

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



**UTILIZACIÓN DE HULE RECICLADO DE  
NEUMÁTICOS EN PAVIMENTOS**

ANDRÉS BERNHARD MOLINA

GUATEMALA  
2009



**UTILIZACIÓN DE HULE RECICLADO DE  
NEUMÁTICOS EN PAVIMENTOS**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



**UTILIZACIÓN DE HULE RECICLADO DE  
NEUMÁTICOS EN PAVIMENTOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO  
POR ANDRÉS BERNHARD MOLINA  
PARA OPTAR AL GRADO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA  
CIVIL

GUATEMALA  
2009

Vo.Bo.:

(f) \_\_\_\_\_  
Ing. José Leonel Aguilar Girón

Tribunal Examinador:

(f) \_\_\_\_\_  
Ing. Roberto Godo

(f) \_\_\_\_\_  
Ing. José Leonel Aguilar Girón

(f) \_\_\_\_\_  
Ing. Hilary Rottmann

Fecha de aprobación: 08 de diciembre de 2009

## CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS.....	VI
LISTA DE GRÁFICAS.....	VII
LISTA DE TABLAS.....	VIII
RESUMEN.....	IX

### CAPÍTULOS

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES .....	3
A. Aspectos generales de los pavimentos .....	3
1. Definiciones básicas.....	3
2. Tipos de pavimentos .....	4
a. Pavimentos flexibles .....	4
b. Pavimentos rígidos.....	7
c. Pavimentos compuestos .....	9
3. Condiciones deseadas en un pavimento.....	11
B. Red de carreteras en Guatemala.....	12
C. Reciclaje de neumáticos.....	15
1. Método de molienda a temperatura ambiente .....	16
2. Método criogénico .....	17
3. Aplicaciones ingenieriles de neumáticos reciclados.....	18
III. UTILIZACIÓN DE HULE RECICLADO EN PAVIMENTOS.....	19
A. Adición de hule en concreto asfáltico .....	19
1. Descripción general.....	19
2. Historia.....	22
3. Diseño de mezclas con hule .....	23
a. Diseño de hule asfáltico .....	23
b. Diseño de concreto de hule asfáltico.....	27
4. Propiedades físicas y mecánicas obtenidas por la adición de hule .....	29
5. Consideraciones en la construcción .....	37
6. Efectos de la edad y reciclaje en pavimentos con hule .....	40
7. Beneficios y ventajas de su aplicación.....	41
8. Limitaciones.....	43

B.	ADICIÓN DE HULE EN CONCRETO HIDRÁULICO .....	46
IV.	CONSIDERACIONES PARA LA APLICACIÓN DE HULE EN MEZCLAS DE PAVIMENTOS EN GUATEMALA .....	48
A.	Normativa guatemalteca .....	48
B.	Comparación con el uso de polímeros tradicionales.....	50
C.	Estudios realizados en el país .....	53
D.	Consideraciones de costos .....	54
E.	Reciclaje de llantas en el país .....	55
F.	Oportunidad de desarrollo agrícola.....	57
G.	Demanda nacional.....	59
V.	CONCLUSIONES.....	61
VI.	RECOMENDACIONES .....	63
VII.	BIBLIOGRAFÍA.....	64
VIII.	APÉNDICE A .....	68
IX.	APÉNDICE B.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## LISTA DE FIGURAS

Fig. No.1:	Sección típica de una carretera.....	4
Fig. No.2:	Sección típica de una carretera Tipo B.....	4
Fig. No.3:	Distribución de carga en pavimentos flexibles.....	5
Fig. No.4:	Esfuerzos en pavimentos flexibles.....	5
Fig. No.5:	Sección de pavimento flexible.....	7
Fig. No.6:	Sección de pavimento flexible utilizando base de concreto asfáltico.....	7
Fig. No.7:	Sección de pavimento rígido.....	8
Fig. No.8:	Distribución de carga en pavimentos rígidos.....	8

Fig. No.9: Tipos de pavimentos rígidos.....	9
Fig. No.10: Sección de pavimento compuesto.....	10
Fig. No.11: Sección de “White Topping”.....	11
Fig. No.12: Reciclaje de llantas por molienda.....	17
Fig. No.13: Proporciones utilizadas en el diseño de hule asfáltico.....	24
Fig. No.14: Concentración de bitumen vs. distancia en hule de neumáticos de carro....	26
Fig. No.15: Ilustración gráfica del diseño de una mezcla en caliente por el Método Marshall.....	27
Fig. No.16: “Topping” con concreto de hule asfáltico en sistema de capas.....	28
Fig. No.17: Ahuellamiento en una carretera.....	30
Fig. No.18: Deformaciones en un pavimento flexible.....	30
Fig. No.19: Deformación permanente vs. porcentaje de hule en pavimentos reciclados.....	31
Fig. No.20: Agrietamiento por fatiga en un pavimento.....	33
Fig. No.21: RAC-O libremente drenante al lado de una mezcla en caliente de graduación cerrada.....	34
Fig. No.22: Esquema de la producción de hule asfáltico.....	38
Fig. No.23: Regiones con cultivo de hule en Guatemala.....	59

## **LISTA DE GRÁFICAS**

Gráfica No.1: Proporción de la red vial según tipo de rodadura.....	13
Gráfica No.2: Proporción de la red vial según tipo de rodadura (sin tomar en cuenta camino rurales).....	13
Gráfica No.3: Estado de condición superficial red vial pavimentada.....	14
Gráfica No.4: Expectativas de producción de hule en Guatemala hacia el futuro.....	57

## LISTA DE TABLAS

Tabla No.1: Especificaciones de asfaltos modificados con hule.....	23
Tabla No.2: Especificaciones utilizadas en Sudáfrica para los aceites aromáticos....	25
Tabla No.3: Propiedades físicas para análisis de hule asfáltico.....	25
Tabla No.4: Temperaturas para la colocación de la mezcla de concreto asfáltico....	38
Tabla No.5: Propiedades de rejuvenecedor disponible comercialmente.....	40
Tabla No.6: Costos registrados para construcción y rehabilitación de pavimentos en California.....	45
Tabla No.7: Especificaciones de los asfaltos modificados Tipo II.....	49
Tabla No.8: Comparación entre mezclas asfálticas modificadas con polímero y hule asfáltico.....	50
Tabla No.9: Requerimientos de la graduación del agregado para RAC-G según Caltrans. Graduación Discontinua con tamaño máximo de 12.5mm.....	51
Tabla No.10: Requerimientos de la graduación del agregado para RAC-O y RAC-O-HB según Caltrans. Graduación abierta con tamaño máximo de 12.5mm .....	52
Tabla No.11: Requerimientos de la graduación del agregado para mezclas con polímeros según la NAPA. Graduación SMA con tamaño máximo de 12.5mm.....	52
Tabla No.12: Resultados de ensayos de asfalto modificado con hule molido.....	53
Tabla No.13: Producción de hule en Guatemala.....	58
Tabla No.14: Censo poblacional 2008. Resumen general por región.....	58

## **RESUMEN**

Ante la necesidad de adoptar una cultura de reciclaje en Guatemala, se toma la idea de utilizar hule reciclado de neumáticos usados para agregarle a las mezclas de pavimentos asfálticos. Esta adición de hule a los pavimentos ha sido utilizada en otros países y ha demostrado mejoras en sus propiedades físicas y mecánicas (mejor adherencia de los neumáticos, mayor resistencia al agrietamiento por fatiga y contracción, mayor resistencia a la edad, menores deformaciones permanentes, etc.). Además, esta adición reduce el exceso de llantas desechadas y proporciona una solución para el manejo de desechos sólidos conformados por neumáticos.

Este trabajo muestra de forma general los procesos constructivos y las propiedades que se obtienen en las mezclas de pavimentos con la adición de hule, con el fin de mostrar un segmento del mercado al que se pueden orientar los productos derivados del reciclaje de llantas usadas para mejorar las mezclas, reducir materiales y utilizar de forma sostenible el exceso de neumáticos desechados.

# I. INTRODUCCIÓN

Guatemala cuenta con una red vial que se encuentra aproximadamente en un 56% pavimentada, lo cual denota una deficiencia de 44%, según el último reporte de la Dirección General de Caminos. Según análisis hechos por la Secretaría de Integración Económica Centroamericana y otras instituciones, para lograr un crecimiento económico en la región se necesita tener una buena comunicación y redes de transporte adecuadas para movilizar bienes y desarrollar vías que integren el territorio, además de descentralizar a los países.

Muchas de las carreteras pavimentadas existentes se encuentran en mal estado debido al mal mantenimiento, mala calidad de materiales utilizados y malos procesos constructivos, entre otros. De la red pavimentada registrada por COVIAL, 33% se encuentra en malas o muy malas condiciones. Es por esto que es necesario poner énfasis en la selección de los materiales a utilizar y buscar en ellos propiedades que los hagan duraderos, que requieran poco mantenimiento y que cumplan con los requisitos de seguridad vial necesarios.

Los cambios climáticos drásticos y fenómenos meteorológicos extremos que han surgido en los últimos años han confirmado el calentamiento global. Muchos países han optado por cambiar comportamientos dañinos al ambiente, principalmente adoptando una cultura de reciclaje y de reutilización de recursos. Guatemala está comenzando a acoger esta cultura, pero existen todavía muchas deficiencias por superar. Los depósitos y rellenos sanitarios están saturados y cada día surgen más basureros clandestinos que contaminan el ambiente y deterioran la salud de todos los guatemaltecos.

La utilización de hule reciclado en mezclas de pavimentos es una solución tentativa para los dos grandes problemas mencionados anteriormente. La mezcla del pavimento mejora notablemente mediante la adición del hule y de esta forma se está reutilizando un material que bajo condiciones usuales se considera descartable.

Para obtener información de la técnica de la adición de hule a los pavimentos se consultaron normas y prácticas de otros países que ya han implementado con éxito este sistema. Se tomó como base la normativa utilizada en California por la Caltrans (California Department of Transportation). Además, se recopiló información de libros dedicados a este tema y esta información se complementó con artículos científicos de pruebas hechas en laboratorio para analizar aspectos específicos de las mezclas con hule.

Este trabajo pretende ilustrar los métodos constructivos y las ventajas de las aplicaciones ingenieriles de neumáticos usados, principalmente en su uso como parte de la mezcla para pavimentos. Además, pretende ilustrar la búsqueda de alternativas en los componentes de las mezclas de pavimentos para que tengan un mejor desempeño, fomentar la reutilización de materiales para fines constructivos, fomentar una cultura de reciclaje en Guatemala e introducir una nueva opción de industria al país. Se muestran las propiedades de este tipo de mezclas y se evalúa de forma general si es económicamente viable introducir esta técnica y esta industria al país. Además, el trabajo pretende ser un punto de partida para futuras investigaciones más específicas y detalladas de las mezclas con hule.

## II. ANTECEDENTES

### A. Aspectos generales de los pavimentos

#### 1. Definiciones básicas

**a. Pavimento.** Estructura vial que tiene como fin proveer una superficie cómoda, segura y confiable para la libre circulación de vehículos, peatones, etc.

**b. Calzada.** Porción de una carretera destinada al paso de vehículos.

**c. Carril.** Porción de la calzada destinada al paso de vehículos en una dirección.

**d. Subrasante.** Elevación de la terracería sobre la línea central de la carretera

**e. Rasante.** Elevación de la capa de pavimento sobre la línea central de la carretera. Es llamada también capa o carpeta de rodadura.

**f. Pendiente transversal.** Pendiente de la subrasante o la rasante para drenar el agua. También se le conoce como pendiente de bombeo de la carretera. En terracería se utiliza normalmente 3-5% y capas de pavimento entre 2-3%.

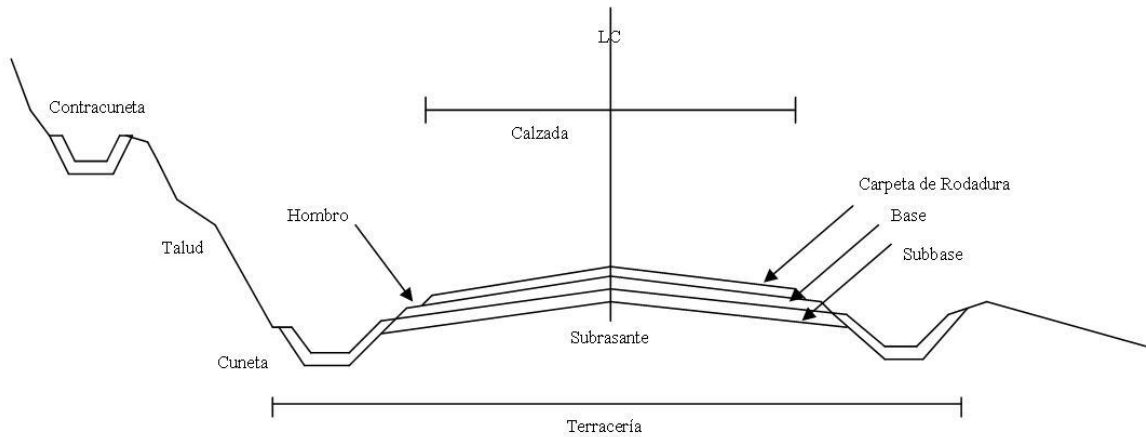
**g. Hombro.** Ancho lateral longitudinal que tiene como fin proteger a la capa de pavimento contra el agua. Además, le da confinamiento y sirve de área de emergencia.

**h. Sub-corona.** Límite de la terracería.

**i. Corona.** Límite de la capa de pavimento. También se le conoce como calzada.

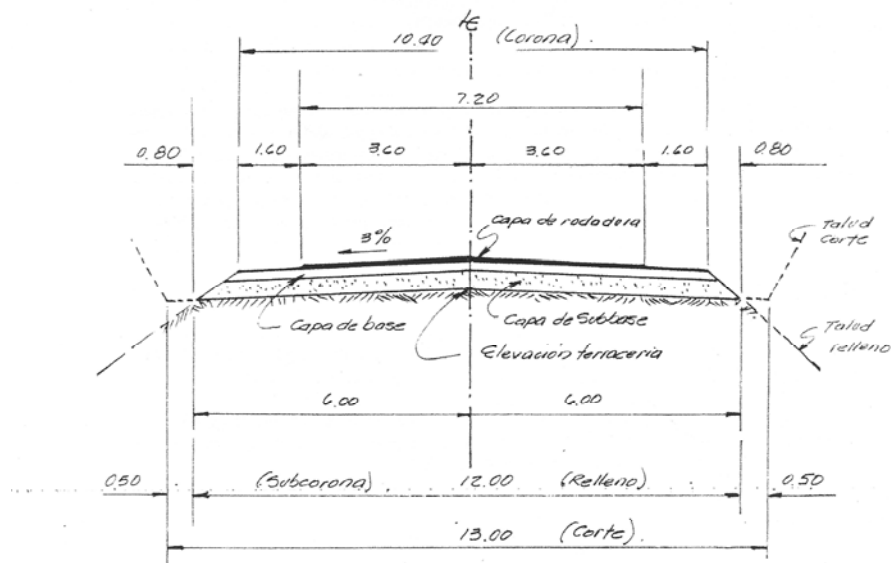
**j. Cuneta.** Estructura que tiene como fin drenar las aguas. Su sección depende de la cantidad de agua a drenar.

**Figura No.1**  
**Sección típica de una carretera**



(Fuente: Elaboración propia)

**Figura No.2**  
**Sección típica de una carretera Tipo B**



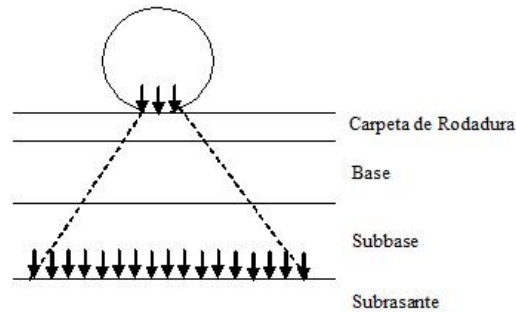
(Fuente: Jerez, 2007:6)

## 2. Tipos de pavimentos

**a. Pavimentos flexibles.** La característica distintiva de este tipo de pavimentos es que aceptan pequeñas deformaciones al ser sometidos a las cargas del tránsito. Son pavimentos construidos de materiales bituminosos y granulares y están constituidos por un sistema de capas donde los materiales en la parte superior contienen mejores

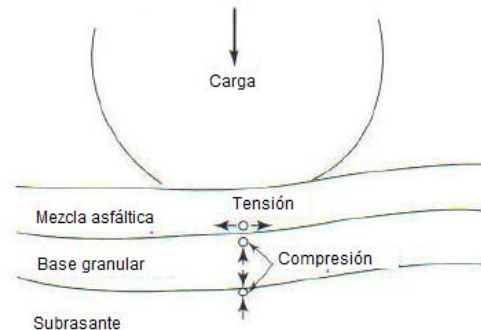
materiales y tienen una intensidad de esfuerzos alta, y una parte inferior donde los materiales son de menor calidad y la intensidad de esfuerzos es baja.

**Figura No.3**  
**Distribución de carga en pavimentos flexibles**



(Fuente: Elaboración propia)

**Figura No.4**  
**Esfuerzos en pavimentos flexibles**



(Fuente: Huang, 2004:3)

La Figura No.5 muestra una sección típica de un pavimento flexible convencional y los espesores usados normalmente. Las capas que contiene este tipo de pavimento según Huang (2004: 9) son:

**1) Sello (Seal Coat).** Superficie delgada de asfalto usada para impermeabilizar la superficie y proveer una adherencia adecuada con los neumáticos de los vehículos. Si la carpeta de rodadura tiene estas características, se puede obviar su utilización.

**2) Carpeta de rodadura (Surface Coat).** Carpeta superior del pavimento. Debe poder resistir las cargas del tráfico y proveer una superficie cómoda con adherencia adecuada. Debe ser impermeable para proteger el pavimento completo y evitar que la subrasante se debilite por efectos del agua.

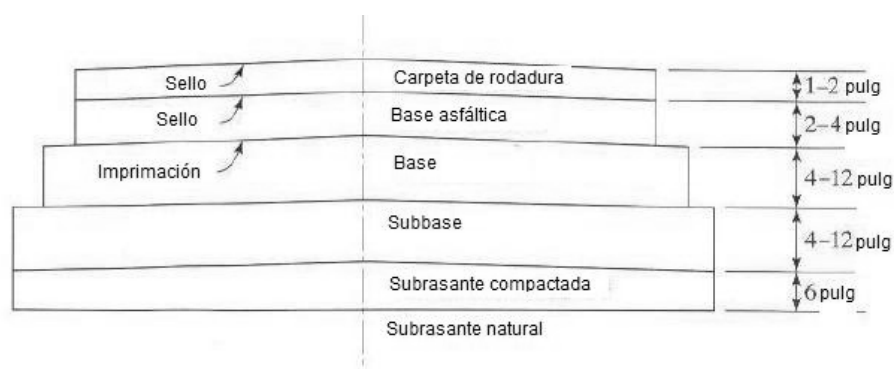
**3) Base de asfalto (Binder Course).** Carpeta asfáltica debajo de la carpeta de rodadura. Se utiliza cuando el espesor de la carpeta de rodadura es muy grande y no se puede compactar en una sola capa. Además, esta capa usualmente consiste de agregados de mayor tamaño y menos contenido de asfalto, por lo que resulta en un diseño más económico.

**4) Sellos e imprimaciones (Seal Coat y Prime Coat).** Los sellos son capas muy delgadas de asfalto, por lo general diluidas con agua para formar una emulsión, utilizadas para garantizar la adherencia entre superficies. La imprimación es la aplicación de un asfalto rebajado (cutback) a una capa absorbente, como lo es la base granular. La diferencia entre un sello y una imprimación es que el sello no requiere penetración en la capa subyacente, mientras que la imprimación llena vacíos y ayuda a prevenir la penetración de agua hacia la superficie inferior.

**5) Base y subbase.** La base es la capa directamente debajo de la carpeta de rodadura o de la base de asfalto. Puede ser de materiales granulares u otros materiales estabilizados. La subbase se encuentra debajo de la base y se utiliza para proveer un pavimento más económico y para drenar al pavimento.

**6) Subrasante.** Parte más profunda del pavimento. Puede ser del material encontrado in-situ o puede ser reemplazado si éste fuera de mala calidad.

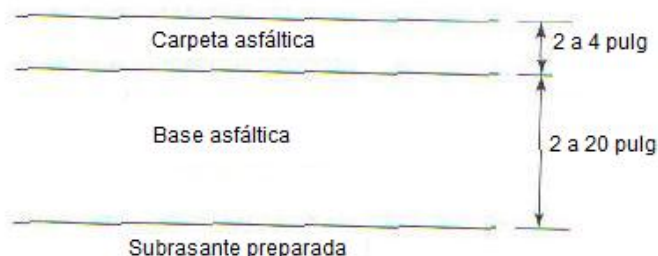
**Figura No.5**  
**Sección de pavimento flexible**



(Fuente: Huang, 2004:9)

Existe un tipo de pavimento que utiliza en sustitución a la base y/o subbase granular una base de concreto asfáltico completa (ver Figura No.6). Este sistema ofrece varias ventajas, pero puede resultar bastante caro debido a la necesidad de más material bituminoso.

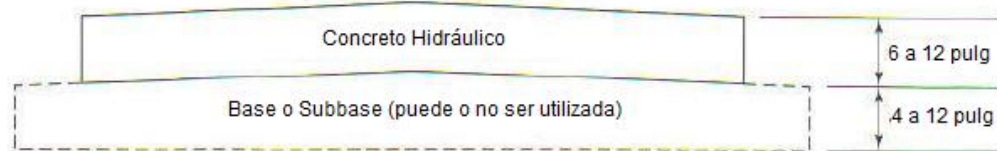
**Figura No.6**  
**Sección de pavimento flexible utilizando base de concreto asfáltico**



(Fuente: Huang, 2004:10)

**b. Pavimentos rígidos.** Los pavimentos rígidos son construidos con concreto hidráulico y en contraste con los pavimentos flexibles, estos no aceptan deformaciones o deflexiones significativas. Los pavimentos rígidos pueden ser preparados directamente sobre la subrasante o sobre una sola capa granular o estabilizada. La construcción de este tipo de pavimentos se basa en placas de concreto separadas por juntas de contracción. El espaciamiento de las juntas depende del tipo de pavimento utilizado. En términos generales, se puede utilizar la relación largo/ancho menor a 1.25.

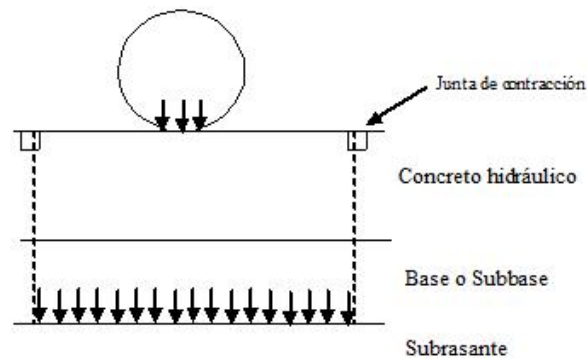
**Figura No.7**  
**Sección de pavimento rígido**



(Fuente: Huang, 2004:11)

Una de las diferencias más significativas entre los pavimentos rígidos y flexibles, aparte de las capas utilizadas, es la distribución de esfuerzos y su transmisión hacia la sub-rasante.

**Figura No.8**  
**Distribución de carga en pavimentos rígidos**



(Fuente: Autor)

Dentro de los pavimentos rígidos podemos encontrar varios tipos, según Huang (2004:14):

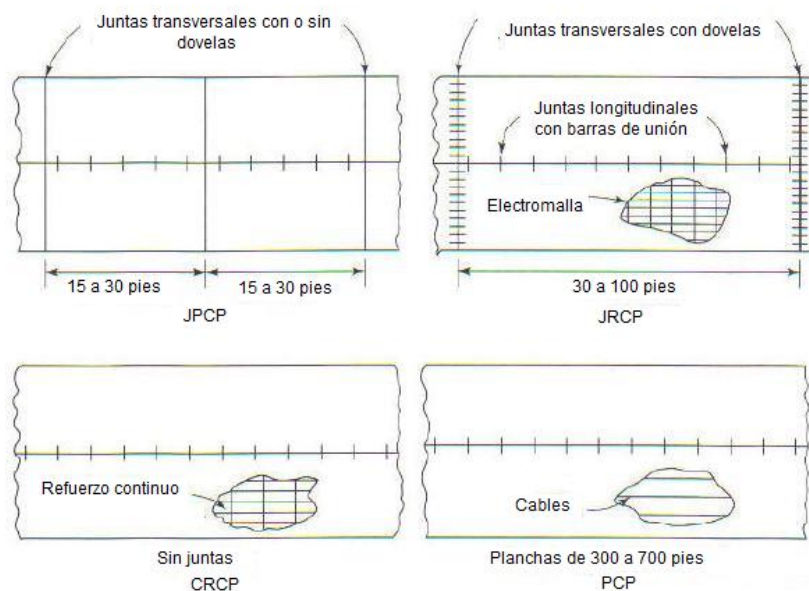
- 1) **Pavimentos sin refuerzo.** No contiene ningún tipo de refuerzo, salvo en juntas de construcción. Las juntas de contracción funcionan a fricción.
- 2) **Pavimento sin refuerzo con dovelas (JPCP).** Este tipo de pavimento no contiene refuerzo, salvo en las juntas donde se colocan dovelas para la transmisión de carga entre placas.

**3) Pavimentos reforzados (JRCP).** Las placas de concreto tienen refuerzo en forma de malla para aumentar el espaciamiento entre juntas y para mantener confinado el concreto de la placa después del agrietamiento.

**4) Pavimentos con refuerzo continuo (CRCP).** Este tipo de pavimento no tiene juntas de contracción debido al refuerzo continuo utilizado. Se caracteriza por la formación de grietas transversales delgadas a intervalos cortos, las cuales son mantenidas unidas por el refuerzo.

**5) Pavimentos pre-esforzados (PCP).** El pre-esfuerzo en los pavimentos reduce significativamente los esfuerzos a tensión generados por las cargas de tráfico. Esto hace que las juntas de contracción se encuentren muy separadas entre sí.

**Figura No.9**  
**Tipos de pavimentos rígidos**

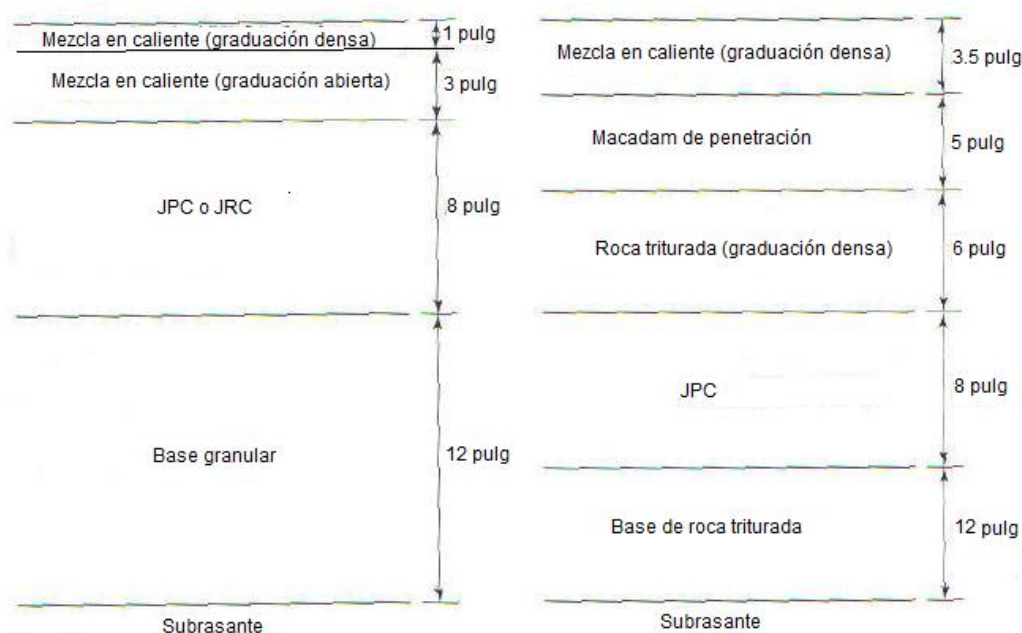


(Fuente: Huang, 2004: 15)

**c. Pavimentos compuestos.** Los pavimentos compuestos están formados de capas de concreto hidráulico y asfáltico. La utilización de una capa de concreto hidráulico en la parte inferior y una de concreto asfáltico en la parte superior resulta en un pavimento ideal con muchas características deseables. La base hidráulica provee una capa

muy resistente y la capa asfáltica una superficie suave y poco reflectiva. Sin embargo, este pavimento es muy caro y no ha sido ampliamente utilizado para carreteras nuevas (Huang, 2004: 17).

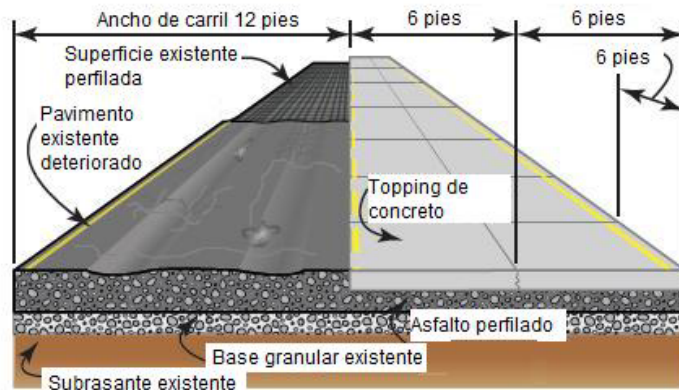
**Figura No.10**  
**Sección de pavimento compuesto**



(Fuente: Huang, 2004: 18)

Existe una variación en la utilización de pavimentos compuestos, llamada “White Topping”, la cual utiliza en la capa superficial concreto hidráulico. Esta aplicación se utiliza en pavimentos existentes de concreto asfáltico que se encuentran en malas condiciones, que no pueden soportar las cargas adecuadamente, que no han tenido un mantenimiento adecuado y/o en los que han aumentado las cargas reales a soportar. La solución ante estos problemas es colocar una capa de concreto hidráulico sobre el pavimento de concreto asfáltico existente para que estos trabajen en conjunto.

**Figura No.11**  
**Sección de “White Topping”**



(Fuente: ACPA, 2008)

**3. Condiciones deseadas en un pavimento.** Las condiciones o características deseadas en un pavimento según Montabes (1951: 2) son las siguientes:

**a. Soporte de las cargas producidas por el tráfico.** Un camino o carretera ha de ser capaz de soportar las cargas recibidas del tráfico, sin que se presenten desplazamientos significativos de la superficie, base o subbase. A esto también se le denomina estabilidad, que a su vez se refiere a la capacidad de impedir roturas internas y desplazamientos de partículas ocasionadas por las cargas del tráfico.

**b. Protección contra el agua.** Si existe un exceso de agua en los materiales de la carretera se puede generar una lubricación de partículas con lo que se pierde estabilidad. Si existe filtración a través del pavimento, se puede producir entumecimiento en algunos terrenos. Por lo tanto, se debe tener cuidado especial en el control de las aguas, tanto de superficie como filtrantes.

**c. Disminución de pérdidas de los materiales de rodamiento.** El tráfico ocasiona desgaste en la carpeta de rodadura. Éste puede ser por abrasión en superficies rígidas o por arrancado y pérdida de elementos de tamaños mayores.

**d. Contextura superficial adecuada.** La carpeta de rodadura debe proveer una superficie segura y confiable para la conducción de los vehículos, pero a su vez debe ser lo suficientemente lisa para que el grado de confort al transitarla sea satisfactorio, y que no dañe los vehículos ni desgaste excesivamente los neumáticos. Además, debe tener un color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos.

**e. Flexibilidad para adaptarse a las fallas de la subbase.** Siempre existen pequeños hundimientos e imperfecciones en la base y la subbase, por lo que la carpeta debe ser capaz de adaptarse de manera flexible para proveer una superficie uniforme (en el caso de pavimentos flexibles).

**f. Resistencia al intemperismo.** El sol, la lluvia, el viento y los cambios de temperatura actúan continuamente sobre la superficie de las carreteras. Una selección y combinación adecuada de materiales hará que el pavimento resista más y prolongue su vida útil.

## **B. Red de carreteras en Guatemala**

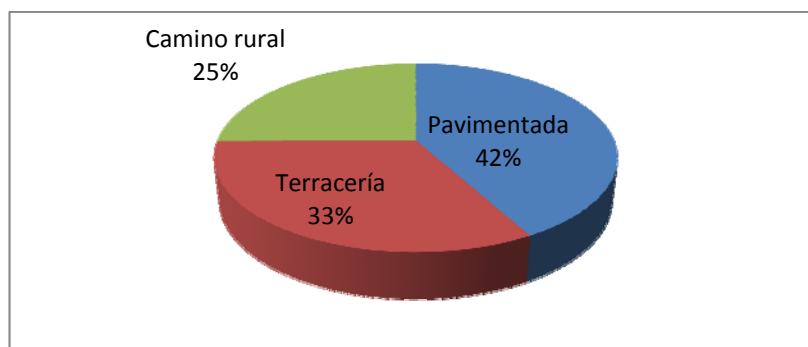
Según el Reporte 2008 de la Dirección General de Caminos (DGC), la red de carreteras en Guatemala consta de 15,464.97km y está dividida en tres grupos según el tipo de rodadura:

1. Asfalto
2. Terracería
3. Caminos rurales

La DGC no hace distinción entre los tipos de pavimentos utilizados (flexibles o rígidos) y únicamente se refiere como “Asfalto” a cualquier tramo que esté pavimentado.

Tomando en cuenta los caminos rurales, la red nacional denota una deficiencia en pavimentación del 58.00%. La Gráfica No.1 muestra la proporción que existe entre cada rubro de la división según el tipo de rodadura que la conforma.

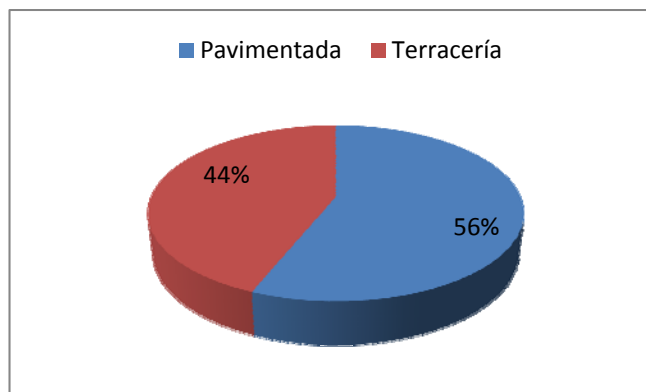
**Gráfica No.1**  
**Proporción de la red vial según tipo de rodadura**



(Fuente: Dirección General de Caminos, 2008)

Si no se toman en cuenta los caminos rurales, el total de las carreteras se encuentra en un 56% pavimentada y un 44% es de terracería. Esta proporción se muestra en la Gráfica No.2.

**Gráfica No.2**  
**Proporción de la red vial según tipo de rodadura (sin tomar en cuenta caminos rurales)**



(Fuente: Dirección General de Caminos, 2008)

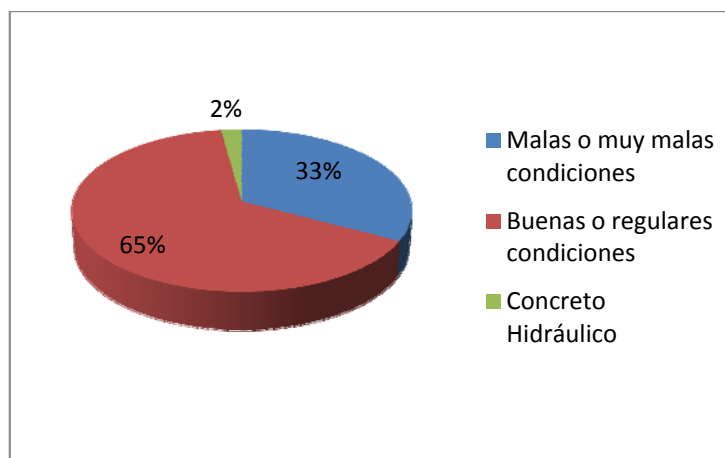
Ambas gráficas mostradas anteriormente denotan la deficiencia de pavimentación que existe en el país. El récord histórico muestra que la red ha ido creciendo año por año y desde 1986 ha crecido aproximadamente 70%. Asimismo, en los últimos veintidós años

la pavimentación de los caminos ha aumentado y se ha evidenciado una disminución en los caminos de terracería, especialmente en los últimos doce años. Sin embargo, el reporte emitido por la Dirección General de Caminos para el año 2008 sigue evidenciando la problemática del país en cuanto a infraestructura vial.

Por otra parte, muchas de las carreteras pavimentadas en Guatemala se encuentran en muy mal estado y no se les proporciona el mantenimiento adecuado para asegurar su duración. La Gráfica No.3 muestra el estado de la red vial actual en Guatemala según el levantamiento efectuado por las empresas supervisoras de COVIAL al 31 de diciembre de 2008. Esta proporción se basa en una red pavimentada de 5,734.08km. El 65% de la red se encuentra en buenas o regulares condiciones, es decir, con una agrietamiento superficial entre 5% y 15%. El 33% de la red se encuentra en malas o muy malas condiciones. Esto significa que tiene entre 15% y 25% de agrietamiento superficial. El restante 2% representa la pavimentación con concreto hidráulico en el país, el cual ha ido en aumento en los últimos años.

**Gráfica No.3**

**Estado de condición superficial red vial pavimentada**



(Fuente: COVIAL, 2009)

Las pobres condiciones en que se encuentra casi un tercio de la red pavimentada y la deficiencia general en pavimentación muestran un escenario desalentador para un país que basa la mayoría de su economía en el transporte por carretera.

### **C. Reciclaje de neumáticos**

El reciclaje ha cobrado mucha importancia en los últimos años debido a los drásticos cambios climáticos que se han experimentado en todo el mundo. El desperdicio de llantas es un problema a nivel mundial ya que, a pesar que no representan un porcentaje significativo del total de los desechos sólidos, presenta un reto especial por su tamaño, forma y naturaleza físico-química.

El tamaño de las llantas se vuelve un problema en depósitos sanitarios, ya que es un desecho no compresible que ocupa mucho espacio. Su forma es perjudicial debido a que puede albergar animales, como ratas y culebras, que son vectores de muchas enfermedades. Además, cuando acumula agua, se convierte en foco de propagación de mosquitos y zancudos que pueden ser transmisores de enfermedades como el dengue y la malaria.

Debido al proceso de vulcanización al que son sometidos los neumáticos, obtener llantas a partir de hule reciclado es un proceso muy complicado y bastante caro. Algunas empresas, como Petra Group (Malasia) con su patente Green Rubber, han logrado crear un proceso de “devulcanización” en el que se rompen los fuertes lazos químicos creados por el primer proceso. Sin embargo, muchos de estos procesos todavía se encuentran en etapa de desarrollo y muchos se encuentran patentados.

Las propiedades mencionadas anteriormente hacen que el reciclaje de llantas se destine fundamentalmente a productos diferentes de neumáticos, los cuales pueden ser obtenidos a partir de procesos físicos o químicos que no involucren un cambio molecular significativo en el hule. Esto se refiere a una reducción en su tamaño, es decir, el producto final son partículas del mismo hule en diferentes tamaños, según su utilización.

Existen diversos métodos para reciclar hule. Debido a que el enfoque de esta investigación es para su uso como parte de las mezclas en los pavimentos, no se tratarán los métodos que involucran cambios químicos en el hule, como la pirolisis.

Se mencionarán únicamente los métodos mecánicos principales para la reducción de tamaño del hule.

**1. Método de molienda a temperatura ambiente.** Este es un método mecánico en el cual se busca la reducción del tamaño del hule para utilizarlo en diferentes aplicaciones. La primera fase de molienda involucra cortar las llantas enteras en pedazos relativamente grandes por medio de cuchillas atadas a un rotor. En este proceso se obtienen partículas entre 9.5mm y 2mm.

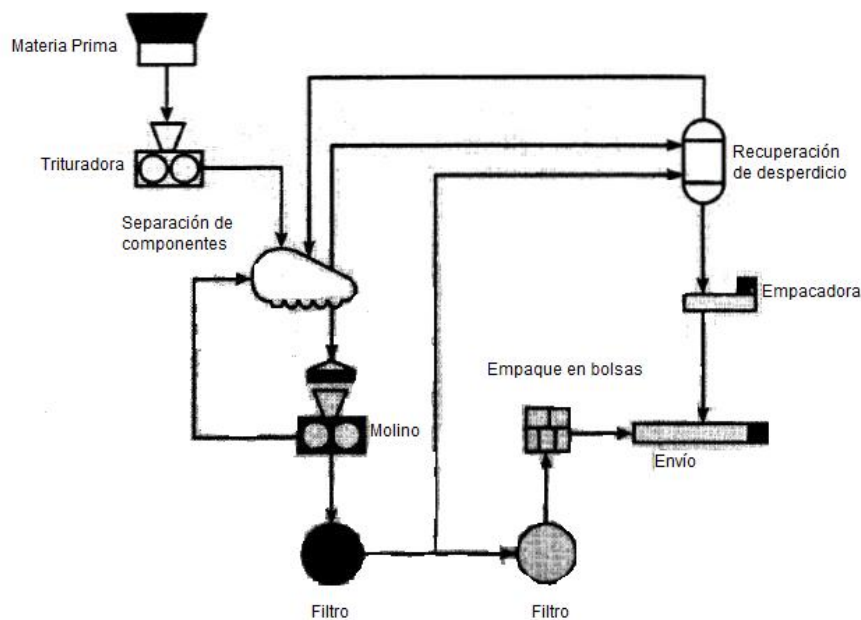
La segunda fase involucra otro tipo de maquinaria (crackermill) que corta los pedazos obtenidos de la primera fase en pedazos más pequeños (4.75mm-425micrones, tamiz No.4 a No.40).

Luego de esta fase, el metal de la estructura (aproximadamente 15% del total de material, en masa) se retira magnéticamente del hule y puede ser reciclado por separado. Por medio de tamizadores se separan el resto de materiales que contiene el hule (nylon y fibra de vidrio). Éstos constituyen alrededor del 15% del material obtenido.

Dependiendo del uso, el hule limpio de metal y fibras puede ser molido de nuevo para obtener partículas más pequeñas. En este último proceso se puede utilizar un medio líquido, usualmente agua, en la molienda (micro-mills). Las partículas obtenidas de este proceso son más pequeñas que 425micrones (pasa tamiz No.40).

Este método tiene la desventaja de que aumenta mucho la temperatura del hule, lo cual puede resultar en la combustión inesperada del material cuando se encuentra en pilas de almacenamiento de mucha altura. La Figura No.12 muestra un ejemplo de una línea de producción utilizando este método. En este caso, se utilizan magnetos entre los procesos de molienda para retirar el acero de los neumáticos.

**Figura No.12**  
**Reciclaje de llantas por molienda**



(Fuente: Brown, 1997: 22)

**2. Método criogénico.** En este método, la llanta se somete a bajas temperaturas al ser sumergida en nitrógeno líquido. Al alcanzar la congelación, el hule se vuelve frágil y puede ser retirado por medio de golpes de la estructura metálica de la llanta. Posteriormente, las partículas obtenidas pueden ser molidas para obtener diferentes tamaños según su aplicación.

Este método tiene la desventaja de ser bastante caro debido al proceso de congelación de los neumáticos. Sin embargo, muchas plantas nuevas han optado por este sistema debido a la rapidez y al hecho de que no son necesarios tantos procesos intermedios para limpiar el hule del resto de los materiales de los neumáticos.

### 3. Aplicaciones ingenieriles de neumáticos reciclados

**a. Asfalto modificado con hule.** El hule en partículas puede ser añadido a mezclas asfálticas. Puede ser usado como parte de los sellos, de la carpeta, en juntas, etc. o como sustituto de agregados en el concreto asfáltico.

**b. Relleno de subrasantes, terraplenes y muros de contención.** Neumáticos molidos pueden ser usados como rellenos de subrasantes en la construcción de hombros de carreteras u otros proyectos de relleno. También pueden ser utilizados para formar terraplenes. Además, debido a su baja densidad, se ha utilizado en la parte trasera de muros de contención para reducir presiones sobre el muro y servir como una capa drenante. En otros casos, se apilan las llantas sin moler para formar muros de contención. En esta aplicación, los neumáticos se llenan con tierra para darle más estabilidad el muro.

**c. Construcción y operación en rellenos sanitarios.** Los neumáticos molidos pueden ser utilizados en rellenos sanitarios para crear rampas y accesos, y pueden servir además como material para cubrir el resto de los desechos.

**d. Rompeolas y construcciones de arrecifes artificiales.** Las llantas pueden ser apiladas y unidas con tornillos de nylon para formar rompeolas y arrecifes artificiales.

**e. Sistemas de drenaje.** Hule molido ha sido utilizado como sustitución de grava en drenajes franceses o en sistemas sépticos.

### III. UTILIZACIÓN DE HULE RECICLADO EN PAVIMENTOS

#### A. Adición de hule en concreto asfáltico

**1. Descripción general.** El hule reciclado de las llantas es una mezcla de hule sintético, hule natural, antioxidantes, aceites de dilatación y otros materiales que es soluble en mezclas asfálticas. Existen dos métodos generales para la utilización de hule en mezclas de pavimentos. El proceso frío es un método que incluye hule en partículas como sustituto de 1% a 3% de los agregados en mezclas de concreto asfáltico. Se utilizan diferentes graduaciones, variando en tamaño desde 6.3mm hasta 180micrones. Se debe poner especial cuidado al diseño de este tipo de mezclas debido al bajo peso específico del hule en comparación con el resto de agregados. En este proceso, no se considera que haya un cambio sustancial en el cemento asfáltico debido a la adición del hule.

El segundo método se llama proceso caliente. En este caso, existe una modificación del cemento asfáltico debido a la adición de hule y ésta se realiza antes de mezclarse con el resto de los componentes del pavimento. El producto obtenido de este proceso se denomina hule asfáltico. Según la definición de la ASTM, el hule asfáltico es una mezcla de cemento asfáltico, hule reciclado de neumáticos y ciertos aditivos, en la que el componente de hule es por lo menos 15% del total de la mezcla en peso y ha reaccionado suficientemente en el cemento asfáltico caliente para causar hinchamiento de las partículas de hule. Las especificaciones para el hule asfáltico están en la norma ASTM 6114 “Standard Specification for Asphalt Rubber Binder”.

Dentro del hule asfáltico podemos encontrar dos variaciones: 1) sin agitación y 2) alta viscosidad. El primero se refiere a agentes cementantes modificados con partículas de hule que no requieren agitación para mantener a las partículas uniformemente distribuidas en la mezcla. En el segundo requiere agitación para mantener las partículas de hule distribuidas. Este tipo de hule asfáltico requiere por lo menos 15% de hule para alcanzar

la viscosidad deseada. Este trabajo se enfoca principalmente al hule asfáltico de alta viscosidad.

Existen cuatro aplicaciones principales de hule asfáltico (Caltrans, 2006: 2-8):

**a. RAC-G.** El RAC-G (Rubber Asphalt Concrete – Gap-graded) consiste en una mezcla con agregado que no está graduado para todos los tamaños de partículas. A esta graduación se le llama discontinua. No contiene o contiene muy poco de partículas que pasan el tamiz No.8. Este tipo de granulometría hace que haya más contacto entre las partículas de mayor tamaño.

El RAC-G funciona como una capa estructural en el pavimento y es más efectivo cuando se utiliza en capas compactadas de 30mm a 60mm. Si el pavimento demanda una capa de mayor espesor, es necesario colocar una capa de concreto de mezcla asfáltica en caliente antes para poder obtener el espesor suficiente.

Puede ser utilizado como capa de reparación o “topping” (ver Pavimentos Compuestos) o en nuevas construcciones para un rango amplio de volúmenes de tránsito y cargas. Además, puede ser utilizado en áreas urbanas donde existe tránsito interrumpido como en intersecciones y calzadas. Este tipo de mezcla no se recomienda para parqueos debido a que estos pavimentos están sujetos a frenos simultáneos y movimientos de cruce frecuentes.

**b. RAC-O.** El RAC-O (Rubber Asphalt Concrete – Open-graded) contiene una granulometría que tiene el propósito de ser drenante y consiste en su mayoría de dos o tres tamaños nominales de partículas de agregado con pocos finos y 0-4% (en masa) que pasa el tamiz No.200. A la graduación utilizada se le llama abierta. Estas mezclas se utilizan como carpetas de rodadura delgadas.

Este tipo de mezcla puede utilizarse como capa de reparación o en construcciones nuevas. Es una carpeta de rodadura para carreteras donde el flujo del

tránsito es principalmente ininterrumpido, como en carreteras principales o autopistas. No debe ser utilizado donde el tránsito es muy interrumpido o donde existen cruces frecuentes, como en ciudades y parqueos, debido a que se trata de un pavimento poroso con un módulo de elasticidad bajo que es susceptible a daños por líquidos derramados de los vehículos.

El RAC-O es muy efectivo como reparación o “topping” en pavimentos de concreto hidráulico y asfáltico donde hay juntas o grietas muy marcadas. Se usa también para restaurar las características de fricción de algunas rasantes y para proteger las capas subyacentes. En pavimentos nuevos de concreto asfáltico puede utilizarse como rasante en espesores máximos de 45mm y puede colocarse también sobre capas de 60mm de RAC-G. Además, puede ser utilizado como rasante en construcciones nuevas de pavimentos compuestos.

### **c. Riegos de hule asfáltico**

1) **SAM** (Stress-Absorbing Membranes). Estos sellos consisten en el uso de hule asfáltico como riego uniforme en pavimentos existentes, sobre el cual es aplicada una capa de agregado usualmente de 3/8”. Sobre el agregado se aplica una capa uniforme de emulsión. Estos sellos se utilizan en el mantenimiento preventivo y correctivo de rasantes con deficiencias superficiales, para sellar y proteger al pavimento de la intrusión de agua, para restaurar propiedades de fricción y para proteger a la superficie de la oxidación. Estos sellos no añaden resistencia estructural o corrigen problemas del perfil de la carretera debido a que la capa es muy delgada. Este tipo de aplicación puede resultar en un pavimento poco confortable y bastante ruidoso.

2) **SAMI-R** (Stress-Absorbing Membrane Interlayers). Tipo de sello que es cubierto con una capa convencional de concreto asfáltico o de mezcla en caliente. Se usan como mantenimiento correctivo debajo de “toppings” y como una herramienta en rehabilitación, pero no son utilizados en construcciones nuevas. Sirve para interrumpir la

propagación de grietas y han demostrado buen comportamiento para evitar el agrietamiento en “toppings” sobre concreto hidráulico y asfáltico.

Los productos de hule asfáltico pueden ser usados en cualquier pavimento donde se utilizaría concreto asfáltico o un tratamiento superficial bituminoso. Las mezclas en caliente de hule asfáltico son más efectivas como capas de rehabilitación de pavimentos flexibles o rígidos que se encuentran en malas condiciones. Debido a las características obtenidas en el pavimento, el RAC-G generalmente puede sustituir en rehabilitaciones de pavimentos a una mezcla asfáltica en caliente, pero con la mitad de espesor.

Los productos de hule asfáltico son bastante susceptibles a la temperatura (ver Diseño de Mezclas con Hule y Consideraciones en la Construcción). Sin embargo, han sido aplicados con bastante éxito en la mayoría de zonas geográficas y climáticas de California, con excepción de algunas zonas costeras (Caltrans, 2006: 1-6), de lo cual se puede concluir que su aplicación es viable para la mayoría de las regiones de Guatemala.

**2. Historia.** A pesar que el uso de materiales de hule asfáltico no ha sido muy divulgado en América Latina, su desarrollo comenzó a finales de la década de 1930 en aplicaciones como sellos de juntas, parches y membranas. En los años 1960s y 1970s se realizaron trabajos extensos con este tipo de materiales y se desarrolló el proceso caliente para producirlo y aplicarlo en tratamientos de superficie en reparaciones y mantenimiento. En 1978 se construyó en California el primer concreto asfáltico con hule como proceso frío, el cual contenía 1% de hule (en masa) del agregado. En los años 80, se llevaron a cabo varios proyectos utilizando el proceso caliente y su aceptación fue creciendo cuando se observaron las ventajas de su uso. Para 1995, en California se habían construido más de 400 proyectos con hule asfáltico, incluyendo sellos.

En 2005, Caltrans (California Department of Transportation) llevó a cabo una investigación para determinar la equivalencia estructural del RAC-G con una mezcla asfáltica en caliente. Los resultados indicaron que para nuevas construcciones, el espesor máximo de RAC-G debe ser 60mm y debe ser colocado preferiblemente en una capa

convencional de mezcla asfáltica que sobre la base. El RAC-O no debe tener un espesor mayor a 45mm y sólo debe ser utilizado como carpeta de rodadura. Para espesores mayores de 45mm, el RAC-O puede ser colocado sobre 60mm de RAC-G. Además, para construcciones nuevas y en contraste con las rehabilitaciones, el espesor total del pavimento no debe ser reducido si se utiliza concreto de hule asfáltico.

### 3. Diseño de mezclas con hule

**a. Diseño de hule asfáltico.** Para obtener hule asfáltico es necesario utilizar una base de cemento asfáltico. Las bases utilizadas normalmente son cementos asfálticos con una graduación por desempeño PG 58-22 (según especificaciones Superpave) para áreas donde se tienen cambios de temperatura bastante grandes y las grietas por contracción son críticas, y PG 64-16 para áreas donde no se tienen cambios de temperatura drásticos. Estas bases han tenido buenos resultados en Arizona, California, Texas y Florida (Caltrans, 2006: 2-2). En Guatemala, la base utilizada normalmente para mezclas en caliente convencionales, basada en una graduación por viscosidad, es una AC-20 (AASHTO M 226). Esta graduación, para los asfaltos producidos en Guatemala, equivale a una graduación por desempeño PG 64-22, la cual satisface las dos graduaciones por desempeño indicadas anteriormente.

**Tabla No.1**

#### **Especificaciones de asfaltos modificados con hule**

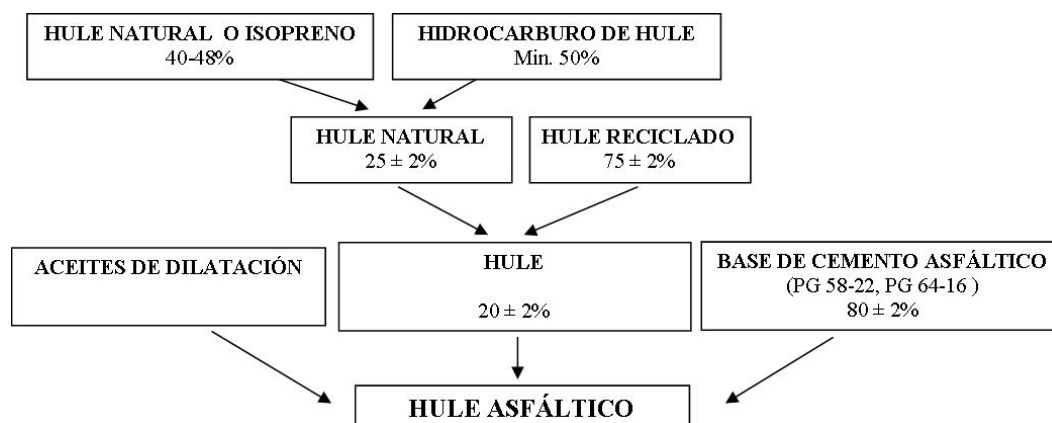
Binder Designation <sup>A</sup>		Type I	Type II	Type III
Apparent Viscosity, 175°C (347°F): cP Modified Test Method D 2196, Method A, (see 5.4) <sup>B,C</sup>	min	1500	1500	1500
Penetration, 25°C (77°F) 100g, 5 s: 1/10 mm (Test Method D 5)	max	5000	5000	5000
Penetration, 4°C (39.2°F), 200g, 60 s: 1/10 mm (Test Method D 5)	min	25	25	50
Softening Point: °C (°F) (Test Method D 36)	max	75	75	100
Resilience, 25°C (77°F): % (Test Method D 5329)	min	10	15	25
Flash Point: °C (°F) (Test Method D 93)	min	57.2 (135)	54.4 (130)	51.7 (125)
Thin-Film Oven Test Residue (Test Method D 1754) <sup>D</sup>	min	25	20	10
Penetration Retention, 4°C (39.2°F): % of original (Test Method D 5)	min	232.2 (450)	232.2 (450)	232.2 (450)
		75	75	75

(Fuente: ASTM D6114-97-02, 2004: 2)

La Tabla No.1 muestra las propiedades especificadas por la ASTM para el hule asfáltico utilizado en pavimentos. Se muestran las pruebas que se deben realizar y los valores permisibles para cada rubro específico.

Existen diferentes proporciones utilizadas en la adición de hule. Las especificaciones actuales para hule asfáltico utilizadas en California requieren entre  $20\pm 2\%$  del total del agente cementante en masa. El hule añadido debe contener  $25\pm 2\%$  de hule natural (incluye 40-48% de hule natural y un mínimo de 50% de hidrocarburos de hule; este hule puede ser obtenido, por ejemplo, de algunas llantas de camiones o de pelotas de tenis) y un  $75\pm 2\%$  de hule reciclado. El hule reciclado consiste principalmente de partículas que pasan el tamiz No.10 a No.30 (2mm a 600 micrones). El hule natural consiste de partículas más finas, principalmente que pasan el tamiz No.16 a No.50 (1.18mm a 300micrones).

**Figura No.13**  
**Proporciones utilizadas en el diseño de hule asfáltico**



(Fuente: Caltrans, 2006)

La adición de hule natural se debe principalmente a que mejora la unión entre los agregados y la membrana de hule asfáltico. Para esto también contribuyen los aceites de dilatación (extender oils) que se le añaden a la mezcla. Estos funcionan como agentes para mejorar el hinchamiento de las partículas de hule y para mejorar la dispersión en la mezcla. Para el uso en concreto de hule asfáltico (Rubber Asphalt Concrete, RAC) se

recomienda utilizar 1% en masa de la mezcla. Cantidades mayores a 1% podrían reducir significativamente la viscosidad de la mezcla, por lo que no es recomendable en especial en climas muy cálidos o donde se tiene tráfico pesado. Para sellos (SAM), el contenido de aceite se encuentra entre 2.5-6% del total del cemento asfáltico en masa. La Tabla No.2 muestra las propiedades que debe cumplir un aceite de dilatación en una mezcla para hule asfáltico, según la regulación utilizada en Sudáfrica. Estas propiedades están basadas en normas ASTM.

**Tabla No.2**  
**Especificaciones utilizadas en Sudáfrica para los aceites aromáticos**

Property	Requirements	Test method
Viscosity at 40°C (minimum) cP	2 500	ASTMD 88 [ASTM]
Flash point, COC, °C	200	ASTMD 92 [ASTM]
Compositional analysis		
Asphaltness, % by mass (maximum)	0,1	ASTMD 2007 [ASTM]
Aromatics, % by mass (minimum)	55,0	

(Fuente: Potgieter, 2003: 2)

Caltrans ha desarrollado estas proporciones para cumplir con cuatro propiedades físicas particulares de la mezcla: viscosidad, resiliencia, prueba de anillo y bola, y penetración. La Tabla No.3 muestra un ejemplo de pruebas obtenidas en laboratorio para una mezcla y los límites permisibles para cada característica específica.

**Tabla No.3**  
**Propiedades físicas para análisis de hule asfáltico**

Test Performed	Minutes of Reaction					45 minutes Specification Limits***
	45	90	240	360	1,440	
Viscosity, Haake at 190°C, Pa's, (10 <sup>-3</sup> ), or cP (*See Note)	2400	2800	2800	2800	2100	1500 – 4000
Resilience at 25°C, % Rebound (ASTM D5329)**	27	--	33	--	23	18 Minimum
Ring & Ball Softening Point, °C (ASTM D36)	59.0	59.5	59.5	60.0	58.5	52 – 74
Cone Pen. at 25°C, 150g, 5 sec., 1/10 mm (ASTM D217)	39	--	46	--	50	25 – 70

Notes regarding specified test procedures for Asphalt Rubber Binder

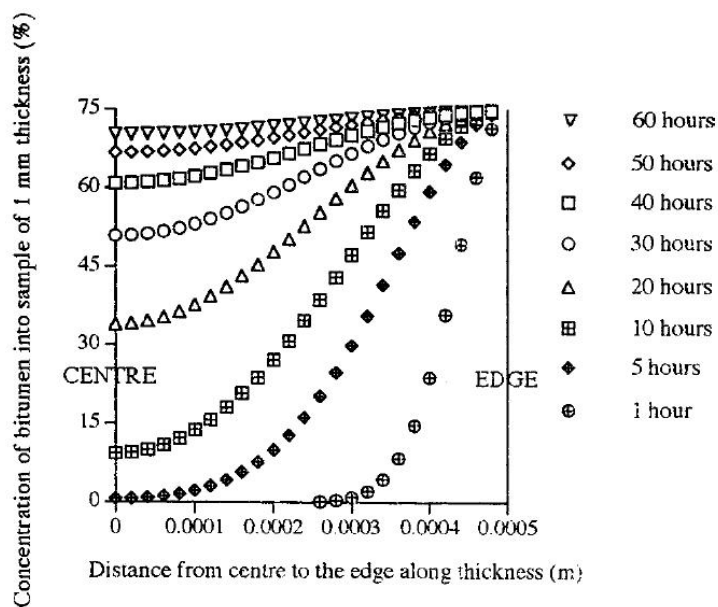
- \* The viscosity test shall be conducted using a hand-held Haake viscometer ....or equivalent.
- \*\* ASTM D 5329 has replaced ASTM D3407
- \*\*\* Per Caltrans specifications as of September 2006

(Fuente: Caltrans, 2006: 2-4)

Debido a que existe una interacción entre el bitumen y el hule, Frantzis (2004: 387) desarrolló un método de prueba para estudiar la difusión del bitumen en el hule determinando la tasa de intrusión de bitumen en el hule (coeficiente de difusión) y la solubilidad del bitumen (concentración en equilibrio o coeficiente de solubilidad) a 180°C. Este método se basa en la teoría de adhesión y busca predecir la variación de la concentración de bitumen en el hule producido comercialmente.

La Figura No.14 muestra el comportamiento del bitumen en una muestra de hule de 1mm, desde el centro hasta la orilla, para diferentes tiempos de inmersión de la muestra. Este análisis puede ser muy útil para la producción del hule asfáltico, ya que con esta información se puede obtener un tiempo adecuado de mezcla. Un tiempo de mezcla muy corto podría causar que el bitumen y el hule no estén interactuando correctamente, y un tiempo de mezcla muy larga podría resultar en costos innecesarios.

**Figura No.14**  
Concentración de bitumen vs. distancia en hule de neumáticos de carro

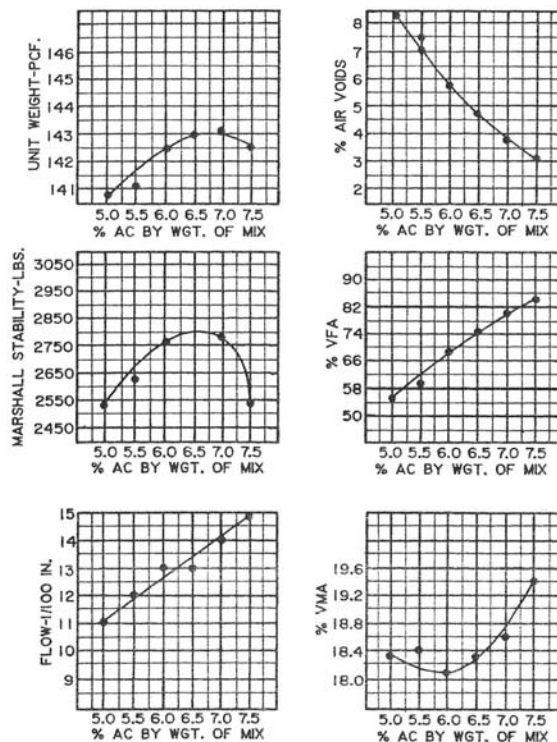


(Fuente: Frantzis, 2004: 388)

**b. Diseño de concreto de hule asfáltico.** En método tradicional usado en Guatemala para diseñar mezclas asfálticas en caliente es el Método Marshall. Éste tiene como objetivo principal buscar en la mezcla un porcentaje de vacíos adecuado (4%) para cuando el pavimento cumpla su tiempo de vida útil. El método consiste en encontrar en una pastilla de laboratorio compactada a 75 golpes por cara, para tránsito pesado, el contenido de asfalto que corresponde a la mediana del porcentaje de vacíos de las especificaciones. Luego, ese contenido de asfalto es usado para determinar los valores de estabilidad Marshall, vacíos en el agregado mineral (VMA), flujo y porcentaje de vacíos llenado de las gráficas mostradas en la Figura No.15. Cada valor se compara con los valores establecidos en las especificaciones y si todas las características cumplen, el contenido de asfalto para el 4% de porcentaje de vacíos es el óptimo. Si algún valor se encuentra fuera de los rangos de las especificaciones, la mezcla debe ser rediseñada.

**Figura No.15**

**Ilustración gráfica del diseño de una mezcla en caliente por el Método Marshall**



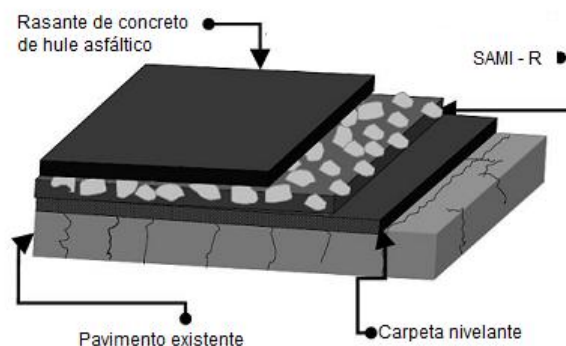
(Fuente: National Center for Asphalt Technology, 1996: 261)

El uso de hule asfáltico en mezclas en caliente está típicamente limitado a graduaciones discontinuas y abiertas debido a que son las más efectivas con respecto a rendimiento y costo. Debido a la alta viscosidad de la mezcla, no se recomienda usar hule asfáltico en mezclas con graduaciones densas porque no hay suficiente espacio de vacíos para acomodar adecuadamente la mezcla de hule para mejorar el rendimiento del pavimento resultante. Sin embargo las graduaciones densas son adecuadas cuando se usan mezclas con hule sin agitación, cuya aplicación no se tratará en el presente trabajo.

El diseño de la mezcla RAC-G puede dividirse en dos enfoques diferentes: 1) diseño para “toppings” y 2) diseño para pavimentos nuevos. El primer diseño tiene el enfoque de proveer al pavimento por rehabilitar 10 años más de vida útil. Se basa en mejorar estructuralmente el pavimento, retardar el agrietamiento y mejorar el confort. El diseño involucra determinar el espesor de la capa para una carpeta convencional de mezcla en caliente, basada en la deflexión del pavimento y el tránsito medidos, para luego ajustar el espesor acorde a las equivalencias entre la mezcla en caliente y el RAC-G. Para espesores de hasta 60mm, basándose en consideraciones estructurales, el RAC-G puede considerarse equivalente a una mezcla en caliente tradicional. Debido a las características obtenidas en el pavimento, el RAC-G generalmente puede sustituir a una mezcla asfáltica en caliente, pero con la mitad de espesor en las rehabilitaciones de pavimentos. En estas rehabilitaciones pueden utilizarse también sistemas de capas como se muestra en la Figura No.16.

**Figura No.16**

**“Topping” con Concreto de Hule Asfáltico en Sistema de Capas**



(Fuente: Caltrans, 2004: 2-7)

El segundo diseño, es decir para construcciones nuevas, se basa en las pruebas CT 367 (California Tests) que incluyen la compactación Hveem. Este diseño incluye tolerancias bajas para la estabilidad de Hveem (mínimo 23), requerimientos de vacíos en el agregado mineral (VMA) de 18-23% y un contenido de agente cementante significativamente mayor que una mezcla en caliente convencional con un 7% del agregado seco en masa. El contenido de vacíos de aire es similar que una mezcla en caliente graduada densamente, y está especificado en un rango de 3-5% basado en el clima y tránsito. Diseños de mezclas típicos buscan un 4% de contenido de vacíos de aire. Para condiciones con tráfico pesado elevado y/o temperaturas ambientales altas, el contenido de vacíos de aire aumenta a 5% para aumentar la resistencia y evitar el ahuellamiento. Para carreteras rurales con relativamente poco tránsito, el contenido de vacíos de aire de diseño puede ser reducido a 3-4% para proporcionar durabilidad.

Dado que las relaciones volumétricas indicadas anteriormente coinciden con las normas de construcción aplicadas en Guatemala, se considera que el procedimiento indicado anteriormente puede ser aplicado en nuestro medio substituyendo el uso del Método Hveem por el Método Marshall.

El diseño del RAC-O se realiza de acuerdo a la CT 368, con un contenido de hule asfáltico 20% mayor que el obtenido para un agente cementante PG con una prueba de drenaje. Los riegos de hule asfáltico se diseñan de acuerdo a las especificaciones mencionadas en “Diseño de hule asfáltico”, con la variación que el valor de viscosidad máxima es 3,000cPs en lugar de 4,000cPs. Esto asegura que la aplicación del sello sea uniforme y que la mezcla sea manejable durante la construcción del sello.

#### **4. Propiedades físicas y mecánicas obtenidas por la adición de hule**

**a. Resistencia al ahuellamiento.** La resistencia al ahuellamiento es un indicador de la deformación permanente que va a sufrir un pavimento con el tiempo. Se considera como una falla estructural característica de pavimentos flexibles generada por exceso de

tráfico, cargas muy grandes, malos procesos constructivos y altas temperaturas durante el servicio de la carretera.

**Figura No.17**

**Ahuellamiento en una carretera**

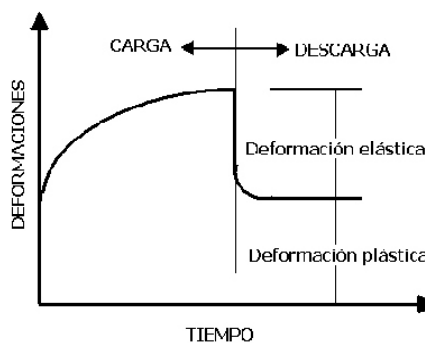


(Fuente: Reyes; Camacho, 2004: 47)

Un pavimento flexible experimenta deformaciones elásticas y plásticas. Las primeras se recuperan cuando la carga es retirada, mientras que las segundas se acumulan y son las que provocan el ahuellamiento. La Figura No.18 muestra un esquema del comportamiento de las deformaciones en un pavimento flexible cuando es sometido a carga y descarga.

**Figura No.18**

**Deformaciones en un pavimento flexible**



(Fuente: Reyes; Camacho, 2004: 47)

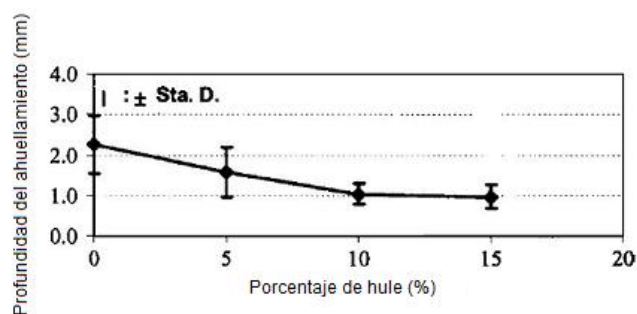
Reyes y Camacho (2004: 49) realizaron un ensayo para demostrar la incidencia en la deformación permanente que tiene la adición de hule al concreto

asfáltico. En este caso, se añadió el hule en proceso frío, es decir, como parte del agregado. Se utilizaron tres variantes en la adición de hule: 1) hule en polvo (pasa tamiz No.40), 2) hule en tiras (1mm de espesor por 15mm de longitud), y 3) una mezcla de 50% del primero y 50% del segundo. Se utilizó una mezcla asfáltica de graduación densa, con granulometría 0/10 y una asfalto con penetración 60/70, la cual es utilizada en la construcción de pavimentos en Bogotá. Por medio del método de Marshall, se determinó 6.5% de asfalto como porcentaje óptimo para la mezcla. El hule fue añadido en proporciones de 0.15% a 0.75% con respecto al peso de los agregados, en intervalos de 0.15%.

Los resultados de los ensayos demostraron que la mezcla presentó un menor ahuellamiento al agregar hule en polvo y fibra. Se alcanzó una disminución en la deformación de hasta 23%. En cuanto a la estabilidad de la mezcla (con 50 golpes de compactación), ésta aumentó al añadir hule en todas las formas en porcentajes de 0.15%, 0.30% y 0.60%. Para 75 golpes, el incremento de la estabilidad se dio para porcentajes de 0.15%, 0.3% y 0.45% en forma de fibra. Con la adición de hule en polvo, la estabilidad bajó para 0.15%, 0.3% y 0.45%. Por otro lado, este ensayo destacó que al utilizar la tercera variante (50% polvo y 50% fibras), los resultados no fueron favorables, ya que la deformación aumentó en un 33%. Cabe mencionar que los porcentajes utilizados para este ensayo se encuentran debajo del rango utilizado por Caltrans, es decir, debajo del 1%. Esto puede atribuirse a la variación entre los materiales utilizados en Bogotá y en California.

**Figura No.19**

**Deformación permanente vs. porcentaje de hule en pavimentos reciclados**



(Fuente: Xiao et al, 2007: 481)

Xiao *et al* (2007: 475) realizaron un ensayo para demostrar el aumento en la resistencia a la deformación permanente en concreto asfáltico reciclado con la adición de hule. En este ensayo, se utilizó el proceso caliente, es decir, con la adición de hule como parte del bitumen. Este ensayo demostró que al aumentar el contenido de hule, la rigidez del pavimento disminuye. Sin embargo, esta adición en la mezcla en caliente aumenta efectivamente la resistencia al ahuellamiento. En términos generales, la adición de hule asfáltico mostró un mejor comportamiento en comparación a las mezclas con cementantes vírgenes. La Figura No.19 muestra la disminución del ahuellamiento con el aumento del porcentaje de hule añadido para una mezcla con 25% de contenido de mezcla reciclada.

Este ensayo demostró además que el uso de hule obtenido por el método por molienda a temperatura ambiente y por el método criogénico produce resultados similares en cuanto a resistencia indirecta a tensión. Sin embargo, el hule obtenido por el método a temperatura ambiente mostró un mejor comportamiento en la resistencia al ahuellamiento. A pesar que se utilizaron diferentes tamaños de partículas de hule para este ensayo (tamiz No.40, No.30 y No.14), no se encontraron variaciones significativas en la resistencia al ahuellamiento en cuanto al tamaño de partículas para un contenido de hule de 10%.

#### **b. Prevención de grietas por contracción y por fatiga**

Los pavimentos son estructuras que están sometidas a cambios de temperatura que en ocasiones pueden ser bastante drásticos. Estos cambios pueden debilitar la estructura y reflejar grietas en la superficie. La adición de hule a las mezclas asfálticas en caliente, debido a los contenidos más elevados de agente cementante, y a la alta viscosidad y resiliencia que se obtiene, aumenta la elasticidad en los rangos de temperatura de operación del pavimento.

**Figura No. 20****Agrietamiento por fatiga en un pavimento**

(Fuente: Elaboración propia)

Esto disminuye la susceptibilidad a los cambios de temperatura que puede experimentar el pavimento y mejora la resistencia al ahuellamiento, como se mencionó anteriormente, además de proveer resistencia a la fatiga. Lo anterior tiene como resultado un pavimento con mayor resistencia al agrietamiento por contracción y por fallas debido a las cargas repetitivas a lo largo de su vida útil.

La prevención de grietas puede alargar la vida útil de un pavimento y disminuye el mantenimiento que se le tenga que dar al mismo. Tanto el RAC-G como el RAC-O han demostrado aumentos en la resistencia al agrietamiento. Los RAC-O también son altamente resistentes para contrarrestar grietas y juntas de pavimentos rígidos subyacentes.

**c. Mejor drenaje superficial.** El RAC-O, debido a su graduación abierta, tiene como parte de sus objetivos proveer una superficie libremente drenante para que el agua se pueda evacuar fácilmente hacia las orillas de la estructura del pavimento. Esta es una de las condiciones más deseadas en un pavimento, ya que de esta forma se protege la seguridad de los usuarios de la carretera, además de proteger a las capas subyacentes de la estructura del pavimento.

**Figura No.21****RAC-O libremente drenante al lado de una mezcla en caliente de graduación cerrada**

(Fuente: Caltrans, 2004: 2-10)

Un buen drenaje de la superficie tiene como resultado un pavimento más seguro, ya que no se afectan significativamente sus características de fricción con el agua, reduciendo así la posibilidad de deslizamientos indeseados de los vehículos. También se evita el rocío excesivo y salpicaduras de agua por la circulación de los vehículos, mejorando la visibilidad para los usuarios.

En la Figura No.21 se puede apreciar notablemente la diferencia que existe en el drenaje de una mezcla en caliente de graduación densa y un RAC-O. El tramo más cercano (RAC-O) denota una superficie libre de exceso de agua, mientras que el tramo más lejano muestra una superficie con acumulación de agua superficial.

**d. Interacción vehículo-pavimento.** La interacción vehículo-pavimento es un factor muy importante a tomar en cuenta en una carretera, ya que de esta interacción depende gran parte de la seguridad para transitarla. Como se mencionó en los Antecedentes (ver Condiciones Deseadas en un Pavimento), la carpeta de rodadura debe proveer una superficie segura y confiable para la conducción de los vehículos, es decir, debe tener buenas características de fricción para que no existan deslizamientos indeseados de los vehículos. A su vez, un pavimento debe tener una textura suficientemente lisa para que sea comfortable transitarla y para que no exista un desgaste

excesivo de las llantas. Por lo tanto, es necesario encontrar un balance entre seguridad y confort de las superficies de las rasantes.

Otro factor importante a tomar en cuenta en las carreteras es la contaminación auditiva que éstas generan. Esta contaminación sonora no es causada únicamente por el sonido de los motores de los vehículos, sino también por el contacto de los neumáticos con el pavimento. La FHWA estima que 75-90% del ruido de las carreteras es causado por el contacto de las llantas con el pavimento de vehículos que viajan a 65km/h o más. En Guatemala, existen muchísimos poblados que se han desarrollado alrededor de las carreteras y que son susceptibles a la contaminación auditiva de las mismas. Chimaltenango, Barberena, San Lucas y Carretera a El Salvador son algunos ejemplos de poblados alrededor de carreteras con volúmenes de tránsito muy elevados, lo cual implica automáticamente una contaminación auditiva alta. La Ciudad de Guatemala, con el aumento de vehículos que ha tenido auge en los últimos años, también se ha vuelto muy vulnerable a esta contaminación auditiva.

**1) Adherencia de los neumáticos con el pavimento.** Los concretos de hule asfáltico RAC-G y RAC-O proveen una superficie con buenas características de fricción debido a la textura obtenida por la graduación de los agregados.

El RAC-O se utiliza principalmente para la rehabilitación de pavimentos, en especial para recuperar la fricción superficial. La graduación de los agregados hace además que sea una superficie con buenas características de drenaje. Estas dos condiciones hacen que la superficie se mantenga, aún en condiciones de lluvia, con buenas características de fricción para proporcionar la seguridad necesaria para la circulación de vehículos.

Los sellos de hule asfáltico también mejoran las propiedades de fricción de los pavimentos. Uno de los usos principales de estos sellos es recuperar las características de fricción superficial de los pavimentos. A pesar que se recuperan las propiedades de

fricción de la rasante, debido al agregado usado normalmente (3/8”), estos pavimentos pueden resultar bastante ruidosos y con un bajo grado de confort para transitarlos.

**2) Pigmentación contrastante duradera.** Otro aspecto a tomar en cuenta para la seguridad al transitar una carretera es el color de la carpeta de rodadura. Este color no debe reflejar a luz para evitar deslumbramientos y debe contrastar con la señalización horizontal y vertical de la carretera.

La adición de hule a un pavimento ayuda a mantener un contraste de color duradero debido a que el carbón negro en el hule funciona como un pigmento que mantiene el pavimento con una coloración negra por más tiempo.

**3) Reducción de ruido.** Un beneficio importante en la utilización de materiales de hule asfáltico es la reducción del ruido por el tráfico, específicamente por el ruido de los neumáticos cuando se encuentran en contacto con el pavimento. Se han documentado mejoras notables en países europeos (Bélgica, Francia, Alemania, Austria, Holanda), como en Canadá y Estados Unidos (Arizona y California). En estos lugares se han reportado reducciones de 40-88% de ruido para graduaciones de RAC-G y RAC-O.

En 2002, el Departamento de Transporte de Arizona colocó un “topping” de 25.4mm de RAC-O sobre un pavimento rígido. La mezcla contenía 20% de hule reciclado. La respuesta de este proyecto fue muy positiva, ya que se alcanzó una reducción de ruido de 3-5dB. Esta misma entidad inició un programa llamado “Pavimentos Silenciosos”, que consistió en pavimentar 115millas (185km) en Phoenix con RAC-O y realizar un estudio por diez años para evaluar el ruido emitido por la circulación de vehículos en tramos determinados. En algunos tramos se encontraron reducciones de ruido de hasta 9dB.

El estado de Washington también comenzó en 2006 con un estudio para determinar si la reducción de ruido en las carreteras justifican los costos de aplicación de materiales de hule asfáltico a gran escala. El Departamento de Tránsito de Washington

tomó como base el proyecto de Arizona y buscó evaluar si este tipo de pavimentos podría sustituir u ofrecer otra alternativa a las barreras de ruido tradicionales.

La reducción de ruido en pavimentos con hule asfáltico ha sido cuestionada en algunas ocasiones, debido a que no se sabe con precisión la duración del abatimiento de ruido. Un estudio en Sacramento mostró que las carpetas con hule mantuvieron bajos los niveles de ruido después de seis años, mientras que el ruido en mezclas en caliente convencionales regresó a niveles normales en cuatro años.

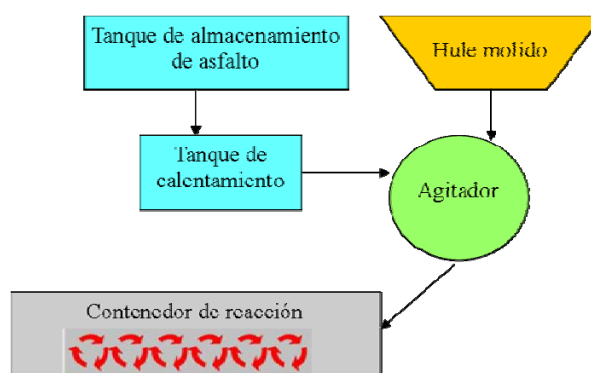
**5. Consideraciones en la construcción.** Una de las consideraciones más importantes a tomar en cuenta en la utilización de concreto de hule asfáltico es la temperatura. La temperatura es crítica en los procesos de manufactura de hule asfáltico, en la producción de las mezclas de concreto de hule asfáltico, en el transporte de la mezcla, en la colocación y en la compactación. Es muy importante monitorear la temperatura de los materiales durante todas las fases mencionadas para garantizar una mezcla adecuada.

El hule asfáltico, según las especificaciones de Caltrans, debe ser mezclado con agitación por un mínimo de 45 minutos a temperaturas de 190-218°C para alcanzar la interacción deseada entre el asfalto y el hule. Para mantener la temperatura en el rango especificado, el cemento asfáltico debe tener una temperatura de 204-224°C antes de que las proporciones correspondientes de hule reciclado y de hule natural sean añadidas. Esto se debe a que el hule se añade a temperatura ambiente, lo cual reduce la temperatura de la mezcla.

El uso de hule asfáltico en lugar de un cemento asfáltico o una base cementante tradicional, no tiene un efecto significativo en las plantas continuas o de bachada, excepto que puede ser necesario incrementar la temperatura de operación de la planta para proveer temperaturas más altas de mezcla y colocación que son requeridas para concreto con hule asfáltico. Por otro lado, es posible que las bombas utilizadas en plantas de

mezclas en caliente tradicionales no puedan manejar la viscosidad elevada de la mezcla, por lo que pueden ser necesarias bombas especiales con más capacidad.

**Figura No. 22**  
**Esquema de la producción de hule asfáltico**



(Caltrans, 2004: 3-1)

En concretos asfálticos convencionales, existen especificaciones para las temperaturas de las mezclas y de compactación. Las especificaciones de construcción guatemaltecas establecen que la temperatura a la que se debe aplicar el cemento asfáltico debe ser la que corresponda a una viscosidad cinemática entre 150 y 190cS, pero con la limitante de que la temperatura de la mezcla a la salida de la planta no puede exceder en ningún caso 165°C o la temperatura especificada en el diseño aprobado de la mezcla. Las temperaturas de colocación de mezclas de concreto asfáltico tradicionales especificadas en la norma guatemalteca se muestran en la Tabla No.4.

**Tabla No.4**  
**Temperaturas para la colocación de la mezcla de concreto asfáltico**

Espesor compactado de la capa ⇒	< 50 mm	50 – 75 mm	> 75 mm
Temperatura de la superficie de la carretera en °C	Temperatura mínima de colocación en °C		
4 – 7.9	No se permitirá	141	140
8 – 14.9	146	140	140
≥ 15	141	140	140

(Fuente: Dirección General de Caminos, 2001: 401-15)

Los camiones que transportan la mezcla de concreto con hule asfáltico al sitio de pavimentación deben taparse para mantener el calor adecuado en la mezcla. Como se mencionó anteriormente, la temperatura es muy importante en la utilización de hule asfáltico, por lo que se deben evitar pérdidas de temperatura en el transporte. Es crítico que la mezcla de concreto con hule asfáltico no baje de la temperatura crítica de colocación de 143°C durante el transporte. Las mismas prácticas de entrega recomendadas para mezclas en caliente son aplicables para concreto de hule asfáltico, poniendo especial atención a la temperatura.

Para colocar y compactar concreto de hule asfáltico no se necesita maquinaria especial. El equipo utilizado convencionalmente con las mezclas en calientes se puede utilizar perfectamente para la colocación y compactación de las capas. Hay que tomar en cuenta que debido a que el hule asfáltico es más viscoso que el asfalto utilizado convencionalmente, el tiempo disponible para compactar suele ser menor.

La temperatura atmosférica y de la superficie del pavimento para la colocación de la mezcla debe ser mayor de 13°C. Cuando la temperatura ambiental y la temperatura del pavimento se encuentran entre 13 y 18°C, la colocación puede realizarse con temperaturas entre 143-163°C. Si se tienen temperaturas mayores a 18°C, el límite inferior baja a 138°C. No se deben colocar materiales de hule cuando hay lluvia. Si las condiciones del lugar están húmedas, con viento o muy frías, la colocación debe posponerse.

La compactación de mezclas discontinuas (RAC-G) debe realizarse en modo vibratorio para alcanzar por lo menos 95% de la densidad máxima. Para la capa final en este tipo de mezclas, la compactación debe de ser estática. Las mezclas con graduaciones abiertas (RAC-O) no se deben vibrar y la compactación se realiza en capas delgadas de 25-30mm, aunque no existe una regulación específica para ello.

Las compactadoras de neumáticos de hule no son apropiadas para mezclas con hule porque las llantas tienden a producir un levantamiento excesivo de la mezcla. Se recomienda utilizar rodos de ruedas lisas de metal de ocho toneladas que tengan sistemas de agua para prevenir este levantamiento (puede ser necesario utilizar un poco de jabón en el sistema de agua).

**6. Efectos de la edad y reciclaje en pavimentos con hule.** Los pavimentos con hule han sido utilizados ampliamente en otros países desde hace varios años. Debido a que muchas carreteras con este tipo de pavimento ya han cumplido con su período de diseño, es necesario evaluar si estos se pueden reciclar y cómo se ven afectadas sus propiedades para determinar si su reutilización es viable.

Shen *et al* (2005:273) realizaron un ensayo para evaluar el efecto de agentes rejuvenecedores en hule asfáltico viejo. Estos agentes rejuvenecedores se utilizan en mezclas recicladas para restaurar ciertas propiedades de los cementantes que van disminuyendo por la edad del pavimento. Para este ensayo, dos mezclas de hule asfáltico (se utilizó una base de cemento asfáltico diferente para cada una, 10% de hule en peso para ambos casos) y un cementante control PG76-22 fueron envejecidos artificialmente y utilizados como materiales reciclados añadiéndoles un agente rejuvenecedor disponible comercialmente (ver Tabla No.5) y un cementante más suave (PG52-28).

**Tabla No.5**  
**Propiedades de rejuvenecedor disponible comercialmente**

Test properties	Values
Specific gravity, 15.6/15.6°C	0.98–1.02
Viscosity, 60C CST	200–500
Flash point, COC, (°C)	204 Min
RTFO-C 163°C, Weight loss %	4.0 Max
RTF-C, Viscosity ratio	2.5 Max
Compatibility, PC/S Ratio	0.5 Min
Saturates, w%	28 Max
Chemical compatibility	0.2–1.2

(Shen *et al*, 2005: 275)

El ensayo pretendía evaluar si las mezclas con hule envejecidas podían generar, con la adición de un rejuvenecedor, una mezcla equivalente a PG 76-22, la cual fue la graduación por desempeño inicial buscada de las mezclas. Los resultados confirmaron que tanto las mezclas con hule asfáltico como las mezclas con el cementante control pudieron ser rejuvenecidas a la graduación por desempeño buscada. La adición de 0-10% del rejuvenecedor logró la graduación por desempeño para las mezclas con hule. La adición de 0-51% de un cementante suave también logró la graduación buscada, en contraste con 70-130% necesario para el cementante control. Además, se demostró que las mezclas con hule asfáltico mostraron mayor resistencia al envejecimiento que el cementante control.

Lee *et al* (2008: 1308) realizaron un ensayo para evaluar las propiedades de mezclas con hule recicladas con agregados de dos diferentes fuentes. Las mezclas fueron envejecidas artificialmente con procesos acelerados de envejecimiento. Se agregó 0%, 15%, 25% y 35% de concreto de hule asfáltico reciclado para los pavimentos. Los resultados obtenidos de este estudio demostraron que los valores de resistencia indirecta a tensión fueron mayores que los especificados por el Departamento de Transporte de South Carolina (SC DOT) para todas las mezclas con hule y no hubo diferencia significativa con el cementante control (0% de contenido de mezcla reciclada con hule). Además, el ahuellamiento final de todas las mezclas fue menor que los requerimientos de la SC DOT. Después del envejecimiento, las mezclas con 15% obtuvieron la resistencia indirecta a tensión máxima para los dos tipos de agregados. Las mezclas preparadas con materiales reciclados contenían hasta 35% de concreto de hule asfáltico reciclado y en la mayoría de casos, las propiedades ingenieriles de las mezclas recicladas mostraron resultados satisfactorios cumpliendo con los requerimientos de mezcla de la SC DOT.

**7. Beneficios y ventajas de su aplicación.** Como se mencionó en “Propiedades físicas y mecánicas obtenidas por la adición de hule”, existen numerosas ventajas al utilizar hule en las mezclas de los pavimentos. A continuación se presenta un resumen de los beneficios en la utilización de materiales de hule para pavimentos.

**a. Hule asfáltico**

- 1) Aumento de la viscosidad que permite espesores de película más grandes en las mezclas de pavimentos sin que se presente escurrimiento excesivo.
- 2) Aumento de la elasticidad y resiliencia a temperaturas altas.

**b. Concreto de hule asfáltico**

- 1) Durabilidad mejorada.
- 2) Resistencia mejorada al agrietamiento por fatiga y contracción debido a los altos contenidos de cementante y a la alta elasticidad.
- 3) Menor susceptibilidad a la temperatura.
- 4) Mayor resistencia al envejecimiento y a la oxidación debido a los altos contenidos de cementante y a los antioxidantes contenidos en el hule de neumáticos.
- 5) Mayor resistencia al ahuellamiento (deformación permanente) debido a la alta viscosidad y resiliencia (cementante más rígido y más elástico a temperaturas altas).
- 6) Menores costos de mantenimiento debido a la mejora en durabilidad y funcionamiento.
- 7) Reducciones de espesor de capas para rehabilitaciones con RAC-G.

Adicionalmente, el uso de hule asfáltico y concreto de hule asfáltico puede resultar en reducciones de costo debido a las capas más delgadas a utilizar, mejor

retención del agregado en sellos tipo SAM, mejoras en la seguridad debido al contraste con la señalización vertical y horizontal y ahorros en energía y recursos naturales por el uso de productos reciclados.

**8. Limitaciones.** A pesar de los pavimentos con hule presentan muchas ventajas, no son la solución para todos los problemas en los pavimentos. Entre las limitaciones podemos encontrar:

a. Costos unitarios mayores debido a la movilización del equipo de hule asfáltico. Para proyectos a gran escala, estos costos pueden compensarse por el aumento de vida útil, menores costos de mantenimiento y la reducción del espesor de las capas. Para proyectos pequeños puede que resulte en un pavimento demasiado costoso. Los costos unitarios escalan considerablemente para trabajos con menos de 2,500 toneladas.

b. No debe utilizarse con mezclas de graduación densa debido a que no hay suficiente porcentaje de vacíos en la matriz de agregados para acomodar suficiente contenido de hule asfáltico. Debido a que el contenido de hule asfáltico no puede ser muy alto con estas graduaciones, no se obtienen algunas de las propiedades debido al alto contenido de cementante y esto resulta en un pavimento que no justifica el aumento de costos.

c. Los procesos constructivos pueden complicarse debido a los requerimientos de temperatura más críticos. Los materiales de hule asfáltico deben ser compactados a temperaturas mayores que las mezclas en caliente tradicionales porque, como con el uso de polímeros, el hule rigidiza los cementantes a temperaturas altas.

d. Posibles olores. La adición de hule genera un olor característico de la mezcla que resulta poco agradable. Además, este olor ha generado preocupaciones en cuanto al peligro de las emisiones producidas.

e. En la práctica de California, si una mezcla ha cumplido 48 horas luego de ser mezclada, es muy probable que tenga que ser desechada. En Guatemala, aún usando silos con control de temperatura, no se utilizan concretos asfálticos con más de 24 horas de haber sido producidos.

f. No se recomienda el uso de productos de hule asfáltico en zonas con temperaturas muy bajas o en época lluviosa, con temperaturas menores a 13°C.

g. Posible requerimiento de bombas especiales en las plantas debido a la viscosidad más alta.

Los costos de las mezclas con hule siguen siendo un punto de debate para su utilización. Los costos unitarios de productos con hule son en la mayoría de los casos más altos que los productos tradicionales o que los polímeros. Se ha determinado que los pavimentos con hule se vuelven accesibles en costo cuando son usados como rasantes delgadas o en rehabilitaciones de 30-60mm, en sellos y en aplicaciones entre capas. Los costos para pavimentos con hule aumentan no sólo por la movilización de equipo para producción de hule asfáltico, sino también por los contenidos de cementante más altos que requiere este tipo de mezcla. La Tabla No.6 muestra los costos registrados por Caltrans en el año 2000, 2004 y 2005 para los diferentes usos y tipos de pavimentos utilizados.

En la producción de hule asfáltico se pueden presentar aumentos de costos debido a los posibles aumentos de la temperatura de operación de la planta (costos energéticos) y pueden ser necesarias bombas especiales (con más capacidad para movilizar materiales viscosos). La producción de concreto de hule asfáltico puede tener tasas de producción menores debido a los contenidos más altos de cementante (más tiempo de mezcla) y por la tasa de producción de hule asfáltico.

Tabla No.6

## Costos registrados para construcción y rehabilitación de pavimentos en California

Item Description	Year		
	2000	2004	2005
<b>CALTRANS CONSTRUCTION ITEMS</b>			
Conventional Type A HMA (dense-graded), \$/ton	30-34	50-64	61-78
Conventional HMA (open-graded), \$/ton		44-61	73-74
Polymer Modified HMA(dense-graded), \$/ton	34-40		
Polymer Modified HMA(open-graded), \$/ton		63	71
RAC-G, \$/ton	44-50	53-65	73-76
RAC-O, \$/ton		64-67	69-78
<b>CALTRANS MAINTENANCE ITEMS</b>			
<b>Chip Seals</b>			
Emulsion Chip Seal, \$/yard <sup>2</sup>	1.20-1.50		---
Polymer Modified Emulsion Chip Seal, \$/yard <sup>2</sup>	1.50-1.80		2.55-3.40
Asphalt Rubber Chip Seal, \$/yard <sup>2</sup>	3.00-3.60		9.25
<b>Thin Overlays</b>			
Conventional HMA (dense-graded), \$/yard <sup>2</sup>			6.40
Polymer Modified HMA, \$/yard <sup>2</sup>			7.10-9.25
RAC-O, RAC-G, \$/yard <sup>2</sup>			8.50
RAC-O-HB, \$/yard <sup>2</sup>			9.25

(Caltrans, 2004: 1-10)

En Washington State se evaluó la posibilidad de implementar pavimentos de hule asfáltico en diferentes carreteras del estado, en especial por sus propiedades de reducción de ruido (Trimbath, 2006: 19). El proyecto buscaba determinar si los beneficios de pavimentos más silenciosos justificaban los costos al implementarlos a gran escala. Sin embargo, para este proyecto, realizado en 2006, se estimó que pavimentar con RAC-O un carril en una distancia de una milla (1.6km) se necesitaría una inversión de \$140,000.00, lo cual representaba el doble de una mezcla convencional. En sustitución del RAC-O se hubiera podido aplicar una capa de concreto hidráulico texturizado sin ningún costo adicional.

En la construcción de un tramo en Riverside, California, realizado en 2007 por el Departamento de Trabajo Público, se estimó que el uso de concreto con hule asfáltico costó entre \$5.00 a \$7.00 más por tonelada que una mezcla tradicional, pero se tenía estimado que los costos por mantenimiento disminuirían entre 10-12% por el aumento en durabilidad (American City & County, 2008: 46)

## **B. ADICIÓN DE HULE EN CONCRETO HIDRÁULICO**

La utilización de concreto reforzado con fibras ha sido una técnica utilizada para aumentar la resistencia a flexión y a la contracción del concreto hidráulico, además de aumentar su ductilidad. Las cargas a las que son sometidos los pavimentos causan flexión en la estructura del pavimento. Los pavimentos flexibles admiten ciertas deflexiones, mas los pavimentos rígidos no, y estos esfuerzos pueden generar fracturas o agrietamientos de las planchas de concreto. Los pavimentos de concreto hidráulico reforzados con fibras han mostrado en algunos casos beneficios como la mejora en la resistencia a la fatiga, menor agrietamiento por contracción y un aumento en el espaciamiento de las juntas.

La FHWA (Federal Highway Administration) realizó en 2002 un estudio de varios tipos de pavimentos, incluyendo el uso de fibras para concreto hidráulico (Swalund, 2002: 11). Para un proyecto en South Dakota no se encontraron diferencias significativas entre un concreto reforzado con fibras en espesores de 20.3 y 16.5cm en comparación con un pavimento JPCP. Para este caso, el pavimento con concreto reforzado con fibras no tenía juntas y mostró agrietamiento transversal en una distancia de 26m. El costo por la adición de fibras aumentó en aproximadamente \$13.50/yd<sup>2</sup>. Otros proyectos estudiados no mostraron buenos resultados, ya que se presentó agrietamiento prematuro o mayor que en pavimentos de concreto hidráulico tradicionales.

Por otro lado, el Centro de Tecnología del Cemento y Concreto en México (CTCC) realizó una investigación para desarrollar una fórmula de mezcla para combinar concreto hidráulico con llantas recicladas para su utilización como pavimento (De la Torre, 2005: 28). Esta fórmula llamada “Llancreto” contiene entre 8-10% de hule de neumáticos en forma de hojuelas aplicado como proceso frío. Los primeros pavimentos con este tipo de mezcla en México mostraron que, aunque resulta más cara su aplicación, se obtiene más firmeza y durabilidad (hasta 20 años), menos deformaciones en la carpeta de rodadura y un mejor frenado de los vehículos.

La adición de hule como fibra a mezclas de concreto hidráulico no ha sido estudiada a profundidad. Aunque en algunos casos se han presentado beneficios con la adición de fibra al concreto hidráulico, otros proyectos han mostrado muchas deficiencias y ponen en duda si el aumento de precio por la adición de las fibras se justifica para los proyectos.

## **IV. CONSIDERACIONES PARA LA APLICACIÓN DE HULE EN MEZCLAS DE PAVIMENTOS EN GUATEMALA**

La utilización de hule en mezclas de pavimentos ha tenido mucho éxito en otros países, ya que ha demostrado tener muchas características deseadas en los mismos, además de contribuir significativamente a la reducción de neumáticos desperdiciados que generan una gran contaminación ambiental. Las mejoras en el ahuellamiento, en la resistencia al agrietamiento, en la reducción de ruido, etc. han sido razones suficientes para emplear este tipo de pavimento. Sin embargo, existen varias limitaciones en el uso del hule como parte de las mezclas y es necesario evaluar si su aplicación es viable en Guatemala.

### **A. Normativa guatemalteca**

Las Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes vigentes en Guatemala consideran en la Sección 411 la utilización de asfaltos modificados para mejorar las propiedades visco-elásticas del cemento asfáltico utilizado en las mezclas. Los modificadores pueden ser polímeros que incluyen elástómeros, compuestos metálicos, compuestos azufrados, fibras y silicones. No se especifica el uso de hule como modificador, pero tampoco existe una limitación rigurosa del tipo de modificador a utilizar.

El hule de los neumáticos contiene hule natural, hule sintético o una mezcla de ambos, que a su vez son polímeros. El polímero más utilizado para la producción de neumáticos es el hule de estireno-butadieno (Styrene-Butadiene Rubber, SBR). En las especificaciones de los polímeros como modificadores en el Libro Azul se identifica el SBR como un elastómero utilizado para la modificación de asfalto.

La adición de polímero SBR a una mezcla asfáltica produce un asfalto modificado Tipo II, el cual tiene tres subdivisiones según su aplicación (Tipo II-A, II-B y II-C). La Tabla No.7 muestra las especificaciones para los asfaltos modificados Tipo II.

**Tabla No.7**  
**Especificaciones de los asfaltos modificados Tipo II**

Propiedades	Norma		Clases de Asfalto Modificado Tipo II		
			II-A	II-B	II-C
Penetración, a 25° C, 100g y 5 s	AASHTO T 49	Min.	100	70	80
Viscosidad, 60° C, Poises	AASHTO T 202	Min.	800	1600	1600
Viscosidad, 135° C, centi Stokes	AASHTO T 201	Máx	2000	2000	2000
Ductilidad, 4° C, 5 cpm, mm	AASHTO T 51	Min.	500	500	250
Punto de Flama, ° C	AASHTO T 48	Min.	232.2	232.2	232.2
Solubilidad, %	AASHTO T 44	Min.	99	99	99
Endurecimiento, 25° C, 20 ipm, N-m	ASTM D 5801	Min.	0.429	0.629	0.629
Tenacidad, 25° C, 20ipm, N-m	ASTM D 5801	Min.	0.286	0.429	0.429
Ensayo del Residuo del Horno de Película Delgada (RTFOT) AASHTO T 179					
Viscosidad, 60° C, Poises	AASHTO T 202	Máx	4000	8000	8000
Ductilidad, 39.2, 5 cpm, mm	AASHTO T 51	Min.	250	250	80
Endurecimiento, 25° C, 20ipm, N-m	ASTM D 5801	Min.	-	-	0.629
Tenacidad, 25° C, 20 ipm, N-m	ASTM D 5801	Min.	-	-	0.429

(Fuente: Dirección General de Caminos, 2001: 411-3)

El hule asfáltico es un tipo de asfalto modificado, mas su uso no está especificado explícitamente en la normativa guatemalteca. Si el polímero del hule asfáltico se pudiera clasificar como SBR, se podría tomar como base lo especificado en la norma. Sin embargo, el hule asfáltico contiene varios tipos de polímero y su clasificación probablemente no se adecúe de forma correcta a la tipificación establecida en la norma.

Entre las diferencias que se puede encontrar con el hule asfáltico y uno modificado con SBR es que la presentación de este polímero es en forma de látex (emulsión de hule) y no en forma granulada o en polvo, como normalmente se utiliza el hule reciclado. Además, en el Tipo II-B y Tipo II-C para el SBR se menciona que se pueden utilizar graduaciones densas, lo cual no es recomendado para mezclas con hule. Por lo tanto, no

se puede incluir el hule reciclado como un modificador SBR. Las especificaciones de asfaltos modificados con hule están incluidas en la norma ASTM D 6114-97 R02 (ver Tabla No.1).

Lo importante a destacar es que ya se encuentra contemplado en la normativa guatemalteca el uso de polímeros para modificar asfaltos. La adición de hule reciclado, que a su vez es un polímero, podría encajar perfectamente en la Sección 411 para especificar las características y requerimientos en su aplicación.

## B. Comparación con el uso de polímeros tradicionales

El uso de polímeros como modificadores de asfaltos está aumentando en Guatemala, principalmente en su aplicación en carpetas de rehabilitación. La adición de polímeros a las mezclas hace que se obtengan propiedades muy similares a las obtenidas con la adición de hule.

**Tabla No.8**  
**Comparación entre mezclas asfálticas modificadas con polímero y hule asfáltico**

Propiedad	Asfalto modificado con polímeros	Hule asfáltico
Modificador	Celulosa y fibras minerales	Hule
Resistencia al ahuellamiento	Sí	Sí
Resistencia al agrietamiento	Sí	Sí
Reducción de ruido	Sí	Sí
Propiedad friccionante	Sí	Sí
Drenaje	No	Sí (para RAC-O)
Graduación	SMA, densa o abierta	Discontinuas o abiertas
Porcentaje mínimo de asfalto	6%	7%
Porcentaje de vacíos	4%	4%
Vacíos en el agregado mineral (VMA)	>17%	18-23%
Temperatura mínima ambiental para su colocación	10°C	13°C
Temperatura mínima de la mezcla para su colocación	130°C	138°-143°

(Fuente: Elaboración propia)

La Tabla No.8 muestra un cuadro comparativo de algunas propiedades entre el uso de asfalto modificado con polímeros y el uso de hule asfáltico. Se puede observar que las propiedades físicas obtenidas son muy similares, con la excepción de la capacidad drenante del RAC-O. Las graduaciones utilizadas también son diferentes, ya que la mezcla con polímeros utiliza una graduación SMA (Stone Matrix Asphalt, la cual se basa en agregado más grueso con pocos finos, garantizando más contacto entre piedra y piedra), densa o abierta, mientras que el hule asfáltico es únicamente eficiente para graduaciones discontinuas o abiertas. El porcentaje mínimo de asfalto también muestra una diferencia, ya que las mezclas con hule asfáltico utilizan un porcentaje mayor (1% más como mínimo). El uso de hule también requiere un cuidado más riguroso de la temperatura de colocación, ya que se especifican valores de temperatura más altos que para la mezcla con polímeros, tanto ambientales como de la mezcla.

Las tablas mostradas a continuación muestran las graduaciones del agregado usadas para mezclas con hule asfáltico (RAC-G y RAC-O) y la graduación utilizada para mezclas modificadas con polímeros (SMA). La tabla con las graduaciones SMA muestra las especificaciones generales, además de las utilizadas en Maryland y Georgia.

**Tabla No.9**  
**Requerimientos de la graduación del agregado para RAC-G según Caltrans**  
**Graduación discontinua con tamaño máximo de 12.5mm**

<b>Tamiz</b>	<b>Porcentaje que pasa</b>
19mm	100
12.5mm	90-100
9.5mm	83-87
4.75mm	33-37
2.36mm	18-22
1.18mm	8-12
75um	2-7

(Fuente: Shatnawi, 2000)

**Tabla No.10****Requerimientos de la graduación del agregado para RAC-O y RAC-O-HB según Caltrans****Graduación abierta con tamaño máximo de 12.5mm**

<b>Tamiz</b>	<b>Porcentaje que pasa</b>
19mm	100
12.5mm	95-100
9.5mm	78-89
4.75mm	29-37
2.36mm	7-18
1.18mm	0-10
75um	0-3

(Fuente: Shatnawi, 2000)

**Tabla No.11****Requerimientos de la graduación del agregado para mezclas con polímeros según la NAPA****Graduación SMA con tamaño máximo de 12.5mm**

	<b>Porcentaje que pasa</b>		
<b>Tamiz</b>	<b>General</b>	<b>Maryland</b>	<b>Georgia</b>
19mm	100	100	100
12.5mm	90-100	90-99	85-100
9.5mm	26-78	70-85	50-75
4.75mm	20-28	30-42	20-28
2.36mm	16-24	20-23	16-24
1.18mm	13-21	-	-
0.6mm	12-18	-	-
0.3mm	12-15	-	-
75um	8-10	8-11	8-12

(Fuente: National Asphalt Pavement Association, Serie 122)

La Tabla No.6 muestra una comparación de costos registrado por la Caltrans para distintos años entre una mezcla en caliente tradicional, mezclas con polímeros y mezclas

con hule. Se puede observar que para el año 2005 el uso concreto de hule asfáltico en comparación de mezclas en caliente con polímeros fue aproximadamente entre 3.5-5% más caro para construcciones nuevas. Para sellos, el costo en utilizar sellos con hule puede resultar hasta tres veces mayor que con polímeros tradicionales. Para rehabilitaciones (capas delgadas), el costo de materiales con hule es aproximadamente 4% mayor que para mezclas con polímeros.

Otro aspecto a tomar en cuenta es que la mayoría de polímeros utilizados como modificadores son importados de otros países. Para la importación de polímeros existe un impuesto que depende del tipo de polímero y el uso que se le da. Esta carga fiscal puede representar un aumento en los costos con el uso de polímeros como modificadores de asfalto.

### C. Estudios realizados en el país

La Universidad de San Carlos de Guatemala en conjunto con ASFALGUA (Asfaltos de Guatemala, S.A.) llevó a cabo un ensayo de cementante asfáltico con diferentes contenidos de hule. La Tabla No.12 muestra los resultados de las pruebas realizadas en asfaltos modificados con las diferentes proporciones.

**Tabla No.12**  
**Resultados de ensayos de asfalto modificado con hule molido**

PROPIEDAD	NORMA	PROPORCION		
		10%	15%	19%
Penetración, a 25°C, 100g y 5 seg	AASHTO T 49	40	30	No se pudo realizar
Punto de ablandamiento, R&B, °C	AASHTO T 53	61.00	66.00	80.00
Recuperación elástica por torsión a 25°C, %		30.00	35.00	41.00
Gravedad especifica 60° F	ASTM D 287	1.079	1.081	1.087
Peso (Lbs./ gal)		8.99	9.00	9.00

(Fuente: ASFALGUA, 2009)

Los resultados muestran que la prueba de penetración cumple con las normas de Caltrans, ya que para el 10% y 15% de hule se obtuvieron valores que se encuentran en el rango de 25-70 1/10mm que se especifica en California. El punto de ablandamiento con la prueba de anillo y bola (R&B) también cumple con las especificaciones de Caltrans. Los valores para todas las proporciones utilizadas se encuentran en el rango permisible de 52-74°C.

A pesar que no se puede realizar una comparación directa con las especificaciones de Caltrans, se puede observar que dos de las pruebas a realizar cumplen con las especificaciones para todos los contenidos de hule utilizados. Sin embargo, este ensayo no consideró las pruebas de resiliencia y viscosidad que también están consideradas en la normativa de California.

Lo importante de este ensayo es que es un punto de partida para futuras investigaciones para estudiar el hule asfáltico y su potencial aplicación. Es muy importante que se realicen suficientes pruebas para analizar si los materiales y las técnicas utilizadas en Guatemala son aplicables.

#### **D. Consideraciones de costos**

Una de las limitaciones más grandes del uso de hule en las mezclas de los pavimentos es el costo. Los costos aumentan principalmente debido a los requerimientos en planta (temperaturas más altas y bombas especiales por la alta viscosidad) y a los costos de la materia prima (hule molido).

En la comparación con el uso de polímeros tradicionales, se expuso la diferencia de costos que existe entre el uso de hule como modificador y el uso de polímeros en California para el año 2005. Las diferencias en precio no son significativas (aprox. 4.25% para construcciones nuevas y 4% para capas delgadas). Esta diferencia se puede atribuir a que la industria de reciclado de llantas todavía se encuentra en etapa de desarrollo, por lo que los costos de la materia prima son mayores.

En las limitaciones del uso de hule se mencionó que no se recomienda el uso de concreto de hule asfáltico en proyectos menores de 2,500 toneladas. La mayoría de las plantas utilizadas en Guatemala, pueden satisfacer esta demanda fácilmente. Las plantas más pequeñas pueden producir esta cantidad en menos de cuatro días.

La experiencia en la utilización de hule en pavimentos de California ha demostrado que la aplicación es económica y técnicamente viable especialmente para capas delgadas y en rehabilitaciones. La tendencia en Guatemala para estos casos es utilizar asfaltos modificados con polímeros y ya se observó que el uso de hule cumple con las propiedades obtenidas con los polímeros y que su costo no representa un incremento significativo.

El aumento de inversión inicial, al utilizar hule en pavimentos, se reduce si se aprovechan las reducciones de espesor que se pueden aplicar. Además, a largo plazo se convierte en una solución económicamente viable debido a las mejoras en las propiedades de los pavimentos (incrementos en la resistencia a la fatiga, al ahuellamiento, etc.) que prolongan el tiempo para realizar mantenimiento y rehabilitación de los pavimentos, lo cual tiene como consecuencia una reducción de costos.

## **E. Reciclaje de llantas en el país**

El reciclaje en Guatemala ya se practica, en especial para materiales como el papel, el aluminio y el plástico. Sin embargo, no es una práctica común para el resto de desechos sólidos. La Comisión Nacional de Desechos Sólidos (CONADES) no tiene ningún registro de qué materiales son depositados diariamente en los rellenos y depósitos sanitarios y no se lleva a cabo una clasificación y cuantificación estricta del material ingresado. Tampoco se tienen registros de la cantidad de desechos producidos en los hogares, en la industria, etc., y no se tiene un control estricto del paradero de los mismos.

Un artículo publicado el 14 de septiembre de 2009 en Prensa Libre describe la necesidad de crear una cultura de reciclaje en el país y muestra algunos esfuerzos que se

están realizando por reutilizar los neumáticos. En San Juan Comalapa, Chimaltenango, se están construyendo viviendas con neumáticos rellenos de tierra, los cuales son utilizados como paredes. Esta solución, aunque bastante práctica y económica, no soluciona de forma técnica el problema de vivienda; más bien es una forma empírica de reutilizar materiales y no crea ambientes de vivienda cómodos. Este artículo también denota la falta de conocimiento y de identificación de las fuentes de residuos sólidos en el país, además de la falta de cultura de separación de residuos y la falta de infraestructura que facilite esta tarea, lo cual dificulta la recolección y la implementación de programas de reciclaje.

Existe una empresa nacional que recicla neumáticos en Guatemala, llamada EZ Home. Esta empresa está promoviendo el reciclaje de neumáticos con fines comerciales, y entre los productos procesados están pisos de caucho y “mulch” (utilizado en macetas de plantas naturales). La planta, localizada en Villa Nueva, procesa diariamente cuatro toneladas de polvo de hule, lo cual representa un 30% de la capacidad de la planta. El acero extraído de las llantas también es utilizado (representa aproximadamente 10% del neumático). El proceso utilizado por la planta es el de molienda a temperatura ambiente. La inversión para montar esta planta representó \$975,000, lo cual incluyó la instalación y los servicios de asesoría. EZ Home también está comercializando la maquinaria necesaria para montar este tipo de plantas de reciclaje a través Hiltop Rubber, Co. Las máquinas son importadas de China y de Corea.

EZ Home representa un innovador proyecto de un segmento emergente de la industria de reciclaje en Guatemala. A pesar que esta empresa no se dedica a la producción de hule reciclado para pavimentos, es un buen comienzo para que esta industria se desarrolle en el país. A medida que esta industria tenga más desarrollo, los precios del hule reciclado bajarán y se podrán tener precios más accesibles para su aplicación potencial en los pavimentos.

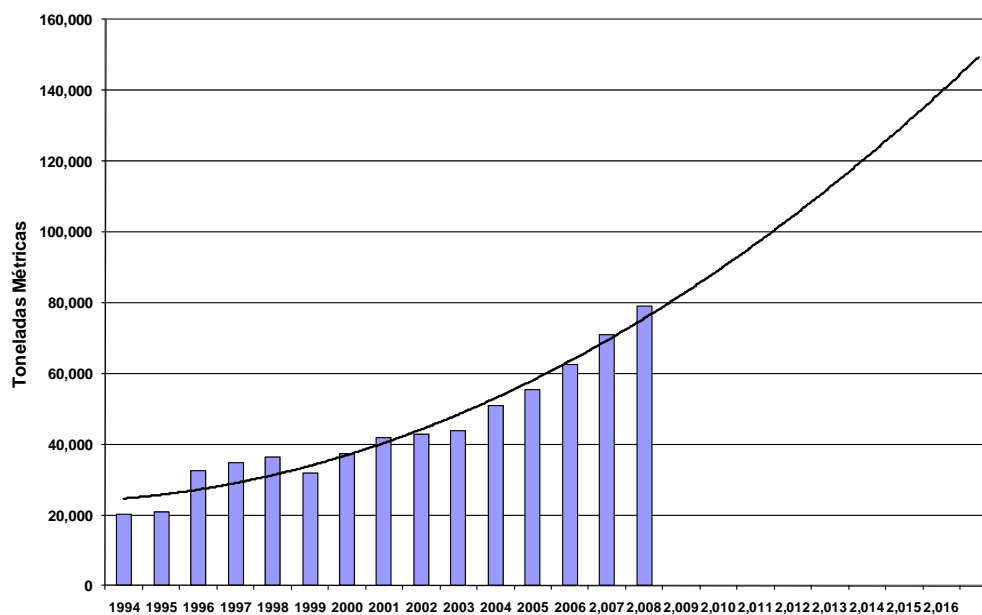
## F. Oportunidad de desarrollo agrícola

El hule asfáltico tiene como componente principal hule reciclado. Sin embargo, las especificaciones de Caltrans indican que se necesita un porcentaje de hule natural en la mezcla para garantizar un mejor comportamiento del pavimento (aproximadamente 12.5% del total del hule añadido a la base cementante). Guatemala cuenta con la ventaja que existe una producción de hule natural local que podría satisfacer esta demanda.

La producción de hule en Guatemala es un sector importante de la economía agrícola del país. La producción, que actualmente es de aproximadamente 78,000 toneladas métricas (TM) anuales, ha crecido normalmente en 10% por año en los últimos 15 años, y debería continuar creciendo a éste ritmo debido a las nuevas plantaciones que ya se encuentran en fase de crecimiento.

**Gráfica No. 4**

### Expectativas de producción de hule en Guatemala hacia el futuro



(Fuente: Gremial de Huleros de Guatemala)

**Tabla No.13**  
**Producción de hule en Guatemala**

<b>Año</b>	<b>Volumen (TM)</b>
<b>1994</b>	20,300
<b>1995</b>	20,936
<b>1996</b>	32,498
<b>1997</b>	34,731
<b>1998</b>	36,352
<b>1999</b>	31,750
<b>2000</b>	37,198
<b>2001</b>	41,754
<b>2002</b>	42,832
<b>2003</b>	43,659
<b>2004</b>	51,024
<b>2005</b>	55,432
<b>2006</b>	62,576
<b>2007</b>	70,930
<b>2008</b>	78,967

(Fuente: Gremial de Huleros de Guatemala)

Las plantaciones de hule en Guatemala se localizan en el área de la bocacosta de la Costa del Pacífico (88%) y en la Costa del Atlántico (12%). Generalmente, las elevaciones se encuentran en un rango de 100-800m sobre el nivel del mar (área Sur), debido a que es en dichas áreas donde se cuenta con las condiciones de temperatura, lluvia, distribución, humedad relativa, etc., adecuadas para el cultivo del hule.

**Tabla No.14**  
**Censo poblacional 2008. Resumen general por región**

<b>DEPARTAMENTO</b>	<b>HECTÁREAS</b>				<b>ÁRBOLES</b>			
	<b>CREC</b>	<b>PROD</b>	<b>IMP</b>	<b>TOTAL</b>	<b>CREC</b>	<b>PROD</b>	<b>IMP</b>	<b>TOTAL</b>
<b>ALTA VERAPAZ</b>	1,044	799	51	<b>1,894</b>	492,823	341,841	20,939	855,603
<b>EL QUICHÉ</b>	213	246	77	<b>536</b>	99,285	107,016	26,950	233,251
<b>IZABAL</b>	2,732	1,924	132	<b>4,788</b>	1,286,411	823,560	41,526	2,151,497
<b>EL PETÉN</b>	481	438	18	<b>937</b>	232,267	197,581	6,357	436,205
<b>TOTAL COSTA NORTE</b>				<b>8,155</b>				<b>3,676,556</b>
<b>CHIMALTENANGO</b>	158	397	19	<b>574</b>	71,482	164,261	8,781	244,524
<b>ESCUINTLA</b>	2,589	4,224	79	<b>6,892</b>	1,196,418	1,667,648	26,995	2,891,061
<b>QUETZALTENANGO</b>	1,364	5,246	529	<b>7,139</b>	677,562	2,071,644	198,688	2,947,894
<b>RETALHULEU</b>	1,774	4,035	129	<b>5,938</b>	832,322	1,448,320	43,137	2,323,779
<b>SAN MARCOS</b>	1,624	3,319	266	<b>5,209</b>	770,054	1,252,012	98,396	2,120,462
<b>SANTA ROSA</b>	0	12	0	<b>12</b>	0	5,000	0	5,000
<b>SUCHITEPÉQUEZ</b>	11,424	24,186	1,174	<b>36,784</b>	4,925,185	8,786,285	428,166	14,139,636
<b>TOTAL COSTA SUR</b>				<b>62,548</b>				<b>24,672,355</b>
<b>TOTAL GENERAL</b>				<b>70,703</b>				<b>28,348,911</b>

(Fuente: Gremial de Huleros de Guatemala)

**Figura No. 23**  
**Regiones con cultivo de hule en Guatemala**



(Fuente: Gremial de Hueleros de Guatemala)

Actualmente, aproximadamente 94% del hule producido en Guatemala se exporta hacia países como México (60%), Costa Rica (12%) y Colombia (10%); únicamente 6% se utiliza a nivel local. Su uso principal en México es en la fabricación de llantas, suelas de zapatos, alfombras y globos. En Costa Rica su uso principal es en llantas; en Colombia se utiliza para la fabricación de llantas, guantes de jardinería, etc. En Guatemala su uso principal es en zapatería, fajas, alfombras y bandas de transporte, entre otros.

La adición de hule natural a las mezclas de hule asfáltico podría representar un segmento importante del mercado para el uso interno y externo del hule. Aunque el hule natural no representa el componente principal del hule utilizado para producir hule asfáltico, si la utilización de hule asfáltico se desarrolla, esto automáticamente representa una oportunidad para los productores de hule para satisfacer la demanda de este producto.

## **G. Demanda nacional**

Como ya se ha mencionado anteriormente, la principal aplicación de concreto de hule asfáltico es para capas delgadas o de rehabilitación. Los datos presentados en la sección de “Red de carreteras en Guatemala” muestran que aproximadamente 33% de la

red vial pavimentada que tiene registrada COVIAL se encuentra en malas o muy malas condiciones. Esto significa que aproximadamente 1,890km de las carreteras del país necesitan ser rehabilitados y necesitan de un mantenimiento adecuado.

Un anuncio del Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda publicado el 24 de agosto de 2009 en Prensa Libre, muestra que se están mejorando 1,564.77km de la red vial en todo el país. Otro artículo publicado el 10 de agosto de 2009, muestra que el uso de asfalto durante el año 2009 ha subido en un 60% por el mantenimiento de las carreteras. El costo de la mezcla asfáltica para este mantenimiento tuvo un valor entre Q600 a Q800. Este artículo también indica que durante el primer semestre del 2009, se realizó la reconstrucción y bacheo de 500km de carreteras.

Los dos artículos muestran que existe una demanda real y alta de materiales para rehabilitar y darle mantenimiento a las carreteras. El 20% de esta cantidad (en masa) se pudo haber sustituido por hule, reduciendo así la cantidad de cementante asfáltico utilizado.

## V. CONCLUSIONES

- A. El reciclaje de neumáticos contribuye a la disminución de desechos sólidos y previene la propagación de enfermedades como la malaria y el dengue.
- B. Gran parte de la información que se mostró en el presente trabajo es para especificaciones utilizadas por Caltrans (California Department of Transportation) y no se debe tomar como una regulación única, sino como una guía general para la utilización de hule en pavimentos.
- C. Las graduaciones recomendadas para la utilización de hule son la abierta y discontinua, según su uso. La graduación abierta (RAC-O) es recomendada para tramos de carretera con tránsito ininterrumpido, y la graduación discontinua (RAC-G) para tramos donde se tiene tránsito más irregular. No es recomendable utilizar graduaciones densas, ya que no existe suficiente espacio en la matriz de agregados para que el hule asfáltico trabaje de forma adecuada.
- D. Caltrans utiliza el Método Hveem para el diseño de mezclas con hule asfáltico. Dado que las relaciones volumétricas utilizadas en este método coinciden con las normas de construcción aplicadas en Guatemala, se considera que el Método Hveem puede ser sustituido por el Método Marshall, el cual es el método usual utilizado para mezclas en caliente tradicionales.
- E. Las propiedades obtenidas con la adición de hule asfáltico a mezclas de pavimentos son la resistencia al ahuellamiento, la resistencia al agrietamiento por fatiga y contracción, y mejoras en la interacción vehículo-pavimento, como lo son las mejoras en el drenaje (para RAC-O), la reducción de ruido y la pigmentación contrastante duradera.
- F. Las mezclas con hule asfáltico son reciclables y los materiales pueden ser reutilizados para rehabilitaciones de pavimentos dañados.

- G. El factor más importante a tomar en cuenta en la utilización de hule asfáltico es la temperatura debido a la alta viscosidad del bitumen obtenido. La temperatura es crítica en los procesos de manufactura de hule asfáltico, en la producción de las mezclas de concreto de hule asfáltico, en el transporte de la mezcla, en la colocación y en la compactación. Es muy importante monitorear la temperatura de los materiales durante todas las fases mencionadas para garantizar una mezcla adecuada.
- H. La utilización de concreto de hule asfáltico tiene como limitación principal el costo unitario mayor que las mezclas tradicionales debido a la movilización del equipo y al costo de la materia prima. Sin embargo, estos costos se compensan por el aumento de vida útil, menores costos de mantenimiento y la reducción del espesor de las capas.
- I. La principal aplicación del hule asfáltico en las mezclas es para capas de rehabilitación, ya que esta aplicación ha demostrado ser la más eficiente en cuanto a costos, rendimiento y eficiencia. La tendencia actual en Guatemala para estas rehabilitaciones es la aplicación de polímeros como modificadores del asfalto. Al realizar una comparación entre la utilización de polímeros y hule, se determinó que las diferencias entre ambas aplicaciones son mínimas en cuanto a propiedades y costos.
- J. La aplicación de hule asfáltico en mezclas de pavimentos es viable en el país y representa a la vez una oportunidad de desarrollo del sector agrícola e industrial de Guatemala. Se deben tomar en cuenta consideraciones de mezcla y construcción adecuadas, además de realizar pruebas pertinentes que se adecúen a los materiales y técnicas utilizadas en Guatemala.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- A. Realizar campañas de reciclaje de materiales, promoviendo la reutilización de recursos tanto para la construcción como para otros fines. Si no existe una concientización ambiental, el uso de materiales reciclados no cobrará importancia en nuestro medio.
- B. Tener un control más estricto de los desechos sólidos para saber las cantidades producidas y el destino de los mismos. Para llevar a cabo un programa organizado de reciclaje se debe contar con datos certeros de las cantidades y materiales a tratar.
- C. Se recomienda hacer más ensayos con hule asfáltico y realizar ensayos de mezclas con hule asfáltico para poder definir metodologías en cuanto a diseño y a su correcta aplicación en la construcción de carreteras. Esta información puede ser incluida en la Sección 411 de las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes de la Dirección General de Caminos.
- D. Se debe llevar a cabo un estudio de factibilidad más detallado que tome en cuenta de forma más profunda los costos implicados en la aplicación de hule asfáltico en el país.
- E. Se recomienda realizar ensayos para evaluar la adición de hule como proceso frío en concreto hidráulico. No se ha hecho suficiente investigación para pavimentos de este tipo y esto podría representar otra aplicación del hule reciclado de neumáticos.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

1. Brown, Carol. 1997. «Best Practices in Scrap Tire and Rubber Recycling». *Resource Recycling*. [Seattle]. December: 21-26.
2. «Chapter 18: Tires». 2001. Blumenthal, Michael. *The McGraw-Hill Recycling Handbook*. 2ª Edición. New York. McGraw-Hill. Págs: 18.1-18-25.
3. De la Torre, Juan. 2005. «Llantas Recicladas para Pavimentar Calles». *Contenido*. Julio (505): 28-29.
4. *Design of the Times: Thin Concrete Overlays*. 2008. American Concrete Pavement Association, Concrete Pavement Technology Series. Skokie, Illinois. 2 págs.
5. Epps, Jon A. 1994. *NCHRP Synthesis 198. Uses of Recycled Tires in Highways. A Synthesis of Highway Practice*. Washington DC. Transportation Research Board. National Research Council. 162 págs.
6. Estados Unidos. 2006. California Department of Transportation. Material Engineering and Testing Services. *Asphalt Rubber Usage Guide*. State of California Department of Transportation. Sacramento. 71 págs.
7. Estados Unidos. Quality Improvement Series 122. National Asphalt Pavement Association. *Designing and Constructing SMA Mixtures – State-of-the-Practice*. U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. 47 págs.
8. Frantzis, Panagiotis. 2004. «Crumb Rubber-Bitumen Interactions: Diffusion of Bitumen into Rubber». *Journal of Materials in Civil Engineering ASCE*. 16 (4): 387-390.
9. Guatemala. 2008. Dirección de Ingeniería de Tránsito. División de Supervisión y Construcción - División de Mantenimiento Administración 2008. *Reporte 2008*. Guatemala. Dirección General de Caminos.

10. Guatemala. 2001. Dirección General de Caminos. *Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes*. Ingenieros Consultores de Centro América, S.A. Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda. 22 págs. (Sección 401), 5 págs. (Sección 411).
11. Guatemala. 2008. Unidad Ejecutora de Conservación Vial / COVIAL. *Estado de Condición Superficial Red Vial Pavimentada. Levantamiento Efectuado por las Empresas Supervisoras al 31 de Diciembre de 2008*. Guatemala. Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda.
12. Hampton, Tudor. 2004. «Arizona Makes Some Noise With Quiet Road Efforts». *Engineering News Record*. 252 (5): 1-16
13. Huang, Yang H. 2004. *Pavement Analysis and Design*. 2ª Edición. Upper Saddle River, NJ. Pearson Prentice Hall. 775 págs.
14. Jerez, Carlos R. 2007. *Resumen, Apuntes y Guía de Estudio. Curso Diseño de Carreteras*. Tomo I. Guatemala. 153 págs.
15. Larios, Roxana. 2009. «Convierten Llantas Usadas en Pisos». *Siglo XXI*. [Guatemala]. 1 de septiembre. [www.sigloxxi.com](http://www.sigloxxi.com).
16. Lee, Soon-Jae, *et al.* 2008. «Laboratory characterization of recycled crumb-rubber-modified asphalt mixture after extended aging». *Canadian Journal of Civil Engineering*. 35 (11): 1308-1317.
17. Martínez, Mauricio. 2009. «Es necesario crear la cultura de reciclaje». *Prensa Libre*. [Guatemala]. 14 de septiembre, pág.8.
18. *Mix Design Methods. For Asphalt Concrete and Other Mix Designs*. 1995. Asphalt Institute. Lexington, Kentucky. 141 págs.
19. Montabes, Miguel. 1951. *Manual de Pavimentos Bituminosos*. 2ª Edición. Aurora, Illinois. Barber-Greene Company. 284 págs.
20. Potgieter, C.J. 2003. *Bitumen Rubber Asphalt: Year 2003 Design and Construction Procedures in South Africa*. 8th Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa (CAPSA'04). 15 págs.

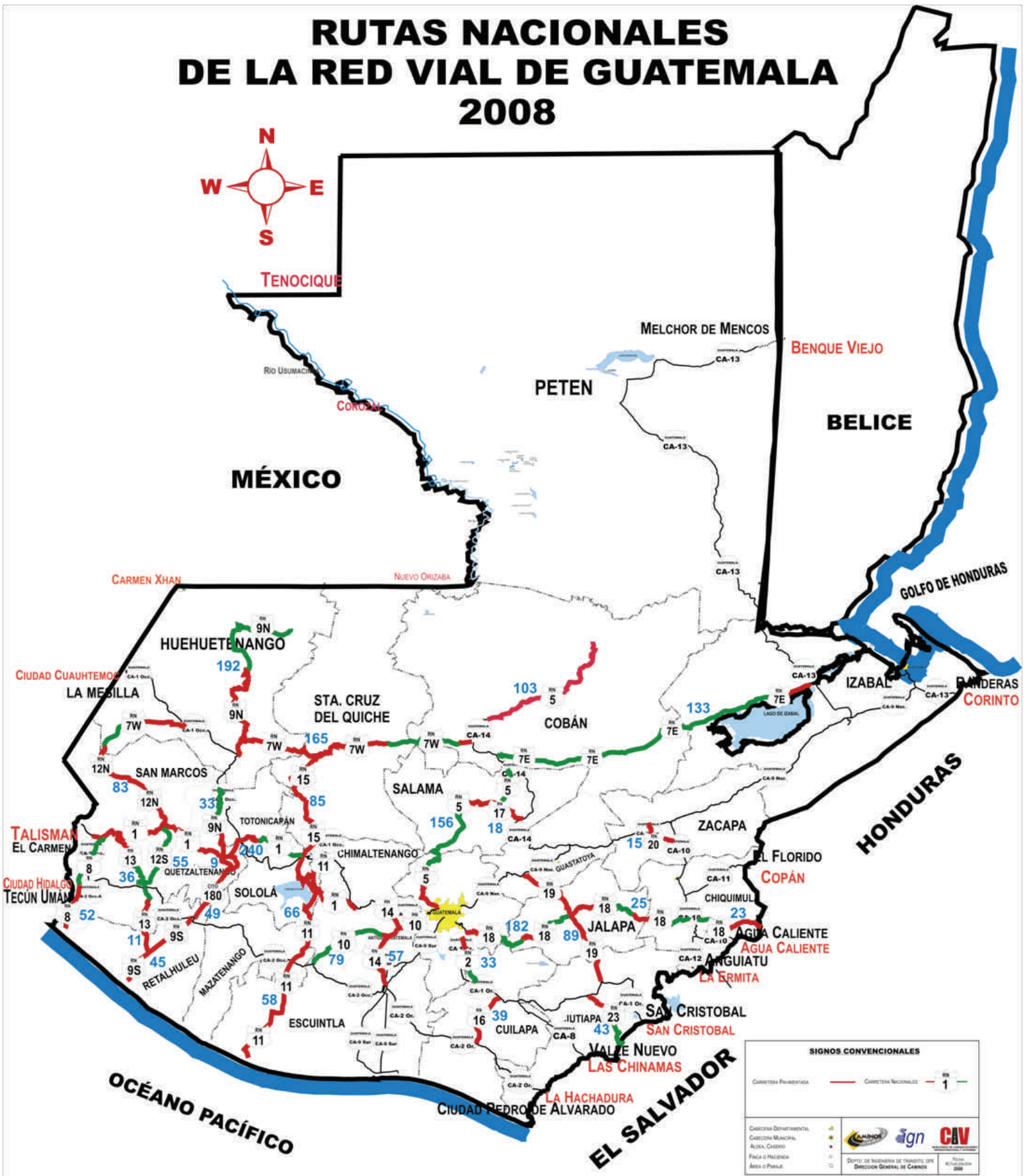
21. Reyes Ortiz., Oscar J.; Camacho Tauta, Javier F. 2004. «Incidencia en el Ahuellamiento y Propiedades Mecánicas de una Mezcla Asfáltica por la Adición de Desperdicio de Llanta Usada». *Ingeniería y Competitividad*. [Bogotá]. 6 (2): 46-55.
22. Roberts, F.L. *et al.* 1996. *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction*. 2ª Edición. National Center for Asphalt Technology. 575 págs.
23. «Rubber makes the roads». 2008. *American City & County*. 123 (5): 46.
24. Shatnawi, S., Holleran, G. 2000. *Asphalt Rubber Maintenance Treatments in California*. [www.slurry.com/techpapers/techpapers\\_armaint03.shtml](http://www.slurry.com/techpapers/techpapers_armaint03.shtml)
25. Shen, Junan, *et al.* 2005. «The effects of rejuvenating agents on recycled CRM binders». *International Journal of Pavement Engineering*. 6 (4): 273-279.
26. Shen, Junan, *et al.* 2007. «HP-GPC Characterization of Rejuvenated Aged CRM Binders». *Journal of Materials in Civil Engineering ASCE*. 19 (6): 515-522.
27. *Standard Specification for Rubber-Asphalt Binder D 6114-97 R02*. 2004. American Standard for Testing and Materials ASTM. 4 págs.
28. Swalund, Mark. 2002. «Fine-Tuning. Innovative Technologies». *Public Roads*. 66 (1): 11-13.
29. Trimbath, Karen. 2006. «Washington State to Study Quieter Pavement Technologies». *Civil Engineering ASCE*. 76 (4): 19-20.
30. Waller, Fred H. 1993. *STP 1193 Use of Waste Materials in Hot-Mix Asphalt*. Philadelphia. American Society for Testing and Materials. 306 págs.
31. Yoder, E.J; Witczak, M.W. 1975. *Principles of Pavement Design*. 2ª Edición. Hoboken, New Jersey. John Wiley & Sons, Inc. 736 págs.

32. Xiao, Feipeng, *et al.* 2007. «Rutting Resistance of Rubberized Asphalt Concrete Pavements Containing Reclaimed Asphalt Pavement Mixtures». *Journal of Materials in Civil Engineering ASCE*. 19 (6): 475-483.

**VIII. APÉNDICE A**  
**TABLAS Y GRÁFICAS DEL REPORTE 2008 DE LA**  
**DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS**



# RUTAS NACIONALES DE LA RED VIAL DE GUATEMALA 2008

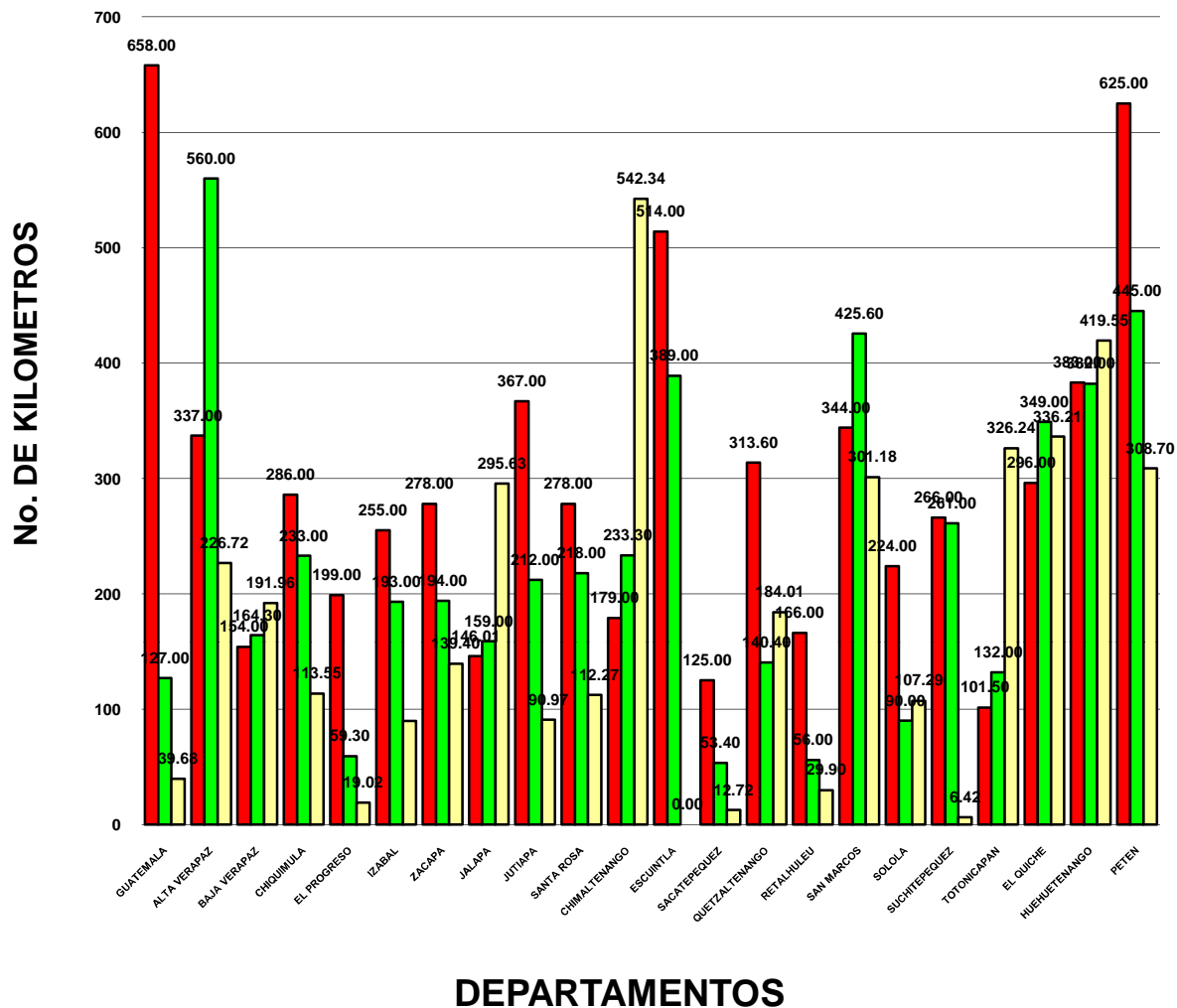


SIGNOS CONVENCIONALES	
Carretera Pavimentada	Carretera Nacional
<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Categoría Desempeñada</li> <li>● Categoría Mueche</li> <li>○ Área o Hacienda</li> <li>□ Área o Paraje</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Logo of CAJUN</li> <li>Logo of IGN</li> <li>Logo of CIV</li> </ul>	
<small>Fuente: Instituto Geográfico Nacional, Mapa Red Vial, Edición 2008. Red Vial de Guatemala año 2008. Diseñado por: Edwin Mejía, Corey López. Encargado Actualización de Mapa.</small>	

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE TRANSITO/DPE/DGC.**



# RED VIAL POR DEPARTAMENTO SEGUN TIPO DE RODADURA AÑO 2008



■ ASFALTO     
 ■ TERRACERIA     
 ■ CAMINOS RURALES

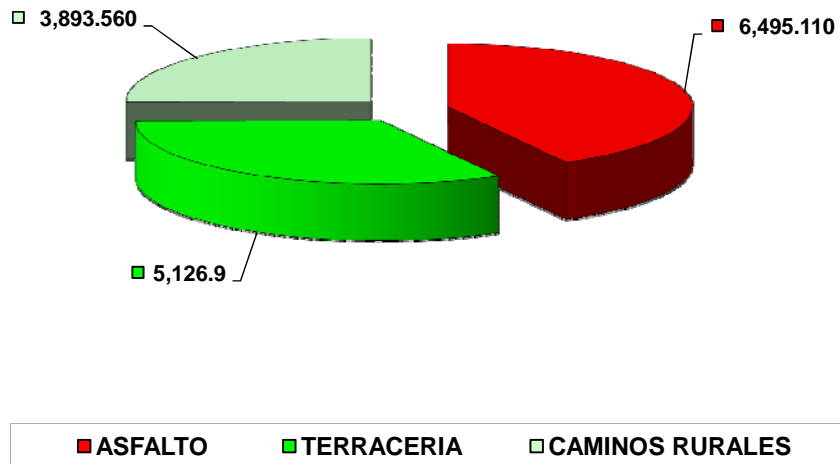


RED VIAL DE GUATEMALA AÑO 2008  
MINISTERIO DE COMUNICACIONES, INFRAESTRUCTURA Y VIVIENDA  
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS  
DIVISION DE PLANIFICACION Y ESTUDIOS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE TRANSITO



TIPO DE RODADURA	TOTAL KILÓMETROS	%
ASFALTO	6,495.11	42.00%
TERRACERIA	5,076.30	32.82%
CAMINOS RURALES	3,893.56	25.18%
<b>TOTAL</b>	<b>15,464.97</b>	<b>100.00%</b>

## RED VIAL DE GUATEMALA SEGÚN TIPO DE RODADURA AÑO 2008



FUENTE: DIV.SUP.CONSTRUC.-DIV.MANTTO.ADMON.-2008



**LONGITUD DE LA RED VIAL  
DE LA REPUBLICA DE GUATEMALA  
SEGUN CLASIFICACION Y TIPO DE RODADURA  
POR DEPARTAMENTO  
AÑO 2008**



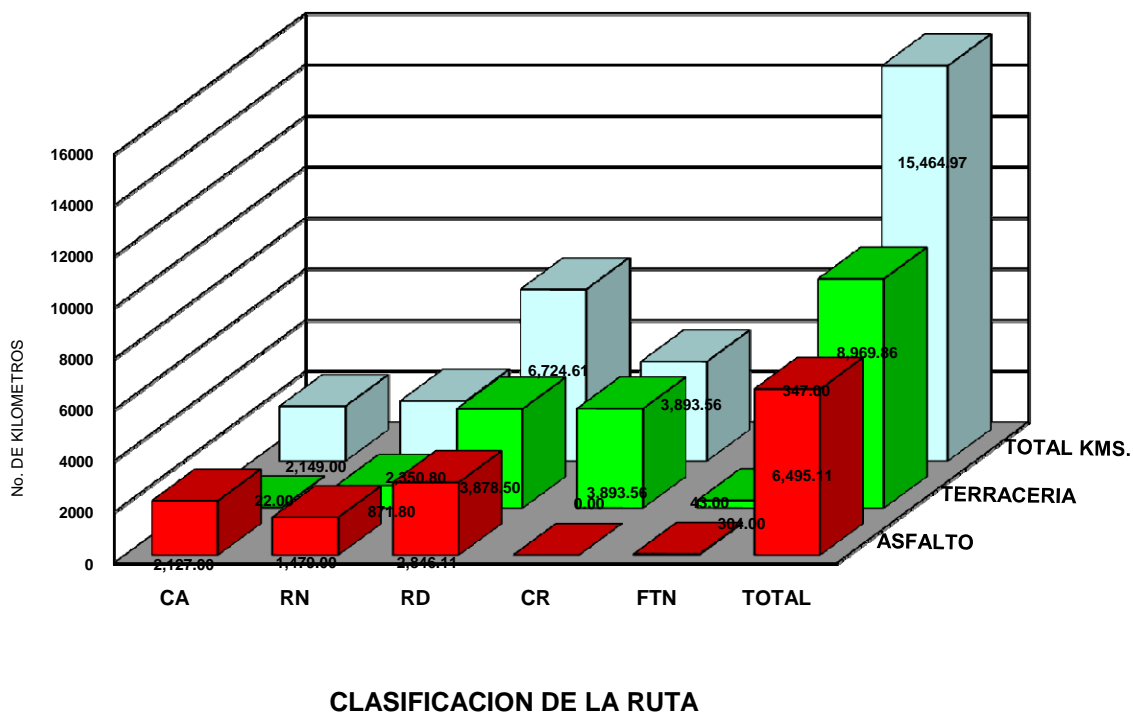
DEPARTAMENTOS	TOTAL KILOMETROS	CENTROAMERICANAS		NACIONALES		DEPARTAMENTALES		FTN		CAMINOS RURALES
		ASFALTO	TERRACERIA	ASFALTO	TERRACERIA	ASFALTO	TERRACERIA	ASFALTO	TERRACERIA	
GUATEMALA	824.68	177.00	0.00	56.00	59.00	425.00	68.00	0.00	0.00	39.68
ALTA VERAPAZ	1,123.72	38.00	0.00	110.00	123.00	155.00	273.00	34.00	164.00	226.72
BAJA VERAPAZ	510.26	53.00	0.00	45.00	55.00	56.00	109.30	0.00	0.00	191.96
CHIQUIMULA	632.55	144.00	0.00	35.00	56.00	107.00	177.00	0.00	0.00	113.55
EL PROGRESO	277.32	118.00	0.00	25.00	0.00	56.00	59.30	0.00	0.00	19.02
IZABAL	537.80	213.00	0.00	12.00	75.00	30.00	94.00	0.00	24.00	89.80
ZACAPA	611.40	105.00	0.00	21.00	2.00	152.00	192.00	0.00	0.00	139.40
JALAPA	600.64	0.00	0.00	112.00	51.00	34.01	108.00	0.00	0.00	295.63
JUTIAPA	669.97	156.00	0.00	36.00	25.00	175.00	187.00	0.00	0.00	90.97
SANTA ROSA	608.27	88.00	0.00	38.00	18.00	152.00	200.00	0.00	0.00	112.27
CHIMALTENANGO	954.64	63.00	0.00	42.00	52.80	74.00	180.50	0.00	0.00	542.34
ESCUINTLA	903.00	263.00	0.00	58.00	8.00	193.00	381.00	0.00	0.00	0.00
SACATEPEQUEZ	191.12	32.00	0.00	48.00	28.00	45.00	25.40	0.00	0.00	12.72
QUETZALTENANGO	638.01	58.00	0.00	127.00	25.00	128.60	115.40	0.00	0.00	184.01
RETALHULEU	251.90	28.00	0.00	71.00	0.00	67.00	56.00	0.00	0.00	29.90
SAN MARCOS	1,070.78	54.00	0.00	189.00	128.00	101.00	297.60	0.00	0.00	301.18
SOLOLA	421.29	53.00	0.00	86.00	12.00	85.00	78.00	0.00	0.00	107.29
SUCHITEPEQUEZ	533.42	73.00	0.00	31.00	0.00	162.00	261.00	0.00	0.00	6.42
TOTONICAPAN	559.74	60.00	0.00	15.00	44.00	26.50	88.00	0.00	0.00	326.24
EL QUICHE	981.21	8.00	0.00	157.00	19.00	131.00	295.00	0.00	35.00	336.21
HUEHUETENANGO	1,184.55	101.00	0.00	165.00	91.00	108.00	210.00	9.00	81.00	419.55
PETEN	1,378.70	242.00	22.00	0.00	0.00	383.00	423.00	0.00	0.00	308.70
<b>TOTAL PAIS</b>	<b>15,464.97</b>	<b>2,127.00</b>	<b>22.00</b>	<b>1,479.00</b>	<b>871.80</b>	<b>2,846.11</b>	<b>3,878.50</b>	<b>43.00</b>	<b>304.00</b>	<b>3,893.56</b>

FUENTE: DIV.SUP.CONSTRUC.-DIV.MANTTO.ADMON.2008

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE TRANSITO, DIVISION DE PLANIFICACION Y ESTUDIOS. D.G.C.



## RED VIAL DE GUATEMALA SEGUN CLASIFICACION Y TIPO DE RODADURA AÑO 2008



CLASIFICACION DE LA RUTA		TIPO DE RODADURA		TOTAL KILOMETROS
		ASFALTO	TERRACERIA	
CENTROAMERICANAS	CA	2,127.00	22.00	2,149.00
NACIONALES	RN	1,479.00	871.80	2,350.80
DEPARTAMENTALES	RD	2,846.11	3,878.50	6,724.61
CAMINOS RURALES	CR	0.00	3,893.56	3,893.56
FRANJA TRANSVERSAL	FTN	43.00	304.00	347.00
<b>TOTAL</b>		<b>6,495.11</b>	<b>8,969.86</b>	<b>15,464.97</b>

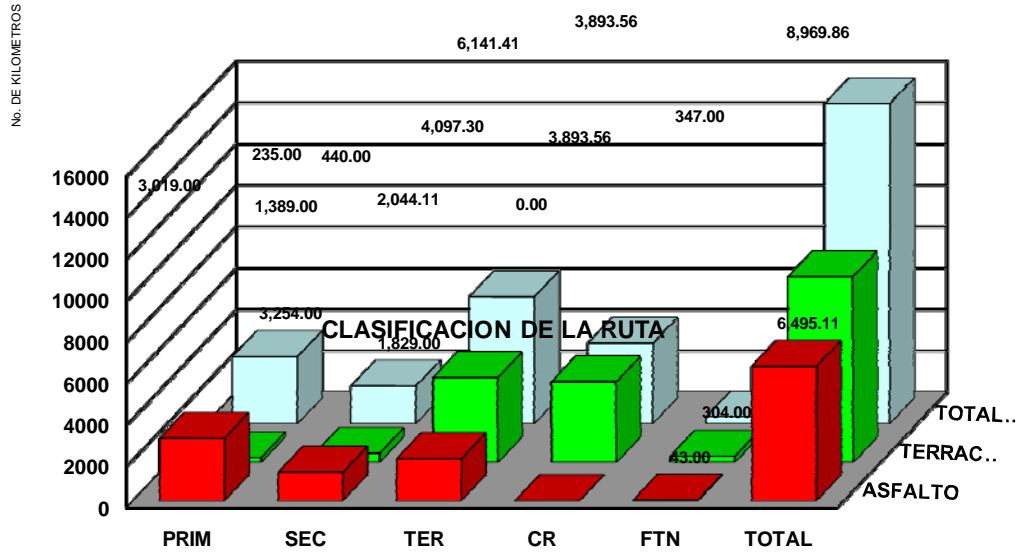
FUENTE: DIV. SUP. CONSTRUC.-DIV. MANTTO. ADMON. 2008

DEPTO. ING. DE TRANSITO DIV. PLANIF. Y ESTUDIOS D.G.C.



## RED VIAL DE GUATEMALA SEGUN CLASIFICACION Y TIPO DE RODADURA AÑO 2008

15,464.97



CLASIFICACION DE LA RUTA		TIPO DE RODADURA		TOTAL KILOMETROS
		ASFALTO	TERRACERIA	
PRIMARIA	PRIM	3,019.00	235.00	3,254.00
SECUNDARIA	SEC	1,389.00	440.00	1,829.00
TERCIARIA	TER	2,044.11	4,097.30	6,141.41
CAMINOS RURALES	CR	0.00	3,893.56	3,893.56
FRANJA TRANSVERSAL	FTN	43.00	304.00	347.00
<b>TOTAL</b>		<b>6,495.11</b>	<b>8,969.86</b>	<b>15,464.97</b>

FUENTE: DIV.SUP.CONSTRUC.-DIV.MANTTO.ADMON.2006

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE TRANSITO, DIVISIÓN DE PLANIFICACIÓN Y ESTUDIOS,D.G.C.



**LONGITUD DE LA RED VIAL  
DE LA REPUBLICA DE GUATEMALA  
POR TIPO DE RODADURA Y DENSIDAD  
DE 1985 AL 2008**



AÑO	TOTAL	TIPO DE RODADURA		CAMINOS	DENSIDAD	
	KILOMETROS	ASFALTO	TERRACERIA	RURALES	* 100 HABITANTES	* 100 KM2
2,008	15,464.97	6,495.11	5,076.30	3,893.56	0.13	14.20
2,007	15,327.11	6,497.11	5,047.90	3,782.10	0.13	14.08
2,006	15,187.70	6,418.11	5,126.90	3,642.69	0.13	13.95
2,005	14,436.19	6,043.61	5,364.60	3,027.98	0.12	13.26
2,004	14,283.45	5,938.01	5,393.00	2,952.44	0.12	13.12
2,003	14,043.55	5,630.43	5,478.58	2,934.54	0.12	12.90
2,002	14,043.55	5,465.93	5,643.08	2,934.54	0.12	12.90
2,001	14,415.47	5,192.62	5,890.38	3,332.47	0.12	13.24
2,000	14,269.92	4,976.62	6,100.38	3,192.92	0.13	13.11
1,999	14,118.00	4,866.00	6,185.00	3,067.00	0.17	12.97
1,998	13,856.00	4,300.00	6,615.00	2,941.00	0.17	12.72
1,997	13,505.00	3,569.00	7,184.00	2,752.00	0.16	12.40
1,996	13,238.00	3,410.00	7,270.00	2,558.00	0.16	12.16
1,995	12,475.00	3,241.00	6,796.00	2,438.00	0.15	11.46
1,994	12,162.00	3,234.00	6,803.00	2,125.00	0.15	11.17
1,993	11,849.00	3,125.00	6,689.00	2,035.00	0.14	10.88
1,992	11,849.00	3,125.00	6,689.00	2,035.00	0.14	10.88
1,991	10,923.00	2,870.00	6,508.00	1,545.00	0.13	10.03
1,990	10,613.00	2,870.00	6,560.00	1,183.00	0.13	9.75
1,989	10,579.00	2,865.00	6,645.00	1,069.00	0.13	9.72
1,988	9,478.00	2,807.00	5,639.00	1,032.00	0.11	8.70
1,987	9,346.00	2,807.00	5,639.00	900.00	0.11	8.58
1,986	9,125.00	2,711.00	5,819.00	595.00	0.11	8.38
1,985	9,121.00	2,641.00	6,155.00	325.00	0.12	8.38

FUENTE: DIV.SUP.CONSTRUC.-DIV.MANTTO.ADMON.2008

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE TRANSITO,DGC

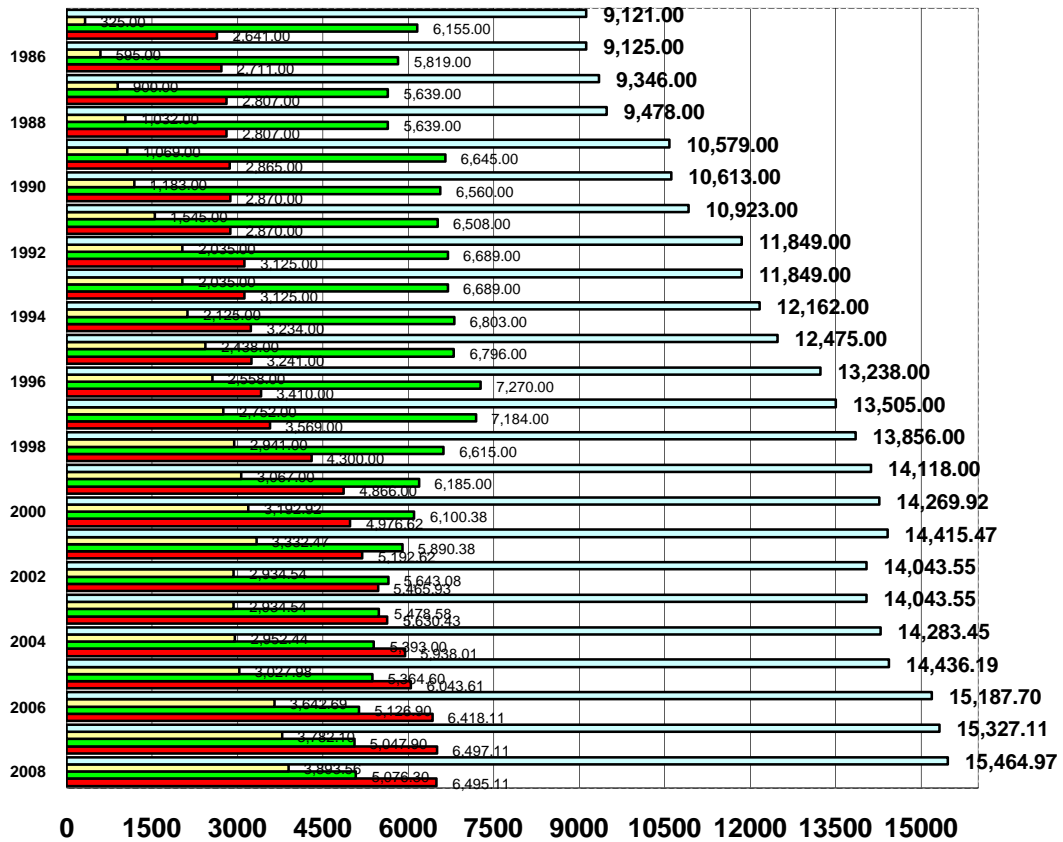
DESCRIPCION DEL COMPORTAMIENTO DE LA RED VIAL AÑO 2007 CONTRA AÑO 2006				
AÑO	TOTAL	TIPO DE RODADURA		CAMINOS
	KILOMETROS	ASFALTO	TERRACERIA	RURALES
2,008	15,464.97	6,495.11	5,076.30	3,893.56
2,007	15,327.11	6,497.11	5,047.90	3,782.10
DIFERENCIA	137.86	-2.00	28.40	111.46



# LONGITUD DE LA RED VIAL SEGUN TIPO DE RODADURA AÑO 1985 - 2008



DEPARTAMENTOS



	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000	1999	1998	1997	1996	1995	1994	1993	1992	1991	1990	1989	1988	1987	1986	1985
TOTAL	15,464.92	15,327.11	15,187.70	14,436.19	14,283.45	14,043.55	14,043.55	14,415.47	14,269.92	14,118.00	13,856.00	13,238.00	12,475.00	12,162.00	11,849.00	11,849.00	10,923.00	10,613.00	10,579.00	9,478.00	9,346.00	9,125.00	9,121.00	
CAMINOS RURALES	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59
TERRACERIA	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59	3,893.59
ASFALTO	6,495.11	6,497.11	6,418.11	6,043.61	5,938.01	5,630.43	5,465.93	5,192.62	4,976.62	4,866.00	4,300.00	3,569.00	3,410.00	3,241.00	3,231.00	3,125.00	2,870.00	2,870.00	2,869.00	2,869.00	2,807.00	2,711.00	2,691.00	275.00

■ TOTAL   
 ■ CAMINOS RURALES   
 ■ TERRACERIA   
 ■ ASFALTO

FUENTE: DIV.SUP.CONSTRUC.-DIV.MANTTO.ADMON.-2008

**IX. APÉNDICE B**  
**EJEMPLOS DE CERTIFICACIONES DE CALIDAD PARA**  
**MEZCLAS DE PAVIMENTOS TRADICIONALES**



# NOTA DE ENVIO -AC-GT

Fecha	AC-GT,
6-oct-09	Nº 006400

Cliente	Destino
PRO IN ASFALT - ASFALGUA	11 Av. 38-60 Zona 11 Las Charcas

Temperatura de Carga	Cantidad Galones Observados	Conversión de Galones a 60° F
270	5331	4,950.37

PARA USO DEL TRANSPORTISTA

Fecha de Carga	Fecha de Descarga
6-oct-09	6-oct-09
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 AM PM	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 AM PM

## ESPECIFICACIÓN DE CALIDAD ASFALTO TIPO AC-20

ANALISIS	METODO ASTM	ESPECIFICACION
GRAVEDAD ESPECIFICA A 20/4° C	D 1293	
GRAVEDAD ESPECIFICA A 60/60° C		
GRAVEDAD ESPECIFICA API A 60°F	D 287	
VISCOSIDAD 60/300 MM	D 2171	2000-400
VISCOSIDAD KINEMATICA A 135° C	D 2170	300 MIN
PENETRACION 100g 5 Seg 25° C	D 5	60-100
FLASH POINT° C	C 92	232 MIN
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO	D 2042	MIN 99
DUCTILIDAD A 25 AC Cm	D 113	50 MIN

NOTA: El producto respeta el rango de la especificación. Cualquier resultado deberá ser solicitado para proporcionarlo en su factura respectiva

Observaciones:

Trasegado a tanque 3 para producción de modificado para Pro In asfalt refinería PERENCO PETEN

ASFALTOS DE GUATEMALA S.A.  
 11 Av. 38-60, Zona 11, Las Charcas  
 Tele: 24420518/19 Fax: 24420517  
 Firma y Sello Cliente

Transportista	Nombre del Piloto	Placa Cabezal	Cisterna No.
PRO IN TRANSPORT	ISRAEL IXCHOP	C-682BHZ	ASF-026

Firma y Sello Transportista

**PROMOTORA INTERNACIONAL DE ASFALTOS S.A.**

6a. Av. 20-25, Zona 10 • Edificio Plaza Marítima, 4º Nivel Of 4-4 01010, Guatemala, Guatemala  
 Tels.: (502) 2366-3944 / 2366-3951 Fax: (502) 2337-0341 • E-mail: proinasfalt1@intelnet.com

CERTIFICADO DE CALIDAD

FECHA 07/10/2009

Descripción del Producto	ASFALTO AC-20
Analizado por	LABORATORIO REFINERIA LA LIBERTAD
Aprobado por	PERENCO GUATEMALA LIMITED
Fecha de Analisis	22/09/2009
LOTE	098 - 2009

Prueba	Resultado
GRAVEDAD ESPECIFICA, 60 °F,	1.062
PESO (Lbs/Gal)	8.738
PENETRACION, 77 °F, 100g, 5 seg.	81
VISCOSIDAD, 140 °F, POISES	2,236
VISCOSIDAD, 275 °F, cSt:	431
FLASH POINT, COC, °F	555
PUNTO DE ABLANDAMIENTO, °F	115
SOLUBILIDAD EN TCE, %	100.0%

ENSAYOS AL RESIDUO TFOT	
VISCOSIDAD, 140 °F, POISES	6,126
DUCTILIDAD, 77 °F, 5 CM/MINUTO	>105

REMARKS

None