

Nº 74
251



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Química

"EL MERCADO DE ASFALTOS MODIFICADOS PARA
PAVIMENTACION EN MEXICO"

TRABAJO ESCRITO

Que para obtener el Título de
INGENIERO QUIMICO
p r e s e n t a

JOSE MANUEL MILLER SUAREZ



México, D. F.

ENERO DE 1992

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

1. Objetivo
2. Introducción
3. Modificación de Asfaltos
 - 3.1. Modificación con Termoplásticos
 - 3.2. Propiedades de los Asfaltos Modificados
 - 3.3. Propiedades de las Mezclas Asfálticas Modificadas
4. Análisis del Mercado
 - 4.1. Oportunidades
 - 4.2. Potencial
 - 4.3. Abastecimiento de Materias Primas
5. Análisis Costo - Beneficio
6. Conclusiones
7. Bibliografía
8. Glosario de Términos

1.

OBJETIVO

Mostrar un marco de referencia sobre las oportunidades y potencial que presenta el mercado mexicano en el area de asfaltos modificados con hules sintéticos para pavimentación.

En cualquier lugar del mundo se puede comprobar que las superficies de rodamiento de algunas carreteras son más "cómodas" que otras. Esto se observa en aspectos como:

- Mayor comodidad en el manejo y la impresión de adherirse al pavimento o por el contrario, "flotar" en el vehículo. En éste último caso, cualquiera que sea el estado del automovil, se termina siempre culpando al mal estado de la carretera.
- Exigencias de seguridad. Si en época de lluvias el agua se estanca o por el contrario, circula impidiendo los riesgos de acuaplaneo.
- Por último, lo silencioso de la marcha.

Estas diferencias se deben, entre otros factores, al modo de concebir la carretera, a la tecnología de construcción empleada y por supuesto, a los materiales utilizados.

Estos materiales pueden clasificarse esquemáticamente en dos grandes categorías: hidráulicos y asfálticos. Los primeros son rígidos y muy difíciles y caros de reparar, mientras que los segundos permiten construir autopistas más "suaves", cuya reparación es más sencilla y mucho menos costosa.

El asfalto se conoce desde la más remota antigüedad y ya en el año 5,000 A.C. se utilizaba tanto en los caminos de Babilonia como en el embalsamado de las momias, pero hubo que esperar hasta el inicio de nuestro siglo para ver aparecer las primeras carreteras asfaltadas y a la post-guerra para ver desarrollarse los primeros pavimentos.

Ambos acontecimientos se encuentran íntimamente ligados con la aparición y el auge del automóvil.

El asfalto, como derivado del petróleo, se obtiene por un proceso de refinación y está constituido por las partes más pesadas, puesto que es recolectado por los fondos de las columnas de destilación.

Los primeros intentos de utilizar diferentes tipos de hule para mejorar las propiedades del asfalto se dan hace por lo menos 30 años, pero la mayoría de los estudios fueron abandonados debido al costo prohibitivo y a la falta de evidencia de los beneficios económicos a largo plazo.

Sin embargo, a partir de la segunda mitad de la década de los setentas con el embargo petrolero de los países árabes a occidente y el consecuente aumento en los precios del petróleo y del asfalto, se incrementó significativamente la factibilidad económica de la modificación como un medio para mejorar las deficiencias propias del asfalto, que adicionalmente se han venido deteriorando desde los años cincuenta como consecuencia del desarrollo de los procesos de refinación.

Uno de los principales objetivos de la modificación con hule sintético es incrementar la vida útil de los pavimentos y de esa forma obtener ahorros significativos en mantenimiento.

Así, durante los últimos quince años, los asfaltos modificados han venido siendo perfeccionados para responder a una creciente demanda de carreteras "suaves", de buena calidad, sobre las que circulan cada vez más vehículos.

En general, se trata de asfaltos convencionales a los que se adicionan copolímeros elastoméricos termoplásticos para mejorar sus propiedades, con el objeto de disminuir su susceptibilidad térmica, dar mayor resistencia a las bajas temperaturas y aumentar también su resistencia a la deformación y el cansancio.

3.

MODIFICACION DE ASPALTOS

3.1. Modificación con Termoplásticos

El 1,3-butadieno y el estireno son los monómeros constructivos de los hules sintéticos más comunes (SBR) para uso general. En SBR típico para llantas contiene 23.5 % (en peso) de estireno, distribuido al azar entre las unidades de butadieno a lo largo de la cadena de la molécula.

Considerando la relación entre Módulo Elástico y temperatura, éstos materiales son rígidos a bajas temperaturas y al calentarse presentan una transición relativamente brusca a un estado suave y ahulado, para finalmente pasar a una región de flujo.

Con el objeto de obtener la elasticidad que normalmente asociamos con el hule, es necesario vulcanizar el material. Es decir, se deben producir entrecruzamientos de las cadenas para generar una red infinita. Esto, prácticamente no tiene efecto sobre el módulo elástico a bajas temperaturas, pero en el estado ahulado, el módulo se incrementa y la región de flujo se elimina (Fig. 1).

Fig. 1

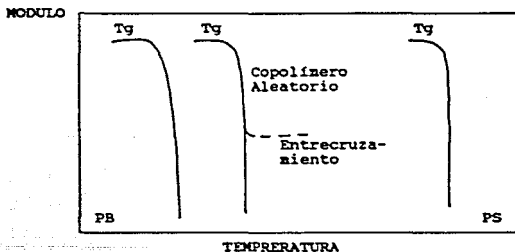


FIG. 1: Curvas Módulo-Temperatura para Homopolímeros y copolímero aleatorio.

En el caso de los elastómeros termoplásticos, en lugar de distribuir los monómeros aleatoriamente a lo largo de la cadena, si se colocan todos los butadienos en un extremo y todos los estirenos en el otro, lo que se obtiene es un polímero en bloque. Como el polibutadieno y el poliestireno son inmiscibles, éste último, que a su vez es el menor de los componentes, intentará separarse del resto de la cadena sin conseguirlo, ya que ambos bloques están unidos químicamente.

Esta situación lleva a la consideración de que los bloques poliestirénicos se asocien en pequeños dominios particulares, que serán rígidos a temperatura ambiente.

Más aún, si se produce un polímero en bloque que contenga dos o más largos bloques de estireno por molécula, los dominios de poliestireno contendrán bloques de estireno de diferentes moléculas, produciendo una red infinita. La única diferencia entre un polímero en bloque y un hule vulcanizado es que los entrecruzamientos químicos se reemplazan por entrecruzamientos físicos: los dominios poliestirénicos.

Si se determina una curva Módulo - Temperatura, se encontrarán dos transiciones con una "meseta" entre ellas correspondiente a la fase ahulada. Por encima de la temperatura de transición de los dominios poliestirénicos, el bloque polimérico es capaz de fluir, por lo que se obtiene un elastómero termoplástico y ésta característica es la que los hace tan efectivos para la modificación de asfaltos (Fig. 2).

Fig. 2

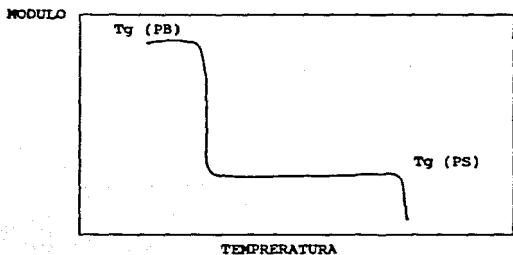


FIG. 1: Curva Módulo-Temperatura para un polímero en bloque.

El proceso de modificación con polímeros en bloque de estireno-butadieno es relativamente simple, ya que únicamente consiste en adicionar el polímero al asfalto pre-calentado a una temperatura de 180 a 205 grados centígrados, utilizando un agitador de alto esfuerzo cortante para conseguir una adecuada integración.

Al principio del proceso de dispersión, el asfalto penetra através de la microestructura del polímero hasta los dominios poliestirénicos que se han debilitado por la temperatura, permitiendo que moléculas individuales se muevan dentro del cuerpo principal del asfalto al aplicarse el esfuerzo. Este proceso puede tomar varias horas antes de completar la integración.

Sin embargo, una forma de reducir el tiempo del ciclo de mezclado es reduciendo el tamaño de partícula del polímero, ya que el incremento del área de contacto permite que la penetración del asfalto se lleve a cabo sobre áreas mayores.

Otro procedimiento, es aumentando la relación de corte, puesto que las moléculas se dispersan más rápidamente en el asfalto.

La relación de corte puede incrementarse seleccionando agitadores de alto esfuerzo cortante, mezclando grandes cantidades de hule en un bache maestro o bien, reduciendo la temperatura de mezclado.

Como es necesario obtener grandes incrementos en la viscosidad, se recomienda el uso de mezcladores internos, como pueden ser los molinos trigonales, con el objeto de mantener una recirculación satisfactoria. Al usar relaciones de corte excesivamente altas, se debe tener cuidado a temperaturas superiores a 190 C en presencia de aire, ya que la degradación del polímero tiende a acelerarse.

3.2. Propiedades de los Asfaltos Modificados

Las propiedades reológicas del asfalto cambian dramáticamente con la modificación. El asfalto es esencialmente un fluido Newtoniano y el asfalto modificado puede considerarse como un pseudo-plástico; su viscosidad se reduce al aumentar la relación de corte. A bajas relaciones de corte, la viscosidad aparente de un asfalto, generalmente es varias veces menor que su viscosidad después de la modificación, mientras que a altas relaciones de corte, ésta diferencia es mucho menor.

Este flujo viscoelástico único, característico de las soluciones poliméricas, es una parte importante de la calidad mejorada de los asfaltos modificados con elastómeros.

Sin embargo, la viscosidad no es la única característica que se modifica con la incorporación del hule, también sufren cambios importantes en la Penetración, el Punto de Ablandamiento y otras (Tabla 1).

TABLA No. 1

	ASFALTO No. 6	ASFALTO MODIFICADO
PENETRACION a 25 C	100	70
VISCOSIDAD ABSOLUTA @ 60 C, cps.	1,800	9,600
VISCOSIDAD CINEMATICA @ 135 C, cts.	450	1,350
PTO. ABLANDAMIENTO (C)	50	60
RESISTENCIA A LA TENSION 800 $\frac{1}{2}$ a 5 C	-	4.85
RECUPERACION ELASTICA 10 C, $\frac{1}{2}$	-	70
ELONGACION, cm	17	60

NOTA: Valores promedio para asfaltos mexicanos.

Al modificarse sensiblemente las características físicas intrínsecas del asfalto, es de esperarse que también varíen sus propiedades y en consecuencia, su comportamiento.

Como se ha mencionado con anterioridad, las propiedades físicas básicas del asfalto cambian significativamente después de la modificación. La penetración del asfalto modificado es típicamente menor que la del asfalto base en 15 a 25 puntos y más aún, la viscosidad absoluta es de dos a cuatro veces superior. Este es un cambio drástico en la viscosidad a 60 C comparándolo con un decremento relativamente modesto en la Penetración a 25 C. La viscosidad cinemática a 135 C muestra el mismo comportamiento que la viscosidad absoluta y esto se podría interpretar como una necesidad de aumentar significativamente las temperaturas de mezclado durante la producción de concreto asfáltico y la compactación de la superficie de rodamiento.

Sin embargo, bajo las condiciones de alto esfuerzo cortante que se presentan durante éstos procesos, la procesabilidad de la mezcla asfáltica es muy similar a la que se presentaría con un asfalto convencional a las temperaturas de construcción normales.

Este comportamiento se explica por la naturaleza pseudo-plástica del asfalto modificado, en el que el flujo es altamente dependiente de la relación de corte. El bajo esfuerzo cortante al medir la viscosidad cinemática NO representa las condiciones de alto esfuerzo halladas en una planta mezcladora o bajo una compactadora.

Adicionalmente, la ductilidad a bajas temperaturas (4 C) refleja elongaciones tres o cuatro veces superiores a las del asfalto convencional. El incremento de viscosidad a altas temperaturas y la mayor flexibilidad a bajas temperaturas, resultan en una mejor adherencia en ambos extremos de temperatura.

Cualquier asfalto usado en operaciones convencionales de mezclado, no debe endurecerse significativamente a las temperaturas encontradas en la planta. Como algunos polímeros son particularmente susceptibles a la temperatura y otros son incompatibles con los asfaltos en los que se mezclan, el envejecimiento y la compatibilidad resultan ser elementos sumamente importantes.

Algunos sistemas poliméricos mejoran las características de envejecimiento (endurecimiento) del asfalto. Sin embargo, la compatibilidad es también sumamente importante, ya que si ocurre una separación del polímero durante el almacenamiento, se pueden presentar problemas asociados con la consistencia de la calidad. Un material bajo en polímero no mostrará las propiedades deseadas y esto es particularmente importante si se ha seleccionado un asfalto modificado con el objeto de mejorar la adherencia de agregados sensibles al desprendimiento o si el asfalto base ha sido seleccionado intencionalmente suave para maximizar la flexibilidad y la resistencia del pavimento al agrietamiento.

La modificación adecuada crea un asfalto con características de comportamiento al envejecimiento muy por encima de los asfaltos convencionales.

Se ha comprobado que de 30 ó 40 años a la fecha, la susceptibilidad térmica del asfalto ha ido en aumento, principalmente, como se menciona en el capítulo anterior, debido al desarrollo en los procesos de refinación de crudos.

Una ventaja del asfalto modificado es la significativa mejoría en éste sentido como resultado directo del incremento en la viscosidad, atribuible al polímero.

Así, un asfalto recomendable sólo para condiciones de muy bajo tráfico, después de la modificación puede ser utilizado en cualquier tipo de condiciones.

Una analogía con el comportamiento del hule para llantas a temperaturas extremas es suficiente evidencia para comprobar la resistencia de un elastómero a los cambios de temperatura.

En resumen, podemos decir que un asfalto modificado presentará cualidades muy superiores en cuanto a adhesividad, resistencia a la tensión, recuperación elástica, susceptibilidad térmica y envejecimiento que cualquier asfalto convencional. Es de esperarse que éstas propiedades mejoradas se reflejen también en las mezclas asfálticas y los pavimentos.

3.3. Propiedades de las Mezclas Asfálticas

Muy pocas fallas en los pavimentos ocurren a 25 C. A altas temperaturas el asfalto se vuelve suave y fluye bajo la presión, causando problemas como la formación de roderas y el "sangrado". A bajas temperaturas, el asfalto se vuelve quebradizo, fracturándose con el esfuerzo y causando agrietamientos y daños por congelamiento - descongelamiento.

Como se ha mencionado anteriormente, con la modificación ocurren cambios sustanciales en la viscosidad sin una disminución proporcional de la penetración. Esto indica que se pueden mejorar asfaltos pobres, suficientemente como para utilizarse en carreteras de alto tráfico. Adicionalmente, la mayor ductilidad a bajas temperaturas hace más determinante la resistencia del asfalto modificado a los cambios térmicos.

La rigidez de una mezcla se verá afectada por la fluidez del asfalto. Una mezcla de asfalto modificado presenta aproximadamente 10 % menor rigidez a bajas temperaturas y 17 % mayor rigidez a altas temperaturas que una mezcla convencional. Aún cuando éstos valores pueden cambiar dependiendo de las cargas, bien pueden considerarse como una tendencia general y sugieren una mejor resistencia del pavimento a volverse quebradizo durante el frío o demasiado blando con el calor. Esta situación, permite flexibilidad adicional en el diseño.

Si la mezcla se comporta bien a altas temperaturas, pero muestra agrietamiento anormal a bajas temperaturas, entonces un asfalto más suave modificado con hule sintético podrá mantener el buen comportamiento a alta temperatura y mejora el módulo a baja temperatura, reduciendo los agrietamientos.

A la inversa, también es posible corregir fallas a altas temperaturas con asfaltos modificados, manteniendo el comportamiento a bajas temperaturas sin cambio.

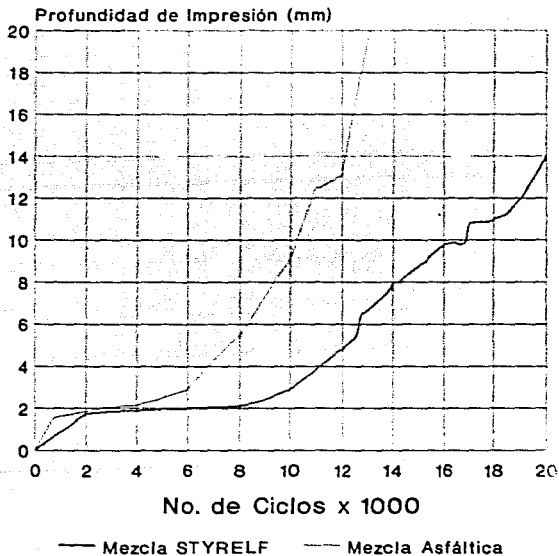
De los beneficios directos más importantes que ofrece la elasticidad del asfalto modificado a las mezclas, es la resistencia a la deformación permanente y se ha demostrado que una mezcla de asfalto modificado es capaz de resistir de dos a diez veces más carga que una mezcla convencional. Una de las razones, es la mayor flexibilidad del pavimento, que es especialmente importante en zonas de alto tráfico o de tráfico lento y pesado donde la deformación permanente ocurre con mayor frecuencia.

Finalmente, otra diferencia importante se da en la resistencia a la fatiga como resultado directo de la resistencia a la tensión y la recuperación elástica del asfalto modificado, ya que el polímero impide que pierda su integridad, reteniendo la resistencia de la mezcla y en consecuencia, el agrietamiento es mucho menor.

Una prueba muy efectiva para predecir el comportamiento de un pavimento, es la conocida como "German Wheel Tracking" y consiste en hacer circular una rueda metálica a ciertas condiciones de presión y velocidad, sobre una muestra (corazón) de pavimento a probar con la intención de formar un surco, del que se irá midiendo la profundidad.

En una primera etapa, el número de ciclos por milímetro de profundidad indican lo que se conoce como "Pendiente de Desplazamiento" e indican la resistencia del pavimento a desplazarse bajo las cargas que le impone la circulación de vehículos. En un punto determinado, se comienza a esprear agua sobre la muestra y la profundidad de impresión se acelera notablemente, ésta relación de número de ciclos por milímetro de profundidad se conoce como "Pendiente de Desprendimiento" e indicará la resistencia del pavimento a la formación de "baches" y roderas (Fig. 3).

GERMAN WHEEL TRACK PROFUNDIDAD DE IMPRESION



29

4.

ANALISIS DEL MERCADO

La política del gobierno mexicano, con el objeto de fomentar el desarrollo del país y asegurar así su permanencia competitiva futura en un mercado global, ha considerado como premisa fundamental la participación de la iniciativa privada en áreas en las que hasta hace poco tiempo eran consideradas como exclusivas del estado.

Entre los sectores donde se han dado los cambios más importantes, podemos considerar:

a) Telecomunicaciones, con la privatización de Teléfonos de México;

b) Transportes, con las ventas de Aereoméxico y Mexicana de Aviación;

c) Petroquímica, con el cambio en el reglamento de la Ley Petroquímica Mexicana en donde se modifica el concepto de Petroquímicos Básicos;

d) Banca, que precisamente se encuentra en proceso de reprivatización y finalmente el sector que nos ocupará en este análisis;

e) Construcción de infraestructura, donde se ha fomentado intensamente la inversión privada en autopistas y puentes de cuota.

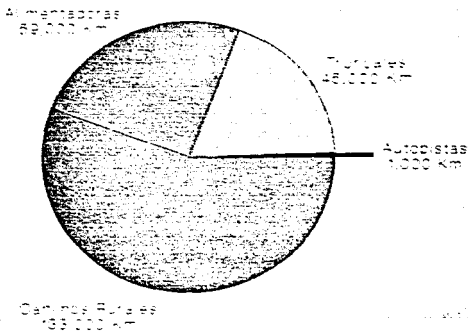
4.1. Oportunidades

Por la red de carreteras del país se transporta el 93 % del total de pasajeros, es decir, 1,843 millones de personas y el 60 % del total de la carga que corresponde a 330 millones de toneladas al año. De 1960 a 1990, se ha quintuplicado el tránsito de vehículos y hoy en día, esta actividad representa el 6 % del Producto Interno Bruto del país.

La infraestructura carretera nacional cuenta con 238,000 Km de carreteras y caminos (Fig. 4) y aún mantiene un fuerte déficit con respecto a los estándares de los países desarrollados, que indican que se debe contar con un kilómetro lineal de caminos por cada kilómetro cuadrado de extensión territorial.

De acuerdo con el Gobierno Federal, para el año 2000 deberán construirse o ampliarse a cuatro carriles o más, cerca de 17,000 Kilómetros de carreteras.

FIGURA No. 4 INFRAESTRUCTURA ACTUAL



EXTENSION TOTAL: 238,000 Km

Esto implica un esfuerzo demasiado grande como para ser llevado a cabo exclusivamente por el gobierno, que conciente de esta situación, ha creado el Programa Nacional de Autopistas y Puentes de Cuota Concesionados 1989 -1994, con el que se pretende involucrar a la iniciativa privada en la construcción de esta infraestructura tan necesaria para el país.

Mediante este programa, durante 1989 se concesionaron y arrancaron doce proyectos con una extensión de 1,277 Km y durante 1990, catorce proyectos más con una extensión de 1,597 Km y la construcción de varios puentes internacionales fueron concesionados y parcialmente arrancados.

Todos éstos proyectos representan una inversión aproximada de 3,300 millones de dólares. Sin embargo, en el programa para el presente sexenio se contempla la construcción de 4,000 kilómetros, por lo que todavía quedarían pendientes por concesionar más de 1,100 Km.

El concepto de concesiones, involucra no sólo a las empresas constructoras, sino también a instituciones bancarias que otorgan el financiamiento necesario para la construcción. Este financiamiento no debe exceder del 40 % al 60 % del total de la inversión y todas las concesiones están limitadas a una vigencia máxima de veinte años; que se calcula en base al monto total de la inversión, una cuota estimada en base al costo de cualquier otro medio de transporte equivalente y el tránsito esperado.

Al término de dicho periodo, la carretera pasará al control de Caminos y Puentes Federales de Ingresos y S.C. para su operación.

Adicionalmente a éste volumen de construcción, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y Caminos y Puentes Federales de Ingresos, continuarán con sus programas de construcción y mantenimiento en forma independiente de los proyectos concesionados.

Este segmento, también representa un área de oportunidad sumamente interesante ya que dichas instituciones están concientes de la necesidad de incrementar la vida útil de sus carreteras, prolongar los periodos entre mantenimiento y de tal forma que se pueda, con el dinero ahorrado, dar servicio a mayor número de kilómetros.

Otras áreas de oportunidad que también vale la pena considerar, son las zonas urbanas, al menos las principales ciudades del país y el sistema aeroportuario nacional operado por Aeropuertos y Servicios Auxiliares.

4.2. Potencial

La construcción de autopistas concesionadas puede representar un volumen de asfalto modificado superior a las 50,000 toneladas en promedio anual durante los próximos diez años (Tabla No. 2).

Sin embargo, también es necesario considerar los trabajos realizados por el sector público, que durante 1991 cuenta con un presupuesto de 7,500 millones de dólares de los cuales el 25 % se destina al sector carretero según el siguiente desglose:

* Conservación y reconstrucción (30 %)

- a) Reconstrucción: 800 Km
- b) Rehabilitación: 150 Puentes
- c) Reposición: 2,000 Km de carpeta asfáltica y
4,000 Km de riego de sello.

* Construcción de 1,200 Km de carreteras alimentadoras.

Por parte de Caminos y Puentes Federales de Ingresos, completar la modernización de 32 Km de la red de cuota federal a cuatro carriles o más adicionales al programa de mantenimiento regular. Esto representa un volumen superior a las 70,000 toneladas anuales de asfalto modificado (ver Tabla No. 3).

Así, el potencial total en el área de pavimentación de carreteras puede representar un volumen potencial total de 120,000 toneladas anuales durante los próximos diez años, sin considerar los programas estatales y municipales de construcción de carreteras que son difíciles de evaluar (Tabla No. 4).

**TABLA No. 2 - ASFALTO MODIFICADO
VOLUMEN POTENCIAL - SECTOR PRIVADO**

<u>AÑO</u>	<u>%</u>	<u>VOLUMEN</u>
1989	2.4	14,000
1990	10.4	62,000
1991	12.6	75,000
1992	9.9	59,000
1993	7.2	43,000
1994	6.2	37,000
TOTAL 1991-1994	35.9	214,000
1995 - 2000	51.3	306,000
TOTAL 1991-2000	87.2	520,000

Toneladas

**TABLA No. 3 - ASFALTO MODIFICADO
VOLUMEN POTENCIAL - SECTOR PUBLICO**

VOLUMEN

REHABILITACION	12,000
RECONSTRUCCION	28,000
RIEGO DE SELLO	14,000
CONSTRUCCION	18,000
TOTAL	72,000

Toneladas / Año

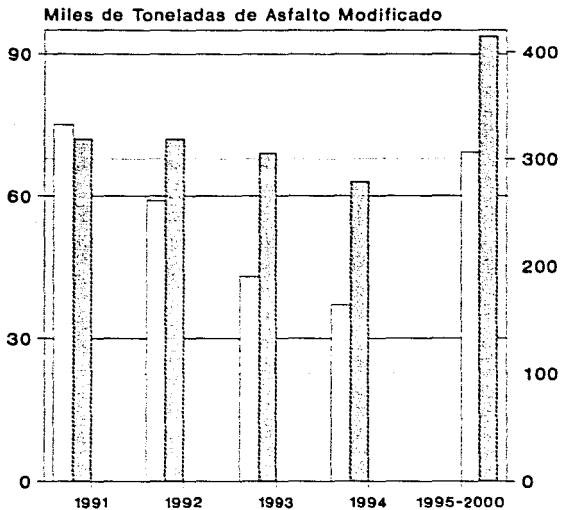
**TABLA No. 4 - VOLUMEN POTENCIAL TOTAL
ASFALTO MODIFICADO PARA AUTOPISTAS**

<u>AÑO</u>	<u>SECTOR</u> PRIVADO	<u>SECTOR</u> PUBLICO	<u>T O T A L</u>
1991	75,000	72,000	147,000
1992	59,000	72,000	131,000
1993	43,000	69,000	112,000
1994	37,000	63,000	100,000
Sub-TOTAL	214,000	276,000	490,000
1995-2000	306,000	414,000	720,000
TOTAL	520,000	690,000	1'210,000

Toneladas

ASFALTO MODIFICADO PARA AUTOPISTAS VOLUMEN POTENCIAL TOTAL

SECTOR PRIVADO SECTOR PUBLICO



No Hay Hojas
35, 36, 37.

En lo que respecta a las zonas urbanas, únicamente la Cd. de México cuenta con una extensión pavimentada superior a los 100 millones de m² y su mantenimiento se realiza principalmente con material producido en la Planta de Asfalto del Departamento del Distrito Federal. Esta planta produce un promedio de 2,000 toneladas por día de concreto asfáltico que es distribuido de la siguiente manera:

- a) La Dirección General de Servicios Urbanos, encargada del mantenimiento menor (bacheo), tiene a su cargo 500,000 m² al año que representan un volumen estimado de 2,000 toneladas por año de asfalto modificado.

- b) La Dirección General de Obras Públicas y las Delegaciones del D.F., son responsables del mantenimiento mayor de 6'700,000 m² por año, lo que representa un volumen estimado de 28,000 toneladas por año de asfalto modificado.

Con ésto, únicamente el Distrito Federal podría representar 30,000 toneladas por año de asfalto modificado y si adicionalmente se considera a las tres principales ciudades de la República: Guadalajara, Monterrey y Puebla, que en su conjunto representan una extensión pavimentada aproximada de 120 millones de m², otorgándosele mantenimiento a un promedio de 8 millones de m² por año, implicaría un potencial adicional de 32,000 toneladas al año de asfalto modificado.

Finalmente, el sistema aeroportuario nacional operado por Aeropuertos y Servicios Auxiliares está conformado de la siguiente manera:

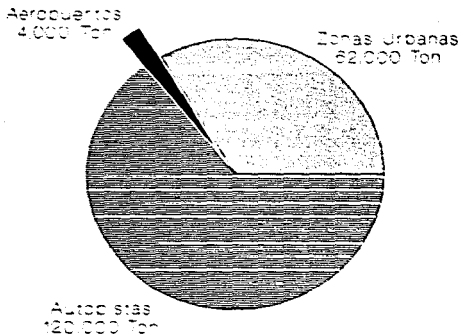
SISTEMA AEROPORTUARIO NACIONAL

No. total de aeropuertos:	57
No. total de pistas:	76
- pistas asfálticas:	57
- pistas hidráulicas:	19
Superficie total de pistas:	7'663,773 m2
- pistas asfálticas:	6'212,548 m2
- pistas hidráulicas:	1'451,225 m2
Superficie total de rodajes:	2'027,148 m2
Superficie total de plataformas:	2'752,154 m2
SUPERFICIE TOTAL PAVIMENTADA:	10'991,880 m2
REPOSICION PROMEDIO ANUAL	
- Carpeta asfáltica:	435,000 m2/año
- Riego de sello:	654,000 m2/año

Tomando en cuenta esta información, el volumen estimado de asfalto modificado para aplicación en aeropuertos podría llegar a las 4,000 toneladas por año.

Como se puede observar, el mercado potencial total para los asfaltos modificados en México resulta ser sumamente interesante si se toman en cuenta las áreas de pavimentación, zonas urbanas y aeropuertos con un volumen estimado cercano a las 190,000 toneladas en promedio anual (Fig. 5).

FIG. 5 - MERCADO POTENCIAL TOTAL
Toneladas / Año



TOTAL: 186,000 Ton/Año C.A.M.

4.3. Abastecimiento de Materias Primas

Son dos las materias primas indispensables para la fabricación de asfaltos modificados. Una, por supuesto, el asfalto, que únicamente es producido por Petróleos Mexicanos en las refinerías de Salamanca, Gto. y Cd. Madero, Tamps.

En el caso del hule sintético, también existe solamente un fabricante en México, Novus Hule Sintético, con dos plantas productoras en las mismas localidades que Petróleos Mexicanos: Salamanca, Gto. y Altamira, Tamps. con suficiente capacidad instalada para cubrir ampliamente las necesidades del mercado nacional. Vale la pena hacer un breve análisis de la situación del asfalto en México, ya que por considerarse un petrolífero, su importación y exportación están restringidas por Petróleos Mexicanos.

En la siguiente tabla se presentan las plantas productoras de asfalto y la situación que guardan actualmente según datos de Petróleos Mexicanos.

PETROLEOS MEXICANOS

<u>REFINERIA/PLANTA</u>	<u>CAPACIDAD (BD)</u>	<u>ESTADO</u>
CADEREYTA, N.L.		
* Mezcladora / Llenadora	20,000	Ingeniería
CD. MADERO, TAMPS.		
* Desasfaltadora DEMEX con propano	35,000	Operación
* Mezcladora de asfalto	6,000	Operación
* Mezcladora / Llenadora (Ampliación)	60,000	Construcción
SALAMANCA, GTO.		
* Desasfaltadora 1LD	7,500	Operación
* Desasfaltadora 2U2	10,200	Operación
* Mezcladora de asfalto	15,000	Operación

Con ésta capacidad instalada, Petróleos Mexicanos produce dos clases de asfaltos: los asfaltos semisólidos (Asfalto No. 6) y los asfaltos rebajados (FM-1 de fraguado medio y FR-3 de fraguado rápido), con los que cubre las necesidades nacionales, según la siguiente tabla.

PETROLEOS MEXICANOS
PRODUCCION DE ASFALTO (Barriles)

<u>PRODUCTO</u>	<u>1988</u>	<u>1989</u>	<u>DIFERENCIA</u>
Asfaltos semisólidos	3'194,816	2'998,087	(196,729)
Asfaltos reducidos	2'268,351	2'485,592	217,241
T O T A L (Barriles)	5'463,167	5'483,679	20,512
T O T A L (m3)	868,548	871,809	3,261
Ventas nacionales (m3)	821,979	748,516	(73,463)
Diferencia (m3)	46,569	123,293	76,724
‡ Utilizacion de Capacidad Instalada	71 ‡	72 ‡	

NOTA: de 1988 a 1989, Petróleos Mexicanos incrementó en 2.1 % su consumo de crudo pesado tipo "Maya", lo que representó un decremento de 0.82 % en el rendimiento de residuales.

Como se puede observar, aún cuando existen cuellos de botella en las mezcladoras de asfalto tanto de Cd. Madero como de Salamanca, la producción ha sido suficiente para cubrir las necesidades locales y realizar pequeñas exportaciones.

Sin embargo, hay que hacer notar que hasta 1989, aún cuando ya había iniciado el Programa Nacional de Autopistas y Puentes de Cuota Concesionados, los proyectos no se encontraban todavía en su etapa de pavimentación y esto ha incrementado significativamente el consumo de asfalto durante 1990. Todavía no se cuenta con cifras de Petróleos Mexicanos al respecto, pero es muy probable que la utilización de la capacidad instalada se encuentre en niveles por encima del 80 % por lo que es muy probable que se reactive la producción de asfalto en refinerías como las de Salina Cruz y Tula.

5.

ANALISIS DE COSTO-BENEFICIO

Será necesario hacer varias consideraciones para realmente comprender el alcance de los beneficios económicos que representa la utilización de los asfaltos modificados en pavimentación y una de ellas es que en base a la información técnica presentada en capítulos anteriores, es de esperarse un incremento en la vida útil del pavimento de alrededor del 50 %.

Otro aspecto a considerar son las especificaciones propias de la carretera, que en forma indirecta son determinadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, como el ancho total y el espesor de la superficie de rodamiento o carpeta asfáltica, así como el costo de la mezcla asfáltica convencional.

Finalmente, se tomarán en cuenta un tiempo estimado de vida útil promedio y un periodo de concesión promedio ponderado de cinco y quince años respectivamente. Con el objeto de dar mayor objetividad al análisis, la evaluación se ha realizado en "pesos reales", sin hacer consideraciones de inflación que puedan deformar la información presentada.

La evaluación se realizará considerando los 4,000 Km de autopistas que están contemplados para concesionarse durante el presente sexenio, de los que ya se han concesionado cerca de 3,000 Km en diferentes proyectos y la mayoría de ellos ya han sido por lo menos iniciados.

Como se puede observar en la Tabla No. 5, existe una diferencia entre el precio del "cemento asfáltico" (asfalto) convencional y el modificado superior al 140 %. Sin embargo, conforme se avanza en los costos del proyecto ésta diferencia se va reduciendo notablemente y así, la diferencia en el costo de la mezcla o concreto asfáltico sólo es ligeramente superior al 20 % y así sucesivamente.

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

Esta reducción en el impacto del asfalto modificado sobre la inversión inicial dependerá, por supuesto, del monto total de la misma que es directamente proporcional a la infraestructura de la autopista. Un ejemplo particular puede ser la carretera Cuernavaca - Acapulco en donde la infraestructura es tal, que el incremento en la inversión por el uso de asfalto modificado sería de solamente 0.5 %.

Por último, considerando como costo final la suma de la inversión inicial más el costo de los mantenimientos requeridos durante el periodo de concesión, existe un beneficio favorable al uso de asfalto modificado de 73 millones de pesos por kilómetro. Esto implicaría un ahorro cercano a los 19,500 millones de pesos en promedio anual durante dicho periodo.

TABLA No. 5

ANALISIS "COSTO / BENEFICIO"
ASfalto MODIFICADO

Tipo de Cambio:	3,070.00	\$/USD	Dif. %
Precio Asfalto No. 6:	221.7	M \$/Ton	
Precio Estimado Asfalto Modificado:	546.1	M \$/Ton	146%
Costo de Mezcla con Asfalto No. 6:	73.9	M \$/Ton	
Costo de Mezcla con Asfalto Modificado:	90.1	M \$/Ton	22%
Contenido de Asfalto:	5.00%		
Densidad:	2.31	Ton/m ³	
Ancho Total de la Autopista:	21.00	m	
Espesor de la Carpeta Asfáltica:	0.06	m	
Valor de la Carpeta "Convencional":	215.0	MM \$/Km	
Valor de la Carpeta "Modificada":	262.3	MM \$/Km	22%
Tiempo Estimado entre Mantenimientos:	60.0	meses	
Periodo de Concesión:	180.0	meses	
Mantenimientos Requeridos:	3.0		
Costo Inicial:	215.0	MM \$/Km	
Costo Mantenimientos:	645.1	MM \$/Km	
COSTO FINAL:	860.2	MM \$/Km	
Incremento Estimado en el Tiempo entre Mantenimientos con Asfalto Modificado:	50%		
Tiempo Estimado entre Mantenimientos:	90.0	meses	
Mantenimientos Requeridos:	2.0		
Costo Inicial:	262.3	MM \$/Km	
Costo Mantenimientos:	524.5	MM \$/Km	
COSTO FINAL:	786.8	MM \$/Km	
BENEFICIO:	73.4	MM \$/Km	
BENEFICIO TOTAL:	\$293,511	MM\$ en los 4,000 Km de autopistas concesionadas.	
BENEFICIO Promedio Anual:	\$19,567	MM \$/año durante el tiempo de concesion.	

NOTA: Para efectos de evaluación, únicamente se han considerado los mantenimientos mayores y todos los montos son en pesos reales.

México sufre de un fuerte rezago en infraestructura carretera ya que únicamente se cuenta con el 10 % de los caminos con que un país debe contar, según los estándares de los países desarrollados. El Gobierno Federal, conciente de ésta situación ha implementado un intenso programa de construcción de autopistas apoyado fuertemente en la iniciativa privada mediante un régimen de concesiones con un tiempo de duración que puede llegar hasta los veinte años.

Durante éste periodo, el contratista y demás inversionistas, así como las instituciones financieras que han apoyado el programa con recursos económicos, deberán recuperar su inversión además de hacer una utilidad razonable. Como existe una limitación en el tiempo, los ahorros por mantenimiento toman una importancia mayor.

Por otro lado, la nueva generación de autopistas de altas especificaciones, requiere de materiales acordes con esa infraestructura que realmente permitan alcanzar "altas especificaciones", pero sin perder de vista el aspecto económico.

Los asfaltos convencionales ya no son suficientes para cumplir con los requisitos de "alta especificación" y considerando los montos de inversión en los nuevos proyectos carreteros, el impacto económico del uso de asfaltos modificados con elastómeros termoplásticos resulta ser sumamente pequeño.

Tomando en cuenta la información presentada en éste trabajo, se puede considerar que el asfalto modificado es una inversión altamente rentable a mediano y largo plazos, que cumple ampliamente con los nuevos requerimientos de la industria de la construcción de autopistas.

7.

BIBLIOGRAFIA

1. King, Gayle N., Muncy, Harold W. & Prudhomme, Jean, "The Improved Rheological Properties of Polymer Modified Asphalts & Polymer Modification: Binder's Effect on Mix Properties", Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, Presented at the Annual Meeting of the A.S.T.M., 1985.
2. Kraus, Gerard, "Modification of Asphalt by Block Polymers of Butadiene and Styrene", Rubber Chemistry and Technology, Vol. 55, No. 5, Nov.-Dic. 1982.
3. Kraus, Gerard, "Modification of Bitumen by Butadiene-Styrene Block Polymers", Phillips Petroleum Company, Oklahoma, USA, 1983.
4. Khosla, N.P., "A Mechanistic Evaluation of Polymer Modified Asphaltic Mixtures".

5. Benson, J., "Rubberized Asphalts for Highways", Roads and Engineering Construction, Agosto 1955, págs. 78-84.

6. Collins, J. & Mikols, W., "Block Copolymer Modification of Asphalt Intended for Surface Dressing Applications", Proceedings of the Association of Asphalt Pavement Technologists, Vol. 27, 1985, págs. 1-17.

7. Collins, J., "Thermoplastic Block Copolymers for the Enhancement of Asphaltic Binders in Paving Applications", presented at the Paving and Transportation Conference, New Mexico, USA, 1986.

8. Dickinson, E., "The Flow and Deformation Behavior of Bituminous Binders Under Pavement Service Conditions" presented at the National Seminar of Asphalt Rubber, Texas, USA, 1981.

9. Rosen, S., Fundamental Principles of Polymeric Materials, Wiley and Sons, New York, 1982.

10. Ruth, B., Schweyer, H., Davis, A. & Maxfield, J., "Asphalt and Viscosity: An Indicator of Low Temperature Fracture Strain in Asphalt Mixtures", Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 47, 1978, págs. 1-18.

11. Terrel, R. & Walter, R., "Modified Asphalt Pavement Materials - The European Experience", Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 28, 1986.

12. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, "Normas para Construcción e Instalaciones", Carreteras y Aeropistas, Pavimentos, Libro 3, México, D.F., 1983.

PENETRACION: Evaluación de la dureza de un asfalto, medida a condiciones estables de temperatura (25 C), mediante el uso de agujas con un peso determinado cuyo objetivo es "penetrar" una cierta profundidad en la muestra a evaluar.

PUNTO DE ABLANDAMIENTO: Es la medida de la temperatura a la cual una muestra de asfalto se reblandece y se evalúa mediante una prueba conocida como "Anillo y Bola". Esta prueba consiste en colocar la muestra de asfalto dentro de un anillo y sobre ella, una esfera metálica con un peso determinado, se coloca a baño maría y cuando el asfalto se reblandece a causa de la temperatura es empujado por el peso de la esfera hacia abajo. La temperatura registrada al momento que el asfalto toca la placa inferior, se conoce como punto de ablandamiento.

DESPLAZAMIENTO: Debido a que el asfalto por sí mismo puede considerarse como un fluido Newtoniano, la resistencia que presenta al flujo, sobre todo a altas temperaturas, no es muy grande y esto se refleja en el pavimento: principalmente en zonas de frenado y de tráfico pesado y se presenta en forma de "ondulaciones".

SANGRADO: El sangrado se presenta como manchas de asfalto más oscuras en el pavimento y se debe a la migración del mismo hacia la parte superior de la carpeta. Una de las razones es por fallas en el diseño, donde la concentración de asfalto en la mezcla es muy alta.