Research Program ). El asfalto Maya de penetración 85/100 por sus propiedades de módulo dinámico a temperaturas bajas, medias y altas (  $G^* / \sin \theta > 1.408 \text{ Kg} / \text{cm}^2$  a  $70^\circ \text{C}$  ) hacen de este producto , un superasfalto de tipo multigrado, previéndose que a largo plazo Pemex-Refinación producirá este tipo de producto para comercializarlo en el extranjero y para consumo nacional, adicionalmente se definirá el estado actual y futuro de los asfaltos y especialidades asfálticas en MEXICO.

\*Donde  $G^*$  es el módulo complejo de esfuerzo cortante y  $\theta$  el ángulo de defasamiento ó deformación resultante del esfuerzo aplicado, a la muestra de asfalto.

## INTRODUCCION

Pemex en la década de los 70's producía los cementos asfálticos No. 6, y No. 10 además de las especialidades asfálticas No. 12 (asfalto oxidado) y los asfaltos rebajados FM-0, FM-1, FM-2, FR-1, FR-2 y FR-3 de calidad adoc a las condiciones de esa época, pero debido a la baja demanda en ciertos grados estos se dieron de baja, manteniéndose hasta principios de 1996 los asfaltos No. 6, FM-1 y FR-3 los cuales fueron adecuados a las especificaciones de calidad internacional del comité ASTM (American Society for Testing and Materials).

La producción de asfalto grado viscosidad (AC) se inicio en la Refinería de Cd. Madero en 1994, con fines de exportación compitiendo en el mercado de E. U. con los asfaltos venezolanos, a corto plazo se prevé en México que el asfalto No. 6 de especificación penetración será sustituido totalmente por los asfaltos grado viscosidad AC-20 y AC-30 principalmente, que tienen la cualidad de ser especificados por la viscosidad absoluta a 60 °C (140 °F), los principales parámetros técnicos para el uso de los AC son los problemas causados por el amplio rango de viscosidad que presentan los asfaltos grado penetración, además que la temperatura de 275 °F especificada en los AC se considera un promedio para las operaciones de transporte, almacenamiento y construcción de carpetas asfálticas, otra característica adicional es la susceptibilidad a la temperatura que presentan los asfaltos grado penetración, el cual motiva diferentes comportamientos del cemento asfáltico, además que la viscosidad en combinación con el API determinan su naturaleza química, por lo anteriormente mencionado en los países industrializados predominan los asfaltos grado viscosidad, estas dos categorías de los asfaltos presentan el inconveniente de no correlacionar totalmente el comportamiento a las condiciones de carga-tiempo a las cuales son sometidos estos productos asfálticos en las modernas supercarreteras de altas especificaciones para el tráfico vehicular de varios ejes de transmisión, debido a estas carencias técnicas surgieron en E.U. las especificaciones grado funcionalidad PG de SHRP (performing grade) adoptadas recientemente por AASHTO y AI (Asphalt Institute) y en estudio en varios países incluyendo México, estimándose por expertos internacionales que prevalecerán en el futuro.

Debido a contingencias ambientales y de ahorro de energía los asfaltos rebajados (cut-back) tienden a desaparecer en países desarrollados y ser sustituidos por emulsiones asfálticas que presentan mayores ventajas técnicas/económicas (no requieren calentamiento en su almacenamiento, transporte y aplicación, se utilizan en condiciones climatológicas mas desfavorables, no se requiere de secado en las subcapas repercutiendo en un incremento de productividad en su aplicación).

Los asfaltos vírgenes en muchos de los casos no son adecuados para el servicio de vehiculos pesados de varios ejes de transmisión de alta velocidad y tránsito continuo en condiciones de temperaturas climatológicas variables, los cuales causan deficiencias en los asfaltos como son: fisuramiento térmico por contracción a bajas temperaturas, fisuramiento por cargas dinámicas, deformación plástica o permanente, envejecimiento prematuro, daño por humedad y escasa adherencia con el material pétreo, para reducir estos fenómenos los asfaltos son aditivados con polímeros principalmente, en estudios

preliminares de pruebas de funcionalidad se confirmó que la calidad de los asfaltos AC de Cd. Madero y el asfalto proveniente del crudo Maya son clasificados como los superasfaltos ideales de las nuevas normas del SHRP, previéndose que este tipo de asfalto predominaran en el futuro.

## DESARROLLO DEL TRABAJO

### Estado actual:

Las reservas de petróleo crudo en México hasta 1995 son de 42.2 miles de millones de barriles, correspondiendo el 47.0 % al crudo pesado principalmente del tipo Maya (20.5 mil millones de barriles), con una producción total de 2.6 MBD, distribuyéndose de la siguiente manera:

CRUDO	PRODUCCION % <sup>1</sup>	DISTRIBUCION % <sup>1</sup>	
		CONSUMO INTERNO	EXPORTACION
PESADO	47.0	35	55
LIGERO	33.0	62	12
SUPERLIGERO	20.0	3	33

Lo cual significa que actualmente en las Refinerías de la dirección de Pemex-Refinación se procesa aproximadamente el 35 % de crudo Maya, en Refinerías con índice de complejidad media <sup>4</sup> (Atm-vacio-FCC-Red. Viscosidad), que trae como consecuencia una alta producción de residuales <sup>5</sup>, que dependiendo de la demanda se transforman en combustible y/o asfalto, lográndose en este último producto un crecimiento de producción de 88.7 % en referencia a 1990.<sup>1</sup>

AÑO	ASFALTO, MB
1990	15.9
1991	21.0
1992	23.0
1993	24.0
1994	32.0
1995	30.0

De los años 1984-1993 únicamente se producía el asfalto No. 6, el cual fue adecuado a las especificaciones internacionales y las especialidades asfálticas de fraguados FR-3 y FM-1, que se formulan con asfalto No. 6, naftas ligeras y naftas pesadas, prácticamente en este periodo las carreteras del país fueron construidas con asfalto No. 6 proveniente principalmente de las Refinerías de CD. Madero y Salamanca. Existiendo entre estas dos Refinerías la diferencia en cuanto al tipo de petróleo crudo de proceso que aunque cumplen características de especificación de asfalto grado penetración (ASTM D-946) no son iguales en cuanto a su composición química, esperándose diferencias en su comportamiento en campo así como en la elaboración de especialidades asfálticas como son las emulsiones asfálticas, asfaltos oxidados e impermeabilizantes. En el año 1994 se

inicio la producción de asfaltos AC-20 y AC-30 en la Refinería de Cd. Madero con una producción de 5000 B/D, este tipo de asfaltos fue primeramente con fines de exportación hacia el PAD No. 2 (Petroleum Administrative Defence ) de E.U. (Texas, Louisiana, Alabama, Georgia y Florida). El incremento en la producción de asfalto respecto a 1990 fue motivado principalmente por el plan nacional de infraestructura de vías de comunicación terrestre del sexenio pasado, siendo las principales compañías demandantes de asfalto el sector gobierno, constructoras e industriales (impregnadores y oxidadores). Es de mencionar que en las regiones centro, centro pacifico y noreste del país se concentra el 76 % de las ventas de asfalto el cual es un parámetro del grado de industrialización de esas regiones (anexo 1).

Las empresas productoras de emulsiones asfálticas se concentran principalmente en centro y sureste del país (anexo 1), siendo la SCT su principal demandante, hasta 1990 predominaba para mantenimiento el uso de rebajados sobre las emulsiones (anexo 2) de 86.7 % Vs 13.3 %.

### **TENDENCIAS DE LOS ASFALTOS**

- La tendencia mundial es hacia la refinación de crudos pesados mediante esquemas de procesos de alta complejidad, en México el mayor volumen de producción y reservas es del crudo maya , el cual es mezclado con crudo ligero en proporción de 75/35 % Vol. con tendencias a incrementar la relación de pesado en el ligero, requiriéndose a mediano plazo de unidades de proceso de alta inversión para reducir la producción de residuos de vacío y una mayor conversión hacia la producción de asfaltos a costa de la reducción de producción de combustóleo, requiriéndose con carácter urgente de estudios fisicoquímicos y de comportamiento del asfalto con mayores concentraciones de crudo maya.
- Dentro del plan estratégico de la dirección de Pemex-Refinación, se implementó la sustitución de asfalto No.6 por asfaltos grado viscosidad del tipo AC-10, AC-20 y AC-30.
- Existen condiciones que promueven el uso intensivo de emulsiones asfálticas en lugar de los asfaltos rebajados.
- Ventajas de la emulsión Vs. Asfaltos rebajados:
  - \* No necesitan calentamiento en su almacenamiento y aplicación.
  - \* Se utilizan en condiciones climatológicas mas desfavorables durante todo el año.
  - \* No se requiere de secado de las capas a pavimentar, incrementandose la productividad de equipo y personal.
  - \* Menos contaminante al medio ambiente.
  - \* Menos tóxico al personal.
  - \* Mayor manejabilidad.
  - \* Por razones ecológicas y de precios los asfaltos fraguados a mediados de 1996 han dejado de producirse en Pemex-Refinación<sup>1</sup> ( su tendencia se aprecia en el anexo No 3 )
- Como se indicó, las especificaciones de asfaltos grado penetración o viscosidad presentan el inconveniente de no correlacionar el comportamiento del asfalto a las

condiciones de carga -tiempo a las cuales son sometidos los asfaltos, en las modernas supercarreteras de altas especificaciones vehiculares.

- Las actuales normas de penetración y viscosidad presentan las siguientes desventajas.
  - \* No incluyen propiedades correlacionables con el tiempo en servicio del asfalto.
  - \* La viscosidad capilar no es adecuada para los asfaltos envejecidos y asfaltos polimerizados.
  - \* Respecto a la durabilidad y envejecimiento se toma en cuenta solamente al nivel de producción y no al largo plazo (10 años de servicio).

Por lo anterior en Estados Unidos como en Europa (ver anexo 4 y 5) se esta caracterizando los asfaltos con pruebas específicas de reometría para la evaluación del comportamiento viscoelástico del asfalto a temperaturas altas e intermedias, este tipo de ensayos determina principalmente la deformación del asfalto a la aplicación de un esfuerzo cortante en un reómetro de características definidas por la especificación AASHTO TP-5 (American Association of Highway for transportation Officials ), a bajas temperaturas este equipo es sustituido por el bending beam reometer y tensiometro que miden la resistencia a la flexión y la ruptura del asfalto, en un futuro cercano se prevé, que la exportación de asfaltos será de acuerdo a las nuevas especificaciones (SRHP) para el cemento asfáltico así como también para el consumo nacional.

- Con la finalidad de disminuir las fallas de comportamiento que presentan los asfaltos vírgenes, como son:
  - \* Fisuramiento térmico por contracción a bajas temperaturas.
  - \* Fisuramiento por fatiga asociado a cargas asfálticas superiores.
  - \* Envejecimiento prematuro.
  - \* Daño por humedad.
  - \* Escasa adherencia del cemento asfáltico al material pétreo.

éstos son aditivados principalmente con polímeros del tipo SBS (estireno-butadieno-estireno), fibra mineral, fibras celulósica, látex, cal, negro de humo, azufre elemental y gilsonita entre otros productos, que permiten al asfalto mayor durabilidad con el consecuente ahorro de mantenimiento de las cintas asfálticas. La tendencia en Estados Unidos, Canadá y Europa es emplear únicamente asfalto aditivado (fuente, Hot Mix Asphalt Conference, Nov-94, Indianapolis) de características multigrado.

## **EXPERIMENTACION Y RESULTADOS**

Para demostrar que los asfaltos de las Refinerías de Cd. Madero, Salamanca así como del proveniente de un crudo 100% Maya, a pesar de tener las mismas especificaciones del grado penetración 85-100 (anexo 6 y 7), presentan diferentes comportamientos cuantificado en pruebas reométricas de corte dinámico, con este objetivo se realizaron las siguientes actividades; muestreo de asfaltos No. 6 de la Refinerías antes mencionadas, obtención de asfalto 85/100 por destilación del crudo Maya, caracterización típica de los crudos y asfaltos (anexos 8 y 9) y pruebas de comportamiento a esfuerzos cortantes simulando su funcionalidad en campo y efectos del medio ambiente según normas SHRP (AASHTO-MP-1) tanto en el asfalto virgen

como envejecido. Las pruebas de corte dinámico se realizaron a las temperaturas de 58 y 64 °C en asfaltos originales obteniéndose los resultados de los anexos 10 y 11, en donde se observa que el asfalto del crudo Maya y Cd. Madero tienden hacia un superasfalto del tipo multigrado, en tanto el asfalto de Salamanca aunque es satisfactorio hasta temperaturas inferiores a 58 °C, presenta a mayores temperaturas problemas de fallas de deformación permanente y de desintegración a esfuerzos dinámicos, es de mencionar que estos fenómenos se presentan cuando el modulo de corte dinámico ( $G^*/\sin \theta$ ) es menor a 1.0 kPa para el asfalto virgen y mayor a 5000 kPa para el asfalto envejecido, en base a estos datos analíticos, se concluye que el asfalto Maya y Cd. Madero tienden hacia un asfalto multigrado ya que por extrapolación bien podría cumplir hasta una temperatura de 76 °C de prueba de corte dinámico. En tanto el asfalto de Salamanca podría ser mejorado mediante aditivos poliméricos.

### **CONCLUSIONES**

1. La calidad de los asfaltos grado penetración y viscosidad a corto plazo serán sustituidos en E.U. y Europa por los PG, y en México a través de Pemex y SCT que serán los protagonistas para este cambio.
2. El asfalto actual de Salamanca podría ser mejorado en términos de funcionalidad mediante aditivos poliméricos a través de la industria privada, en propiedades reométricas de esfuerzos mecánicos ya que presentan módulos dinámicos bajos a temperaturas superiores a 58 °C (1.377 kPa) a menos que se utilice en su formulación mayor concentración de crudo Maya.
3. Los asfaltos del crudo Maya y de la Refinería de Cd. Madero serán los de mayor demanda tanto nacional como internacionalmente, debido a que su comportamiento en campo se asemejan a un superasfalto multigrado que satisface especificaciones hasta de 70 °C, (Performance Grade 70). Actualmente no se refina crudo Maya 100 % en las Refinerías de Pemex; sin embargo, las condiciones del mercado apuntan hacia la conveniencia de incrementar la concentración de Maya en la mezcla de crudo.
4. Los asfaltos fraguados son sustituidos por emulsiones asfálticas (a partir del mes de Julio/96, Pemex dejó de producir tanto el FR-3 como FM-1).

### **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos la valiosa cooperación del Ing. Rafael Limon Limon por su desinteresada ayuda en las pruebas de esfuerzo cortante realizadas en sus laboratorios experimentales así como a Pemex-Refinación en proporcionarnos información sobre producción y ventas de asfaltos y su regionalización.

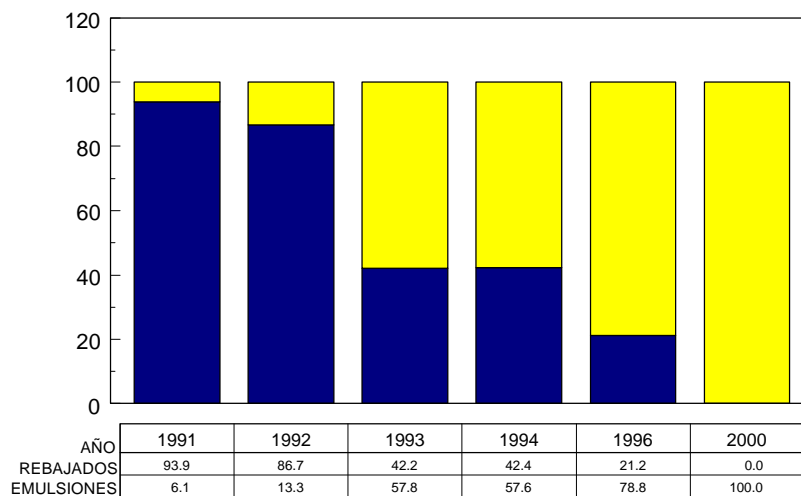
### **REFERENCIAS**

1. Labores de Petróleos Mexicanos 1995

2. W.L. Nelson, Petroleum Refinery Engineering, fourth edition, 1987, editorial Mc. Graw Hill.
3. Asphalt Institute, Superpave Series No. 1 (Sp-1).
4. W. L. Nelson, oil and Gas Journal, Sep. 13, 1976.
5. Memorias del II Simposium Internacional ESIQIE, Mayo 22-24 de 1996, Medidas para la Reducción de Combustóleo Pesado en Refinerías de Baja complejidad, Abel Moreno Tovar, Leonardo Manriquez Olemos, Pantaleon Mercado Romero, Martín Jesús Ramos Toriello, Edmundo Tenorio Lara, Guillermo Centeno Nolasco, Silvano Salomon Rodríguez.

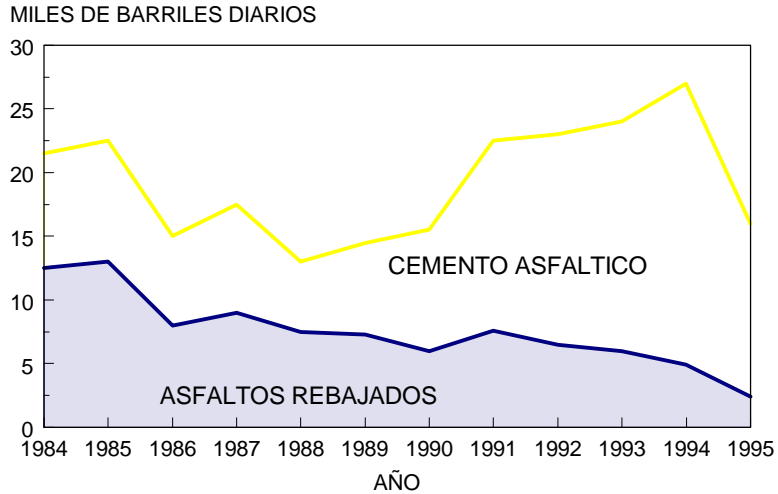
### ANEXO 2

#### CONSUMO DE ASFALTO POR LA SCT (%).



### ANEXO 3

#### VENTAS NACIONALES DE PEMEX POR TIPO DE ASFALTO.



## ANEXO 6

### ESPECIFICACIONES PARA CEMENTO ASFALTICO GRADO PENETRACION ASTM D-946.

PROPIEDAD	40-50		60-70		85-100		120-150		200-300	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Penetración a 25°C/100g/5s, 0.1mm	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Temp. inflamación, °C	232		232		232		218		176	
Ductilidad a 25°C, cm	100		100		100		100		100	
Sol. TCE, % peso	99.0		99.0		99.0		99.0		99.0	
Penetración retenida, %	55+		52+		47+		42+		37+	
Ductilidad a 25°C después de TFOT, %			50		75		100		100	

## ANEXO 7

### ESPECIFICACIONES PARA CEMENTO ASFALTICO GRADO VISCOSIDAD (60°C) ASTM D-3381.

PROPIEDAD	AC-2.5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-40
Viscosidad absoluta, 60°C, P	200-300	400-600	800-1200	1600-2400	3200-4800
Viscosidad cinemática, a 135°C, mín, cSt	80	110	150	210	300
Penetración a 25°C/100g/5s, mín, 0.1mm	200	120	70	40	20
Temp. inflamación, mín, °C	163	177	219	323	232

Sol. TCE, mín, % peso	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0
<b>Pruebas al residuo de TFOT:</b>					
Viscosidad absoluta, 60°C, máx, P	1250	2500	5000	10000	20000
Ductilidad a 25°C, mín, cm	100	100	50	20	10

**ANEXO 8  
CARACTERIZACION DE CRUDOS.**

CARACTERISTICA	MAYA	CD. MADERO	SALAMANCA
API	22.1	16.0	32.1
Azufre, % Peso	3.5	5.3	1.83
Asfaltenos (nC7), % peso	7.54	14.98	4.3
Acidez, mg KOH/g	0.19	1.04	0.36
Factor Kuop	11.8	11.51	12.0
Metales, ppm Ni/V	56.5/271.4	48.4/264.1	14.3/103.9
Clasificación	Inter-Inter	Inter-Naft	Paraf-Inter.

**ANEXO 9**

**CARACTERIZACION DE ASFALTOS No.6 (85-100).**

PROPIEDAD	MAYA	CD. MADERO	SALAMANCA
Penetración a 25°C/100g/5s, 0.1mm	91	92	89
Temp. de ablandamiento, °C	46	52	45
Temp. inflamación, °C	246	280	240
Sol. TCE, % peso	99.9	99.9	99.9
Ductilidad a 25°C, cm	111	129	110
Viscosidad cinemática a 135 °C ,cSt	425.2	225	
Viscosidad absoluta, 60°C, P	1465	2247	
Perdidas por calentamiento, % peso	0.2	0.1	0.2

**ANEXO 10**

**PRUEBAS DE FUNCIONALIDAD DEL ASFALTO No.6 PG 58-16.**

ASFALTO ORIGINAL	Unidades	MAYA	CD. MADERO	SALAMANCA	Especificación AASHTO-MP-1
Modulo Complejo, G*	kPa	3.688	4.84	1.367	
Ángulo de fase, Θ	Grados	77.47	79.77	82.87	
Corte Dinámico, G*/sen Θ	kPa	3.777	4.91	1.377	1.000 Mín

**ASFALTO DESPUES DE RTFO**

Modulo Complejo,	kPa	8.395	7.48	1.571	
------------------	-----	-------	------	-------	--

G*					
Ángulo de fase, $\Theta$	Grados	69.91	76.64	79.88	
Corte Dinámico, G*/sen $\Theta$	kPa	8.939	6.67	1.595	

**ASFALTO DESPUES DE PAV**

Modulo complejo, G*	kPa	3399.7	2801.6	4192.2	
Ángulo de fase, $\Theta$	Grados	38.63	43.80	48.30	
Corte Dinámico, G*•sen $\Theta$	kPa	2122.39	1939.90	3130.06	5000.0 Máx

**ANEXO 10  
(Continuación)**

**PRUEBAS DE FUNCIONALIDAD DEL ASFALTO No.6 PG 64-10.**

<b>ASFALTO ORIGINAL</b>	<b>Unidades</b>	<b>MAYA</b>	<b>CD. MADERO</b>	<b>SALAMANCA</b>	<b>Especificación AASHTO-MP-1</b>
Modulo Complejo, G*	kPa	1.86	2.14	0.796	
Ángulo de fase, $\Theta$	Grados	89.30	80.30	86.40	
Corte Dinámico, G*/sen $\Theta$	kPa	1.87	2.17	0.797	

**ASFALTO DESPUES DE RTFO**

Modulo Complejo, G*	kPa	6.94	5.47		
Ángulo de fase, $\Theta$	Grados	73.41	79.03		
Corte Dinámico, G*/sen $\Theta$	kPa	7.244	5.85		

**ASFALTO DESPUES DE PAV**

Modulo complejo, G*	kPa	1750.3	1993.3		
Ángulo de fase, $\Theta$	Grados	42.94	56.23		
Corte Dinámico, G*•sen $\Theta$	kPa	1192.36	1656.90		

**ANEXO 11**

**PRUEBAS DE FUNCIONALIDAD PG 64-10.**

ASFALTO ORIGINAL	Unidades	CD. MADERO			Especificación AASHTO-MP-1
		No.6	AC-20	AC-30	
Modulo Complejo, G*	kPa	2.14	5.15	5.83	1.000 Mín
Ángulo de fase, $\Theta$	Grados	80.30	72.62	79.03	
Corte Dinámico, G*/sen $\Theta$	kPa	2.17	5.40	5.94	

**ASFALTO DESPUES DE RTFO**

Modulo Complejo, G*	kPa	5.47			2.2 Mín
Ángulo de fase, $\Theta$	Grados	79.03			
Corte Dinámico, G*/sen $\Theta$	kPa	5.85			

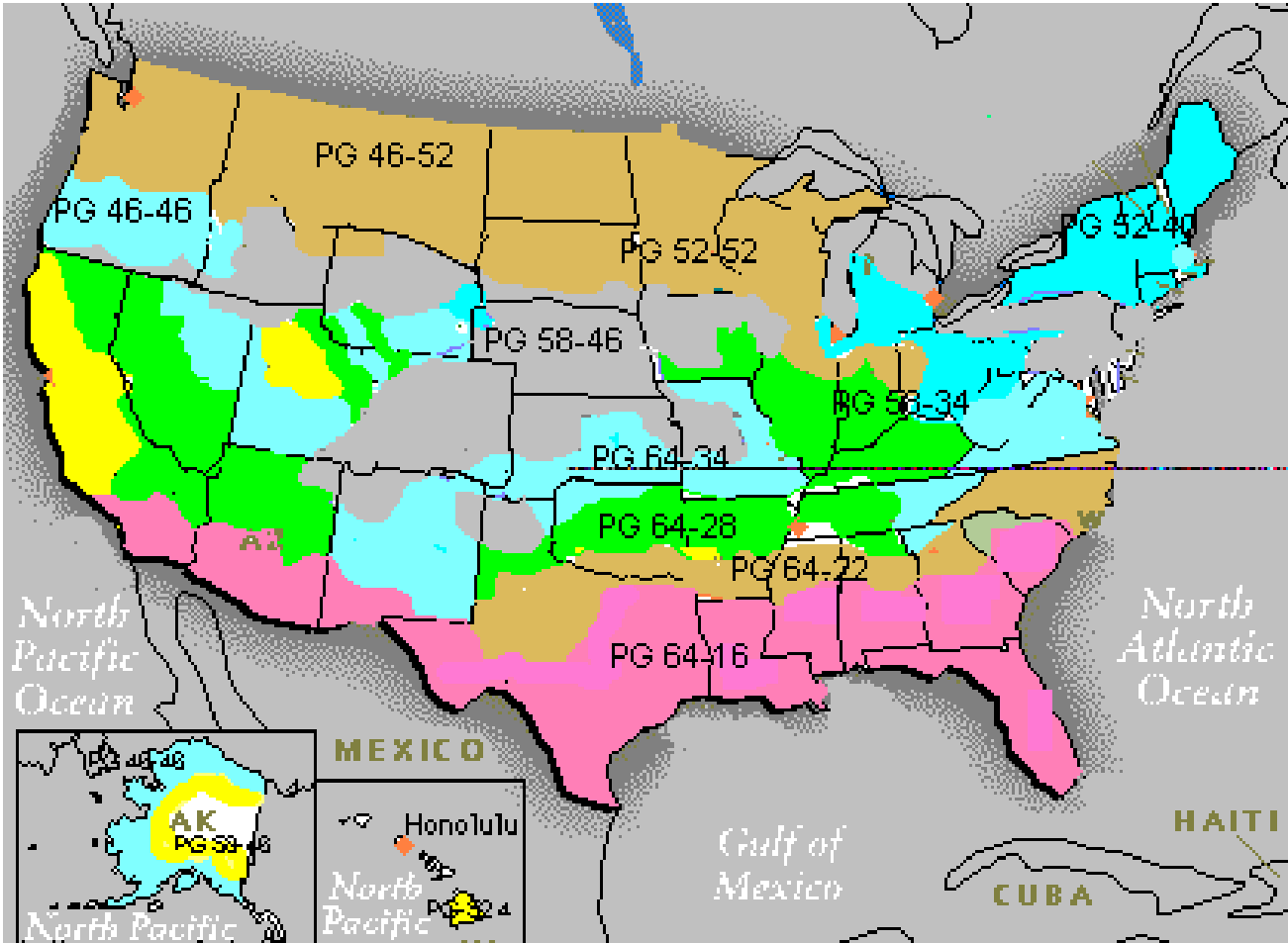
**ASFALTO DESPUES DE PAV**

Modulo Complejo, G*	kPa	1993.3			5000.0 Máx
Ángulo de fase $\Theta$ ,	Grados	56.23			
Corte Dinámico, G*•sen $\Theta$	kPa	1656.9			

G\* = (Fuerza cortante/área);  $\Theta$  = Deformación expresado en grados decimales.

ANEXO 5

ZONIFICACION DE USOS DE ASFALTOS PG EN E.U.



## ANEXO 4

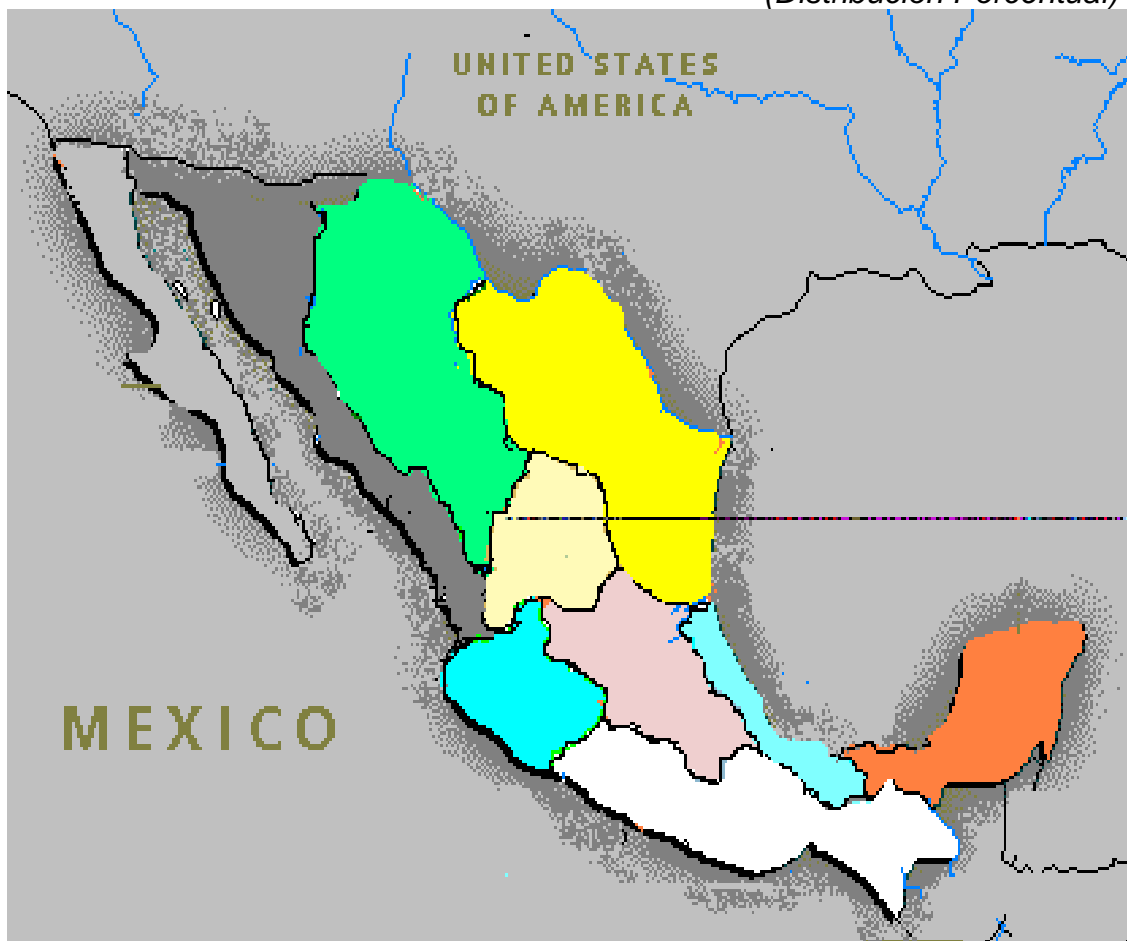
### ESPECIFICACIONES SHRP PARA LIGANTES ASFALTICOS (AASHTO MP1).

	PG 52							PG 58					PG 64					PG 70			
Ligante Asfáltico Grado	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-16	-22	-28	-34	-40	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28
Promedio de 7 días,Temp.Máx. Pav.Temperatura de diseño, °C	<52							<58					<64					<70			
Temperatura mínima del Pavimento, Temperatura de diseño, °C	>- 10	>- 16	>- 22	>- 28	>- 34	>- 40	>- 46	>- 16	>- 22	>- 28	>- 34	>- 40	>- 16	>- 22	>- 28	>- 34	>- 40	>- 10	>- 16	>- 22	>- 28
Ligante original																					
Temp.de Inflamación AASHTO T48 Mín,°C	230																				
Viscosidad ASTM 4402 Máx 3 Pa.s (3000cP) Temp. ensayo °C	135																				
Módulo Complejo TP5: G*/sen θ, Min. 1 kPa Temp. ensayo a 10 rad/sec, °C	52							58					64					70			
Indice de endurecimiento físico, h	Indicar																				
Ensayo en Película fina Rotativa (AASHTO T-240; ASTM D 2872)																					
Pérdida por calentamiento, Max. %	1																				
Módulo Complejo TP5: G*/sen θ, Min. 2.2 kPa Temp. ensayo a 10 rad/sec, °C	52							58					64					70			
Envejecimiento Acelerado con Aire a Presión (PAV SHRP B-005)																					
Temperatura de Envejecimiento PAV °C	90							100					100								
Módulo Complejo TP5: G*•sen θ, Máx, 5000 kPa Temp. ensayo a 10 rad/sec, °C	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	28	25	22	19	34	32	28	25	
Creep Stiffness TP1: S, Max. 300,000 kPa, Valor mín de m: 0.30 Temp ensayo a 60 sec, °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18
Tensión Directa TP3: Deformación a rotura. Min. 1.0 % Temp ensayo a 1.0 mm/m, °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18

## ANEXO 1

### DEMANDA REGIONAL DE ASFALTO PRODUCIDO POR PEMEX, 1995.

(Distribución Porcentual)



1	CALIFORNIA	2.50 %
2	NOROESTE	5.90 %
3	NORTE	4.60 %
4	NORESTE	5.90 %
5	CENTRO NORTE	4.90 %
6	CENTRO PACIFICO	11.40 %
7	CENTRO	38.10 %
8	CENTRO GOLFO	7.50%
9	PACIFICO SUR	11.20 %
10	PENINSULAR	5.00%

