



Universidad Nacional Autónoma de México

Francisco José Reynoso Delgado

PAVIMENTOS ASFALTICOS  
MODIFICADOS CON HULE



Facultad de Ingeniería



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**PAVIMIENTOS ASFÁLTICOS MODIFICADOS  
CON HULE**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

**INGENIERO CIVIL**

PRESENTA

**FRANCISCO JOSÉ REYNOSO DELGADO**

México, D.F. Febrero de 2008

*A mi familia, con todo mi amor, son el impulso de mi vida...*

*Ziomara  
Fran y  
Ziomi.*

*A mis padres, mi agradecimiento eterno por su amor y apoyo...*

*Don Victor y  
Cucona.*

*A mis hermanos, con inmenso cariño...*

*Cuquita  
Victor  
Gaby  
Mela  
Guera y  
Matatena.*

*Un agradecimiento muy particular al “Bato”, mi compadre, Carlos Adán Montoya Beltrán, por todo su apoyo para la realización de esta tesis.*

*A Don Saturnino Suárez Fernández por su insistencia que, con tanto cariño, tuvo al fin este resultado.*

*Un reconocimiento esencial a:*

*La Universidad Nacional Autónoma de México.*

*La Facultad de Ingeniería*

*Mis maestros*

*A mis amigos, todos.*



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIRECCIÓN  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/080/07

Señor  
FRANCISCO JOSÉ REYNOSO DELGADO  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. CARLOS ADÁN MONTOYA BELTRÁN, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"PAVIMENTOS ASFÁLTICOS MODIFICADOS CON HULE"**

- INTRODUCCIÓN
- I. TIPOS DE PAVIMENTOS
- II. PAVIMENTOS FLEXIBLES
- III. ASFALTO AHULADO
- IV. SISTEMAS DE CARPETAS AHULADAS
- V. CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFÍA
- GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria a 27 de Junio del 2007.  
EL DIRECTOR

MTRO. JOSÉ GONZALO GUERRERO ZEPEDA  
GGZ/RSU/gar.

VoBo  
27/sep/2007

Vo.Bo  
  
11/OCTUBRE/07

6 de Noviembre 2007  
VoBo  
  
24 octubre 2007

Vo.Bo.  
  
11/oct/07

# **PAVIMENTOS ASFALTICOS MODIFICADOS CON HULE**

# Contenido

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>CAPÍTULO I - PAVIMENTOS .....</b>	<b>6</b>
1.1 ¿Qué es un pavimento?.....	6
1.2 Objetivos de la construcción de un pavimento.....	7
1.3 Tipos de pavimento y materiales que lo forman.....	9
1.3.1 Tipos de pavimentos.....	9
1.3.2 Materiales que lo conforman .....	11
1.3.2.1 Pavimentos flexibles .....	12
1.3.2.2 Pavimentos rígidos .....	12
1.4 Variables que intervienen en el diseño.....	13
<b>CAPÍTULO II - PAVIMENTOS FLEXIBLES .....</b>	<b>14</b>
2.1 Diferentes formas de preparación de asfalto para las carpetas asfálticas: .....	15
2.1.1 Tratamientos superficiales .....	15
2.1.2 Macadam asfáltico .....	15
2.1.3 Mezcla en el lugar.....	15
2.1.4 Mezcla en planta.....	15
2.1.4.1 Concreto asfáltico .....	15
2.2 Materiales que componen el pavimento asfáltico.....	16
2.2.1 Materiales pétreos .....	16
2.2.2 Cementos asfálticos.....	18
2.2.3 Rebajados asfálticos y emulsiones asfálticas. ....	19
2.2.3.1 Rebajados asfálticos.....	19
2.2.3.2 Emulsiones asfálticas. ....	19
2.3 Diseño de un pavimento flexible.....	20
2.3.1 Variables de diseño. ....	20
2.3.1.1 Variables estructurales: .....	21
2.3.1.2 Variable de carga.....	21
2.3.1.3 Variables climáticas y regionales .....	22
2.3.2 Tránsito .....	22
2.3.2.1 Tipos de vehículos.....	24
2.3.2.2 Disposición de las llantas y cargas correspondientes. ....	26
2.3.2.3 Coeficiente de equivalencia de daño. ....	28

2.3.2.4	Número de repeticiones de carga por cada punto de la superficie de rodamiento. ....	32
2.3.2.5	Velocidad permisible del tránsito.....	33
2.3.3	Suelo .....	34
2.3.3.1	Cuerpo del Terraplén (CT) .....	34
2.3.3.2	Capa Subyacente (SBY) .....	34
2.3.3.3	Capa Sub-rasante (SBR).....	35
2.3.3.4	Sub-base (SB) .....	35
2.3.3.5	Base (B).....	35
2.3.4	Medio ambiente .....	36
2.4	Proceso constructivo de pavimentos flexibles.....	37
2.4.1	Concreto asfáltico .....	37

**CAPÍTULO III - ASFALTO AHULADO..... 45**

3.1	Definición.....	45
3.2	Antecedentes .....	46
3.3	Ventajas del Asfalto Ahulado .....	46
3.4	Componentes del Asfalto Ahulado .....	46
3.4.1	Definición de llanta neumática.....	46
3.4.2	Propiedades de las llantas.....	47
3.4.3	Partes que conforma a la llanta.....	47
3.4.4	Aportaciones históricas.....	49
3.5	Materia prima básica para la producción de llantas .....	51
3.5.1	Proceso de producción de los neumáticos.....	51
3.5.1.1	Composición fisicoquímica de las llantas.....	51
3.5.1.2	Proceso de manufactura de las llantas.....	54
3.5.2	Clasificación de las llantas.....	56
3.5.2.1	Tipos de llantas.....	56
3.5.2.2	Clasificación por su tamaño .....	57
3.5.3	Principales usos de las llantas desechadas.....	57
3.5.4	Tecnologías disponibles en el mercado mundial para el manejo, tratamiento, reciclaje y disposición final de las llantas de desecho.....	58
3.5.5	Legislación Nacional e internacional .....	59
3.5.5.1	Legislación Internacional .....	59
3.6	Mezcla y equipo de producción del Cemento Asfáltico con Hule	62

**CAPÍTULO IV - SISTEMAS DE CARPETAS AHULADAS ..... 62**

4.1	Riego de sello .....	62
-----	----------------------	----

4.2	Membrana intermedia para absorber esfuerzos (SAMI).....	63
4.3	Concreto asfáltico ahulado (ARC) Graduación Abierta “Open Grade” .....	63
4.4	Concreto asfáltico ahulado (ARC) “Gap Graded” .....	63

**CAPÍTULO V- CONCLUSIONES .....** **63**

**BIBLIOGRAFÍA .....** **66**

## INTRODUCCIÓN

Todos los proyectos de infraestructura ya sea de vivienda, carreteras, vías férreas, etc. Tienen que realizarse con especificaciones y controles de calidad mayores,

La tesis aquí presentada, pretende ayudar a cambiar la forma de proyectar no solo la infraestructura urbana, también carreteras, ferrocarriles, arquitectura, etc.

La mayoría de las empresas Mexicanas dedicadas a la vivienda, diseño geométrico, urbanismo y construcción, se preocupan mucho por los materiales, procedimientos constructivos y el ahorro en mano de obra, pero no se preocupan por tener proyectos, suficientemente planeados y soportados con estudios de factibilidad, que minimicen desviaciones y permita al constructor trabajar con menor grado de riesgo.

La industria de la construcción, ha sido una de las mas castigadas por las recurrentes crisis sexenales, por lo que los empresarios constructores han desarrollado habilidades para superar los obstáculos que los han amenazado de retirarlos del mercado, sin dejar de reconocer que algunos prefirieron cerrar operaciones en esta actividad.

Las principales condiciones adversas a las que se han enfrentado los constructores son en general las siguientes:

Pagos de impuestos sobre ingresos que no han generado flujo de efectivo, incremento considerable del costo financiero, el rescate de concesiones de infraestructura por incosteabilidad en su operación, facultad otorgada a funcionarios para determinar si la licitación adquiere carácter nacional o internacional (mayor competencia), carencia de incentivos en investigación y desarrollo tecnológico,

contracción recurrente del mercado interno, competencia desleal, menores márgenes de rentabilidad, menores recursos públicos para inversión, nuevas modalidades de contratación de obras públicas con requisitos de financiamiento incluido, etc.

## **CAPÍTULO I. PAVIMENTOS**

### **3.4 1.1 ¿Qué es un pavimento?**

Hasta la fecha se considera que todas las capas que quedan en la parte superior de la capa sub-rasante como son la sub-base, base y carpeta, incluyendo el riego de sello, forman parte de lo que se llama pavimento de una obra vial. Aunque es importante mencionar que se han hecho estudios en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) tratando de demostrar que se puede tener un pavimento bien formado desde la capa sub-rasante, (con los mejores materiales y con el mejor control de calidad) pero que por tener unas terracerías inestables falle, por esta razón se trata de tener una sección estructural del pavimento la cual debe de estar formada por el terreno natural, el cuerpo del terraplén y la capa sub-rasante. Las diferentes capas que constituyen el pavimento: sub-base, base y carpeta, incluyendo el riego de sello.

La sección estructural del pavimento debe de ser una estructura que proporcione una superficie de rodamiento de color y textura apropiados resistente a la acción del tránsito, intemperismo y otros agentes erosivos o perjudiciales y que transmita a las terracerías y/o al terreno natural adecuadamente los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito, de tal forma que no sobrepasen la resistencia de las diferentes capas sin llegar a la falla. De lo descrito anteriormente se puede dar una definición de pavimento.

Se define como Pavimento a la estructura constituida por una capa o un conjunto de capas de materiales apropiados comprendidas entre la sub-rasante y la superficie de rodamiento de una obra vial y cuyas

contracción recurrente del mercado interno, competencia desleal, menores márgenes de rentabilidad, menores recursos públicos para inversión, nuevas modalidades de contratación de obras públicas con requisitos de financiamiento incluido, etc.

## **CAPÍTULO I. PAVIMENTOS**

### **3.4 1.1 ¿Qué es un pavimento?**

Hasta la fecha se considera que todas las capas que quedan en la parte superior de la capa sub-rasante como son la sub-base, base y carpeta, incluyendo el riego de sello, forman parte de lo que se llama pavimento de una obra vial. Aunque es importante mencionar que se han hecho estudios en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) tratando de demostrar que se puede tener un pavimento bien formado desde la capa sub-rasante, (con los mejores materiales y con el mejor control de calidad) pero que por tener unas terracerías inestables falle, por esta razón se trata de tener una sección estructural del pavimento la cual debe de estar formada por el terreno natural, el cuerpo del terraplén y la capa sub-rasante. Las diferentes capas que constituyen el pavimento: sub-base, base y carpeta, incluyendo el riego de sello.

La sección estructural del pavimento debe de ser una estructura que proporcione una superficie de rodamiento de color y textura apropiados resistente a la acción del tránsito, intemperismo y otros agentes erosivos o perjudiciales y que transmita a las terracerías y/o al terreno natural adecuadamente los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito, de tal forma que no sobrepasen la resistencia de las diferentes capas sin llegar a la falla. De lo descrito anteriormente se puede dar una definición de pavimento.

Se define como Pavimento a la estructura constituida por una capa o un conjunto de capas de materiales apropiados comprendidas entre la sub-rasante y la superficie de rodamiento de una obra vial y cuyas

funciones principales son las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, resistente a la acción del tránsito, al intemperismo y a otros agentes perjudiciales. Su función es la de transmitir adecuadamente a la capa sub-rasante los esfuerzos producidos por el tránsito, haciendo posible que los vehículos circulen con comodidad, seguridad y economía.

La estructura o disposición de los elementos que constituyen el pavimento, así como las características de los materiales que se emplean en su construcción ofrecen una gran variedad de posibilidades.

Las capas con las que puede estructurarse un pavimento pueden ser de materiales naturales seleccionados, sometidos a diversos tratamientos y coronados por una carpeta asfáltica o por losas de concreto hidráulico. Dependiendo del tipo de superficie de rodamiento se han clasificado arbitrariamente los pavimentos en rígidos y flexibles.

*Si la superficie de rodamiento es de concreto hidráulico entonces se le conoce como pavimento rígido; pero si la superficie de rodamiento es de concreto asfáltico entonces se le conoce como pavimento flexible.*

### **3.5 Objetivos de la construcción de un pavimento.**

Un pavimento es la estructura formada por varias capas, entre cuyos objetivos específicos a satisfacer son los siguientes:

Resistir y distribuir adecuadamente la acción de las cargas propiciadas por el tránsito, tanto en su magnitud como en su intensidad sin que se presenten cambios volumétricos y/o se pueda llegar a la falla. Un pavimento debe estar constituido de tal forma que las cargas que sobre él se apliquen no provoquen deformaciones permanentes y perjudiciales sobre el terreno y al mismo tiempo se impida la formación de grietas internas en la estructura del mismo y el desplazamiento de partículas ocasionadas por la acción de amasadura del tránsito. Por lo tanto, un pavimento debe tener el espesor necesario para soportar y distribuir las cargas del tránsito.

Reunir las condiciones adecuadas de impermeabilidad para no disminuir la resistencia de alguna de sus capas. El pavimento debe tener la suficiente impermeabilidad para impedir la filtración del agua de lluvia, ya que si esta penetra en exceso provoca la lubricación de las partículas con su consiguiente pérdida en la capacidad de soporte. Siempre se debe de contar con las obras de drenaje necesarias al proyectarse una obra de pavimento, ya que aunado a la impermeabilidad requerida del pavimento en si, se reflejara en una obra estable.

Resistir la acción destructora de los vehículos. La acción abrasiva de las llantas de los vehículos produce desgaste de la superficie y desprendimiento de partículas del pavimento. También el tráfico provoca cierta acción de molienda y amasado, por lo tanto el pavimento debe resistir estos efectos.

Tener resistencia a los fenómenos atmosféricos y ser estable ante los agentes del intemperismo. Los agentes atmosféricos actúan continuamente sobre la superficie del pavimento provocando la meteorización y alteración de los materiales que lo forman. Hay que tener en cuenta que hay materiales que resisten mas y mejor estos efectos y por lo tanto la vida económica y útil del pavimento será mayor cuando los materiales que lo formen tengan mas capacidad de resistencia a los agentes físicos y químicos.

Presentar al usuario una superficie de rodamiento que permita en todo tiempo un tránsito fácil, seguro, cómodo y económico. La superficie de rodamiento de un pavimento debe de ser segura para la conducción de los vehículos, pero esa superficie lisa y uniforme debe ser siempre antideslizante cuando se encuentra mojada.

Debe presentar cierta flexibilidad para adaptarse a algunas fallas de las capas inferiores, ya que en muchas ocasiones por una u otra circunstancia, generalmente controlables se presentan ligeros asentamiento de las capas inferiores, los cuales no son en extremo perjudicial. Pero conviene que el pavimento tenga cierta flexibilidad que la haga capaz de adaptarse a esas pequeñas fallas sin necesidad de reparaciones costosas.

Minimizar tanto los gastos de construcción (costo inicial), así como los de conservación, operación y mantenimiento para la vida útil para la cual fue diseñado el pavimento.

De lo anteriormente descrito se puede concluir que se necesita de una sub-rasante compacta y revestida con un material mejorado, así mismo es necesario una carpeta que en conjunto con las capas inferiores proporcionen un pavimento capaz de resistir y distribuir eficazmente las cargas a las terracerías, las cuales al estar protegidas de la filtración del agua de lluvia mediante una capa impermeable, permanecerá todo el tiempo con la estabilidad necesaria para impedir que se presenten deformaciones permanentes y perjudiciales.

La carpeta que se coloque sobre las diferentes capas compactadas, servirá para proporcionar una superficie de rodamiento que evite en la mayor forma posible las pérdidas del material por la acción abrasiva de las llantas de los vehículos en movimiento; proporcionando una superficie cómoda, lisa, flexible y resistente a los agentes externos que pudieran dañarlo. Por lo que se tendrá un pavimento que si satisface los propósitos para los cuales fue diseñado y construido.

### **3.6 Tipos de pavimento y materiales que lo forman.**

En los siguientes párrafos se mencionaran los diferentes tipos de pavimentos que existen en México, indicando cuales son los materiales que lo conforman.

#### **1.2.1 Tipos de pavimentos**

Los pavimentos que existen hoy en día en las carreteras del país, se diferencian uno de otro, principalmente por el tipo de clase de los materiales que componen la superficie de rodamiento. Por lo cual, encontramos a los pavimentos flexibles y a los pavimentos rígidos.

Los pavimentos flexibles están conformados por una carpeta asfáltica, la cual proporciona la superficie de rodamiento. Esta carpeta se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se fracture. Estas capas inferiores son: Base y Sub-base, las cuales se construyen sobre una capa llamada sub-rasante.

Los pavimentos rígidos están conformados por un conjunto de losas de concreto hidráulico, el cual proporciona la superficie de rodamiento. Este conjunto de losas distribuye la carga hacia las capas inferiores. Este tipo de pavimento no puede plegarse a las deformaciones de las capas inferiores sin que se presente la falla estructural.

Debido a que estos dos tipos de pavimentos están conformados además de la superficie de rodamiento, por un par de capas llamadas Base y Sub-base en el caso del flexible y de una Sub-base en el caso del rígido. Se mencionan las funciones principales de ambas capas y de la capa en donde se apoyan que es la sub-rasante.

Capa Base. Tiene como función el soportar las cargas que le trasmite la carpeta y abatir los esfuerzos inducidos por las cargas rodantes, de tal manera que lleguen a las capas subyacentes con la intensidad que éstas lo resistan. Tiene como objetivo económico que al aumentar su espesor, se reduce el espesor en la carpeta que sirve como superficie de rodamiento.

Capa Sub-base. Es una capa de transición entre la capa de base y la capa sub-rasante. Se le atribuye una función económica cuando no es necesario usar un material de mayor calidad y por consiguiente de mayor costo. Sirve como un colchón que absorbe las deformaciones de las terracerías, debido a cambios volumétricos por efecto de humedad y rebote elástico.

Capa Sub-rasante. Debe resistir los esfuerzos que le transmita el pavimento, debido al paso de los vehículos. Toma los esfuerzos que le transmita el pavimento y lo hace llegar a las terracerías o terreno natural de tal forma que éstas lo resistan fácilmente. Debe evitar que se contamine la parte inferior del pavimento con los materiales que forman las terracerías o el terreno natural. Sirve también para uniformizar los espesores requeridos del pavimento al compensar las variaciones de resistencia en las terracerías o el terreno natural.

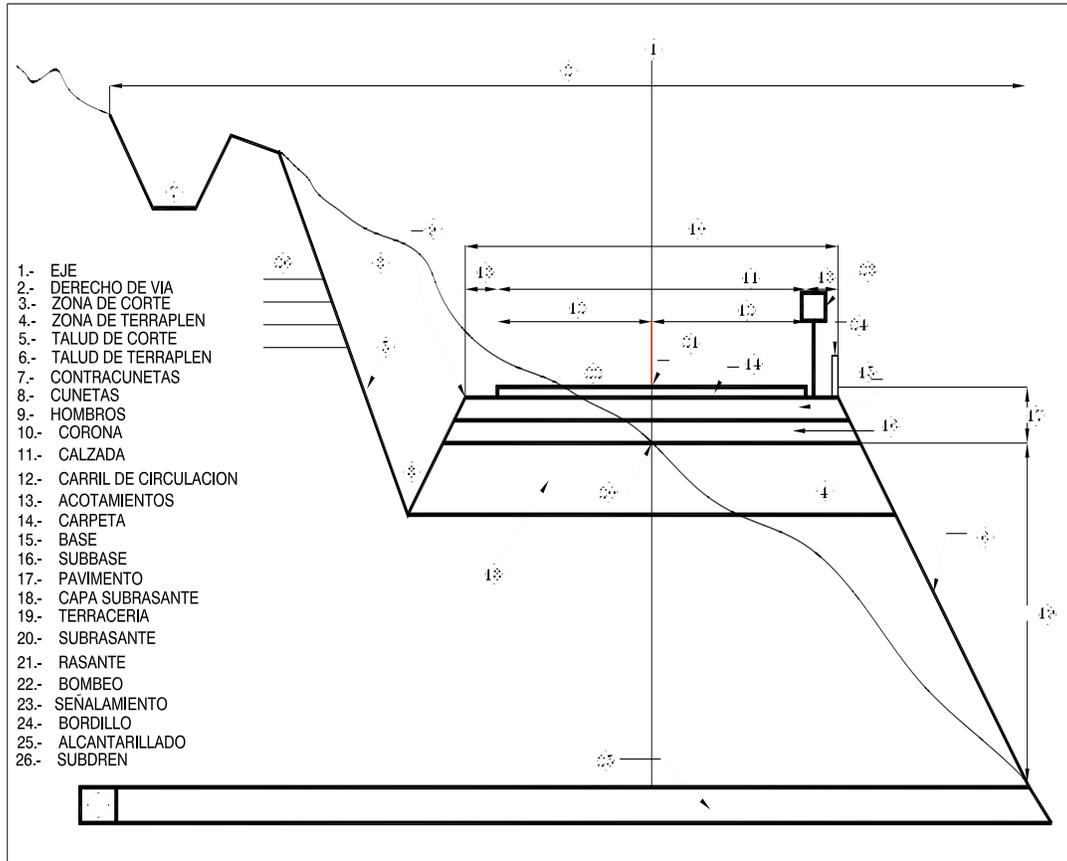


FIGURA “SECCIÓN EN BALCÓN DE UN CAMINO”. EN ESTA SECCIÓN SE APRECIAN LAS CAPAS ANTERIORMENTE DESCRITAS.

### 1.2.2 Materiales que lo conforman

Como se ha mencionado anteriormente, lo que distingue a un pavimento de otro, es el material con que esta construida la superficie de rodamiento.

#### 1.2.2.1 Pavimentos flexibles

Materiales pétreos. Son suelos inertes, provenientes de playones de ríos o arroyos, de depósitos naturales denominados minas o de roca. Sus características más importantes son: Granulometría, dureza, forma de la partícula y adherencia con el asfalto.

Productos asfálticos. Cemento Asfáltico: el asfalto también llamado cemento asfáltico, es el último residuo de la destilación del petróleo y a temperaturas normales es sólido y de color café oscuro. Para mezclarse con los materiales pétreos, debe calentarse a 140° C, por lo que es necesaria una planta.

#### 1.2.2.2 Pavimentos rígidos

El concreto hidráulico es un material pétreo artificial, elaborado al mezclar parte de agua y cemento Portland con arenas y gravas, en proporciones tales que se produzca la resistencia y la densidad deseadas.

Los cementos Pórtland se llaman hidráulicos porque fraguan y se endurecen al reaccionar con el agua. Esta reacción se llama hidratación. Es una reacción química en la que se combinan el cemento y el agua para formar una masa parecida a la de la piedra.

El agua a utilizar para la elaboración del concreto es casi cualquier agua natural que pueda beberse y que no tenga sabor u olor notable.

Los agregados ocupan generalmente un 60 a 80 por ciento del volumen del concreto. Por lo que, sus características influyen en las propiedades del mismo. Estos agregados deben satisfacer ciertos requisitos y deben consistir en partículas limpias, duras, resistentes y durables, libres de sustancias químicas, recubrimientos de arcilla o de otros materiales finos que puedan afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento.

El cemento Pórtland debe cumplir los requisitos químicos y físicos expresados en las tablas 1 y 2 del anexo I. El agua utilizada para fabricar el concreto necesita cumplir los requisitos indicados en la tabla 3 del anexo I y en la tabla 4 del anexo I se muestran las características que deben cumplir los agregados finos y gruesos.

Los concretos que se utilizan en la losa son de resistencia relativamente alta, generalmente comprendida entre 200 y 400 kg/cm<sup>2</sup>. Las losas pueden ser de concreto simple, reforzado o pre-esforzado; de acuerdo al tipo de esfuerzo a que este sometida.

### **3.7 Variables que intervienen en el diseño**

Para el diseño de un pavimento en carreteras, las variables que intervienen son regularmente las mismas; aún si se trata de un pavimento flexible o un pavimento rígido.

Este conjunto de variables las podemos agrupar en tres partes: Económico, Clima y Tránsito.

Económico. El análisis económico proporciona una base sobre la cual se puede tomar una decisión final, aunque la justificación económica no es ciertamente el único factor a considerar. La planeación adecuada de una carretera debe incluir los costos de construcción, mantenimiento y operación. Al considerar estudios de costo del pavimento se pueden distinguir dos tipos de mantenimiento: el principal y el de rutina, como mantenimiento principal se puede considerar el dar una nueva superficie a la carpeta o reconstruir la superficie para que quede en su condición original, el mantenimiento de rutina incluye la corrección de fallas del pavimento a medida que van ocurriendo, más que durante periodos específicos. Los costos de operación se refieren a dos tipos de costo, uno al costo de tránsito del vehículo que es función de la carretera y tipo de vehículo. El otro el costo agregado de usuario que resulta del retraso del tránsito ocasionado por el cierre del camino.

Clima. Los pavimentos están expuestos a muchos factores ambientales y diversas condiciones regionales, como son la temperatura, precipitación pluvial, nivel de aguas freáticas, topografía y características del suelo. Es importante reconocer que en condiciones desfavorables, tales factores pueden provocar la falla del pavimento aún en ausencia de tránsito. El pavimento, como sistema dinámico, debe ser capaz de sobrellevar las incesantes fuerzas destructivas de la naturaleza. Los mecanismos generales por los que el medio ambiente influencia al comportamiento del pavimento es: el efecto en las propiedades de los materiales, el efecto sobre la integridad de los materiales, como su durabilidad y el efecto en el cambio volumétrico y en el equilibrio interno de los esfuerzos del sistema.

Tránsito. El tránsito varía en intensidad y en número de vehículos, en calidad y peso de los mismos y en una carga móvil, repetida, causante de los esfuerzos transitorios. El conocimiento de las características del tránsito que se utiliza o utilizará en el camino que se va a construir es útil para el proyecto de la sección transversal, de una vía convirtiéndose en el principal elemento que se debe tomar en cuenta, ya que el transporte terrestre es el motivo de la obra.

## **1 CAPÍTULO II. PAVIMENTOS FLEXIBLES**

La carpeta asfáltica es la capa superior de un pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento para los vehículos, y que se elabora con materiales pétreos y productos asfálticos. La carpeta asfáltica se apoya sobre una capa llamada base y esta a su vez sobre la capa llamada sub-base.

La sub-base se puede apoyar sobre una sub-rasante mejorada y esta a su vez sobre el cuerpo de terraplén.

Esta carpeta proporciona la superficie de rodamiento uniforme y bien aglutinada de tal manera que no se le desprendan partículas que

Clima. Los pavimentos están expuestos a muchos factores ambientales y diversas condiciones regionales, como son la temperatura, precipitación pluvial, nivel de aguas freáticas, topografía y características del suelo. Es importante reconocer que en condiciones desfavorables, tales factores pueden provocar la falla del pavimento aún en ausencia de tránsito. El pavimento, como sistema dinámico, debe ser capaz de sobrellevar las incesantes fuerzas destructivas de la naturaleza. Los mecanismos generales por los que el medio ambiente influencia al comportamiento del pavimento es: el efecto en las propiedades de los materiales, el efecto sobre la integridad de los materiales, como su durabilidad y el efecto en el cambio volumétrico y en el equilibrio interno de los esfuerzos del sistema.

Tránsito. El tránsito varía en intensidad y en número de vehículos, en calidad y peso de los mismos y en una carga móvil, repetida, causante de los esfuerzos transitorios. El conocimiento de las características del tránsito que se utiliza o utilizará en el camino que se va a construir es útil para el proyecto de la sección transversal, de una vía convirtiéndose en el principal elemento que se debe tomar en cuenta, ya que el transporte terrestre es el motivo de la obra.

## **1 CAPÍTULO II. PAVIMENTOS FLEXIBLES**

La carpeta asfáltica es la capa superior de un pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento para los vehículos, y que se elabora con materiales pétreos y productos asfálticos. La carpeta asfáltica se apoya sobre una capa llamada base y esta a su vez sobre la capa llamada sub-base.

La sub-base se puede apoyar sobre una sub-rasante mejorada y esta a su vez sobre el cuerpo de terraplén.

Esta carpeta proporciona la superficie de rodamiento uniforme y bien aglutinada de tal manera que no se le desprendan partículas que

puedan dañar a los vehículos, con respecto a los materiales que lo forman; la carpeta esta constituida por agregados pétreos mezclados con un producto asfáltico.

### **3.8 2.1 Diferentes formas de preparación de asfalto para las carpetas asfálticas:**

#### **2.1.1 Tratamientos superficiales**

Son las carpetas asfálticas comprendidas por uno, dos o tres riegos y por capas de materiales pétreos clasificados de mayor a menor; para aplicar el siguiente riego se deberá esperar hasta que la carpeta anterior sea planchada y barrida.

### **3.9 2.1.2 Macadam asfáltico**

El macadam asfáltico o de penetración es una carpeta asfáltica que consiste en capas sucesivas de piedras progresivamente más pequeñas de abajo hacia arriba.

#### **2.1.3 Mezcla en el lugar**

La mezcla asfáltica en el lugar se lleva a cabo revolviendo los agregados pétreos con el producto asfáltico mediante el uso de motoconformadoras o empleando mezcladoras ambulantes.

#### **2.1.4 Mezcla en planta**

La mezcla en planta con dosificación por volumen se lleva a cabo calentando el asfalto y muchas veces calentando al agregado pétreo. Como la dosificación de los agregados se hace por volumen, no resulta una mezcla de alta calidad a no ser que su control sea estricto. Debido a la incertidumbre en la dosificación, estas mezclas resultan casi iguales a las elaboradas en el camino con mezcladoras ambulantes.

##### **2.1.4.1 Concreto asfáltico**

El concreto asfáltico son mezclas que se elaboran en plantas estacionarias, calentando los agregados y empleando cemento asfáltico, debido a la dosificación resulta un concreto de alta calidad.

En las últimas décadas se ha utilizado de forma considerable el concreto asfáltico, el cual a pesar de tener una falla frágil y parecida a la del concreto hidráulico, resiste mucho menos que este, por lo que se incluye en los pavimentos flexibles. Para evitar que la carpeta se agriete debido a pequeñas deformaciones de base; esta debe construirse rígida con cemento Portland o cal a fin de que los módulos de elasticidad de ambas capas se parezcan en lo más posible.

### **3.10 Materiales que componen el pavimento asfáltico**

#### **2.2.1 Materiales pétreos**

Los materiales pétreos para construir carpetas asfálticas son suelos inertes, provenientes de ríos o arroyos, de depósitos naturales denominados minas o de rocas, los cuales, por lo general requieren de cribado y triturado para su utilización.

Los materiales que requieren ser cribados son poco o nada cohesivos ya que durante el proceso de extracción quedan sueltos y deben ser cribados mediante medios mecánicos, asegurando la separación y eliminación de partículas mayores que las establecidas en el proyecto.

Los materiales deberán ser cribados según las siguientes condiciones:

Por mallas habilitadas para eliminar partículas mayores de 25 mm (1"); 19 mm (3/4"); 13 mm (1/2"); o de 6 mm (1/4")

Por varias mallas para la producción de materiales pétreos necesarios para la construcción de sellos o sobre carpetas: materiales tipo 3-A, 3-B, o 3-E con 2 mallas.

Los materiales denominados con el número tres, deberán tratarse para eliminar el polvo superficial adherido por su extracción utilizando algún proceso de lavado.

Los materiales que requieren ser triturados parcial o totalmente y cribados deberán obtenerse mediante los mismos procesos descritos anteriormente para materiales de sub-base y base, tanto en cuestión de ubicación de bancos, extracción de material, transporte, triturado y almacenado para ser mezclado con algún material asfáltico.

Las características más importantes que deben tener los materiales pétreos para carpetas asfálticas son granulometría, dureza, forma de la partícula y adherencia con el asfalto. La granulometría es de mucha importancia y debe satisfacer las normas correspondientes, pues como los materiales pétreos se cubren por completo con el asfalto, si la granulometría cambia, de igual forma cambia la superficie a cubrir, ya que la superficie por revestir resulta mas afectada al aumentar o disminuir los finos que cuando hay un cambio en las partículas gruesas, las especificaciones toleran mas los cambios en las partículas gruesas que en la de finos. Al estudiar cada tipo de carpeta asfáltica, se mencionaran las granulometrías necesarias y las tolerancias correspondientes.

Los tamaños máximos a utilizar serán de trascendencia en el resultado final, ya que un tamaño máximo de 19 mm dará por resultado una textura áspera, con buen coeficiente de fricción, la mezcla demandara contenidos de asfalto razonables (6-7% para áridos comunes); pero exigirá espesores de carpeta mínimos de 4 cm y normales de 7 cm. En los cuales se llegan a presentar problemas para lograr los niveles finos dentro de normas. Tamaño máximo de 13 mm mejora la calidad de nivelación, permite espesores de carpeta mínimos de 3 cm con consumos de asfalto entre 7 y 8.5% pero da como resultado superficies más lisas con bajo coeficiente de fricción; que pueden obligar a tomar acciones posteriores para mejorarlo. Finalmente mezclas con tamaño máximo de 6.4 mm producen carpetas con espesores mínimos de 2 cm. Texturas finas y cerradas con alta calidad topográfica; por su espesor mínimo pueden tenderse de manera rápida con gran precisión pero requieren de concentraciones de asfalto elevadas (entre 9-12%)

Como consecuencia de lo anterior, se tiene que el tamaño recomendable de los agregados pétreos para las vías terrestres (carreteras) es de 19 mm, ya que con una adecuada dosificación con agregados finos se puede lograr un acabado adecuadamente

nivelado. Los dos tamaños restantes tienen sus pros y sus contras, según el uso que se les desee dar.

Dependiendo del tipo de planta que se vaya a emplear para fabricar el concreto asfáltico, los materiales se separaran por tamaños, por ejemplo, de 9 a 13 mm. De 13 a 9.5 mm, de 9.5 a 6.4 mm y de 6.4 a polvo. Esta separación facilitará si se hace una buena dosificación para obtener en la máquina la curva granulométrica más acorde a los requerimientos de proyecto.

### 2.2.2 Cementos asfálticos.

El cemento asfáltico es en general, un residuo de la destilación de crudos de petróleo. Mediante una adecuada combinación de adicionantes, se pueden lograr productos con características tanto en elasticidad, grado de dureza, temperatura de fusión ( ya que a temperatura ambiente son rígidos) y grado de fraguado. Con clasificaciones variadas se identificaran por sus características físicas y sobre todo por el tiempo de fraguado. Así se tiene que los cementos del no. 2 al no. 4 son del tipo lento, trabajan a temperaturas de fusión bajas y son elásticos; los del no. 5 al no. 8 son del tipo medio en todas sus características, estos son los mas empleados. Por último se tienen los del no. 9 al no. 12, los cuales son de fraguado rápido, de alta temperatura de trabajo y de alta dureza.

El asfalto, también llamado cemento asfáltico, es él último residuo de la destilación del petróleo y a temperaturas normales es sólido y de color café oscuro. Para mezclarse con los materiales pétreos se debe de calentar a temperatura de 140 °C, por lo que es necesaria una planta. El cemento asfáltico cuando reúne buenas características, se somete a un proceso de refinación posterior para obtener el cemento asfáltico o sea el asfalto básico para la elaboración de los demás materiales asfálticos utilizables en carpetas.

Los procesos de refinación empleados pueden ser:

Método de destilación.

Método de extracción de solventes.

Existen varios tipos de cementos asfálticos, el ofrecido en la República Mexicana es el cemento asfáltico no.6, las normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (S.C.T.) a las que están sujetas se muestran en la tabla II.1, mencionadas en el anexo no. 2. Analizando la tabla II.1 se pueden ver que los asfaltos rebajados son el producto de la mezcla del cemento asfáltico con las fracciones ligeras del petróleo, denominadas dichas fracciones solventes o diluentes.

### 2.2.3 Rebajados asfálticos y emulsiones asfálticas.

#### 2.2.3.1 Rebajados asfálticos

Con el fin de poder trabajar con el cemento asfáltico a temperaturas menores es necesario fluidificarlo, para ello se producen los rebajados asfálticos, los cuales se fabrican diluyendo el concreto asfáltico en gasolina, tractolina (también conocida como petróleo diáfano), diesel o aceites ligeros. Los asfaltos rebajados se pueden dividir en:

- Asfaltos rebajados de fraguado lento; son materiales asfálticos líquidos compuestos de un cemento asfáltico y un disolvente de baja volatilidad, diesel o aceite ligero.
- Asfaltos rebajados de fraguado medio: son materiales asfálticos líquidos, compuestos de un cemento asfáltico y un disolvente del tipo del queroseno.
- Asfaltos rebajados de fraguado rápido: son materiales asfálticos líquidos, compuestos de un cemento asfáltico y un disolvente del tipo de la nafta o gasolina ligera.

#### 2.2.3.2 Emulsiones asfálticas.

Para tener un producto asfáltico que se pueda aplicar o mezclar con pétreos húmedos, se fabrican las emulsiones asfálticas, en las que el cemento asfáltico se suspende en agua por medio de un emulsificante

y un estabilizador. De acuerdo con el emulsificante usado, se producen emulsiones aniónicas y catiónicas, estas últimas resisten mayores humedades en los pétreos. Las emulsiones también son de fraguado rápido, medio y lento de acuerdo al porcentaje de cemento asfáltico.

Se llama emulsión a un sistema compuesto por 2 líquidos inmiscibles, de los que uno se dispersa en el otro en forma de gotas diminutas, llamándose al primero fase dispersa y al segundo fase continua. En las emulsiones asfálticas (en las 2 fases) si se agitan agua y asfalto en caliente, se obtiene una emulsión que solo dura el tiempo de agitación, tan pronto como cesa esta, las partículas de asfalto se unen formando una masa separada del agua. Para lograr emulsiones estables es necesario introducir un tercer componente, el emulgente llamado emulsificante, que se concentra en la capa interfacial de ambos componentes, modificando las propiedades del conjunto y haciendo estable la emulsión.

Dependiendo del agente emulsificante, las emulsiones pueden ser aniónicas si los glóbulos de asfalto tienen carga electro-negativa y catiónica si los glóbulos asfálticos tienen carga electropositiva. Son los materiales líquidos estables, formados por dos fases no mezclables, en los que la fase continua de la emulsión esta formada por agua y la fase discontinua por pequeños glóbulos de asfalto.

Los glóbulos de asfalto son de tamaño coloidal (2 micras) y para preparar las emulsiones se usan mezcladores de alta velocidad o molinos coloidales.

### **3.11 Diseño de un pavimento flexible.**

#### **2.2.4 Variables de diseño.**

Los factores que intervienen en el comportamiento de un pavimento modificando su capacidad de servicio, constituyen argumentos fundamentales que deben hacerse intervenir en las gráficas de diseño,

en las cuales también deberá aparecer el nivel de falla aceptada o el parámetro de comportamiento.

Las variables de diseño pueden agruparse en tres categorías:

#### 2.2.4.1 Variables estructurales:

Comprenden características tales como espesores de las diferentes capas, medidas de resistencia de materiales y resistencia de conjunto del pavimento; se considera a los esfuerzos cortantes como la principal causa de falla estructural de un pavimento, por lo que la propiedad fundamental que deberán tener los suelos que lo componen y que se hará intervenir en el diseño es la resistencia al esfuerzo cortante.

Además de estos esfuerzos, sobre los pavimentos actúan otros adicionales producidos por la aceleración y frenaje de los vehículos y esfuerzos de tensión desarrollados en los niveles superiores de la estructura y a cierta distancia del área cargada, al deformarse esta verticalmente hacia abajo.

#### 2.2.4.2 Variable de carga

El soportar las cargas impuestas por el tránsito dentro del nivel de deterioro y paulatina destrucción previstos por el proyecto, es la primera condición que debe de cumplir el pavimento. Dentro de este grupo deben considerarse aquellas características como el tipo de ejes, ya sean sencillos o tandem, cargas aplicadas, presiones de contacto, cubrimiento, tránsito mezclado y tránsito equivalente.

Los pavimentos están sujetos a cargas móviles y los efectos de estas son menos conocidos y diferentes que los de las cargas estáticas. Aunado a esto, estas cargas actuantes son repetitivas y afectan a la larga a la resistencia de las capas de relativa rigidez, en este caso a las carpetas asfálticas y a las bases estabilizadas, donde se pueden

presentar los fenómenos de fatiga que son difíciles de analizar y cuantificar.

La repetición de las cargas es causa de la rotura de granos que modifica la resistencia de la capa, también produce la interpenetración de partículas granulares en las capas de suelo más fino. Así, la resistencia de los materiales que forman los pavimentos deben interesar por:

La capacidad de carga que pueden desarrollar las capas que constituyen el pavimento para soportar adecuadamente las cargas de tránsito.

La capacidad de carga de la capa sub-rasante, que constituye el nexo de unión entre el pavimento y la terracería para soportar los esfuerzos transmitidos y transmitir a la vez esfuerzos a las terracerías a niveles convenientes.

#### 2.2.4.3 Variables climáticas y regionales

Incluyendo todas aquellas características climáticas, topográficas y aspectos locales que afectan el comportamiento de los pavimentos, entre las variables climáticas más importantes se encuentran la precipitación anual, la temperatura y el régimen de lluvia.

Es evidente que en los programas de investigación sobre pavimentos deben hacerse intervenir todas aquellas variables de diseño que se consideran significativas, además se debe elegir un sistema confiable para determinar el comportamiento del pavimento, mediante el cual se pueda comparar la eficiencia de los diferentes diseños, en otras palabras la investigación debe permitir relacionar las variables de diseño con el comportamiento del pavimento.

#### 2.2.5 Tránsito

Una de las funciones principales de la estructura del pavimento es la de resguardar la sub-rasante de las cargas impuestas por el tránsito. El proyectista deberá diseñar un pavimento que resista un gran número de aplicaciones repetidas de cargas de magnitud variable. Los factores de carga principales que son además importantes en el diseño de pavimentos flexibles son:

1. Magnitud de la carga por eje (y ruedas)

Volumen y composición de la carga por eje.

Presión de las llantas y área de contacto.

Por lo común, la magnitud de la carga máxima se controla mediante los límites legales de carga. Con frecuencia, se emplean investigaciones de tránsito y estudios de carga para establecer la magnitud relativa y la ocurrencia de las diferentes cargas a que está sometido el pavimento. La predicción o estimación del tránsito total que rodará sobre un pavimento durante su vida de diseño es difícil, pero es obviamente una tarea importante.

La mayoría de los procedimientos de diseño se utilizan para un incremento en el volumen del tránsito con base en la experiencia, empleando algunas tasas estimadas de crecimiento.

Se puede afirmar que son variados los factores que intervienen en el comportamiento de un pavimento por lo cual debe realizarse un análisis más detallado del tránsito y de sus características, que intervienen en el diseño de una sección estructural.

Podemos decir que las deficiencias en cuanto a diseño por tránsito, se deben principalmente a dos motivos que son:

Evaluación incorrecta del tránsito inicial

Cambios e incrementos futuros

De esta manera para un adecuado diseño por tránsito, se tienen que tomar en cuenta las siguientes características que se detallan a continuación.

### 2.2.5.1 Tipos de vehículos

Para definir el tipo de vehículos que circulan por un camino se usa la siguiente clasificación:

Atendiendo a su clase

<b>1.1.8</b>	<b>Clase</b>	<b>Nomenclatura</b>
1.1.6	<i>Automóvil</i>	A
1.1.7	<i>Autobús</i>	B
1.1.4	<i>Camión</i>	C
1.1.5	<i>Tractor</i>	T
1.1.2	<i>Semiremolque</i>	S
1.1.3	<i>Remolque</i>	R

FIGURA 2.2.5.1 NOMENCLATURA DE VEHÍCULOS.

De acuerdo a su número de ejes:

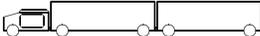
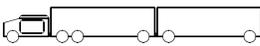
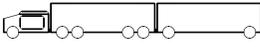
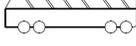
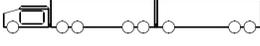
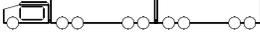
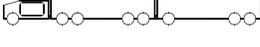
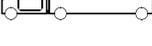
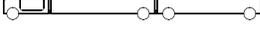
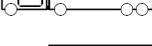
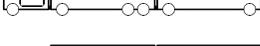
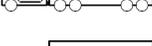
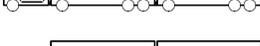
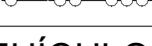
	A2		T2 - S1 - R2
	B2		T3 - S1 - R2
	B3		T3 - S2 - R2
	B4		T3 - S2 - R3
	C2		T3 - S2 - R4
	C3		T3 - S3 - S2
	T2 - S1		C2 - R2
	T2 - S2		C3 - R2
	T3 - S2		C3 - R3
	T3 - S3		C2 - R3

FIGURA II.2. VEHÍCULOS AUTORIZADOS PARA CIRCULAR POR LA RED VIAL

Tipo A. Corresponden a los automóviles y a los camiones ligeros con capacidad hasta de 3 ton. Denominados A2 y A2' respectivamente.

Tipo B. Autobuses de dos, tres y cuatro ejes denominados B2, B3 y B4, respectivamente.

Tipo C. Son los camiones de dos a cuatro ejes (C2,C3 y C4), así como los tractores de dos y tres ejes (T2, T3), con semi-remolque de uno a tres ejes (S1 a S3) o sea T2-S1, T2-S2, T2-S3, T3-S3, los camiones de dos y tres ejes (C2 y C3) con remolque de dos y tres ejes R2 y R3 o sea C2-R2, C3-R2, C3-R3 y los tractores con semi-remolque y cuyas combinaciones autorizadas son T2-S1-R2, T2-S2-R2, T3-S1-R2, T3-S2-R2, T3-S2-R3 y T3-S2-R4.

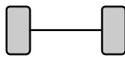
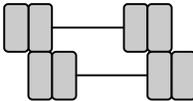
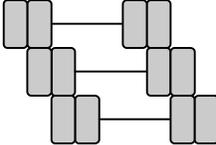
Al observar los datos de vialidad a nivel nacional, más del 50% de los vehículos que pasan por un lugar corresponden al tipo A, es decir más del 50% son automóviles o camionetas con capacidad hasta de 3 ton y cada día la cantidad de automóviles que circulan por las carreteras es mayor.

La alternativa adecuada, es propiciar el transporte masivo siempre y cuando este sea cómodo, seguro y económico para el usuario, lo que tendría las siguientes consecuencias favorables para la red vial:

- Descongestionaría la sección estructural.
- Incrementaría la vida útil de la sección.
- Se podrían aprovechar más adecuadamente los recursos para el sector transportes.

#### 2.2.5.2 Disposición de las llantas y cargas correspondientes.

La disposición autorizada para los diferentes tipos de vehículos es la siguiente:

	Ejes sencillos con llantas sencillas.
	Ejes sencillos con llantas dobles o cuatro llantas o eje sencillo dual.
	Eje doble con llantas dobles u ocho llantas; eje doble dual en tandem.
	Eje triple con 12 llantas o eje triple dual.

Con relación a las cargas máximas autorizadas:

<b>Tipo de eje</b>	<b>Peso autorizado en kg en camino</b>
<b>Un eje sencillo con dos llantas</b>	<b>5,000</b>
<b>Un eje sencillo con cuatro llantas</b>	<b>10.000</b>
<b>Dos ejes en tandem con dos llantas cada eje 4,500/eje</b>	
<b>Tres ejes o más ejes sencillos con cuatro llantas cada eje. 7.500/eje</b>	

FIGURA II.3. TIPOS DE EJES Y PESOS EN kg.  
EFECTOS DEL INCREMENTO DE CARGAS TRANSMITIDAS A LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO.

Los resultados obtenidos por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), quien realizo un análisis en Ottawa, en el estado de Illinois a escala natural demostrando la equivalencia del daño que se presenta con diferentes combinaciones de ejes y sus cargas correspondientes.

Las experiencias se remontan a los tramos de prueba de Maryland y WASHO (Western Association of State Highway Officials) en el sureste de Idaho en 1951 y 1952 en donde se eligieron como cargas un eje equivalente a 18,000 lb. O 8.2 ton. y para eje en tandem a la correspondiente a 32,000 lb. O 15 ton por ser los pesos más usuales.

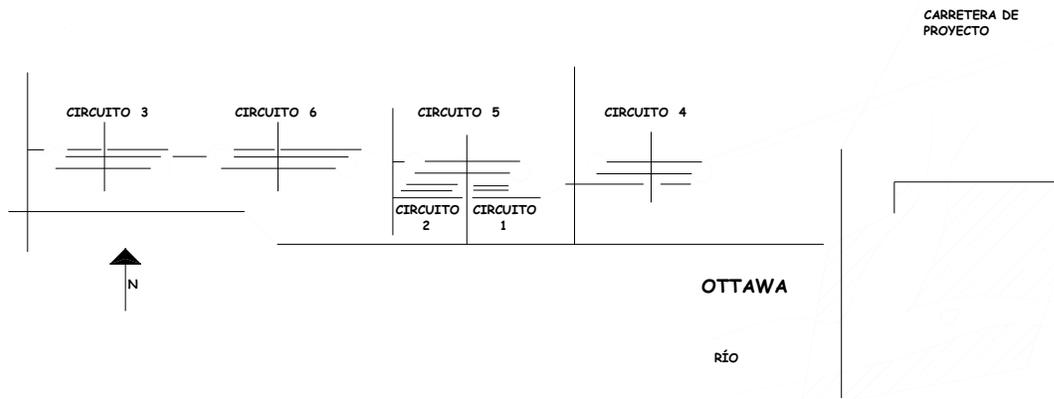


FIGURA II.4. TRAMOS DE PRUEBAS (ASSTHO)

### 2.2.5.3 Coeficiente de equivalencia de daño.

La AASHTO después de haber realizado diferentes tramos de prueba, encontró que los coeficientes de equivalencia de daño en la superficie, con respecto al daño que reproduce un eje estándar esta dado por la siguiente ecuación:

$$F_D = \left[ \begin{array}{c} \text{Carga} \\ \text{Eje Real} \\ \text{Carga} \\ \text{Eje} \end{array} \right]^4$$

El eje estándar es igual al eje equivalente.

Para ejes sencillos si  $L_s$  es la carga por eje real, la expresión es:

$$F_D = \left[ 1.1 \right]^4 ; \quad L_s \text{ en ton.}$$

En el caso de ejes en tandem, si  $L_T$  es la carga por eje real en tandem la expresión se convierte en:

$$F_D = \left[ 1.1 \right]^4 ; \quad L_t \text{ en ton.}$$

También puede afirmarse que para igualdad de daño:  $L_T = 1.8 L_s$

La repetición de cargas y la acumulación de sus efectos sobre el pavimento, como la fatiga es fundamental para él calculo. Se tendrá en cuenta las máximas presiones de contacto, las solicitaciones tangenciales en tramos especiales (curvas, zonas de drenado y aceleración).

El método del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), desde 1962, ha realizado estudios con tramos de prueba, en la denominada pista circular donde se ensayan pavimentos con diferentes estructuras y condiciones de cada carga a escala natural, la pista esta ubicada en un foso donde se aloja la estructura del pavimento y un marco giratorio de tres brazos conectados a una flecha central, que tienen en sus extremos un par de llantas de camión que ruedan sobre la superficie del pavimento hasta provocar la falla, donde se observa la relación de la estructura contra la carga.



FIGURA II.5. PISTA CIRCULAR Y ELEMENTOS QUE LA COMPONENTEN.

De esta forma el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) propuso además de un método de diseño, los coeficientes de daño para los diferentes tipos de vehículos autorizados los que para profundidades que van desde la superficie de rodamiento hasta los 60 cm de profundidad, estos aparecen en el fascículo 444 de este Instituto de noviembre de 1981 en el Apéndice E.

Los Coeficientes de daño bajo carga máxima, se incrementan a medida que aumenta el peso de los vehículos; a manera de ejemplo para  $Z = 0$  sobre la superficie de rodamiento, el coeficiente de daño para el vehículo A2 es de 0.004 y para la misma profundidad para el vehículo T3-S3 el coeficiente de daño bajo carga es de 6.00 es decir se requiere por cada sección 1,500 vehículos A2 para provocar el mismo daño que un solo vehículo T3-S3.

En general los coeficientes de daño para autobuses y camiones con la profundidad, se incrementan es decir el coeficiente de daño de un vehículo T3-S2 para  $Z = 0$  es de 5, en cambio para  $Z = 60$  cm es de 5.761; es decir el mayor daño no se produce en la superficie de

rodamiento sino a 60 cm es de profundidad, que es donde generalmente se encuentra la capa sub-rasante o cuerpo del terraplén.

A continuación se muestra la variación del coeficiente de equivalencia de daño para diferentes pesos por eje sencillo y una variación semejante para diferentes pesos por eje en tandem y como se observa, crecen en forma exponencial.

Coeficiente de equivalencia para Ejes Sencillos		Coeficiente de equivalencia para ejes Tandem	
Carga por eje sencillo (Ton.)	Coeficiente de daño	Carga por eje en Tandem (Ton.)	Coeficiente de daño
2.0	0.03	4.0	0.005
4.0	0.05	8.0	0.08
6.0	0.28	9.0	0.129
8.0	0.90	12.0	0.40
10.0	2.21	16.0	1.29
12.0	4.60	20.0	3.16
14.0	8.40	24.0	6.55

FIGURA II.6. COEFICIENTES DE EQUIVALENCIAS.

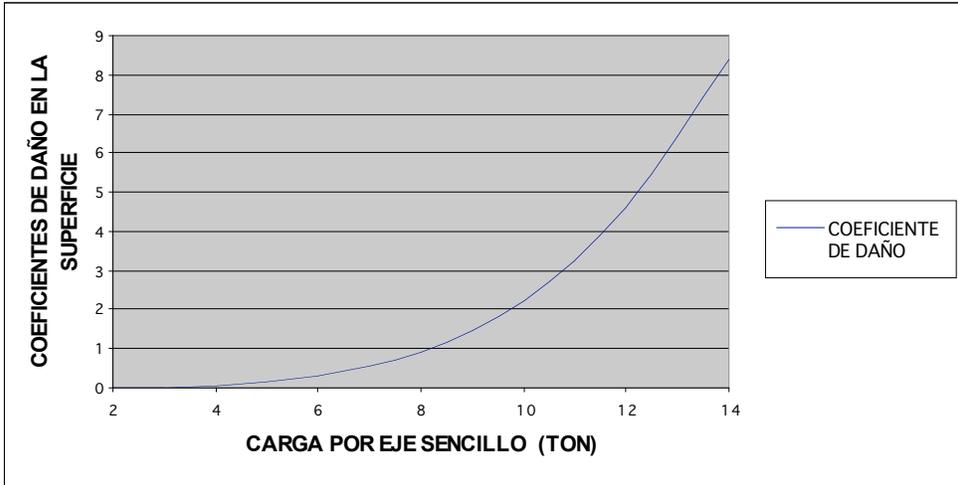


FIGURA II.7. COEFICIENTES DE EQUIVALENCIA PARA EJES SENCILLOS.

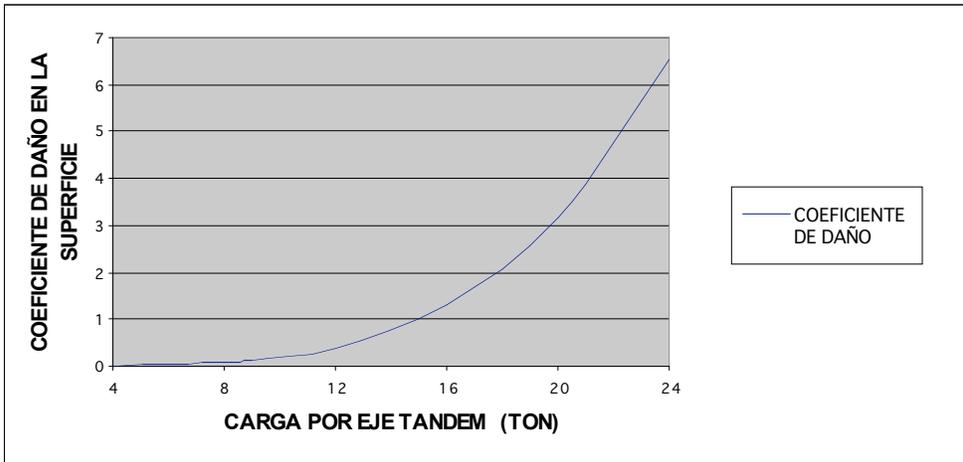


FIGURA II.8. COEFICIENTES DE EQUIVALENCIA PARA EJES TANDEM.

#### 2.2.5.4 Número de repeticiones de carga por cada punto de la superficie de rodamiento.

La experiencia en los tramos observados indica que con mas de 3000 vehículos pesados, la fatiga por los efectos de la repetición de cargas dadas por el tránsito deteriora la sección estructural, entendiéndose por fatiga la falla de la estructura bajo la continua repetición de un

esfuerzo. Se muestra que a mayor número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 ton. se requiere un espesor mayor del pavimento.

Al hacer el diseño de un pavimento se podrá observar la forma como interviene el concepto de fatiga propiciado por repetición de cargas dadas por el tránsito.

Un esfuerzo pequeño propiciado por las cargas de los vehículos en comparación con aquel que hace fallar a la estructura con una sola aplicación, puede aplicarse muchas veces sin daño, pero uno mayor causaría la ruptura con un número menor de aplicaciones, lo cual indica que una carpeta flexible sujeta a una gran repetición de carga podría comportarse mejor y deteriorarse menos si tiene la flexibilidad necesaria para absorber las deformaciones sucesivas que produzcan las cargas rodantes o una gran resistencia de manera que el esfuerzo propiciado por la repetición de cargas resulte pequeño comparado con el esfuerzo o resistencia que tiene la sección estructural.

#### 2.2.5.5 Velocidad permisible del tránsito

La experiencia ha demostrado que las cargas de los vehículos con velocidad pequeña o estática producen más deterioros que dichas cargas a mayor velocidad, lo cual se comprueba en los pavimentos pues se deterioran más los carriles de ascenso que los de descenso, así como los pavimentos de aeropuertos que sirven como calles de rodaje, cabeceras y/o plataformas.

Una cosa semejante sucede al cruzar un puente, la reacción natural del conductor al acercarse a un puente o paso desnivel es frenar y por lo tanto producir mayor tracción.

## 2.2.6 Suelo

El pavimento no funciona de manera independiente, si no que el funcionamiento de cada una de sus partes, además de depender entre sí, también está condicionada al comportamiento del terreno natural o de cimentación.

Un diseño apropiado de los sistemas de pavimento flexible debe abarcar la total interpretación de las características esenciales de los materiales que lo forman y de aquellos sobre los que está cimentado. Las características del material requerido pueden variar, dependiendo de la naturaleza del procedimiento de diseño.

### 2.2.6.1 Cuerpo del Terraplén (CT)

Este debe construirse con material apropiado que tenga pocos cambios volumétricos bajo variaciones de humedad y sirva para alcanzar el nivel de la rasante del proyecto. Para la construcción del cuerpo del terraplén de una obra vial, dependiendo del tipo de terreno en que se construya, se utilizan materiales provenientes de los cortes o de los préstamos.

### 2.2.6.2 Capa Subyacente (SBY)

Cuando el camino se encuentra al nivel del terreno natural o en una sección en corte y una en terraplén, y el terreno en el que se va apoyar es de mala calidad también se llega a usar una capa de mejoramiento llamada subyacente, con objeto de reducir los efectos perjudiciales de ese suelo natural como son deformaciones y expansiones, o reducir espesor de pavimento. Esta capa generalmente se construye entre la capa sub-rasante y el cuerpo del terraplén o el terreno natural.

### 2.2.6.3 Capa Sub-rasante (SBR)

Es una capa de transición entre el terreno natural o el cuerpo del terraplén y el pavimento, sirve para evitar que se contamine la parte inferior del pavimento con materiales que forman las terracerías o el terreno natural. Cuando el material del terreno es de buena calidad, únicamente se conforma y compacta, usándose como capa sub-rasante. En el caso de que el terreno sea roca, se usa la capa subyacente y la sub-rasante para absorber las irregularidades que resulten al efectuar un corte, aunque no necesariamente.

### 2.2.6.4 Sub-base (SB)

Es una capa de transición entre la capa de base y la sub-rasante a la cual se atribuye una función económica cuando no es necesario usar un material de mayor calidad y por consiguiente mayor costo; aún a costa de incrementar los espesores. El material usado en esta capa debe ser procesado, extendido y compactado de acuerdo con lo que suscriban las especificaciones de cada proyecto o las Normas para Construcción e Instalación de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)

### 2.2.6.5 Base (B)

Capa constituida con material seleccionado, de mejor graduación y resistencia que la capa de sub-base. El incremento en su resistencia se debe a la trabazón que existe entre las partículas originada por la forma en general, angulosa de las mismas.

Cuando el material del que se pueda disponer de alguna de las capas mencionadas anteriormente no cuente con la calidad requerida, suele mejorarse con aditivos tales como cemento, puzolanas, sulfatos de calcio, cal o asfalto, y entonces el pavimento pasa a ser del tipo mejorado.

### 2.2.7 Medio ambiente

En el diseño de la propia estructura del pavimento interesa su comportamiento bajo efectos de temperatura y humedad. Son objeto de consideración las temperaturas extremas y estacionales, así como el régimen e intensidad de las precipitaciones, punto de ubicación del nivel freático, geología y topografía de la zona que son premisas que deben de tomarse en cuenta en los aspectos constructivos, donde también debe tenerse en cuenta la selección de los materiales y determinados elementos colaterales, como el drenaje.

El clima o medio en que se ha de construir un pavimento flexible influye decisivamente en la vida útil, resistencia y otras características de los diferentes materiales que conforman el pavimento y sub-rasante. Es probable que los dos factores climáticos más importantes sean la temperatura y la humedad.

La magnitud de la temperatura y sus fluctuaciones afectan las propiedades de ciertos materiales. Por ejemplo, las temperaturas altas ocasionan que el concreto asfáltico pierda estabilidad, en tanto que a temperaturas bajas se vuelve duro y rígido. También, las temperaturas bajas y las fluctuaciones de la misma se asocian con las “ampollas de congelación” y con los daños provocados por las heladas y los deshielos. Si los materiales granulares no están graduados de manera apropiada, pueden levantarse debido a las heladas. De la misma manera, la sub-rasante, si se congela, puede presentar grandes pérdidas de resistencia. Ciertos materiales estabilizados (tratados con cal, cemento y cenizas ligeras de óxido de calcio) pueden sufrir daños substanciales si se someten a un gran número de ciclos congelación – deshielo.

Así mismo, la humedad actúa sobre las características de muchos materiales. La humedad es un factor de importancia en los daños relacionados con las heladas. Los suelos de la sub-rasante y otros materiales de pavimentación se debilitan en forma apreciable cuando se saturan y ciertos suelos arcillosos presentan cambios de volumen substanciales que ha inducido la humedad.

### 3.12 Proceso constructivo de pavimentos flexibles.

#### 2.2.8 Concreto asfáltico

Las carpetas de concreto asfáltico son las que se construyen mediante el tendido y compactación de mezclas elaboradas en caliente, en una planta estacionaria, utilizando cementos asfálticos.

Es importante señalar que existe también el *concreto asfáltico ahulado*. Sin embargo, como este tipo de concreto asfáltico no es motivo del presente trabajo; en el anexo del capítulo II, se hace una descripción general de dicho concreto.

Hay dos tipos fundamentales de plantas para preparación de mezclas asfálticas; la de baches con capacidades de entre 0.23 y 2.8 ton/hr, las cuales eran buenas en su tiempo; pero en la actualidad son obsoletas, ya que con las modernas llamadas de producción continua se producen de 90 a 350 ton/hr o más.

Las plantas de producción continua solo están limitadas por el tamaño de sus elementos, ya que trabajan basándose en gastos de fluidos; uno de áridos y otro de asfalto; si los dispositivos para calentar los materiales, mezclarlos y almacenarlos mientras se dispone de ellos son suficientemente grandes, la producción llega a ser importante. Las plantas mayores, económicamente operables están en el volumen de producción de 300 a 350 ton/hr.

Complicados mecanismos computarizados se encargan de controlar el flujo de los materiales, los áridos son entregados en flujo continuo a razón de litros o kilos por segundo a una banda transportadora. Cada tolva tiene una compuerta que se abrirá tanto como lo requiera la curva granulométrica adecuada. La banda arroja los materiales al tambor secador; en este un potente succionador elimina el polvo en suspensión. Los áridos son secados y se calientan en este tambor y al salir son rociados mediante una tobera a presión con el volumen de asfalto requerido, este también caliente. Los agregados pintados con

el asfalto caen en una tolva de donde son tomados por un elevador que contribuye a revolver y uniformizar la mezcla con los cangilones con los que esta dotado. La mezcla asciende y cae a depositarse en un silo de almacenamiento desde el que llegara a los vehículos para su transporte.

Aunque bien controladas las plantas continuas funcionan de manera impresionante, basta una pequeña falla para que una gran cantidad de mezcla asfáltica se eche a perder. Por ejemplo, si los áridos o el cemento asfáltico no están a la temperatura adecuada, la bomba del aspersor de asfalto funciona irregularmente, o el propio aspersor resulta obstruido, la mezcla obtenida resulta heterogénea, con partes secas, sin asfalto, porque no se adhirió a los áridos el aglutinante. La gran velocidad de producción obligara a la empresa y a la supervisión a estar atentos a fin de detectar cualquier falla a tiempo.

El laboratorio juega un papel importante en todas las etapas de fabricación de una buena carpeta asfáltica. Desde la etapa de estudios para la ubicación del banco de préstamo hasta la explotación del mismo, ya que deben de indicar cual es el estrato mejor para las mezclas asfálticas, buscando siempre los materiales más compactos, menos fisurados y más sanos (que estén carentes de contaminación polvosa) Durante la trituración estarán atentos a las granulometrías que se obtengan, bien sea que se vaya a producir base asfáltica con tamaño máximo de agregados de 25 mm o carpeta con tamaño máximo de agregados de 19–13 mm, recomendando en su caso las separaciones por tamaños que resultan más convenientes para lograr que la planta de fabricación del concreto asfáltico produzca la mejor granulometría.

Así mismo probara la afinidad de los materiales de base asfáltica y carpeta con los productos asfálticos, especificando de ser necesarios los aditivos para mejorarla. A partir de una granulometría ideal obtenida en el laboratorio, llevaran a cabo las pruebas Marshall para conocer los resultados óptimos de:

- Estabilidad de la mezcla: que consiste en una prueba de resistencia a la compresión anular en muestras cilíndricas de dimensiones y fabricación especificadas

- Contenido óptimo de cemento asfáltico
- El porcentaje de vacíos de la muestra óptima (por Norma entre 2 y 4 %)
- Flujo de la muestra: es la deformación de la muestra cilíndrica bajo compresión anular al momento de la falla por ruptura (3-8 %)

Posteriormente se vigilara que en la planta de asfaltos el producto sea el especificado, que los materiales estén separados por tamaños conforme a sus recomendaciones y que se tenga previsto el aditivo para mejorar la afinidad del material pétreo con el cementante, si es requerido.

Participará en las pruebas de calibración de las plantas tratando de lograr que la curva granulométrica se apegue a la ideal obtenida en el laboratorio. También constatará que el asfalto y el aditivo se dosifiquen en las cantidades especificadas y ya sobre la mezcla producida hará ajustes al estudio de Marshall para hacer lo congruente con lo que la planta pueda fabricar realmente.

La mezcla en planta se lleva a cabo generalmente calentando el asfalto y también el agregado pétreo, ya sea en plantas de mezclado continuo o en plantas dosificadoras.

Plantas de mezclado continuo: los agregados básicos para la elaboración de la mezcla asfáltica, que generalmente se encuentran almacenados en bancos especiales y de fácil acceso a la planta de tratamiento, son introducidos al alimentador en frío, el cual consiste en una o más unidades subdivididas en compartimentos de paredes inclinadas que pueden dar cabida a varios tamaños de agregados, permitiendo de esta manera iniciar el ciclo continuo de trabajo para la elaboración del asfalto.

Una vez que el material es introducido en el alimentador se envía por medio de bandas transportadoras al secador con el fin de igualar la temperatura. Ya en el secador el flujo continuo de agregados recibe secado máximo mediante el contacto con la llama y los gases calientes, el secador consiste de un horno cilíndrico giratorio que lleva en uno de sus extremos el quemador de gas o aceite y en el otro un

elevador circular para que los agregados ya calientes, sean dirigidos hacia el colector de polvos; este último es otro depósito cilíndrico cuya función es la de retirar el polvo adherido a los agregados por medio de la fuerza centrífuga y de aire inyectado a presión.

Posteriormente las cribas se encargan de clasificar los agregados y de enviarlos por medio de bandas transportadoras a los compartimentos de la tolva alimentadora, con el fin de abastecer continuamente la planta, esta tolva se controla por medio de un medidor automático que permite dosificar la mezcla deseada.

Finalmente los agregados que provienen de la tolva alimentadora, al igual que el asfalto proporcionado por una bomba y a una temperatura elevada, es recibida en una caja mezcladora, en donde por medio de unas aspas se realiza el mezclado, descargando la mezcla en los camiones que lo distribuirán al lugar en donde se va a emplear.

*Plantas dosificadoras:* este tipo de plantas podrá ser basándose en volumen o peso. Cuando la dosificación de los agregados se hace por volumen, la mezcla no resulta de alta calidad a no ser que su control sea estricto. Debido a la incertidumbre de la dosificación por volumen, este tipo de mezclas resulta casi iguales a las elaboradas en el camino con mezcladora ambulante, por lo que su uso no se ha generalizado.

Por otra parte las mezclas dosificadas por peso en las plantas estacionarias generalmente emplean concretos asfálticos, los que debido a la precisión de su dosificación resultan de alta calidad. El agregado pétreo para la mezcla es secado y calentado entre los 133°C y los 177 °C en la planta antes de entrar en la mezcladora.

Después de calentado el agregado se criba en los tamaños especificados que se depositaran en compartimentos listos para ser mezclados con el cemento asfáltico. Una vez calentados y separados los diversos tamaños de agregados se procederán a pesarlos exactamente, proporcionando sus cantidades de acuerdo al proyecto de manera que la mezcla resultante se ajuste a la granulometría especificada. El material pétreo dosificado se introduce en la mezcladora y a continuación se añade el cemento asfáltico para proceder al mezclado. El cemento asfáltico se calienta en pilas o tanques apropiados que produzcan calentamiento uniforme y no mayor de 177 °C. Las cantidades de cemento asfáltico deberán de

fijarse según el proyecto. Antes de iniciar la construcción de la carpeta, la base hidráulica deberá estar totalmente impregnada y barrida para dejarla exenta de materiales y polvo.

Posteriormente se dará un riego de liga con una petrolizadora en toda la superficie que vaya a quedar cubierta con la carpeta y a lo largo del tramo que se vaya a trabajar, este riego deberá de aplicarse antes de iniciar el tendido de la carpeta basándose en asfalto del tipo FR-3 en proporción a lo marcado en el proyecto.

En este caso el ingeniero residente deberá de tener mucho cuidado para realizar estos trabajos y tener el control de los mismos. En el caso de la planta estacionaria o dosificadora se deberá de cuidar la temperatura de la mezcla, la cual deberá de estar entre los 120 °C y los 150 °C al salir de la misma. El concreto asfáltico deberá de transportarse en camiones de volteo con cajas metálicas, las cuales deberán de estar limpias para evitar que la mezcla se adhiera a la misma y la cuantificación en volumen varíe al momento de realizar el tendido. El camión al salir de la planta debe de ser cubierto con una lona en toda el área de la caja para que se conserve libre de polvo la mezcla, evitando también la pérdida de calor durante el trayecto de la planta al lugar de tendido.

*Tendido y compactación.*- El tendido se simplifica con el empleo de máquinas terminadoras Marca Finisher, con el uso de estas se tiende franjas solo limitadas por el tamaño de la máquina, en espesores que pueden variar en el caso de carpetas entre 2 cm para materiales finos y de 4 a 12 cm para los normales. En efecto hay terminadoras que permiten tirar anchos de 12 m aunque las comunes permiten tirar franjas del orden de 4.5 con el máximo de sus extensiones. Maquinas modernas permiten con elementos hidráulicos variar al antojo del operador el ancho de la franja entre su mínimo y su máximo simplemente pulsando los botones de control. Las pavimentadoras de asfalto constan de dos unidades básicas, que son el tractor y la regla emparejadora; las funciones principales del tractor son recibir, entregar, dosificar y esparcir el asfalto que se recibe al frente de la maquina y se tiene que pasar a la parte delantera de la regla emparejadora. El tractor de igual forma remolca a la regla emparejadora, la cual tiene como función tender el asfalto al ancho y profundidad deseados y proveer el acabado inicial y la compactación.

El asfalto se puede suministrar a la pavimentadora mediante el empleo de un camión. Los camiones abastecedores son empujados por la pavimentadora con los rodillos de empuje que tienen en la parte delantera las cuales se ponen en contacto con las ruedas del camión abastecedor y lo empujan hacia adelante a medida que el camión va descargando el material dentro de la tolva de la pavimentadora. El residente de la obra debe checar la temperatura de la mezcla asfáltica al momento de la descarga a la tolva de la pavimentadora la cual deberá de ser como mínimo de 110 °C y será tomada con la ayuda de un termómetro de punta y registrada para llevar el control del proceso constructivo.

Si por alguna cuestión la mezcla asfáltica perdiera temperatura, ya sea por el transcurso de la planta a la obra o por un mal tapado del camión que transporta a esta y la temperatura fuera inferior a 110 °C la mezcla deberá de ser devuelta a la planta o desechada; por lo cual deberá de tenerse comunicación constante con la planta para detener los acarreo si los tiempos de espera empiezan a incrementarse en la zona de tendido, ya sea por descomposturas en la maquinaria, lluvia inesperada o cualquier otro factor.

La maquina recibe al frente la mezcla enviada desde la planta, mediante un transportador de cadena lo remite a la parte posterior en donde un gusano sin fin lo distribuye a todo lo ancho de la misma y una placa que se mantiene caliente por medio de quemadores de diesel lo engrasa y mediante vibración lo acomoda uniformemente produciendo la primera compactación superficial al paso de la maquina; en caso de requerirse un grupo de personas utilizando rastrillos metálicos afina la capa, reduciendo espesores o recargando las zonas más bajas.

La placa engrasadora es controlada mediante tornillos que permiten afinar los espesores a los lados y al centro de la maquina permitiendo ajustarlos a medida que el tendido avanza. Si se necesitan ajustes para mantener o cambiar el espesor de la capa se deben de ejecutar en pequeños incrementos, los cambios del grueso de la capa se deben finalizar antes de ejecutar cualquier otro ajuste; esto produce transiciones suaves en el grueso de la capa y reduce la posibilidad de formar una capa ondulada debido al exceso de corrección y deberán de verificarse mediante el empleo de un escantillón marcado con el

grueso de la capa, enterrándola en la capa tendida que va dejando la regla emparejadora.

Las juntas de construcción longitudinales cuando el tendido se realice en dos franjas con un intervalo de mas de un día deberá de ligarse con asfalto FR-3 antes de iniciar la otra franja de carpeta asfáltica, así como las juntas transversales deberán de recortarse a 45° antes de iniciar el siguiente tendido de la mezcla.

Una vez que la temperatura ha descendido a niveles adecuados (90 °C a 105 °C para el cemento número 6), se procede a la compactación inicial empleando aplanadora con rodillos en Tandem (dos rodillos lisos alineados) Si la temperatura es aun elevada, se observara que se forma un bordo adelante del rodillo frontal (corrimiento de la carpeta), si es baja, la huella de los rodillos es apenas visible; siendo correcta la temperatura si no hay presencia de bordo y la huella dejada por las orillas de los rodillos se borra al pasar nuevamente el compactador.

Por último se emplearan planchas de rodillo liso para borrar las huellas que hayan dejado los compactadores neumáticos. Como ya se dijo el concreto asfáltico al momento de tenderse deberá tener una temperatura mínima de entre 100 °C y 110°C y al momento de terminar su compactación de 70 °C.

La aplanadora se moverá siempre de una orilla de la franja hacia la otra; si se trata de la segunda franja, la primera pasada montara la mitad del rodillo sobre la franja anterior y la otra sobre la nueva, a fin de garantizar que la zona de unión quede adecuadamente compactada. La aplanadora, una vez que ha terminado de cubrir la franja reiniciara el proceso para al menos dar dos pasadas a media huella, o sea montando el centro de los rodillos sobre la línea del borde de la pasada anterior.

Terminada la compactación inicial se hace entrar un compactador neumático autopropulsado con llantas que trabajando también a media huella pasara sobre la franja tantas veces como se requiera para obtener la compactación especificada (ordinariamente el 95% del peso volumétrico del material suelto determinado en la prueba Marshall)

En la actualidad se cuenta con máquinas que cuentan con rodillos metálicos en tandem que pueden trabajar rodando simplemente o bien

produciendo vibración en uno o en los rodillos; este equipo permite acelerar notablemente el proceso de compactación de la carpeta asfáltica.

El procedimiento consistirá en dar dos pasadas a media huella con los rodillos sin vibrar y a continuación dar de dos a cuatro vibrando en frecuencia de baja a media, si se realizan pruebas preliminares ayudara a ajustar el método. En este caso el uso del rodillo neumático seguirá siendo recomendado para asegurar el cierre de la estructura de la capa, posteriormente y para asegurar sobre todo que la zona de unión entre las franjas quedado adecuadamente cerrada se deberá proceder a añadir compactación en sentido transversal a todo el ancho de la zona. Este proceso se recomienda realizarse preferentemente al día siguiente de que se complete el ancho total de la carpeta, a medio día aproximadamente para aprovechar el calentamiento ocasionado por el sol.

Por lo anterior se destaca la conveniencia de reducir la longitud de las franjas tendidas en beneficio de lograr el ancho total en corto tiempo. Al terminar cada jornada el extremo longitudinal de las franjas deberá procurarse que no quede alineado a fin de evitar la coincidencia de la línea de unión.

Para dar por terminado el tramo deberá de hacerse un chaflán en las orillas y compactarlos así como verificar la alineación, perfil, sección, compactación, acabado y espesores de proyecto y obtener el reporte del laboratorio.

Una vez terminada la compactación y fría la mezcla se revisara la permeabilidad de la mezcla. Si el índice de permeabilidad de la carpeta una vez terminada es mayor de 10 deberá dársele un riego de sello, prestando especial atención a las zonas de unión entre franjas. Utilizando una broca cilíndrica abierta se obtendrán especímenes que permitirán revisar el grado de compactación alcanzado por comparación con el máximo del procedimiento Marshall. Adicionalmente servirá para observar la forma en que quedo acomodada la mezcla comprobando que no haya habido clasificación de las partículas; de ser necesaria la muestra servirá para verificar la estabilidad.

Dentro de algunos de los problemas que se pueden presentar son los de calidad clasificados en dos tipos:

Originados por la calidad deficiente de los materiales tanto pétreos como asfálticos, los cuales se pueden apreciar en una curva granulométrica defectuosa, la cual puede deberse a las carencias de tamaños, para lo cual se debe de corregir la trituración o la separación por cribado. Otra forma de apreciar la mala calidad de la carpeta asfáltica ocurre por ruptura en las partículas gruesas durante la compactación, consecuencia de materiales blandos; generalmente en él limite de aceptación de la prueba de desgaste. De igual forma se puede presentar fraguado precipitado de la mezcla que puede ser por bajas temperaturas ambientales (no se recomienda tender mezcla debajo de los 18 °C) o por utilizar un cemento asfáltico del tipo rápido (del No 8 al No. 12)

Otra falla que normalmente se presenta es por fallas durante el proceso de fabricación y tendido, se tiene así una carpeta porosa por falta de control de la granulometría o una carpeta cerrada que es indicadora de exceso de finos. Así mismo se puede tener la carpeta abierta que es indicadora de falta de compactación. Si la falla no es producida por fallas de granulometría, recompactando con equipo neumático pesado en ambos sentidos se logra corregir la falla.

## **CAPÍTULO III. ASFALTO AHULADO**

### **3.13 Definición**

Asfalto ahulado se define como “una mezcla de cemento asfáltico y hule molido de llanta de desecho, con algunos aditivos donde el componente de hule es como mínimo el 15% del peso volumétrico de la mezcla, que ha reaccionado con el cemento asfáltico caliente lo suficiente para lograr una dilatación e integración de las partículas de

Dentro de algunos de los problemas que se pueden presentar son los de calidad clasificados en dos tipos:

Originados por la calidad deficiente de los materiales tanto pétreos como asfálticos, los cuales se pueden apreciar en una curva granulométrica defectuosa, la cual puede deberse a las carencias de tamaños, para lo cual se debe de corregir la trituración o la separación por cribado. Otra forma de apreciar la mala calidad de la carpeta asfáltica ocurre por ruptura en las partículas gruesas durante la compactación, consecuencia de materiales blandos; generalmente en él limite de aceptación de la prueba de desgaste. De igual forma se puede presentar fraguado precipitado de la mezcla que puede ser por bajas temperaturas ambientales (no se recomienda tender mezcla debajo de los 18 °C) o por utilizar un cemento asfáltico del tipo rápido (del No 8 al No. 12)

Otra falla que normalmente se presenta es por fallas durante el proceso de fabricación y tendido, se tiene así una carpeta porosa por falta de control de la granulometría o una carpeta cerrada que es indicadora de exceso de finos. Así mismo se puede tener la carpeta abierta que es indicadora de falta de compactación. Si la falla no es producida por fallas de granulometría, recompactando con equipo neumático pesado en ambos sentidos se logra corregir la falla.

## **CAPÍTULO III. ASFALTO AHULADO**

### **3.13 Definición**

Asfalto ahulado se define como “una mezcla de cemento asfáltico y hule molido de llanta de desecho, con algunos aditivos donde el componente de hule es como mínimo el 15% del peso volumétrico de la mezcla, que ha reaccionado con el cemento asfáltico caliente lo suficiente para lograr una dilatación e integración de las partículas de

hule”. Los mejores resultados se han obtenido utilizando un mínimo de 17% de hule reciclado, mezclado a temperaturas entre 175°C y 200°C para provocar la reacción.

### **3.14**

### **3.15 3.2 Antecedentes**

El Asfalto ahulado originalmente fue desarrollado en la década de los 60's por Charles McDonald, un ingeniero de la ciudad de Phoenix, McDonald tuvo la idea de usar el asfalto ahulado como una membrana (SAMS) que redujera los esfuerzos en el asfalto.

En los 70's usaron el asfalto modificado con hule en mezclas asfálticas con agregados gruesos, dichas mezclas no obtuvieron los resultados esperados. En esos mismos años se realizaron pruebas con mezclas de agregados tipo “open grade” obteniendo una muy buena mezcla y sobretodo durable.

### **3.16 3.3 Ventajas del Asfalto Ahulado**

### **3.17 3.4 Componentes del Asfalto Ahulado**

#### **3.4.1 Definición de llanta neumática.**

Existen diversos términos con los que se puede definir a una llanta neumática, de los cuales podemos resumir que:

Una llanta neumática, es un elemento elástico de las ruedas de los vehículos con una envoltura que contiene aire a presión, la cual tiene por objeto soportar las cargas que actúan sobre el vehículo y transmitir al terreno las fuerzas necesarias para el movimiento. Está constituida por una cubierta, banda de rodadura de goma labrada, que tiene la finalidad de evitar el derrape del vehículo; una carcasa, estructura resistente, formada por capas de hilos o de cables incorporados en el

caucho, y una cámara de aire (ausente en aquellas llantas neumáticas en las que la presión de aire esta asegurada por una mezcla especial con la que se recubre el interior de la carcasa).

### 3.17.1 Propiedades de las llantas.

Las llantas están constituidas por diversas propiedades como lo es la dureza; la cual tiene la finalidad de que la llanta difícilmente puede estropearse y descomponerse.

Las llantas enteras tienen un poder calorífico de aproximadamente 15,000 Btu/libra, una llanta entera de automóvil de pasajero normal, proporciona bastante combustible para producir la electricidad para una casa pequeña durante el día.<sup>1</sup>

### 3.17.2 Partes que conforma a la llanta.

Es importante conocer las partes que conforma las llantas, esto con el fin de conocer las partes que se pueden reutilizar o reciclar al final de su vida útil.

Las llantas se conforman por diversas partes que en general se puede considerar que son las siguientes; la banda de rodadura, el cuerpo y las cuentas. La primera es una almohadilla espesa de caucho con ranuras para formar listones o espinazos, la banda proporciona tracción para mover y detener (frenar) al vehículo, también previene el deslizado y patinado del vehículo, cuando éste se encuentra en movimiento.

Su cuerpo esta constituido por capas de textil intercaladas en el caucho, el cual da fuerza y forma a la llanta.

---

<sup>1</sup> Revista: Solid Waste Technologies February/January, 1994, pág. 20-26.

Y finalmente las cuentas, son las dos vendas que sostienen al neumático o su rueda, estas se localizan a lo largo de los bordes internos de la llanta y se componen de cuerdas de alambre rodeadas por caucho que se cubre con textil.

A su vez estas tres partes están constituidas, mas complejamente por las siguientes:

*Cinturón estabilizador:* en su mayoría son de acero y proporcionan resistencia a la llanta, estabiliza la banda de rodamiento y protege a esta contra pinchaduras.

*Capa radial:* contiene la presión del aire de la llanta y junto a los cinturones estabilizadores transmite toda la fuerza de freno y dirección entre la rueda y la banda de rodamiento.

*Costados:* su hule esta especialmente compuesto para resistir la flexión y la intemperie, proporcionando al mismo tiempo protección a la capa radial.

*Sellante:* consiste en adicionar una o dos capas de hule, esto es para las llantas que no usan cámara.

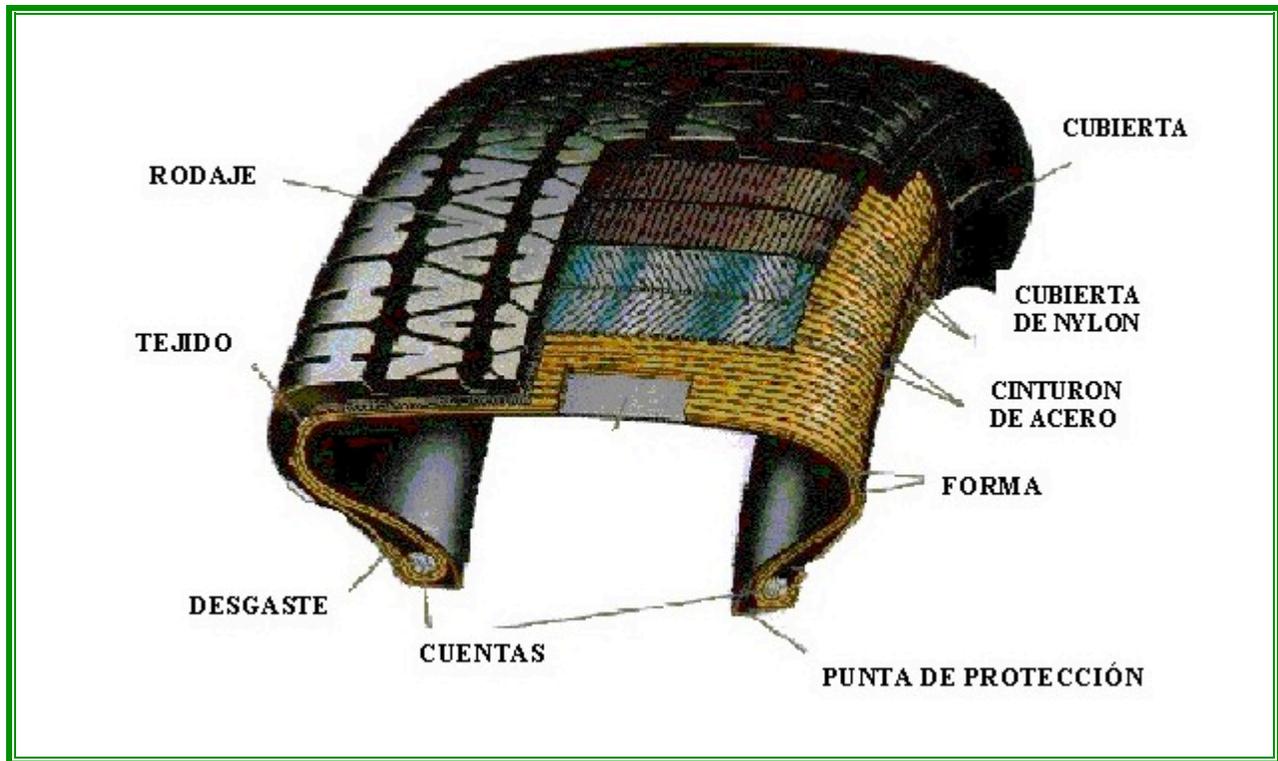
*Relleno de la ceja:* piezas de hule con características especiales que se usan para llenar el área de la ceja y la parte inferior del costado, para proporcionar una transición suave del área rígida de la ceja del área flexible de costado.

*Refuerzos de ceja:* es una capa colocada sobre el interior del amarre de la capa radial, en el área de la ceja y la parte inferior del costado, proporciona una transición de la ceja al costado.

*Ribete:* usado como referencia para el asentamiento adecuado de la ceja sobre el rin.

**FIGURA 1.1**

**ANATOMÍA DE LA LLANTA**



FUENTE: INCREMI, S.A. DE C.V.

#### 3.4.4 Aportaciones históricas

John Boyd Dunlop inventó la primera llanta neumática de hule (caucho). Esta llanta presentaba las siguientes características: hueca, tubular, llena de aire, con la particularidad de que iba fija a la rueda. Este tipo de llanta se utilizó en un principio para las bicicletas.

En 1895 hizo su aparición la llanta neumática desmontable inventada por los hermanos Michelin en Francia. Este tipo de llanta proporcionó una mayor facilidad en el cambio y remplazó, ya que poseía un mejor rodamiento y con ello una mayor velocidad, magnífico amortiguamiento a los golpes, estabilidad en el manejo y gran acción antiderrapante.

No obstante este tipo de llanta, significa un gran adelanto; pero seguía observándose en ella algunos inconvenientes, tales como: el ser susceptible a reventones y ponchaduras; sufrían calentamientos y con

ello, reducción de su duración y distaba bastante toda vía de un satisfactorio agarre o adherencia al piso sobre todo en curvas.

Con el tiempo se fueron introduciendo mejoras en su fabricación para reducir estos inconvenientes. Fueron ideándose diversos dibujos de la cubierta, (con el propósito de identificarlas dependiendo de su uso: altas velocidades, servicio urbano, trabajos agrícolas, etc.); también se cambió la superficie sumamente curva de la superficie de rodamiento de la llanta, que era completamente tubular (como la de la bicicleta), dándole una curvatura menos pronunciada (con ello se logró una mayor adherencia al piso); se aumentaba el número de capas para incrementar su resistencia; se aplicaron “ventilas”, a sus paredes cerca de los hombros (para disminuir su calentamiento).

La llanta neumática con cámara predominó durante varias décadas, que data desde los comienzos de este siglo, a lo largo de las dos guerras mundiales, hasta el año de 1947 en que se registró un extraordinario acontecimiento que marco otro hito más en la historia e industria de la llanta.

En 1954, en México se empezó a utilizar la llanta sin cámara, este tipo de llanta reunía todas las ventajas de la llanta convencional con cámara, y ofrecía otras ventajas adicionales tales como: reducción del peso de la llanta, menos fricción y calentamiento (por ende mayor duración), menos susceptibilidad a reventones y con ello, un mayor índice de seguridad. En muy poco tiempo, la llanta sin cámara logró una aceptación universal. Marco una nueva era en materia de seguridad automotriz y constituyó la mayor innovación en la historia de la industria llantera.

La llanta de capas radiales fue producida primeramente por la firma Michelin en Francia, en 1948. La llanta convencional, tanto con cámara o sin cámara se construye con cuerdas que se disponen diagonalmente en capas alternadas a unos 35° de ángulo en relación con el rin. La innovación de la llanta radial consistía en que las cuerdas se extienden transversalmente, de una ceja a otra del rin, a un ángulo de 90° con respecto a la dirección de avance de la llanta. Las cuerdas no se cruzan ya que todas se extienden en la misma dirección colocadas radialmente. De ahí se denomina llanta de “cuerdas radiales” o “llanta radial”.

### 3.5 Materia prima básica para la producción de llantas

- a) Compuestos de hule: Los componentes de hule deben ser diseñados según la función que va a cumplir, es decir, para la banda de rodamiento serán resistentes al calor, flexión desgaste, cortadas, etc. Para las paredes resistentes a la flexión, al calor, buena adhesividad; y para las cejas deberán ser muy duros.
- b) Materiales textiles: Estos serán los que soporten el aire, golpes, calor, etc. Y para su mejor funcionamiento se recubren de hule, formando las capas de la llanta, cuyo número se diseñará según la resistencia de esta. Las capas por su naturaleza podrán ser de Nylon, poliéster, rayón, etc.
- c) Alambre de acero: principalmente en la caja para dar la firmeza necesaria a la llanta al montarla en el rin. Así como, servir de sostén a las capas de las llantas.

#### 3.5.1 Proceso de producción de los neumáticos

##### 3.5.1.1 Composición fisicoquímica de las llantas

Los componentes principales son:

<b>CUADRO 1.1</b>		<b>COMPOSICIÓN FISICOQUÍMICA DE LAS LLANTAS EN GENERAL</b>	
<b>3.5.1.1.1 MATERIAL</b>		<b>COMPOSICIÓN %</b>	
Caucho natural		14-27	
Caucho sintético		27-14	
Carbón		28	
Acero		14	
Fibra		2	
Químicos (aceite, sulfuros, óxido de zinc,		15	

antioxidantes, etc.)	
Peso promedio	11.35 Kg
FUENTE: <a href="http://www.eng.buffalo.edu/~gutchie/html/tirecycl.htm">www.eng.buffalo.edu/~gutchie/html/tirecycl.htm</a>	

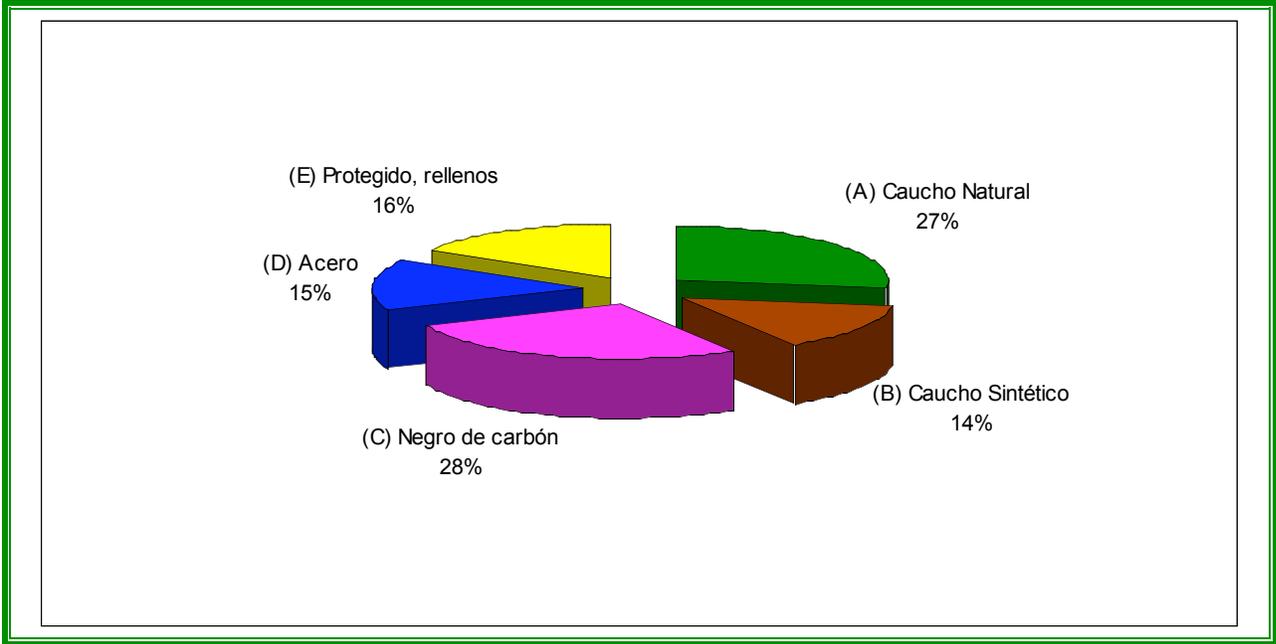
Por ejemplo la composición de las llantas para camiones y automóviles se representa en el Cuadro 1.2.

**CUADRO 1.2 COMPOSICIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LAS LLANTAS PARA CAMIONES Y AUTOMÓVILES**

MATERIAL	COMPOSICIÓN (%)	
	CAMIONES	AUTOMÓVILES
Caucho Natural	27	14
Caucho Sintético	14	27
Negro de carbón	18	28
Acero	15	15
Protegido, rellenos	16	16
Peso de la llanta Nueva	54.48 Kg	11.35 Kg
Peso de la llanta Usada	45.40 Kg	9.08 Kg

FUENTE: James E. Marque, Burak Erman, Federick R., Eirich, "La Ciencia y Tecnología del Caucho", 1994.

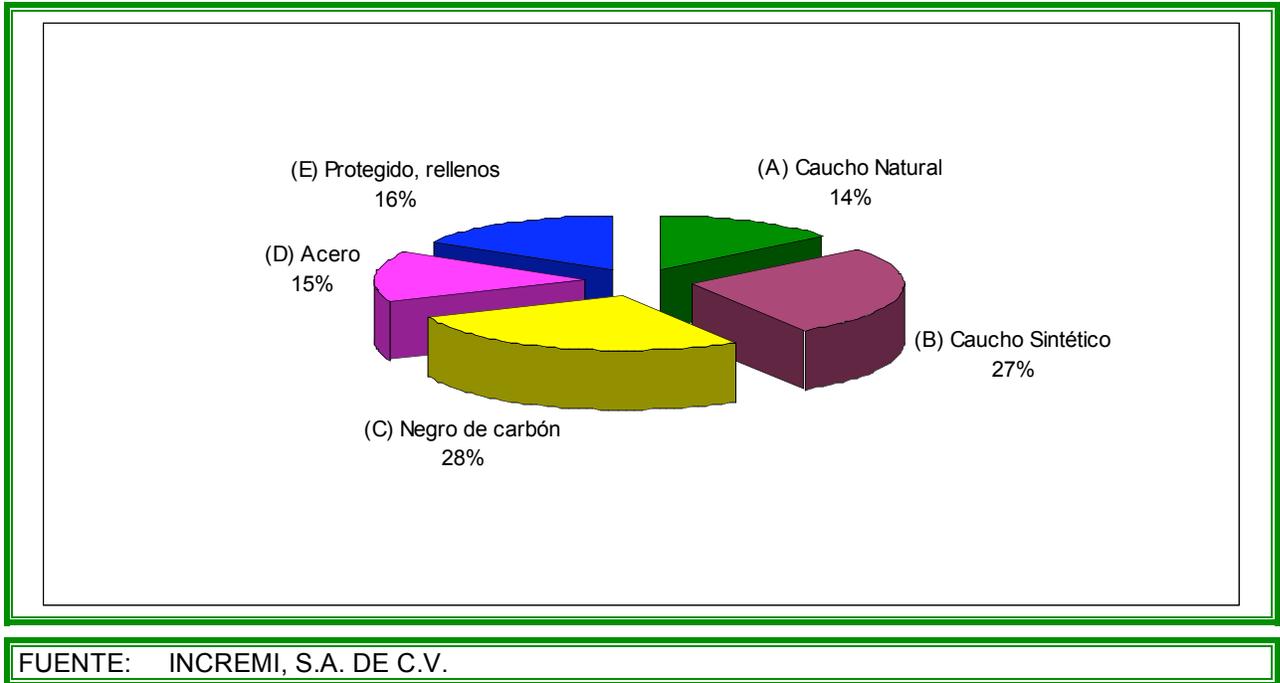
**FIGURA 1.2 COMPOSICIÓN DE LAS LLANTAS PARA CAMIONES**



FUENTE: INCREMI, S.A. DE C.V.

**FIGURA 1.3**

**COMPOSICIÓN DE LAS LLANTAS PARA AUTOMÓVILES**



### 3.5.1.2 Proceso de manufactura de las llantas.

El proceso de manufactura de las llantas, se realiza de dos formas: con caucho natural y caucho sintético.

El Proceso consiste en:

Primero el caucho, sustancias químicas (aceites o resinas plastificantes), aceleradores y negro de humo, se mezclan hasta que se homogenizan, esto se realiza en mezcladores grandes (como el Banbury). El caucho caliente es amasado hasta obtener una consistencia gomosa; posteriormente ésta mezcla se saca y se alimenta a un Peletizador el cual forma bolitas de caucho pequeñas, las cuales se empujan hacia fuera.

En tanto, el textil se impregna en látex y se sujeta a un tratamiento de estabilización. Las pelotillas de caucho se amasan de nuevo hasta obtener una textura gomosa; posteriormente el caucho se amolda en una capa delgada que se aprieta en cada lado del tejido. El tejido cubierto está cortado longitudinalmente formando una capa, que recorre el cuerpo interno de la llanta.

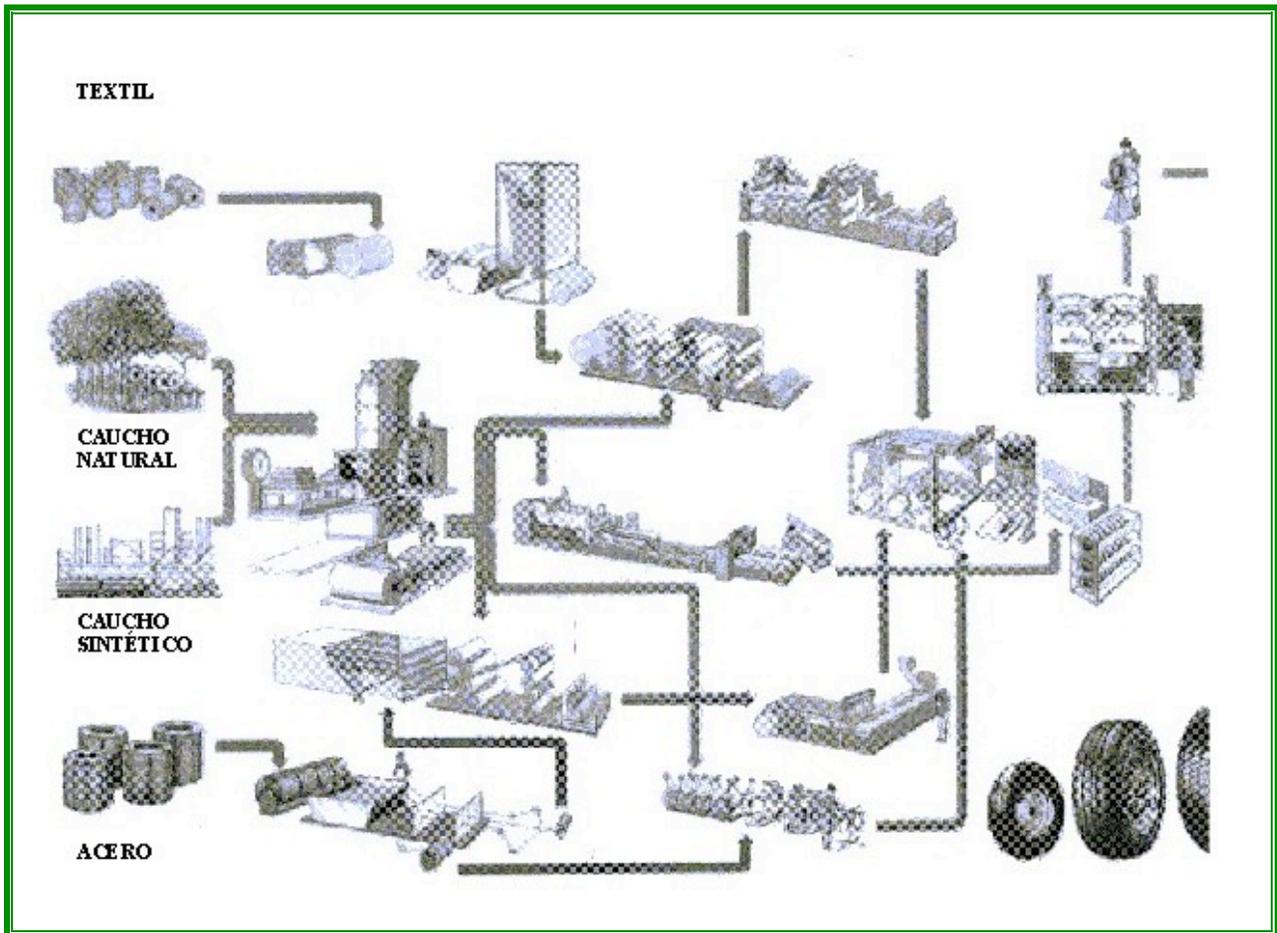
Al caucho, también se le aplica alambre de acero de alta tensión, cubierto de bronce; este consiste en enrollar varias cuerdas del alambre cubierto con caucho en un aro y se cosen con cordón de nylon para formar cada una de las dos cuentas.

Otro lote de caucho se alimenta empujando con fuerza al caucho suave, a través de un dado distribuyéndolo, para crear una faja que tiene la forma básica de la banda de rodadura.

El tejido, talón y cubierta se combina en una máquina de construcción para la llanta, en su ensamblaje se aplican capas de textil a un tambor rotatorio formado el centro interno, entonces se ensambla un talón del alambre alrededor de cada extremo del tambor, el tejido se cubre de nuevo con talones, y finalmente se coloca las envolturas de caucho que se envuelve alrededor de las otras partes, Figura 1.4.

FIGURA 1.4

## PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LAS LLANTAS



FUENTE: Eiichiro Yamaguchi, Waste Tire Recycling, Master of Engineering Project.

### 3.5.2 Clasificación de las llantas

#### 3.5.2.1 Tipos de llantas

Las llantas se clasifican según el tipo de transporte que las utilice:

- ↗ Automóvil
  - ↗ Autobuses
  - ↗ Camionetas
  - ↗ Agrícolas
  - ↗ Industrial
- 
- ☑ Camiones
  - ☑ Motocargas
  - ☑ Motoconformadoras

- ☑ Grúas
- ☑ Cargadores
- ☑ Tractores
- ☑ Relleno antiponchaduras

↪ Mueve tierras

↪ Otros:

- ☑ Bicicleta
- ☑ Motocicleta
- ☑ Aviones
- ☑ Carritos de tiendas de autoservicio
- ☑ Sistema de transporte eléctrico (metro, trolebús)
- ☑ Carretillas

### 3.5.2.2 Clasificación por su tamaño

Existe una amplia variedad de tamaños de las llantas. El tamaño normalmente es indicado por un código como por ejemplo: **P205/75R14**; la letra **P** identifica una llanta para automóvil de pasajeros; el número **205** es la anchura de la llanta medida en milímetros; el número **75** es la relación altura/ancho; la letra **R** indica que es radial y **14** indica que la llanta encajará en un borde (36 cm) en diámetro.

Una llanta P205/75R14 se usaría en un automóvil mediano; un automóvil grande podría usar una clasificación P225/75R15 y un automóvil compacto podría usar un P155/80R13. **Ver anexo (NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-086-SCFI-1995, INDUSTRIA HULERA-LLANTAS PARA AUTOMOVIL-ESPECIFICACIONES DE SEGURIDAD Y METODOS DE PRUEBA (modifica a la NOM-086-SCFI/SCT-1994)).**

### 3.5.3 Principales usos de las llantas desechadas

Los principales usos de las llantas desechadas se presentan en el Cuadro 1.3, donde se describen los usos cuando se encuentran enteras y cuando es necesario procesarlas.

<b>CUADRO 1.3</b>	<b>PRINCIPALES USOS</b>
<b>LLANTAS ENTERAS</b>	<b>LLANTAS PROCESADAS</b>
ARRECIFES ARTIFICIALES	TRITURACIÓN
ROMPE OLAS ARTIFICIALES	COMBUSTIBLE EN GRANO
BARRERAS PARA CHOQUES	MONORRELLENO
COMBUSTIBLE	PIROLISIS
USOS AGRÍCOLAS	COMPOSTAJE DE LODOS
RECAUCHUTAMIENTO	INGENIERÍA CIVIL

FUENTE: INCREMI, S.A. DE C.V.

### **3.5.4 Tecnologías disponibles en el mercado mundial para el manejo, tratamiento, reciclaje y disposición final de las llantas de desecho**

Las medidas adoptadas para reducir las llantas usadas son, la modificación de los procesos, la recuperación y el reciclaje.

La modificación de los procesos es un área en la que ha ocurrido un número importante de innovaciones tecnológicas. Tales innovaciones se ha traducido en procesos productivos más eficientes, capaces de economizar energía y de aprovechar mejor las materias primas, así como de disminuir la generación excesiva de las llantas usadas, reduciendo con ello los costos de manufactura.

La recuperación y el reciclaje es una alternativa que en general, no requiere de inversiones por parte de los generadores, ya que son operaciones rentables.

Las tecnologías existentes a nivel mundial, se pueden clasificar como:

- ✘ Reutilización (sin alteraciones químicas ni estructurales)
- ✘ Regeneración
- ✘ Trituración criogénica
- ✘ Termólisis (ausencia de oxígeno)
- ✘ Incineración

- ✧ Trituración mecánica
- ✧ Pirolisis (microonda convencional)
- ✧ Recauchutamiento
- ✧ Reciclaje
- ✧ Almacenamiento
- ✧ Desvulcanizado
- ✧ Asfaltado

Todas estas tecnologías se describen detalladamente en el Capítulo 3, de este mismo documento.

### **3.5.5 Legislación Nacional e internacional**

En cuanto a la Legislación Nacional, no se cuenta con ninguna Norma, Reglamento o Ley referente al manejo y disposición final de las llantas usadas.

#### **3.5.5.1 Legislación Internacional**

Para poder conocer la legislación existe a nivel internacional referente al manejo de llantas usadas, se consulto en Internet, Embajadas y personas conocidas en otros países.

El problema generado por las llantas usadas es de vital importancia en los Países Desarrollados, principalmente Estados Unidos, donde cada estado regula la disposición final de las llantas. El resumen de esta legislación se presenta en el Cuadro 1.5 y la legislación original se presenta en los anexos.

En Suecia existe un ordenamiento sobre el manejo de llantas creado en 1994, en donde las llantas usadas no se deberán disponer en rellenos sanitarios, únicamente un 20% de las que se generen.

Puerto Rico tiene una ley sobre el manejo de neumáticos de 1996. Dicha ley contempla los puntos de manejo de neumáticos, autoridades responsable, importación, productor y vendedor, almacenamiento, manejo, tratamiento, exportación, disposición en rellenos sanitarios, fondo económico y las prohibiciones y penalidades.

Sin embargo países como Perú se prohíbe la importación de llantas, debido a los problemas ambientales y de salud que se han generado.

En Nicaragua aun no se contempla ninguna medida referente al problema de llantas usadas.

CUADRO 1.5		RESUMEN DE LA LEGISLACIÓN EN ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMÉRICA					
Estado	Legislación y regulación	Fuente de consulta	Regulación y Transporte	Almacenamiento Proceso de Regulación	Disposición y Restricción	Financiamiento Incentivos Mercado	Información Adicional
Alabama	2	10	10	5	3	4	7
Alaska	10	9	10	11	2	10	2
Arizona	10	13	5	2,5	1	7	7
Arkansa	12	13	5	2,5	1	4	10
California	12	13	5	2,5	2	3,4	6,8
Colorado	12	13	10	2	11	4	10
Connecticut	12	10	11	5	6	4	8
Delawer	2	10	5	6	6	7	13
Florida	12	13	5	7	2	7	6,8
Georgia	12	13	5	2,6	6	3,4	7
Hawai	12	10	11	5	6	4	11
Idaho	9	13	9	2	7	11	10
Illinos	2	13	5	1	7	3,4	6,8
Indiana	2	13	5	6	7	3,4	10
Iowa	2	13	5	6	7,8	4	6
Kansas	2	13	5	6	7	3	4
Kentucky	12	13	5	6	7	4	8
Louisiana	12	13	5	2	6	4	10
Maine	12	13	5	2	11	6	4,8
Maryland	12	13	5	2	7	3,4	3,6
Nassachud	12	13	5	2	7	3	8
Michigan	12	13	5	2	2	4,6	10
Minesota	12	13	5	2	7	11	4
Misisipi	12	13	5	2	11	11	10
Misuri	12	13	5	2	7	6	8
Montana	12	10	5	2	1	6	10
Nebraska	12	13	5	2	7	6	10
Nevada	12	13	5	2	6	4,6	10
New Hampshire	12	13	5	2	6	11	10
New Jersey	12	11	5	2	6	6	7,8
New Mexico	12	11	5	2	6	4	8

CUADRO 1.5

## RESUMEN DE LA LEGISLACIÓN EN ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMÉRICA

Estado	Legislación y regulación	Fuente de consulta	Regulación y Transporte	Almacenamiento Proceso de Regulación	Disposición y Restricción	Financiamiento Incentivos Mercado	Información Adicional
New York	12	10	5	2	6	3	8
North Carolina	12	13	5	2	14	6	10
North Dakota	12	13	5	2	11	11	10
Ohio	12	13	5	2	7	3,4	2
Oklahoma	9	13	11	2	14	6	8
Oregon	12	13	5	2	16	14	14
Pennsylvania	12	13	9	2	16	6	2
Rhode Island	12	13	5	10	6	6	10
South Carolina	12	13	5	10	2	6	10
South Dakota	12	13	9	2	6	6	8
Tennessee	12	13	5	2	15	14	8
Texas	12	13	5	2	2	15	14
Utah	12	13	5	2	10	6	7,10
Vermont	12	14	2	4	2	6	7
Virginia	12	13	2	3	14	7	4
Washinton	12	14	4	3	2	10	10
West Virginia	12	10	2	8	2	10	7
Wisconsin	12	13	5	5	2	4	2
Wyoming	12	10	2	2	14	10	10

1. Prohibición. Se prohíbe aceptar llantas usadas en los Rellenos Sanitarios
2. Regulación de tratamientos de desechos sólidos
3. Otorga licencias
4. Se crea financiamientos
5. Transporta y registra la cantidad de llantas que llegan
6. Recicla llantas usadas
7. Promueve incentivos para que se les de uso a las llantas nuevas
8. Las industrias aceptan a las llantas como combustible alternativo
9. No hay Reglamentación
10. Sin Referencia
11. No es aplicable
12. Se crea legislación para uso y manejo de llantas usadas
13. Se regulan precios
14. Se están integrando nuevos programas

## 15. Reglamentos que se validarán en el 2000

MEDIDAS QUE UTILIZÓ ESTADOS UNIDOS Y CÁNADA PARA EL CONTROL DE LLANTAS USADAS.

En Estados Unidos y Canadá, varios estados (Arizona, Florida, Illinois, Maryland, Minnesota y Oregon, en USA y British Columbia en Canadá), han promulgado leyes que establecen la creación de un pago adicional (sobrepeso), por cada llanta nueva que se adquiere, para formar un "Fondo de Limpieza para las acumulaciones de llantas usadas ya existentes y que asegure que las nuevas llantas usadas que se generen sean adecuadamente dispuestas. Otros estados como California, Texas y Washington, continúan experimentando con diversas opciones y tratando de decidir que es lo que deben hacer y los dos estados menos desarrollados de la Unión Americana aún no comienzan a trabajar en su legislación específica para el manejo adecuado de las llantas usadas.

### **3.6 Mezcla y equipo de producción del Cemento Asfáltico con Hule**

## **CAPÍTULO IV. SISTEMAS DE CARPETAS AHULADAS**

### **4.1 Riego de sello**

Es un tratamiento superficial de asfalto ahulado que se aplica por aspersión sobre las superficies de pavimento a razón de 2.3 a 3.2 litros por metro cuadrado y luego se cubre con agregado pétreo limpio de tamaño uniforme de 3/8" y 1/2". La aplicación de asfalto ahulado se ajusta de acuerdo a las características del pavimento existente y se selecciona el tamaño del agregado de acuerdo al espesor de la membrana.

## 15. Reglamentos que se validarán en el 2000

MEDIDAS QUE UTILIZÓ ESTADOS UNIDOS Y CÁNADA PARA EL CONTROL DE LLANTAS USADAS.

En Estados Unidos y Canadá, varios estados (Arizona, Florida, Illinois, Maryland, Minnesota y Oregon, en USA y British Columbia en Canadá), han promulgado leyes que establecen la creación de un pago adicional (sobrepago), por cada llanta nueva que se adquiere, para formar un "Fondo de Limpieza para las acumulaciones de llantas usadas ya existentes y que asegure que las nuevas llantas usadas que se generen sean adecuadamente dispuestas. Otros estados como California, Texas y Washington, continúan experimentando con diversas opciones y tratando de decidir que es lo que deben hacer y los dos estados menos desarrollados de la Unión Americana aún no comienzan a trabajar en su legislación específica para el manejo adecuado de las llantas usadas.

### **3.6 Mezcla y equipo de producción del Cemento Asfáltico con Hule**

## **CAPÍTULO IV. SISTEMAS DE CARPETAS AHULADAS**

### **4.1 Riego de sello**

Es un tratamiento superficial de asfalto ahulado que se aplica por aspersión sobre las superficies de pavimento a razón de 2.3 a 3.2 litros por metro cuadrado y luego se cubre con agregado pétreo limpio de tamaño uniforme de 3/8" y 1/2". La aplicación de asfalto ahulado se ajusta de acuerdo a las características del pavimento existente y se selecciona el tamaño del agregado de acuerdo al espesor de la membrana.

#### **4.2 Membrana intermedia para absorber esfuerzos (SAMI)**

Es un riego de sello con asfalto ahulado construido sobre el pavimento existente y sobre el cual se construyen capas de concreto asfáltico convencional o concreto ahulado

#### **4.3 Concreto asfáltico ahulado (ARC) Graduación Abierta “Open Grade”**

Es un concreto asfáltico de graduación abierta preparado con asfalto ahulado con un residuo asfáltico mucho mayor que en los concretos asfálticos convencionales

#### **4.4 Concreto asfáltico ahulado (ARC) “Gap Graded”**

Es un concreto asfáltico ahulado donde los agregados pétreos que se utilizan son mucho más limpios, donde sólo el 20% pasan la malla No. 8 y un máximo del 7% pasa por la malla No. 200. Los límites de granulometría caen a la mitad de los límites respectivos de las granulometrías densa y abierta.

### **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES**

#### **1. MAYOR VIDA ÚTIL.**

- Aumenta su vida útil, debido a que contiene ingredientes protectores contra la intemperie y envejecimiento, como lo son sus antioxidantes y antiozonantes.

#### **2. INCREMENTO DE PROPIEDADES MECÁNICAS.**

- El ingrediente negro de humo de las llantas, proporciona al asfalto resistencia mecánica a la tensión, corte y torsión. Estas cualidades resisten los esfuerzos que producen las cargas, así como los producidos por los cambios de temperatura, que toman mayor importancia en climas extremos.

#### **4.2 Membrana intermedia para absorber esfuerzos (SAMI)**

Es un riego de sello con asfalto ahulado construido sobre el pavimento existente y sobre el cual se construyen capas de concreto asfáltico convencional o concreto ahulado

#### **4.3 Concreto asfáltico ahulado (ARC) Graduación Abierta “Open Grade”**

Es un concreto asfáltico de graduación abierta preparado con asfalto ahulado con un residuo asfáltico mucho mayor que en los concretos asfálticos convencionales

#### **4.4 Concreto asfáltico ahulado (ARC) “Gap Graded”**

Es un concreto asfáltico ahulado donde los agregados pétreos que se utilizan son mucho más limpios, donde sólo el 20% pasan la malla No. 8 y un máximo del 7% pasa por la malla No. 200. Los límites de granulometría caen a la mitad de los límites respectivos de las granulometrías densa y abierta.

### **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES**

#### **1. MAYOR VIDA ÚTIL.**

- Aumenta su vida útil, debido a que contiene ingredientes protectores contra la intemperie y envejecimiento, como lo son sus antioxidantes y antiozonantes.

#### **2. INCREMENTO DE PROPIEDADES MECÁNICAS.**

- El ingrediente negro de humo de las llantas, proporciona al asfalto resistencia mecánica a la tensión, corte y torsión. Estas cualidades resisten los esfuerzos que producen las cargas, así como los producidos por los cambios de temperatura, que toman mayor importancia en climas extremos.

### 3. VISCOSIDAD CONSTANTE.

- La viscosidad que alcanza el asfalto ahulado es de unas cinco veces más que las del asfalto original. Esto crea una masa sellante que evita que los elementos más ligeros del asfalto se volaticen, conservando su viscosidad estable, es decir, el asfalto se conserva joven. No se endurece, no se oxida.

### 4. MAYOR PUNTO DE REBLANDECIMIENTO.

- El asfalto ahulado, por su elevada viscosidad, alcanza mayores puntos de reblandecimiento, siendo aplicable con mejores resultado en climas calientes (43°C o más) así como en fríos ( -9°C o más), pues su masa sellante produce un efecto aislante que conserva estable su interior, comportándose mejor que cualquier otro asfalto modificado, en climas extremos. (Asfalto de alta funcionalidad).

### 5. IMPERMEABILIDAD.

- El agua de lluvia y humedad de la intemperie lavan, diluyen y oxidan al asfalto. La cohesión y viscosidad de la mezcla hule asfalto protege la estructura, evitando que la humedad permee a través de la carpeta.

### 6. CAPACIDAD AGLUTINANTE MÁS EFICAZ.

- La adhesividad que se produce por la mezcla hule asfalto, pega con más fuerza los agregados pétreos. Asimismo, el mayor espesor de la película de asfalto ahulado que cubre los agregados, proporciona mayor anclaje y conserva su aglutinamiento por mucho más tiempo.

### 7. RESISTE A LOS RAYOS ULTRAVIOLETA.

- Los rayos ultravioleta queman el asfalto. Esto produce que sus elementos ligeros se volatilicen y que este se endurezca y se agriete. La masa más viscosa del asfalto ahulado lo protege de su ataque.

8. RESISTE MEJOR, POR SU ELASTICIDAD, AL AGRIETAMIENTO REFLEXIVO.
  - Si para este fin se necesita una carpeta tradicional de 6.20 ó 9.30 cm. Estas pueden ser sustituidas por 3.10 ó 4.65, respectivamente, con asfalto ahulado (CALTRANS)
9. GRADO SHRP SUPERPAVE: PG 76-34.
  - Por su grado PG 76-34, el asfalto ahulado satisface todas las necesidades de diseño en nuestro país.
10. AGREGADOS PÉTREOS.
  - No siempre se encuentran en la región agregados de la mejor calidad. El asfalto ahulado permite utilizar agregados pétreos con un desgaste de los ángeles del 40%.
  - EQUIVALENCIAS CALTRANS CON AHORRO DE MATERIALES.
  - El Departamento del transporte de California cuenta con guías de diseño de carpetas asfálticas, reduciendo los espesores hasta en un 50% utilizando asfalto ahulado, en comparación con el asfalto tradicional.
11. CALIDAD DE SERVICIO.
  - La suma de las cualidades anteriores hacen del asfalto ahulado, un producto con valor superior respecto a los demás asfaltos modificados.
12. ECOLÓGICO.
  - El reciclaje de llantas ayuda enormemente en la conservación del medio ambiente.

## **BIBLIOGRAFÍA:**

1. Tipos de hule molido para emplearse como modificador del cemento asfáltico. Normas para carpetas delgadas de graduación abierta- Documento preliminar RVO y CIA/ PACCSA Ingeniería/CAPUFE. 1998.
2. Características de los asfaltos ahulados. Limón Limón Rafael A., Seminario AMAAC-CAPUFE-AMIVT, 1998.
3. Modificación de asfaltos modificados con hule molido. Limón Limón Rafael A.,Memorias del primer ciclo de seminarios sobre pavimentos flexibles, 1997.
4. Características generales de los asfaltos ahulados, CALTRANS, California, USA, 1995.
5. Carpetas “Open Grade” de alto rendimiento con hule molido de llantas.HTM-A4t. Hidro-Industria.
6. Hule molido para fabricación de asfalto ahulado, Cárdenas garcía Jorge. Seminario AMAAC-CAPUFE-AMIVT, 1998.
7. Sistemas de asfalto ahulado en rehabilitación de carreteras, Cano José, Seminario AMAAC-CAPUFE-AMIVT, 1998.
8. Construcción de carpetas drenadas ahuladas, Pérez Holder Fernando, Seminario AMAAC-CAPUFE-AMIVT, 1998.
9. Criterios básicos para carpetas drenantes ahuladas, Orozco Santoyo, Raúl Vicente, CAPUFE, 1997.

