



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**Utilización de Polímeros en el Diseño,  
Fabricación y Construcción de  
Pavimentós**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**I N G E N I E R O C I V I L**  
**P R E S E N T A:**  
**ALEJANDRO ROMERO MOLINA**



**DIRECTOR DE TESIS:  
M.I. HUGO SERGIO HAAZ MORA**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**2004**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO  
AVENIDA DE LAS PLANTAS

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/155/01

Señor  
ALEJANDRO ROMERO MOLINA  
Presente

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

**"UTILIZACION DE POLIMEROS EN EL DISEÑO, FABRICACION Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS"**

- I INTRODUCCION
- II DISEÑO DE PAVIMENTOS
- III CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS
- IV CONTROL DE CALIDAD
- V MANTENIMIENTO Y CONSERVACION
- VI MODIFICADORES Y POLIMEROS
- VII CONCEPTOS Y VOLUMETRIA

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 18 Noviembre 2003.  
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO  
GFB/AJP/crc.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: ALEJANDRO ROMERO MOLINA

FECHA: 06/ENE/04

FIRMA: [Firma manuscrita]



## **AGRADECIMIENTO**

A dios el ser único que rige nuestro camino y que nos da la oportunidad de vivir, amar, pensar y actuar.

A mis profesores que desde la enseñanza básica y hasta el grado de licenciatura pusieron su empeño y tesón para inculcar y compartir sus conocimientos.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por permitirme adquirir los conocimientos necesarios y aprovecharlos para ejercer una profesión.

A los profesores que abriendo un espacio en su valioso tiempo aceptaron apoyarme en la revisión y comentarios de este trabajo.

M.I. Hugo Sergio Haaz Mora  
Coordinador de la carrera de Ingeniería Civil

Ing. Luis Candelas Ramírez  
Jefe del Departamento de Practicas y Vinculación Profesional

Ing. José Antonio Kuri Abdala  
Profesor del Departamento de Sistemas

Ing. Nelson Piñón Martínez  
Profesor del Departamento de Geotecnia

Ing. Miguel Ángel González López  
Profesor del Departamento de Sanitaria y Ambiental

A mi familia.

Mi padre el señor Hilario Romero Cruz (q.e.p.d.) que con su cariño, confianza y sus valiosos consejos, me impulso a seguir adelante.

Mi madre la Señora Amelia Molina Bravo que con su educación, apoyo y comprensión me ayudo a lograr este objetivo.

Mis hermanos Raúl, Olivia, Marisela y Guadalupe, que con su ejemplo y cariño me han brindaron un apoyo siempre firme y decidido.

A las personas que al saber de la tarea ha realizar por este servidor se aprestaron a brindar su ayuda para coadyuvar a su feliz ejecución.

C. Alicia Sánchez Colosía  
Lic. Juan Carlos San Román Fernández

A todos ustedes, les doy las más sinceras gracias.

## INDICE

---

### Tema: **Utilización de Polímeros en el Diseño, Fabricación y Construcción de Pavimentos.**

	<b>Introducción</b> .....	5
	Generalidades sobre el asfalto .....	5
	Composición del asfalto .....	5
	Comportamiento del asfalto .....	6
	Deformación permanente “Rutting” .....	6
	Agrietamiento por temperatura .....	8
	Agrietamiento por fatiga .....	8
	Envejecimiento .....	9
	Endurecimiento físico .....	9
	Ángulos de respuesta del asfalto ante la carga .....	10
	Asfalto ideal .....	11
	Ligante ideal .....	11
<b>CAPÍTULO I</b>	<b><u>Diseño de Pavimentos</u></b>	
I. 1	Pavimentos de concreto asfáltico .....	12
I.1.1	Asfaltos .....	12
	Tipos de asfaltos .....	13
	Emulsiones asfálticas .....	14
I.1.1.1	Preparación de mezclas de concreto asfáltico .....	15
I.2	Criterios de Diseño .....	15
I.2.1	Método de California Bearing Ratio (C.B.R.) .....	18
I.2.2	Método del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M. ....	20
<b>CAPÍTULO II</b>	<b><u>Construcción de Pavimentos</u></b>	
II.1	Materiales para Sub – base .....	21
II.2	Materiales para Bases .....	22
II.3	Materiales empleados en la fabricación de pavimentos asfálticos .....	24
II.4	Carpeta Asfáltica normal .....	25
II.4.1	Propiedades de la carpeta asfáltica .....	26
<b>CAPÍTULO III</b>	<b><u>Control de Calidad</u></b>	
III.1	Muestreo y preparación de muestras .....	29
III.1.1	Para materiales pétreos .....	29
	Preparación de la muestra .....	32
III.1.2	Muestreo, preparación y pruebas de laboratorio para materiales asfálticos .....	36
	Muestro .....	36
	Muestreo, tanques horizontales .....	37
III.1.2	Pruebas de laboratorio .....	39

III.2.1	Pruebas de cementos asfálticos .....	39
III.2.2	Método Saybolt – Furol .....	41
III.2.3	Pruebas de penetración vertical .....	42
III.2.4	Prueba para determinar la ductilidad de los cementos asfálticos .....	44
III.2.5	Prueba para determinar el grado de solubilidad que contienen los cementos asfálticos .....	46
III.2.6	Prueba para determinar el punto de inflamación de los cementos asfálticos en copa abierta Cleveland .....	47
III.2.7	Pruebas de compactación .....	50
III.2.7.1	Para sub – bases y bases de pavimentos .....	50
III.2.7.2	Pruebas de compactación dinámica AASHTO modificada tres capas .....	56
III.2.7.3	Pruebas de compactación dinámica AASHTO modificada cinco capas .....	58
III.2.7.4	Pruebas de compactación por carga estática .....	58
III.2.7.5	Determinación del grado de compactación .....	60
III.2.7.6	Granulometría .....	61
III.2.7.7	Análisis granulométrico simplificado .....	66
	Conclusiones y Comentarios .....	67
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b><u>Mantenimiento y Conservación</u></b>	
IV.1	Limpieza y mantenimiento de obras de drenaje .....	69
IV.2	Conservación de pavimentos y superficies de rodamiento .....	70
IV.2.1	Bacheo .....	72
IV.3	Señalamiento y obras de protección .....	74
IV.4	Conservación y mantenimiento de Taludes .....	74
<b>CAPÍTULO V</b>	<b><u>Modificadores y Polímeros</u></b>	
V.1	Modificador .....	75
V.2	Sistema de polímero utilizado .....	76
V.3	Compatibilidad con el polímero .....	77
V.4	Estabilidad .....	78
V.5	Tipos de modificadores y sus efectos .....	80
V.5.1	Diagrama del proceso SBS .....	80
V.6	Clasificación de polímeros usados como modificadores .....	82
V.7	Hules naturales y sintéticos .....	83
V.8	Efectos de las características del asfalto .....	84
V.9	Parámetros que afectan al mezclado .....	85
V.10	Dependencia del desempeño de la mezcla y las propiedades del ligante .....	86
V.11	Factores que se deben tomar en cuenta para la selección de los modificadores .....	87
V.11.1	Cambios inmediatos en algunas propiedades físicas del asfalto al ser modificado con polímeros .....	87

V.11.2	Efectos de los asfaltos modificados en los pavimentos .....	88
V.12	Métodos de prueba especiales para asfaltos modificados .....	88
V.12.1	Separación por anillo esfera (AASHTO) TF 32 R-1 .....	88
V.12.2	Recuperación elástica por ductilómetro (AASHTO) TF31R-2 .....	89
V.12.3	Recuperación elástica por torsión. CEDES NLT-329-91 .....	89
V.12.4	Penetración a 4° C. ....	90
V.13	Recomendaciones para polímeros .....	90
V.13.1	Para polímeros como el SB y SBS .....	90
V.13.2	Para polímeros como el látex SBR o látex neopreno ..	91
V.13.3	Para polímeros del tipo etilen vinil – acetato y polietilenos .....	92
V.14	Relación de comportamiento – propiedades equipo de medición de datos .....	92
V.14.1	Tabla de parámetros de desempeño .....	93
V.15	Estudios de campo .....	93
V.16	Control rápido en campo de asfaltos modificados .....	95
V.16.1	Envejecimiento de asfaltos modificados con polímeros a corto y largo plazo .....	96
V.17	Producción de asfaltos modificados con polímeros .....	97
V.18	Caso Bibliográfico .....	97
V.19	Caso Real .....	98
V.20	Avances tecnológicos en asfaltos modificados con polímeros .....	98
V.21	Producto “Stylink” de Koch Materiales de México .....	101
V.21.1	Resultados (laboratorio / campo), para un asfalto modificado “Stylink”. .....	101
V.21.2	Transporte y almacenamiento de asfalto modificado “Stylink”. .....	101
V.21.3	Producción, tendido y compactado .....	102
V.21.4	Tabla de especificaciones y características .....	103
V.21.5	Asfalto modificado “Stylink”, informe técnico .....	104
V.21.6	Detalles particulares .....	105
V.21.7	Proyecto .....	105
	Conclusiones .....	106
<b>CAPÍTULO VI</b>	<b><u>Conceptos y Volúmetría</u></b>	
VI.1	Conceptos comunes .....	107
VI.2	Conceptos de tendido de carpeta asfáltica convencional .....	108
VI.3	Conceptos de tendido de carpeta asfáltica modificada con polímeros .....	109
	Conclusiones y comentarios .....	112

### **Bibliografía**

## INTRODUCCIÓN

Para el desarrollo integral de un país son de gran importancia las vías de comunicación con que cuenta, ya sean estas marítimas aéreas ó terrestres.

La construcción de calzadas ó carreteras pavimentadas generan un ahorro en tiempo y economía, en cuanto a traslado de personas y productos de diferente tipo, así como la comunicación de poblaciones marginadas. El análisis de la infraestructura toma como índice de rentabilidad el beneficio social que otorga esta obra.

La conservación de esta obra no estriba en problemas económicos, si no de tipo técnico, por lo que se requiere de la capacitación al personal encargado de la conservación de dicha obra.

Las condiciones climatológicas, tipos de materiales de la zona, personal profesional, equipo y herramienta son factores que determinan los procedimientos a seguir, para conservar la calidad y el valor de la obra.

Existen en el mercado actualmente modificadores asfálticos llamados “polímeros” que ayudan a una mejor conservación de las carpetas asfálticas. El objetivo de este trabajo se enfoca a la utilización de estos polímeros en el diseño, fabricación y conservación de pavimentos.

## GENERALIDADES SOBRE EL ASFALTO

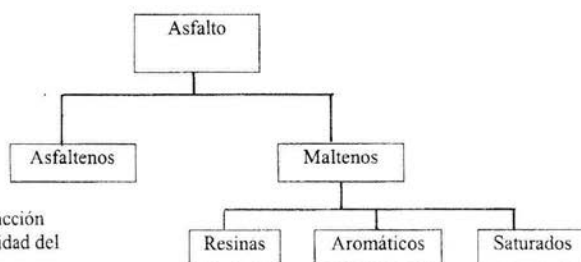
El asfalto es un compuesto derivado de la refinación del petróleo, de gran importancia para la industria de la construcción por sus propiedades de consistencia, adhesividad, impermeabilidad y durabilidad.

Sin embargo es un producto muy susceptible a los cambios de temperatura, el envejecimiento por intemperismo, la oxidación y la fotodegradación.

## COMPOSICIÓN DEL ASFALTO

La composición del asfalto es una mezcla compleja de hidrocarburos de muy alto peso molecular, compuesta por cuatro componentes básicos, como se representa en el siguiente esquema:

### COMPOSICIÓN DEL ASAFALTO



El % de aromáticos en esta fracción define la capacidad de solubilidad del asfalto.

Los asfaltenos son moléculas grandes, inertes, tienen valor como componentes de asfalto y como combustibles, no son solubles en los aceites pero las resinas los mantienen en suspensión formando un sistema coloidal.

Su contenido se asocia a la "dureza" que presenta un asfalto.

En el caso de los maltenos, que son constituidos por las parafinas, resinas y aromáticos, su contenido se asocia a las propiedades mecánicas mostradas por el asfalto.

El contenido de aromáticos influye en la facilidad que tiene un asfalto para "admitir" polímeros modificadores, los cuales se verán más adelante.

Los Saturados y los Aromáticos son la parte aceitosa del asfalto que disuelve el polímero.

Los tipos de moléculas asfálticas son:

La cadena de estructura alifática

La estructura aromática

La estructura cíclica

## COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO

Desde el punto de vista físico, el asfalto es un material viscoelástico, es decir, un material que se comporta como un sólido elástico o un líquido viscoso dependiendo de la tasa de deformación aplicada, el tiempo por el cual es mantenida (tiempo de carga) y las condiciones de temperatura y el envejecimiento.

A altas temperaturas o bajo condiciones de deformación permanente, el asfalto se comporta como un líquido viscoso que puede sufrir deformación plástica o irreversible.

El comportamiento a temperatura alta se puede observar en climas desérticos o en la época de verano.

Uno de los mayores estímulos para estudiar asfaltos proviene del programa norteamericano SHRP ( Strategic Highway Research Program ), al final de los años 80. Desde entonces, diversas asociaciones de asfaltos en distintas partes del mundo han dirigido sus esfuerzos a la investigación de este complejo material. En Europa existen asociaciones como EAPA (European Asphalt Paving Association ) y Eurobitume, mientras que en EE.UU. ha surgido el AI ( Asphalt Institute ), NAPA ( National Asphalt Paving Association ), el AAPT (Association of Asphalt Paving Technologists ), etc.

Gran parte de los esfuerzos del programa SHRP se han dirigido a establecer las relaciones entre la estructura del asfalto y el desempeño de éste como material de pavimentación.

A pesar de que el uso de asfalto ofrece ventajas en las carreteras (bajo costo, cohesividad, resistencia a la intemperie, impermeabilidad, facilidad de procesamiento bajo calentamiento, etc.), frecuentemente se ve sometido a condiciones extremas de carga y temperatura que comúnmente generan los siguientes defectos:

### DEFORMACIÓN PERMANENTE O "RUTTING"

La Deformación Permanente se produce en el pavimento de concreto asfáltico cuando se acumula deformación plástica con aplicación repetida de cargas a altas temperaturas ( 40-65 ° c), y a velocidad lenta, situaciones que se presentan, ya sea en climas calientes, zonas de tránsito pesado y zonas de estacionamiento.

Esta deformación produce canales paralelos a la dirección del tránsito, roderas o ahuellamientos y desplazamientos en intersecciones.

El comportamiento depende en algo de el asfalto y bastante del pétreo.

Otras causas probables de "rutting" son un alto contenido de ligante, una baja calidad de ligante y un ligante sensible al agua, las altas presiones de inflado de las llantas, el alto contenido de asfalto, el uso de grandes proporciones de agregados "alargados y redondos" y la sensibilidad del pétreo a la humedad.

Esta deformación se presenta en el siguiente esquema:

### ***DEFORMACIÓN PERMANENTE***

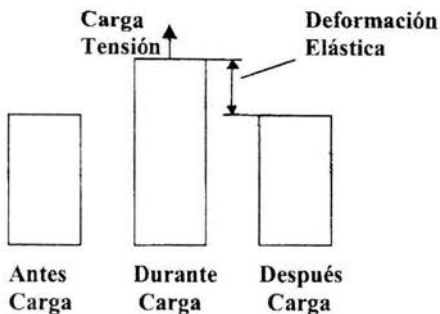
**Carga de alta intensidad o que se mantiene por mucho tiempo**



Condiciones que se dan en estacionamientos o en climas calientes

El comportamiento elástico se observa en el siguiente esquema:

### ***COMPORTAMIENTO ELÁSTICO***



## **AGRIETAMIENTO POR TEMPERATURA O FALLA POR FATIGA**

Cuando la temperatura baja, el asfalto se contrae generándose así esfuerzos que, si son mayores que la resistencia del material, producen ruptura, esto pasa, al someter al asfalto a temperatura bajas críticas ocasionada por condiciones ambientales adversas, más que por cargas de tráfico aplicadas. A bajas temperaturas o durante aplicaciones de deformación rápida, el asfalto actúa como un sólido elástico y puede recobrar su forma original si la deformación deja de aplicarse.

El Comportamiento a temperatura baja se observa en climas fríos como es en el tiempo de invierno.

Este tipo de falla ocurre inicialmente en un solo ciclo en que exista baja temperatura, aunque puede desarrollarse en varios ciclos, el pavimento a temperatura baja hace que la mezcla sea frágil se caracteriza por la presentación de grietas transversales que están caso equidistantemente.

También produce agrietamiento térmico, el cual son esfuerzos internos, inducidos por cambios de temperatura que exceden la resistencia.

Este comportamiento depende bastante de el asfalto y poco del pétreo.

Entre las posibles causas de este fenómeno están un ligante muy rígido, un bajo contenido de ligante o una alta relación asfalto/polvo de los agregados.

## **AGRIETAMIENTO POR FATIGA O LA FRACTURA ASOCIADA A LA FATIGA**

El comportamiento esta asociado a la aplicación continua de la carga por largo tiempo como son camiones pesados a baja velocidad, en las intersecciones o en las montañas, o cargas aplicadas rápidamente (frecuencias altas). Estas cargas se producen por el paso de camiones a alta velocidad, produciendo que el asfalto se haga sólido elástico.

Algunas de sus causas pueden ser un bajo contenido de ligante, un ligante muy rígido, la alta sensibilidad a la humedad de los pétreos, la pobre capacidad de carga y volúmenes de tránsito sobre los criterios de diseño, este agrietamiento puede ser peligroso en presencia de lluvia y nieve.

Carga = Compresión

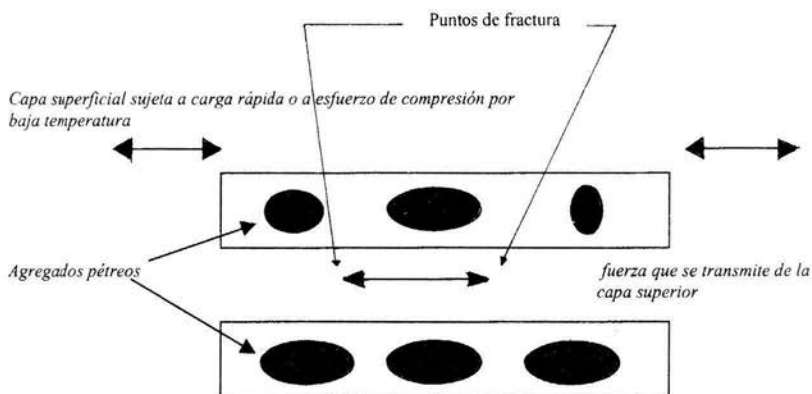
Descarga = Retorno a la posición original

Cuando el asfalto no tiene la flexibilidad suficiente para regresar a su posición original, el fenómeno anterior ocasiona fracturas permanentes.



La fractura permanente se observa en el siguiente esquema:

### FRACTURA PERMANENTE



*Capa inferior con diferente temperatura y con menor esfuerzo de carga*

### ENVEJECIMIENTO

Es el endurecimiento del asfalto debido a la acción de la temperatura y el tiempo durante el uso, este envejecimiento ocurre durante el proceso de mezclado y/o aplicación, y/o durante el uso del asfalto.

Si se toma en consideración que el asfalto reacciona con oxígeno a largo plazo se produce un endurecimiento por "oxidación" aumentando la rigidez considerablemente durante este proceso así como la pérdida de algunos componentes del ligante, siendo el clima cálido peor que el clima frío.

### ENVEJECIMIENTO FÍSICO

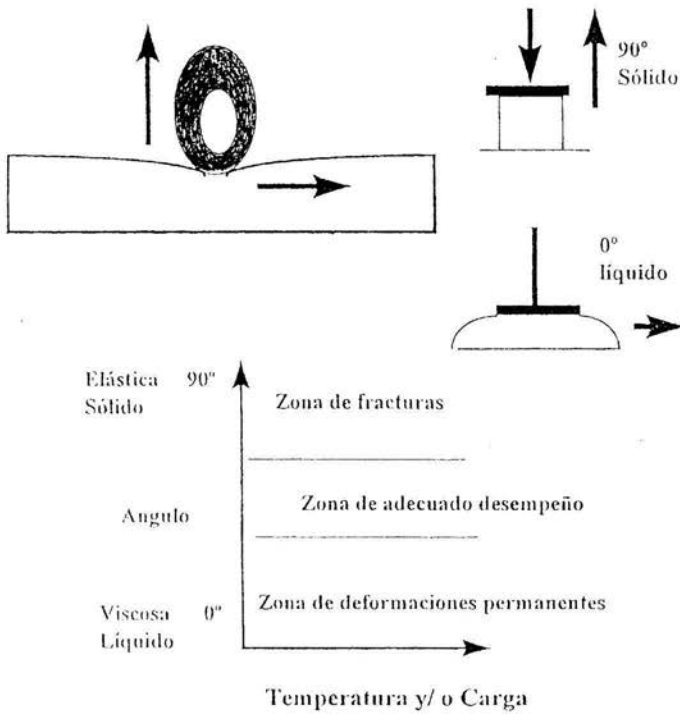
El fenómeno de "Endurecimiento Físico" no es un envejecimiento sino que el asfalto adquiere rigidez a temperaturas bajas, y este fenómeno es totalmente reversible.

El Pavimento bajo envejecimiento produce grietas por durabilidad, la mezcla es "frágil" y produce grietas aleatorias, sin orientación. El comportamiento depende bastante del asfalto y poco del pétreo.

Otros problemas que se presentan es el Stripping el cual es causado cuando el agregado tiene mayor afinidad por el agua, que por el asfalto.

Desempeño del Asfalto.

### ANGULOS DE RESPUESTA DEL ASFALTO ANTE LA CARGA



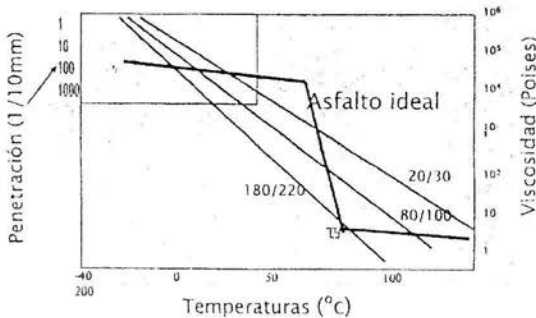
Idealmente, un material para pavimentación debería tener un elevado punto de reblandecimiento y tener resistencia a la deformación irreversible a la alta temperatura (60-70° C), alto módulo elástico y cohesividad a las temperaturas de servicio y buenas resistencia al impacto y al agrietamiento a bajas temperaturas. Además, es deseable una baja viscosidad a las temperaturas de aplicación (120-200° C)

## ASFALTO IDEAL

Un asfalto ideal debe tener las características siguientes:

- Susceptibilidad térmica muy débil en toda la gama de temperaturas de trabajo y muy fuerte en la gama de temperaturas de aplicación.
- Buena adherencia activa y pasiva.
- Alta resistencia al envejecimiento tanto en la puesta en obra como en la carretera.

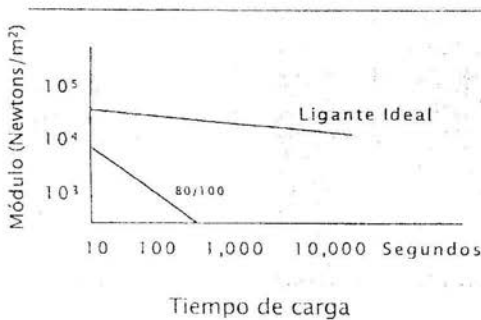
### Susceptibilidad térmica de un ligante "ideal"



## LIGANTE IDEAL

Para que un ligante sea ideal, la susceptibilidad a los tiempos de carga debería ser débil, mientras que su resistencia a la deformación permanente, a la ruptura y a la fatiga debería ser fuerte.

### SUSCEPTIBILIDAD A LOS TIEMPOS DE CARGA DE UN LIGANTE "IDEAL"



# **I DISEÑO DE PAVIMENTOS**

## **I.1 PAVIMENTOS DE CONCRETO ASFÁLTICO**

### Definición

Un pavimento es la capa o serie de capas de materiales apropiadas, comprendidas entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento, uniforme, de color y textura apropiados, resistente al intemperismo y a la acción de tránsito, así como de transmitir a las terracerías los esfuerzos producidos por las cargas debidas al tránsito. Un pavimento debe tener los requisitos siguientes:

- a) La resistencia necesaria para soportar cargas estáticas y dinámicas de rodamiento
- b) Una superficie tersa para un mejor tránsito del usuario
- c) Una gran resistencia a los efectos del intemperismo
- d) Debe ser impermeable
- e) Tener pendientes transversales y longitudinales adecuadas, para su mejor funcionamiento.

El pavimento de concreto asfáltico es una mezcla de agregado (grava y arena) y asfalto hecho a altas temperaturas mediante un proceso mezclado en planta.

El espesor del pavimento será en relación con el incremento en la capacidad de carga, esto nos indica que para una gran intensidad de cargas aplicadas, el espesor del pavimento será mayor. La función de diseño del pavimento sin importar los espesores es transmitir los esfuerzos a las capas interiores hasta que sean anuladas.

Un aspecto de gran importancia para la estabilidad de un pavimento reside en la capacidad de carga que tenga el terreno de cimentación, esto permite variar los espesores y el tipo de material usado en el diseño.

### **I.1.1 ASFALTOS**

El asfalto es un material de consistencia viscosa constituido esencialmente por hidrocarburos o sus derivados, con propiedades aglutinantes que se licuan gradualmente al calentarse y tienen un color negro ó castaño. Todos los materiales asfálticos se obtienen de la destilación del crudo del petróleo. Existen dos procedimientos de destilación.

- a) Destilación por vapor al vacío
- b) Extracción por solventes

En el primer procedimiento se separa el crudo en diversos productos como son los de: gasolina, keroseno, diesel, aceite, lubricante y material residual pesado.

El proceso de refinado del crudo del petróleo consiste principalmente en el bombeo del petróleo crudo a través de un horno tubular para elevar su temperatura pasando después a una torre de destilación para su primer separación, esta torre es un cilindro vertical que en su interior se tiene una serie de plataformas superpuestas que cuando entran mediante

inyección, el crudo del petróleo caliente y los vapores o fracciones más ligeras, se acumulan en plataformas superiores y en los niveles inferiores se acumulan grados o separaciones más pesadas del crudo, quedando en el fondo el residuo pesado del crudo del petróleo que contiene el asfalto.

En este primer proceso se separa, el crudo del petróleo en cinco productos, que son:

- a) gasolina de destilación
- b) keroseno destilado
- c) diesel-oil
- d) aceite lubricante
- e) material residual pesado

Este último producto, mediante el proceso de temperatura y de inyección de vapor al vacío, da la obtención de los asfaltos para pavimentación.

El segundo procedimiento, el de extracción por solventes, está vinculado con la fabricación de aceites lubricantes de alta viscosidad que requieren un control de temperatura del crudo del petróleo muy especial.

Para la extracción del asfalto de las fracciones de aceites lubricantes se utiliza propano, por lo regular el producto final en este proceso es un asfalto de penetración muy baja.

Para transformar este asfalto de penetración baja a otro más blando se mezcla con una pequeña cantidad de material residual.

## **TIPOS DE ASFALTOS**

Se tienen tres principales tipos de asfaltos, los cuales son:

- a) Asfaltos oxidados o soplados
- b) Asfaltos rebajados
- c) Emulsiones asfálticas

Los asfaltos oxidados ó soplados son utilizados en el área industrial, como por ejemplo: en la fabricación de pinturas, impermeabilizantes, revestimientos, etc.

En pavimentos se utilizan para relleno de juntas de pavimentos rígidos.

Los asfaltos rebajados tienen como característica que son rebajados con un tipo de solvente. Estos asfaltos son de tipo lento, medio y rápido, esto depende del tiempo de fraguado de cada material, así como del uso.

Se les asigna dos letras para su rápida ubicación, estas letras son: "FL" (lento), "FM" (medio) y "FR" (rápido) así como también un número que va del 0, 1, 2, 3, 4, y 5, los cuales indican el grado de fluidez o viscosidad del material empleado.

A los asfaltos menos viscosos se les asigna con el número "0" y los menos fluidos o más viscosos con el número "5".

Los asfaltos rebajados de fraguado rápido (FR) son llamados de esta manera por el disolvente empleado, el cual es la gasolina, que se evapora rápidamente al usarlo, además de tener un bajo punto de ebullición.

La cantidad de disolvente que debe mezclarse con el asfalto depende del tipo de asfalto rebajado, así como del fraguado rápido que halla de fabricarse.

Los asfaltos rebajados de fraguado medio (FM) son fabricados haciendo la mezcla de asfalto con un disolvente de punto de ebullición intermedio, como es el keroseno, el cual no se evapora como la gasolina, de ahí su denominación de rompimiento medio.

La relación entre el grado y la viscosidad de asfalto rebajado medio, es el mismo del asfalto rebajado rápido.

Los asfaltos rebajados de rompimiento lento (FL) tienen dos procedimientos para su obtención, el primero se da haciendo una mezcla de diesel de alto punto de ebullición y el segundo se da controlando la temperatura del crudo del petróleo durante la primera destilación.

Debido a que en esta mezcla se utiliza el diesel que es un material semi-volátil se necesita un período de rompimiento más dilatado.

## **EMULSIONES ASFÁLTICAS**

Este elemento es una combinación de agua, asfalto y aceite emulsificante, debido a que el asfalto y el agua no son miscibles, es necesario agregar un agente que mantenga esta unión, como son los jabones creados por refinerías y / o bases jabonosas.

Cuando una emulsión se extiende sobre una superficie o en su caso entra en contacto directo con agregados, esta rompe a causa de una coagulación de las partículas de asfalto y a la consiguiente expulsión del agua existente entre partículas.

La carga eléctrica de las partículas de asfalto que se atraen (eléctricamente) por la carga de la superficie de los agregados, es otra causa principal al rompimiento de la emulsión.

Otras características son: que las emulsiones deben ser almacenables sin que sedimenten excesivamente las partículas de asfalto (sedimentación reversible).

Deben tener una viscosidad adecuada para cada uso.

No deben tener partículas superiores a un determinado tamaño que obstruyan filtros y tuberías.

Las propiedades anteriores se estudian mediante ensayos de sedimentación viscosidad y tamizado, las emulsiones de rompimiento lento deben poder mezclarse con un filler mineral sin romper.

### **1.1.1.1 PREPARACION DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFALTICO**

La elaboración de mezclas de concreto asfáltico se lleva a cabo en plantas estacionarias que pueden ser de producción intermitente ó continua.

En las plantas de producción intermitente, los materiales (en las proporciones aproximadas requeridas) son impulsados del lugar de almacenamiento al elevador en frío mediante bandas, para posteriormente mediante este elevador ser entregado el agregado combinado al secador en donde el agregado cae repentinamente a través de gases calientes produciendo que la humedad sea expulsada y dicho agregado alcance una temperatura máxima de (149 a 183 grados centígrados). Posteriormente los agregados calientes combinados suben por el elevador caliente a la parte superior de la planta mezcladora, donde son separados por varios tamices en varios tamaños.

El almacenamiento temporal en caliente se lleva a cabo en tolvas que se encuentran colocadas directamente por debajo de los tamices.

Para la mezcla intermitente la cantidad prescrita de cada uno de los agregados calientes se extrae sucesivamente y se lleva a una “caja pesadora” que se encuentra debajo de las tolvas de almacenamiento caliente.

Los agregados en su debida proporción caen de la caja pesadora al mezclador llamado “amasadora” donde son perfectamente mezclados los agregados con el cemento asfáltico hasta quedar completamente revestidos.

Posteriormente estos materiales mezclados salen a través de una compuerta de descarga que se encuentra en el fondo del mezclador y son depositados en un camión de volteo que espera dicho material, o en otro caso en tolvas de almacenamiento para su posterior acarreo, esto con el fin de continuar con el proceso del mezclado.

Referente a las plantas de producción continua que son más modernas, cuentan con un sistema avanzado de control de material por medio de una computadora para realizar la mezcla asfáltica.

En esta planta el agregado depositado en las tolvas debe ser del tamaño adecuado para la elaboración del concreto asfáltico.

Cuando las tolvas se encuentran llenas los agregados pasan al secador por medio de bandas transportadoras, no sin antes ser pesados en la última banda.

Estos datos son introducidos a la computadora que regulara la velocidad de las bandas para dosificar correctamente el material, y así pasar al secador. En la última etapa se agrega el asfalto y la mezcla para posteriormente pasar a los silos de almacenamiento y después ser descargada la mezcla asfáltica en camiones de volteo.

## **1.2 CRITERIOS DE DISEÑO**

Para un criterio correcto de diseño de un pavimento, hasta donde se tiene conocimiento no existe un método científico exacto, los métodos normalmente son empíricos, con frecuencia se basan en la ecuación de Boussinesq para determinar los esfuerzos bajo carga concentrada de masa infinita, homogénea e isótropa, deduciendo ecuaciones que dependen de factores y coeficientes que se suponen basados en teoría elástica y que son compatibles para los materiales que se utilizan en la construcción de pavimentos.

Otros métodos se basan en la observación de experiencias y fallas que son contempladas con pruebas realizadas en caminos y tramos experimentales en los que se usan diversas combinaciones de materiales y espesores de capas.

Hasta la fecha se tienen más de treinta métodos, llevados a cabo bajo estrictas investigaciones para determinar espesores aceptables para todo el orbe.

Para realizar cualquier tipo de análisis o proyecto de diseño de pavimentos asfálticos es necesario contar con una estructura bien definida de datos primarios como son:

- a) Estudio del suelo
- b) Estudio de los materiales
- c) Estudio del tráfico
- d) Estudio de laboratorio

En el estudio del suelo se deben de hacer sondeos de una sub-rasante para determinar las características del suelo sub-yacente y hacer la mejor selección y diseño.

Estos estudios comprenden los ensayos de campo suficientes para obtener un representativo bien definido de las condiciones geológicas existentes.

En el estudio de los materiales se debe de tener en cuenta el buen conocimiento de la zona situada alrededor de la obra, tomando en consideración la distancia de acarreo libre y sub-acarreo, esto para fines económicos de la obra. Este estudio también permite localizar materiales que puedan servir como agregados bajo capas de sub-base, base y carpeta.

El estudio del tráfico es uno de los más importantes para el diseño, siendo un índice necesario en los nomogramas y gráficas de diseño.

En cualquier proyecto y diseño es prioritario un análisis del tráfico completo.

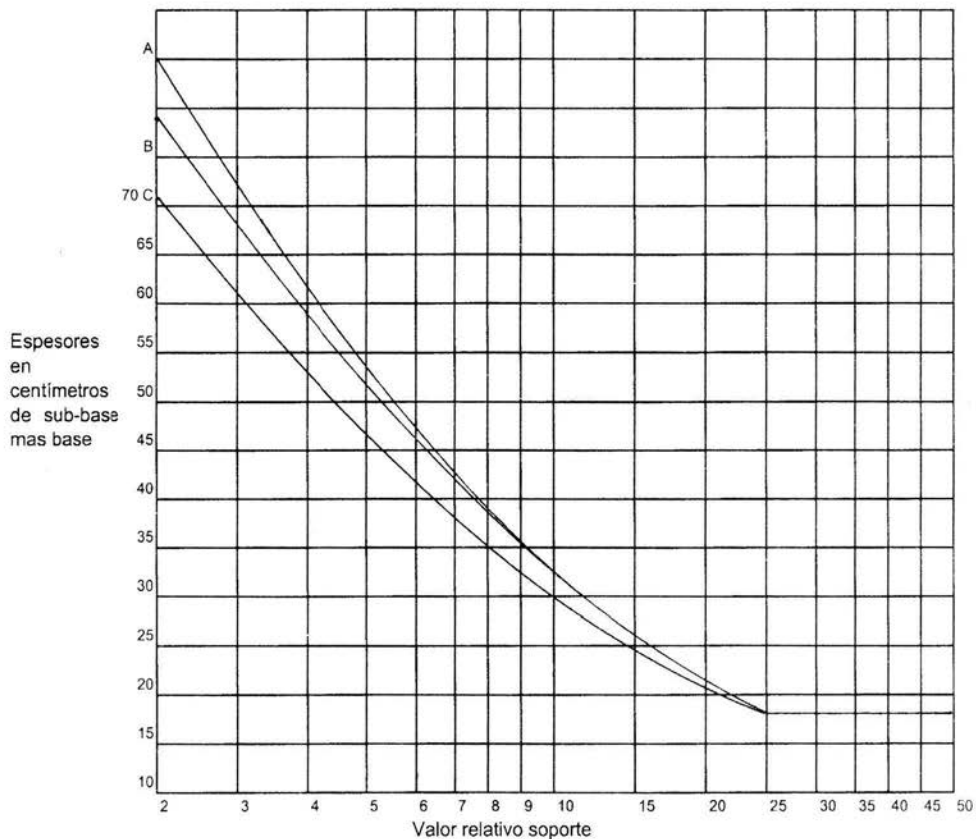
El análisis del tráfico debe proporcionar información que permita determinar el número medio de vehículos que pasan sobre el camino por día., puesto que uno de los factores que ocasiona graves daños a los pavimentos son el aumento desmedido de los vehículos y su capacidad cada vez mayor de carga, por lo que calles ó carreteras diseñadas para una menor intensidad sufren grandes daños estructurales y es necesario una completa reconstrucción de la vía.

Los estudios de laboratorio son las muestras obtenidas en campo y que son llevadas a laboratorio para el estudio de los suelos y ensayos que requiera el proyecto utilizado.

Por lo general los laboratorios de suelos realizan los ensayos de análisis granulométricos en los tamices de diez, cuarenta y doscientos, determinan también los límites líquido y plástico, siendo estos elementos suficientes para clasificar el suelo de acuerdo al método de índice de grupo llamado "AASHO M-145".



Graficas propuestas para diseño de espesores de sub-base y base de pavimentos flexibles para carreteras y calles.  
(Instituto del asfalto - Manual serie MS-1)



Gráfica para proyecto de pavimentos flexibles

Intensidad del tránsito inicial en un solo sentido, considerando todo tipo de vehículos	Curva de proyecto	de	Espesor mínimo de base granular natural, D.D.F	Espesor mínimo de carpeta de concreto asfáltico D.D.F.
Menos de 400 vehículos por día	C		15 cm.	5.0 cm.
De 400 a 1500 vehículos por día	B		15 cm.	7.5 cm.
De 1500 a 3500 vehículos por día	A		15 cm.	7.5 cm.

Los métodos de diseño de pavimentos tomados para dar un ejemplo son los siguientes:

El método de California Bearing Ratio (C.B.R.) y el método del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M.

### 1.2.1 METODO DE CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.)

Esta basado en el empleo de gráficas para determinar espesores en pavimentos, para el uso de este método se requiere la realización de ensayos C.B.R. sobre el terreno de desplante y sobre la sub-base.

El ensayo original C.B.R. indica que se compacte el suelo en un molde de seis pulgadas de diámetro con una altura compacta de cuatro a seis pulgadas.

Las bases de piedra o grava trituradas bien graduadas no se ensayan normalmente por este método, porque los resultados exceden bastante al valor ochenta.

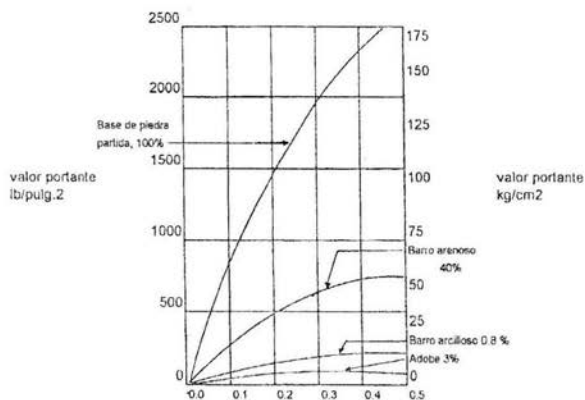
La compactación se realiza aplicando una carga estática de 200 Lb/pulg<sup>2</sup>, esta se mantiene un minuto y se hace desaparecer gradualmente durante un período de 20 segundos.

Son preparadas unas series de muestras con contenido creciente de humedad y se determina la densidad en cada una de ellas, se realiza una curva que represente la relación densidad-contenido de agua, de la cual se deduce la densidad máxima y el contenido óptimo de humedad correspondiente.

El ensayo C.B.R. se realiza sobre la probeta preparada con el contenido óptimo de humedad. Antes de realizar este ensayo la probeta se sumerge en agua durante 4 días, bajo una carga de 10 lbs.

El científico O.J. Porter desarrollo una adaptación especial de valor portante llamada "Bearing Ratio". La cual consiste en la realización de un ensayo de carga aplicando sobre la superficie del suelo un pisón circular de 1.95 pulgadas de diámetro (sección transversal 3 pulgadas cuadradas) y se hace penetrar en el terreno a una velocidad de 0.05 pulgadas por minuto.

La relación entre cargas así producidas y la penetración obtenida se presenta en la siguiente gráfica.



Curvas que representan los resultados del ensayo C.B.R.

La relación entre el valor portante para la penetración de 0.1 pulgadas y con un valor portante patrón (cuando es base de piedra machacada) indicado en la figura anterior es el valor C.B.R.

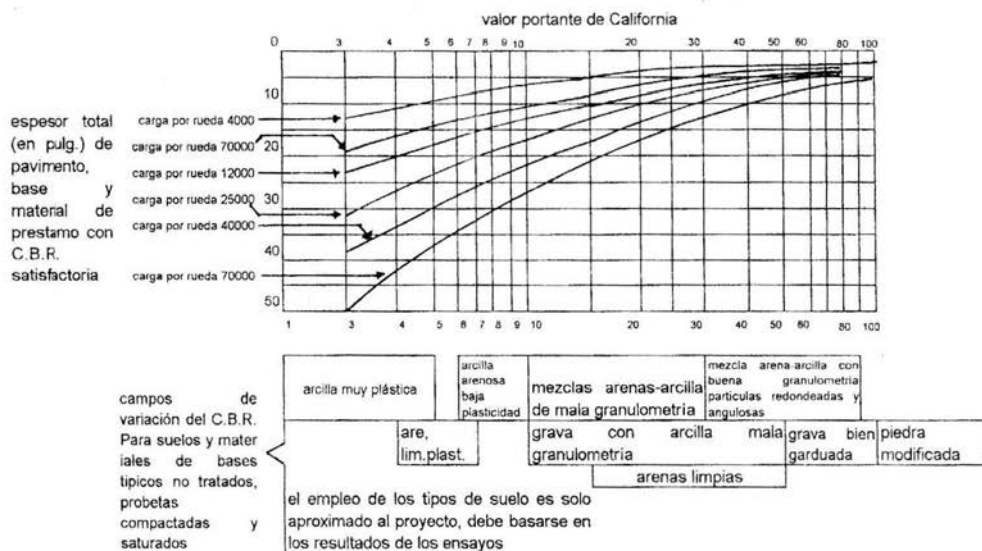
Al paso del tiempo se han hecho modificaciones en el procedimiento del ensayo C.B.R., en cuanto a la compactación de la muestra, el martillo proctor ha sustituido al comúnmente usado que es el de compresión estática, otras organizaciones optan por el método AASHO T-99, empleando un molde de 6 pulgadas de diámetro en lugar del de 4 pulgadas.

Este método emplea un martillo con una superficie de presión circular de 2 pulgadas de diámetro y un peso total de 5.5 kgs., dejado caer desde una altura de 12 pulgadas.

La probeta se compacta en tres capas iguales y a cada una de las mismas se le aplican 25 golpes hasta obtener una altura de la probeta terminada de unas 5 pulgadas.

El método de AASHO "modificado", realizado por ingenieros norteamericanos, emplea un molde de 6 pulgadas de diámetro y compacta la muestra en 5 capas iguales en lugar de tres para obtener una probeta terminada de una altura comprendida entre 4-1/4 y 4-3/4 de pulgada y se compacta con un martillo de 10 Lbs. Con una cara de percusión circular de 2 pulgadas. Se aplican a cada una de las cinco capas 55 golpes.

Una vez obtenido el valor de C.B.R. que tiene la sub-rasante, sub-base y base, los espesores de proyecto se calculan con las gráficas siguientes:



Porcentaje C.B.R. Para penetración de 0.1 pulgada (25.4 mm.) en probetas compactadas y saturadas de agua.

## 1.2.2 METODO DEL INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA U.N.A.M.

Este método fue dirigido por el ingeniero Santiago Corro Caballero y consta de un criterio teórico-práctico para el diseño de la estructura de una obra vial.

Este método supone a la estructura de las obras viales como un sólido de capas múltiples y resistencias relativas uniformes, en otras palabras, es que tanto las capas superiores como las inferiores llegaran a la falla al mismo tiempo, que de acuerdo a la teoría de Boussinesq sus resistencias son proporcionales a los esfuerzos normales que obran en ellas.

Y el parámetro que se utiliza para medir la resistencia de los materiales es el V.R.S. crítico de campo. Comúnmente se dice que el pavimento está constituido por capas de carpeta, base y sub-base, las cuales están soportadas por la capa sub-rasante lo cual se supone implícitamente que la capa sub-rasante es la capa más débil y no hay posibilidad de falla en las demás capas que constituyen la carretera. Esta hipótesis da lugar a estructuras inadecuadas, puesto que la zona crítica no es necesariamente la sub-rasante, si la falla es estructural, la solución será mejorar la resistencia de las capas y construir una superficie de rodamiento ligera. Este método se basa en una generalización teórica de los datos experimentales obtenidos en la pista circular del Instituto de Ingeniería y en tramos experimentales de Izucar y Salinas. La hipótesis en que se basa este método es que la carretera de menor costo es la que tiene una resistencia uniforme en todas sus capas y llega a una falla funcional cuando ha soportado el número acumulado de aplicaciones de carga equivalente especificadas para la vida de proyecto del camino.

Suponiendo que la resistencia relativa no es uniforme en las diferentes capas de la estructura, entonces la capa de resistencia mínima determinará la vida de servicio de la carretera. Se emplean los conceptos de capacidad de carga en suelos cohesivos y la teoría de distribución de esfuerzos verticales de Boussinesq y esta se deduce para la placa estática, circular, flexible apoyada uniformemente en la superficie de un medio elástico, homogéneo e isótropo, para aplicarse en una estructura de capas múltiples y resistencia relativa uniforme, particularmente, sujeta a cargas repetidas de un eje sencillo equivalente cuyo peso estático es de 8.2 toneladas, esto por definición, teniendo un coeficiente de impacto constante.

Se da por hecho que el valor relativo de soporte en el lugar (V.R.S.) es un buen indicador de la capacidad de cargas de diferentes capas.

Mediante la hipótesis de que existe una relación lineal entre el logaritmo de la resistencia ( $\log V.R.S.$ ) y el logaritmo del número acumulado de ejes equivalentes de 8.2 toneladas ( $\log \Sigma 1$ ) se analiza la falla por fatiga de una capa en la superficie de la carretera. Si se tiene una capa cualquiera a una profundidad  $z$ , se multiplica la resistencia por el coeficiente de influencia ( $Fz$ ) de Boussinesq suponiendo una estructura de resistencia relativa constante.

El análisis mediante la información de la hipótesis expuestas permite establecer las ecuaciones de las gráficas de diseño para diferentes grados de confianza en cuanto a resistencia mínima necesaria en cualquier capa para que la estructura soporte un número determinado de aplicaciones equivalentes ( $\Sigma L$ ) antes de alcanzar el deterioro superficial que define la falla funcional de la carretera.

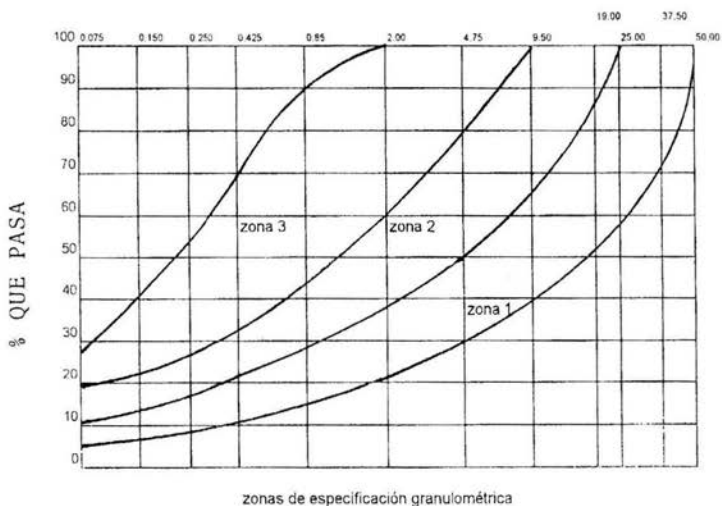
Se realiza en teoría una gráfica para estimar el daño relativo a cualquier profundidad, producidas por los diferentes tipos de ejes sencillos o tandem; cuando circulan con diferentes presiones de inflado. Esto, basándose en las gráficas de diseño.

## II CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS

### II.1 MATERIALES PARA SUB-BASE

Los materiales que son empleados para sub-base deben de tener las características siguientes:

- a) La granulometría del material debe quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 3 de la gráfica siguiente:



- b) La contracción lineal, determinada con la humedad correspondiente al límite líquido y el vapor cementante del material deben satisfacer las siguientes condiciones:

Zona en la cual se clasifica el material según su granulometría.	1	2	3
Contracción lineal en %	6.0 máx.	4.5 máx.	5.0 máx.
Valor cementante, en $\text{kg}/\text{cm}^2$ para materiales angulares.	3.5 mín.	3.0 mín.	2.5 mín.
Valor cementante, en $\text{kg}/\text{cm}^2$ para materiales redondeados y lisos.	5.5 mín.	4.5 mín.	3.5 mín.

El valor relativo soporte estándar debe satisfacer las condiciones siguientes:

Para tránsito inferior a 600 vehículos pesados	30% mín.
Para tránsito superior a 600 vehículos pesados	50% mín.

La descripción general del procedimiento para la construcción de base y sub-base es como sigue:

Si se emplea dos ó más materiales, estos se mezclan en seco para obtener el material uniforme.

Si se emplea una motoconformadora para realizar el mezclado y el tendido, el material se extiende parcialmente, se le agrega agua por medio de riegos y mezclados sucesivos para alcanzar la humedad que se fije hasta obtener la homogeneidad en granulometría y humedad.

Posteriormente se extiende en capas sin compactar cuyo espesor no sea mayor de quince centímetros.

El paso siguiente es el de compactar cada una de estas capas hasta alcanzar un grado mínimo de 95%, sobreponiéndose las capas hasta obtener el espesor y sección requerida en el diseño.

En algunos casos para ligar las capas una con otra se escarifica una de estas y se le agrega agua.

En las tangentes, la compactación se iniciará de las orillas hacia el centro y en las curvas, de la parte inferior de la curva hacia la parte exterior.

Para compensar la pérdida de humedad se hacen riegos superficiales durante la compactación.

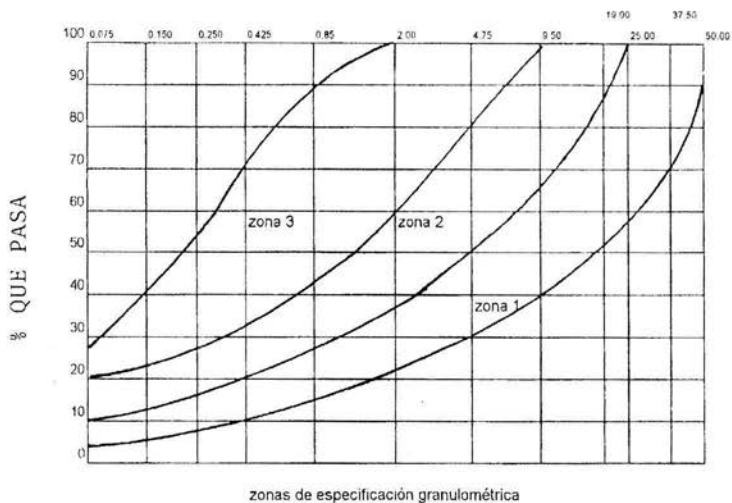
## **II.2 MATERIALES PARA BASE**

Los materiales utilizados para formar la base y sub-base de pavimentos de clasifican en la forma siguiente:

- a) Materiales naturales que no requieren de ningún tratamiento de trituración o de cribado, como son los conglomerados, tepetates, gravas, arenas de río y areniscas.
- b) Materiales que si requieren un tratamiento previo de trituración.
- c) La mezcla de dos ó más materiales que se encuentren en los grupos anteriores.

Los materiales para base de pavimentos flexibles deben de tener las características siguientes:

- a) La granulometría del material debe de quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 3 de la gráfica siguiente:



La curva granulométrica deberá ser de la forma semejante a las curvas que limitan las zonas del gráfico, esto es que no presenten cambios bruscos de pendiente y no estar indistintamente.

- b) La relación de porcentaje en el peso del material que pase la malla no. 40 no deberá ser mayor de 0.65.
- c) La contracción lineal determinada con la humedad correspondiente al límite líquido y el valor cementante del material deben satisfacer las condiciones siguientes:

Zonas en las que se clasifica el material Según sus granulometrías.			
	1	2	3
Contracción lineal en %	4.5 máx.	3.5 máx.	2.0 máx.
Valor cementante, en kg./cm <sup>2</sup> para materiales angulosos.	4.5 mín.	3.5 mín.	2.5 mín.
Valor cementante, en Kg./cm <sup>2</sup> para materiales redondados y lisos	2.0 mín.	5.0 mín.	4.0 mín.

- d) El valor relativo de soporte estándar del material debe satisfacer las siguientes condiciones:

Para tránsito inferior a 600 vehículos pesados por día	50% mín.
Para tránsito superior a 600 vehículos pesados por día	80% mín.

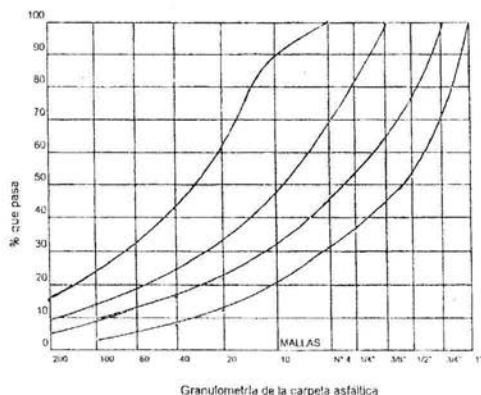
Se consideran vehículos pesados a aquellos que tengan capacidad igual ó superior a tres toneladas métricas.

### II.3 MATERIALES EMPLEADOS EN LA FABRICACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Los materiales más usados son: la caliza, basalto, grava, escoria y arena. La calidad del concreto asfáltico depende de las características de sus agregados y del control de sus propiedades, puesto que el 90% del peso de la mezcla los componen los agregados.

Las características que deben tener estos materiales pétreos para construir una carpeta asfáltica son:

- No deben usarse materiales pétreos con tendencia a romperse en forma de laja cuando se tritura.
- Estar libres de agentes contaminadores como la arcilla o materia orgánica.
- No tener mas del 20% de fragmentos suaves.
- El material debe de estar seco ó en su defecto con humedad igual a la absorbida por este.
- Ser resistente para soportar la compactación por medio de equipo pesado
- El tamaño máximo del agregado pétreo no debe de ser mayor del 75% del tamaño del espesor de la carpeta.
- El material no debe de tener una contracción lineal mayor de 3 al pasar por la malla 40.
- Cumplir con las características granulométricas, tales que su curva se mantenga entre los límites de la gráfica siguiente:





La curva granulométrica del material debe de quedar dentro de cualquiera de las zonas de la gráfica anterior.

No presentar cambios bruscos de pendiente y por lo menos el 90% de la longitud de la curva debe tener su concavidad hacia arriba.

En la siguiente tabla se relaciona un límite de especificaciones y su porcentaje.

Límite de especificaciones	Porcentaje
Pasa por el tamiz de ¾"	100
Pasa por el tamiz de ½"	85-100
Pasa por el tamiz núm. 4	55-80
Pasa por el tamiz num.10	40-60
Pasa por el tamiz num.40	20-34
Pasa por el tamiz num.80	10-25
Pasa por el tamiz num.200	3-8

#### II 4 CARPETA ASFÁLTICA NORMAL

Es la última capa del pavimento, la cual es la superficie de rodamiento en una obra vial. Sus componentes son una mezcla de agregado pétreo graduado y cemento asfáltico del No. 6.

Su superficie debe de estar acondicionada correctamente para que los vehículos se desplacen con comodidad, rapidez y seguridad.

Las especificaciones de construcción son las siguientes:

##### Tendido de mezcla asfáltica

Para la colocación de concreto asfáltico, la base debe de encontrarse seca y limpia se aplica primero un riego de impregnación, el cual consiste en un asfalto rebajado tipo F.M., este se aplica a razón de 1.5 lts. por m<sup>2</sup> y se deja en reposo durante 48 horas, la penetración del asfalto en la base debe de ser de 4 mm. como mínimo.

Como siguiente paso se aplica un riego de liga con asfalto rebajado del tipo FR3 a razón de un litro por m<sup>2</sup>. y se deja reposar durante dos horas como mínimo para que pierda los solventes.

A continuación se aplica un manto de protección, el cual consiste en arrojar paladas de concreto asfáltico en la base, hasta cubrir toda la superficie en construcción con el fin de evitar que los camiones que transportan la mezcla no levanten el riego de liga.

Posteriormente se hace el tendido de mezcla mediante una máquina "pavimentadora" o "terminadora".

El material asfáltico se deposita en la máquina pavimentadora, la cual contiene una tolva que recibe este material y una barra expulsora que distribuye la mezcla en espesores uniformes, tal que al ser compactada esta carpeta se tenga el espesor requerido del proyecto. algunas maquinas cuentan con una barra aprisionadora o vibratoria que compacta

parcialmente la carpeta. La velocidad de la pavimentadora en el tendido de carpeta esta comprendido entre 2 y 4 km./hora.

La temperatura ideal para llevar a cabo el tendido oscila entre 100°C y 130°C.

Las pavimentadoras o maquinas extendedoras están montadas sobre orugas o neumáticos, siendo la de neumáticos la más versátil para su desplazamiento en la obra. Estas maquinas cuentan con dispositivos de control que permiten un cambio rápido de altura del espesor del material al ser tendido, lo cual genera un tendido rápido y de altura variable.

También cuenta con controles automáticos que mantienen las pendientes transversales.

Después de la actividad de tendido se procede a la compactación de la carpeta asfáltica, la cual se realiza por medio de un rodillo Tandem de 8 a 12 toneladas para un acomodo inicial de la mezcla, esta compactación se hace longitudinalmente traslapando el planchado entre una línea anterior con la siguiente.

Posteriormente se utiliza un rodillo de neumáticos con peso de 5 a 7 toneladas, con el cual se realiza el trabajo hasta alcanzar el porcentaje de compactación estipulado en el proyecto.

Para finalizar la compactación se pasa un rodillo de 8 a 12 toneladas para borrar cualquier huella que halla dejado los neumáticos, y dejar una superficie adecuada, firme y lista para el tránsito de vehículos.

La compactación debe de ser mayor del 90% de la Densidad Teórica Máxima (D.T.M.) de acuerdo al proyecto.

La mezcla asfáltica se compacta a una temperatura de entre 90°C y 110°C

El peso volumétrico debe de ser aproximadamente de 2,250 kg/m<sup>3</sup>.

Las juntas longitudinales y transversales de construcción deben de ser realizadas muy cuidadosamente para que queden selladas y ligadas correctamente.

Las aristas de la superficie colocadas con anterioridad, deben cortarse verticalmente y en todo su espesor, aplicando una película de asfalto rebajado F.R.S. con una temperatura de 90°C para después colocar y compactar la mezcla siguiente.

La carpeta terminada debe detener la sección y pendiente conforme a lo estipulado en proyecto y no se admitirán secciones con crestas o depresiones mayores de 5mm

Por lo regular después de estos trabajos se hace un sello de cemento a la carpeta por medio de cemento Pórtland a razón de 0.50 a 0.75 Kg. por m<sup>2</sup>.

#### **II.4.1 PROPIEDADES DE LA CARPETA ASFALTICA**

- a) Estabilidad.- La carpeta terminada debe de resistir los esfuerzos del tránsito sin sufrir deformaciones permanentes.
- b) Flexibilidad.-La carpeta debe admitir las deformaciones elásticas impuestas por el tránsito, sin fracturarse.
- c) Impermeabilidad.-Debe ser impermeable para no permitir que se filtre agua a las capas inferiores.

- d) Antideslizante.-La carpeta debe de presentar una textura tal que permita al conducir, un control adecuado del vehículo, para mejor condición de seguridad.
- e) Durabilidad.- Debe existir una buena dosificación entre el material pétreo y el aglutinante, para que la carpeta sea resistente a la acción del tránsito y a los agentes atmosféricos.

Las especificaciones de los materiales son las siguientes:

Cemento asfáltico número 6.

1. Penetración a 25° C 100g. 5 seg.	85 a 100
2. Viscosidad (Saybolt Furol) (seg.)	85 mín.
3. Punto inflamación Cleveland (° C)	2.32 mín.
4. Pérdida por calentamiento en película delgada. (%)	1.0 máx.
5. Penetración después prueba a 25 ° C. (cm.) 5 seg. % del original.	50 mín.
6. Ductilidad: a 25° c.	100 mín
7. Solubilidad en tetracloruro de carbono (%)	99 mín.
8. Punto de reblandecimiento	45 a 52

Agregado pétreo.

a) Tamaño máximo	¾"
b) Clase material	Triturado basáltico
c) Peso específico	2.69 mín.
d) Absorción (B seca) (%)	3.00 máx.
e) Equivalente de arena (%)	60 mín.
f) Desgaste Deval (%)	20 máx.
g) Intemperismo acelerado (%)	12 máx.
h) Afinidad con el asfalto (desprendimiento)	25 máx.
i) Granulometría:	

Malla	% Pasa
¾"	100
½"	100-75
3/8"	100-65
No. 4	70-47
No. 10	48-38
No. 20	33-22
No. 40	25-16
No. 60	20-12
No. 100	15-9
No. 200	10-5

### Mezcla elaborada

a) Estabilidad (marshall-50 golpes por lado) (Kg)	450 mín.
b) Fluencia (mm.)	4 máx.
c) Vacíos en mezcla (%)	3 a 5
d) Vacíos llenos de asfalto (%)	75 a 85
e) Contenido de asfalto (%)	6 a 7
f) Densidad Teórica Máxima (Kg./m <sup>3</sup> )	2,500
g) Densidad media en el campo al terminar la compactación.	2,500 mín.
h) Temperatura de absorción.	135 a 150
i) Temperatura de tendido (°C)	100 a 130
j) Temperatura de compactación (°C)	90 mín.
k) Índice de permeabilidad (%)	10 máx.

### **III CONTROL DE CALIDAD**

#### **III.1 MUESTREO Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS**

##### **III.1.1 PARA MATERIALES PÉTREOS**

El muestreo consiste en la obtención de una ó varias porciones representativas del material seleccionando, generalmente mediante sondeos y / o canales verticales, para efectuar las pruebas de laboratorio necesarias, con el fin de juzgar su calidad; incluye también las operaciones complementarias de envase, identificación y transporte de las muestras.

Estas muestras pueden obtenerse en áreas de estudio de posibles bancos de materiales, en bancos ya localizados, en plantas de producción o de tratamiento, en almacenamiento, en lugares de utilización, etc.

El número y tamaño de las muestras depende del volumen y homogeneidad del material por hacer muestreo, así como el estudio que se requiera o el estudio que se requiera llevar a cabo.

Cuando es poca la variación de las características de los materiales, el número de muestras es menor y los sondeos son más espaciados que en bancos o fuentes de abastecimiento heterogéneos.

Cuando se trate de bancos, las muestras deben tomarse hasta una profundidad que corresponda al nivel mas bajo probable de explotación.

El equipo y materiales que se requiere para llevar a cabo el muestreo son picos, palas, barretas, pulsetas, posteadoras, barrenas helicoidales, tubos galvanizados para extensiones, llaves Stillson, estufa, brochas, bolsas de lona ahulada, lona ahulada de 3 metros por lado, (aproximadamente), frascos o cápsulas de aluminio con tapa, cinta métrica de lienzo de 20 metros, flexómetro, cordel, brea, parafina y cinta adhesiva.

Los procedimientos para llevar a cabo el muestreo, dependiendo de las condiciones del material son:

En caso de zonas probables de exportación y de bancos, el muestreo tiene por objeto obtener porciones representativas del material que constituye cada banco, para conocer su calidad y el volumen aprovechable, también se define la ubicación, topografía, humedad, despalme, posible zona y forma de ataque como complemento para saber si es conveniente la explotación de dicho material.

Los bancos que se muestrean comúnmente son las formaciones de roca, fragmentos de roca, suelos, depósitos originados por acarreo y piedras de pepena.

Se efectúa generalmente un muestreo preliminar y otro definitivo, el primero se realiza en forma rápida para saber las características de la zona probable de explotación y en caso de obtener resultados satisfactorios se realiza el muestreo definitivo para verificar en forma mas completa si se cumple con los requisitos de calidad especificados y si el volumen que se tiene es suficiente.

Antes de obtener las muestras, se determina la localización de los lugares de muestreo, de acuerdo al tipo de estudio.

Si son muestreos preliminares de suelos, se realizan dos sondeos como mínimo en la zona probable de explotación en estudio, ó bien cuando la zona presente frentes abiertos, se realizan dos canales ó ranuras sobre el talud, en tanto si es roca se hace un sondeo cuando menos, ya sea en zonas probables de explotación o de bancos.

Para el estudio definitivo se hacen sondeos a cada 50 metros aproximadamente, que se distribuyen en forma de cuadrícula, esto dependiendo de la homogeneidad del material por muestrear y en caso de que sea homogéneo de acuerdo a su variabilidad se intercalan sondeos adicionales.

Para la obtención de las muestras se elimina la capa de tierra vegetal ó material superficial y se excavan sondeos a cielo abierto que tengan paredes sensiblemente verticales con dimensiones mínimas para facilitar las maniobras.

En casos de frentes abiertos se elimina de las zonas en que practicarán los canales, el material superficial al que por estar expuesto a la intemperie esta alterado, estos canales serán de sección transversal uniforme con profundidad no menor de 25 centímetros y abarcarán todo el espesor por muestrear. Cada muestra tanto para el estudio preliminar como el definitivo pesará como mínimo 50 kg.

En suelos con apariencia homogénea se obtiene una muestra integral abriendo un canal en los que exista frente y se haga un muestreo al área probable de explotación, tomando una muestra de cada sondeo, el material extraído se junta en una lona y se cuartea.

Cuando se trate de afloramientos o frentes abiertos en roca, se toman fragmentos de diferentes lugares del área expuesta, para dar una orientación de la calidad del material.

Para definir el volumen y calidad del material, se efectúan sondeos a la profundidad necesaria, ya sea en cielo abierto por medio de explosivos o máquinas perforadoras de tipo rotatorio.

Los procedimientos de muestreo en caso de plantas de producción o de tratamiento son los siguientes; como el muestreo tiene como objetivo fundamental el de conocer la calidad para orientar o encausar la producción de los materiales pétreos, o el de obtener la información de las características de los materiales producidos, el criterio de muestreo se establece de acuerdo al objetivo del estudio representativo, esto se lleva a cabo mediante lo siguiente:

Para conocer la calidad del material que se procesa se toma la muestra en la descarga de la banda transportadora o en el elevador de canchales a intervalos regulares.

Las muestras son de 10 kilogramos aproximadamente y se toman cada 15 minutos, se combinan formando una muestra de 50 kilogramos, la cual representa la producción en el lapso que se efectuó el muestreo, también se pueden ensayar por separado.

Si el muestreo se hace en la descarga de la tolva, esta se toma del camión y es de 1 m<sup>3</sup> aproximadamente por cada 400 m<sup>3</sup> de material producido y se obtiene por cuarteos sucesivos una muestra de 50 kilogramos aproximadamente.

Si se quiere mas información se toma muestras de 100 m<sup>3</sup>.

El muestreo de almacenamientos se realiza de la forma siguiente:

Se debe de tener la debida precaución, puesto que son materiales acomodados en forma que fácilmente se derrumban, lo que dificulta y hace imprecisa la obtención de las muestras, esta actividad se lleva a cabo en taludes, en el caso cuando existan superficies adecuadas se pueden realizar sondeos.

En los taludes, el muestreo se hace tomando material con una pala de mano a diferentes alturas, las zonas de muestreo se espacian a cada 10 metros aproximadamente, de acuerdo con el volumen y dimensiones del almacenamiento.

El material obtenido de cada zona se mezcla y se cuartea para obtener muestras individuales con peso no menor de 50 kilogramos. En la parte superior del depósito, las muestras se obtienen del material extraído de las excavaciones o sondeos hechos a la mayor profundidad posible y con un espaciamiento que dependerá del área superior del almacenamiento. Si la cantidad del material del suelo es mayor de 50 kilogramos se procede a reducirla mediante cuarteos sucesivos.

Para el muestreo de materiales en el lugar de utilización se presentan tres casos:

- a) cuando el material se encuentra formando montones
- b) cuando esta acamellonado
- c) cuando esta tendido y compactado

En los dos primeros casos se toma una muestra por cada  $500\text{m}^3$  para el material amontonado ó acamellonado, se aplica la técnica del muestreo del caso de muestreo de almacenamiento descrito anteriormente, con la diferencia de que la distancia a que debe tomarse cada muestra no debe ser mayor de 250 metros. En el caso del material tendido ó compactado, se toman las muestras a distancias no mayores de 500 metros haciéndose dos sondeos como mínimo en cada sección transversal al eje de la carretera con una distancia entre estos de 3 a 5 metros, los sondeos deben tener una profundidad igual al espesor de la capa del material que se va a hacer un muestreo y un área de dimensiones adecuadas a la cantidad de la muestra requerida. Si el caso es de un estudio de reconstrucción, el espaciamiento depende de las condiciones y características generales de la obra que se trate.

Existe la excepción de que cuando se trate de material "acamellonado" se toma una muestra de cada  $100\text{m}^3$  para lo cual se corta transversalmente el camellon, dejando las paredes con un ángulo de reposo y de uno de los lados de la sección abierta, se toma un tramo pequeño del camellon de 0.40 metros de longitud aproximadamente, depositando el material obtenido en una superficie adecuada, en donde por cuarteos sucesivos se obtiene de dicho material una muestra de 50 kilogramos aproximadamente.

Las muestras se identificarán con dos tarjetas, una sujeta al exterior del envase y otra al interior con los datos siguientes:

- Obra y localización
- Número de sondeo
- Ubicación del sondeo
- Número de muestras
- Profundidad a la que se tomo la muestra
- Espesor del estrato correspondiente
- Clasificación de campo
- Uso del material
- Nombre del operador
- Observaciones
- Fecha

El número de muestras se fijará en función del tipo de estudio que se está efectuando y en todos los casos, se llevará un registro de los sondeos y de todas las muestras obtenidas en ellos, además se dibujará un croquis del lugar en que fueron tomadas las muestras, se indicarán para cada sondeo las capas o estratos atravesados por este con su clasificación correspondiente. En el caso de aparecer el nivel freático en el sondeo deberá anotarse su profundidad.

El envase, identificación y transporte se llevará a cabo de acuerdo a lo siguiente:

Las muestras alteradas se envasarán en bolsas de lona, cerrándolas convenientemente para evitar pérdidas o contaminación y llevarán tarjetas de identificación tanto en su interior, como atadas en la parte exterior.

Cuando se requiera determinar el contenido de agua del suelo en el lugar, se obtendrán muestras de acuerdo a que:

La cantidad de muestra que debe tomarse para la determinación de la humedad será la indicada en el método de prueba correspondiente; si no hay indicación al respecto, los pesos mínimos estarán de acuerdo con lo siguiente:

Tamaño máximo del material en mm.	Peso mínimo de la muestra, en gramos.
4.75 pasa malla no. 4.75	100
25.00 pasa malla no. 25.00	500
50.00 pasa malla no. 50.00	1000

Las muestras se envasan en cápsulas de aluminio o en frascos de tamaño adecuado y que no propicien la evaporación del agua, cuyas tapas deberán quedar selladas perfectamente mediante la aplicación de cinta adhesiva ó un baño de brea y parafina.

El transporte de las muestras se hará en forma cuidadosa sin exponerlas a sufrir alteraciones y en caso de usar frascos de vidrio se empacarán éstos en cajas de madera, relleno los espacios libres con aserrín, papel, paja etc., a fin de evitar que se rompan.

Al recibirse las muestras en el laboratorio, deben registrarse, asignándoles un número de identificación para su ensaye.

## **PREPARACIÓN DE LA MUESTRA**

La preparación de la muestra en material pétrico para carpetas asfálticas comprende las operaciones de secado, disgregación y cuarteo, que son necesarias para obtener las proporciones representativas en condiciones adecuadas para efectuar los ensayos correspondientes, las pruebas inalteradas requieren de un labrado, con precaución para no cambiar su estructura ni contenido de agua.

El proceso de secado facilita la disgregación y manejo de las muestras y cuando estas contengan humedad tal que permitan su disgregación, no será necesario someterlas a este proceso.



El equipo para secado consiste en charolas y cucharón de lámina, pala rectangular y un horno con capacidad para alojar las charolas y un termostato con capacidad de 105 +/- 5°C. El secado se hace a una temperatura aproximada de 60°C, también se puede hacer el secado al sol, extendiendo la muestra en charolas ó sobre una superficie horizontal, en los dos casos el material se revuelve periódicamente para lograr un mejor secado.

Para evitar errores en la operación de secado se debe de tomar en cuenta lo siguiente:

No debe de efectuarse a temperaturas elevadas, porque se puede alterar características como son su plasticidad, su contenido de materia orgánica, etc.

Si el material tiene porcentajes altos de finos, se debe de evitar el secado total, puesto que da lugar a grumos no fáciles de disgregar y dificultan el lavado de la muestra y el paso a través de la malla no. 0.075.

La disgregación tiene por objeto, separar las diferentes partículas que constituyen la muestra cuando esta contiene grumos.

La disgregación de la muestra debe de efectuarse sin tratar de romper las partículas duras, llevándose a un grado tal que permita obtener materiales apropiados para las pruebas de laboratorio correspondientes.

El equipo que se utiliza para este proceso es el siguiente:

- Mazo de madera de un kilogramo de peso, de forma prismática cuadrangular con altura de 15 centímetros y base de 9.5 centímetros por lado, cuyo mango deberá estar situado en la cara opuesta a la base y esta última estará forrada con cuero o vaqueta, sujeta a los lados del mazo por medio de clavos y cinchos metálicos.

- Charolas de lámina

- Báscula de 120 kilogramos de capacidad y 10 gramos de aproximación

- Mallas con coberturas cuadradas no. 3, 75.0, 50.0, 25.0, 4.75 y 9.5.

La disgregación se realiza como se indica a continuación:

Una vez secada la muestra, se determina su peso con aproximación de 10 gramos y se anota su valor.

Se criba el material por la malla no. 4.5 apartando la fracción que pasa esta malla para desmenuzar los grumos retenidos en ella, posteriormente se criba todo el retenido en dicha malla por la malla no. 75.0 y la fracción que se detiene en esta se coloca en charolas de lámina sobre la mesa y se macea, aplicando golpes verticalmente a una altura de 20 centímetros hasta obtener partículas que no sean disgregables. El material se criba nuevamente por la malla no. 75.0 y la fracción que se detiene se pesa con aproximación de 10 gramos, se anota su peso, se calcula su porcentaje con relación al peso de la muestra y se elimina.

El material que pasa dicha malla se junta con el que paso inicialmente esta malla y se criba por la malla no. 50.0, la fracción retenida se macea de la forma descrita anteriormente y a continuación se criba por la malla no. 50.0 separando el retenido en dicha malla y el que pasa se junta con el que inicialmente paso la misma.

El procedimiento de maceo y cribado para la malla no. 50.0 se repite en forma sucesiva para las mallas no. 25.0, 9.5, y 4.75.

Finalmente se integrará las muestras con todos los productos obtenidos en estas operaciones para posteriormente realizar el mezclado y el cuarteo de la misma.

Cuando las pruebas por ejecutar lo requieran, el material que pasa por la malla 4.75 deberá ser disgregado a tamaños menores conforme se indique en la prueba.

El cuarteo tiene por objeto obtener de una muestra porciones representativas de tamaño adecuado para efectuar las pruebas de laboratorio que se requieran.

El equipo necesario para efectuar el cuarteo es el siguiente:

- Una báscula de 120 kilogramos de capacidad y con aproximación de 10 gramos.
- Palas en forma rectangular.
- Hule ó lona ahulada de 150 centímetros por lado.
- Regla de dimensiones adecuadas al volumen a cuartear.
- Charolas de lámina en forma rectangular y dimensiones apropiadas.
- Cucharón de lámina.
- Partidor de muestras con aberturas en los ductos separadores de 1.5 veces aproximadamente, el tamaño de las partículas de la muestra equipado con 3 recipientes para depositar el material separado y un cucharón plano.
- Charola de lámina de forma y dimensiones adecuadas para recibir el material que escape del partidor.

Para efectuar el cuarteo se sigue alguno de los procedimientos siguientes:

- a) Formando un cono con la muestra para seccionarlo por cuadrantes, para esto se revuelve primero todo el material hasta que presente un aspecto homogéneo, traspaleando de un lugar a otro unas cuatro veces sobre una superficie sensiblemente horizontal, lisa y limpia. Se procede a formar el cono depositando con la pala el material en el vértice del mismo, permitiendo que dicho material por si solo busque su acomodo y procurando a la vez que la distribución se haga uniformemente. El cono formado se transformará en cono truncado, encajando la pala del vértice hacia abajo y haciéndola girar alrededor del eje del cono, con el fin de ir desalojando el material hacia la periferia hasta dejarlo con una altura de 15 a 20 centímetros, enseguida dicho cono truncado se dividirá y separará en cuadrantes por medio de una regla de dimensiones adecuadas. Se mezclará el material de dos cuadrantes opuestos y con este, en caso de ser necesario, se repite el procedimiento anterior sucesivamente hasta obtener la muestra del tamaño requerido. Se tendrá cuidado en no perder el material fino en cada operación de cuarteo.
- b) Utilizando el hule o la lona ahulada; en este caso, el material se deposita sobre el hule o lona y se mezcla levantando dos de sus vértices opuestos, haciéndolo rodar sin que resbale. Se repite la misma operación con los dos vértices y así sucesivamente, hasta lograr una mezcla homogénea del material, el cual se cuarteo formando un cono truncado y dividiéndolo en cuadrantes, en forma semejante a la indicada en el párrafo anterior y procurando que los ejes de división sean paralelos a los lados de la lona.

c) Empleando un partididor de muestras; como se indica a continuación:

1.- Este aparato se utiliza, generalmente en muestras menores de 100 kilogramos, en cada caso de muestras de mayor tamaño, deberán ser reducidas previamente al tamaño mencionado, empleando el procedimiento de cuarteo que se describe en el inciso a)

2.- En este procedimiento, se mezcla cuidadosamente sobre la charola de igual longitud que la tolva del partididor y a continuación se vierte sobre éste, procurando que pasen cantidades similares a través de cada uno de los ductos, quedando en esta forma la muestra dividida en dos porciones que se depositan a la salida de los dos grupos de ductos en los recipientes laterales del partididor, lo cual constituye la primera separación.

Si la cantidad de la muestra así obtenida es mayor que la requerida, se repite este procedimiento con una de las porciones separadas hasta obtener una muestra del tamaño necesario, pero limitando las aplicaciones del partididor a un número no mayor que la requerida, se le aplicará el procedimiento de cuarteo descrito en el inciso a), para obtener el tamaño adecuado.

d) En el caso de las muestras pequeñas, generalmente de material fino, el cuarteo se efectúa sobre una mesa que tenga una superficie lisa y limpia, mezclando el material con el cucharón y siguiendo un procedimiento descrito el del inciso a).

Pero en algunos casos las muestras requieren de tratamientos preliminares de acuerdo con el uso que se pretende dar al material en la obra y que son necesarios para obtener porciones representativas en condiciones adecuada para ejecutar las pruebas en dichos materiales separando ó integrando mezclas.

En algunos casos, las muestras de prueba se integran con mezclas de materiales que pueden tener o no tratamientos previos.

Los tratamientos a que someten las muestras de los materiales comúnmente son el cribado, trituración y lavado, estos tratamientos serán en condiciones semejantes a las de la obra.

El cribado consiste en separar el material por tamaños, para mezclar estos en proporciones adecuadas, a fin de obtener una granulometría semejante a la que se va a aplicar en la obra ó a la que se requiera dé acuerdo con el uso probable del material.

La trituración consiste en reducir el tamaño de sus partículas, con el objeto de darle la granulometría requerida, la trituración se hace manual ó mecánicamente, en la manual los fragmentos de roca se rompen con marro hasta obtener el tamaño máximo y cierta sucesión granulométrica, la trituración mecánica se realiza con equipo de trituración.

El lavado de la muestra se realiza a una porción del material en laboratorio o en campo, su objetivo es eliminar finos parciales.

El lavado en laboratorio se realiza por decantación, colocando la muestra dentro de una charola, vertiéndose agua hasta cubrir el material agitando y moviendo, hasta lograr que este en suspensión la fracción que se quiera eliminar, enseguida se deja reposar, hasta que el material aproveche este sedimentado para posteriormente retirar el agua por decantación.

El proceso se repite hasta que el agua que se decante salga limpia.

El lavado en campo se efectúa con el equipo de construcción que se disponga.

El secado, la disgregación y el cuarteo se realiza como se enunció anteriormente.

El proyecto de las muestras de materiales requiere de estudios especiales que en cada caso se deben efectuar, tomando en consideración las necesidades de la obra, la disponibilidad de los materiales, el aspecto económico, etc.

Cuando se trate de efectuar estudios de mezclas o combinaciones de las diferentes fracciones de un mismo material o de diversos materiales en proporciones fijadas por anticipado, se integrará la mezcla de prueba con las fracciones o porciones de material correspondiente, dándoles el tratamiento visto anteriormente, los cuales son el cribado, trituración, lavado, secado, disgregación y cuarteo.

Para la integración de las mezclas de prueba de laboratorio, los materiales seleccionados se pesan por separado de acuerdo a las propiedades establecidas.

### **III.1.2 MUESTREO, PREPARACIÓN Y PRUEBAS DE LABORATORIO PARA MATERIALES ASFÁLTICOS**

En el caso de materiales asfálticos se realiza también el muestreo, preparación y pruebas de laboratorio, para conocer la calidad y estimar el probable comportamiento de los cementos asfálticos, así como también asfaltos rebajados y emulsiones asfálticas que se utilizarán en la construcción de pavimentos, riegos asfálticos y obras diversas.

Se hace muestreo también de aditivos y estudios para estimar la efectividad de dichos productos.

#### **MUESTREO**

Este consiste en obtener una porción representativa del volumen del material asfáltico en estudio y se lleva a cabo en material almacenado en uno ó varios depósitos o durante maniobras de carga y descarga, incluye además las operaciones de envase, identificación y transporte de muestras.

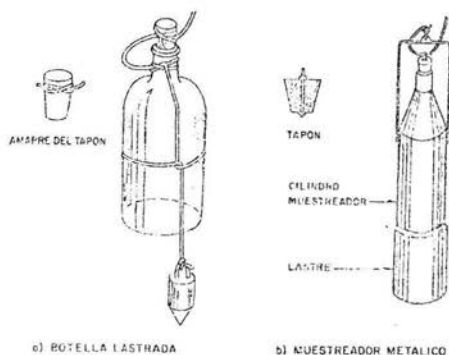
Para el muestreo del material asfáltico almacenado en depósitos, se observarán las condiciones en que se encuentra dicho material, si se encuentran cantidades apreciables de impurezas, como agua, sedimentos ó espuma, se estiman sus volúmenes y se tomarán muestras de estas para su identificación.

Los materiales asfálticos líquidos se muestrean antes de ser calentados y cuando no sea posible, la muestra se toma a la temperatura que tenga al producto. Los materiales sólidos ó semisólidos no deben calentarse más de lo indispensable para facilitar su muestreo.

El equipo necesario para este muestreo es el siguiente:

Un muestreador formado por un recipiente metálico o de vidrio lastrado con tapón de corcho que se retire desde el exterior mediante un cordel.

El recipiente debe sujetarse al extremo de una varilla metálica o de madera ó a otro cordel para sumergirse a la profundidad deseada.



### Muestreadores de asfalto

El procedimiento es el siguiente:

Con el muestreador debidamente limpio y seco se expanden tres porciones del material asfáltico, tomadas cada una de las partes medio, superior e inferior del contenido.

El volumen de cada muestra es de dos litros aproximadamente en el caso de cementos asfálticos. Estas muestras se depositan en recipientes por separado para analizar y determinar si existe heterogeneidad en el material. En caso que se vaya a homogeneizar, se mezclan para formar una muestra integral. Si son tanques cilíndricos verticales, la muestra se tomará con partes iguales de las tres muestras.

Si se trata de tanques cilíndricos horizontales, la muestra se constituye de acuerdo a la tabla siguiente:

#### MUESTREO DE TANQUES HORIZONTALES

Tirante del asfalto en por ciento del diámetro vertical.	Nivel de muestreo en por ciento del diámetro vertical.			Porcentajes en volumen para formar la muestra integral.		
	Superior	Medio	Inferior	Superior	Medio	Inferior
100	80	50	20	30	40	30
90	75	50	20	30	40	30
80	70	50	20	20	50	30
70	-	50	20	-	60	40
60	-	50	20	-	50	50
50	-	40	20	-	40	60
40	-	-	20	-	-	100
30	-	-	15	-	-	100
20	-	-	10	-	-	100
10	-	-	5	-	-	100

Las muestras se envasan en recipientes de lámina ó de vidrio de volumen adecuado, se debe tener cuidado en que las muestras no se contaminen de polvos u otras materias extrañas y que los recipientes estén limpios y secos. Al envasar las muestras los recipientes deben estar completamente llenos y tapados.

Las muestras se identifican por medio de tarjetas en los envases con los datos de: remitente, tipo de material asfáltico, uso a que se destina, obra, lugar del muestreo, nivel a que se toma la muestra, observaciones, fecha y hora de el muestreo.

Estos datos también se anotan en libretas de campo.

En el transporte de las muestras al laboratorio se empacan debidamente y al llegar se registran asignándoles un número de identificación, siendo no conveniente conservar estas muestras más de un mes.

El muestreo de material asfáltico envasado en depósitos como tambores y cuñetes, se realiza tomando en cuenta el estado físico en que se encuentra y agrupando los recipientes por lotes del mismo producto, origen y fabricación para fijar el número de muestras parciales que deben obtenerse.

El equipo que se requiere para realizar el muestreo depende del estado en que se encuentre el material asfáltico, este puede ser con hachas, martillos y espátulas ó con el equipo visto anteriormente que consta de un recipiente metálico o de vidrio, con tapón de corcho y una varilla metálica.

El procedimiento es el siguiente:

Se eligen arbitrariamente los recipientes que serán muestreados de cada lote de material asfáltico, el número de recipientes que se muestreará es el descrito en la tabla siguiente.

Depósitos que forman el lote	Depósitos que deben muestrearse (*)
2 a 8	2
9 a 27	3
28 a 64	4
65 a 125	5
126 a 216	6
217 a 343	7
344 a 512	8
513 a 729	9
730 a 1000	10
1001 a 1331	11

(\*) Esta cantidad es aproximadamente igual a la raíz cúbica del total que constituye el lote.

Si en un almacenamiento se encuentran depósitos con material asfáltico de dos ó más producciones bien definidas se aplica el criterio anterior a cada una de ellas.

Si se tiene materiales asfálticos líquidos en cada uno de los depósitos seleccionados se procede a extraer con el muestreador tres porciones de el material asfáltico de la parte superior, mediana e inferior.

El volumen de cada muestra es de dos litros aproximadamente en el caso de cementos asfálticos y de asfaltos rebajados y de cuatro litros si es de emulsiones asfálticas.

Cuando se trate de barriles la muestra se toma de cada uno de los barriles elegidos para lo cual se obtiene de lugares que disten más de 10 cm. de la periferia del material.

Las muestras se pueden ensayar en forma individual ó mezcladas para hacer una muestra integral. Cuando se tenga materiales asfálticos sólidos ó semisólidos que no resulte fácil fluidificarlos, se utiliza el hacha y el cincel en lugar del muestreador.

Las muestras se toman a profundidad mayor a diez centímetros de la superficie en la parte central y tendrán un peso de dos kilogramos. El manejo de las muestras se realiza de acuerdo a lo descrito anteriormente. El muestreo durante las maniobras de carga y descarga de los vehículos de transporte o de aplicación del material asfáltico, se efectúa directamente en el conducto de la descarga tomando tres muestras parciales, cada una en su recipiente de dos litros de capacidad y de boca ancha. Se obtiene una muestra al inicio, otra a la mitad y otra al final de la maniobra. Estas muestras se vacían en recipientes donde se mezclan para formar una sola y se toma una muestra integral de dos litros si es cemento asfáltico ó asfalto rebajado y de cuatro litros si es emulsión asfáltica. Para el manejo de la muestra se procede como lo descrito anteriormente.

## **III.2 PRUEBAS DE LABORATORIO**

### **III.2.1 PRUEBAS DE CEMENTOS ASFALTICOS**

Estas pruebas se refieren a la determinación de las características de los cementos asfálticos usados en pavimentación, para proveer su probable comportamiento en la obra y controlar sus propiedades durante la construcción. La preparación de las muestras se refiere fundamentalmente a la fluidificación del asfalto para hacerlo manejable, evitando el sobrecalentamiento y recalentamiento de las muestras.

La prueba para determinar el peso específico relativo o densidad de los cementos asfálticos, es la relación entre el peso de un volumen dado del material a 25°C y el volumen igual de agua a la misma. Este dato se utiliza en el cálculo de volúmenes de los cementos asfálticos y en la determinación del porcentaje de vacíos en mezclas asfálticas cementadas.

El equipo necesario para esta prueba es el siguiente:

- Picnómetro de vidrio de forma cilíndrica ó cónica de 22 a 26 mm. de diámetro con tapón de vidrio esmerilado, provisto de un orificio central de 1 a 2 mm. de diámetro. La superficie del tapón debe de ser lisa y plana y la inferior cóncava para permitir que escape el aire a través del orificio. La altura en el centro de la sección cóncava debe de estar comprendida entre 4 y 6 mm. El picnómetro tapado debe tener una capacidad de 20 a 30 cm<sup>3</sup>. y no pesar más de 40 gramos.

- Balanza con aproximación de un gramo.
- Vaso de precipitado de 500 cm<sup>3</sup>
- Vaso de precipitado de 250 cm<sup>3</sup>
- Termómetro de inmersión total con escala de -8 a +32 ° C y aproximación a 0.1 ° C
- Fuente de calor
- Agua destilada

La prueba se efectúa de la forma siguiente:

- a) Se limpia y seca el picnómetro y el tapón, se pesan conjuntamente, su peso se dará como  $W_f$  con aproximación a 0.01 gramo.
- b) Se llena el picnómetro con agua destilada hervida recientemente para eliminar el aire, se inserta el tapón y se sumerge durante 30 minutos, en un vaso con agua destilada que se mantendrá a  $25 \pm 0.2^\circ \text{C}$ , dentro del baño de agua. A continuación se saca parcialmente el picnómetro de el agua y se seca la superficie exterior del tapón, cuidando que el orificio quede lleno de agua. Posteriormente se saca el picnómetro y se seca completamente y se pesa con su tapón y el agua que contiene y se anota su peso como  $W_{fw}$  con aproximación de 0.001 gramo, a continuación se elimina el contenido de el picnómetro y se procede a limpiarlo y secarlo.
- c) En un vaso de precipitado se fluidifican 100 gramos de cemento asfáltico aplicando calor en forma lenta evitando que haya pérdida por evaporación, cuando la muestra este suficientemente fluida, se entibia el picnómetro y enseguida se vierte en este una cantidad de cemento asfáltico, suficiente para llenarlo hasta la mitad aproximadamente sin que escurra por sus paredes y procurando que no se formen burbujas. Posteriormente se deja enfriar el picnómetro y su contenido a la temperatura ambiente y se pesan junto con el tapón, anotando este peso como  $W_{fa}$  con aproximación de 0.001 gramo.
- d) En el paso siguiente se termina de llenar el picnómetro con agua destilada y sin aire y se le inserta el tapón. El picnómetro y su contenido se sumergen completamente más de 30 minutos en un vaso con agua destilada a una temperatura de  $25 \pm 0.2^\circ \text{C}$ . Posteriormente el picnómetro se seca y se pesa con su contenido y el tapón anotando este peso como:  $W_{faw}$  con aproximación de 0.001 gramo. El peso específico relativo del cemento asfáltico con aproximación de 1.001 gramos, se determina con la fórmula siguiente:

$$S_{CA} = \frac{W_{fa} - W_f}{(W_{fw} - W_f)} - \frac{(W_{faw} - W_{fa})}{(W_{fw} - W_f)} = \frac{W_a}{W_w}$$

Donde :

$S_{CA}$  es el peso específico relativo o densidad del cemento asfáltico, número abstracto.

$W_f$  es el peso del picnómetro, en gramos.

$W_{fw}$  es el peso del picnómetro lleno de agua, en gramos.

$W_{fa}$  es el peso del picnómetro con asfalto, en gramos.

$W_{faw}$  es el peso del picnómetro con asfalto y agua, en gramos.

$W_a$  es el peso del cemento asfáltico contenido en el picnómetro, en gramos.

$W_w$  es el peso del agua destilada, en gramos, correspondiente a un volumen igual al del cemento asfáltico, estando ambos a  $25^\circ \text{C}$ .



En la determinación del peso específico relativo del cemento asfáltico se deben de tener las siguientes precauciones:

- 1.- El agua destilada que se utiliza en la prueba debe ser hervida para extraer el aire que contenga.
- 2.- Al limpiar y secar el picnómetro debe evitarse su calentamiento, pues puede originar que se dilate y derrame su contenido.
- 3.- Al llenar el picnómetro e insertar el botón debe de eliminarse las burbujas de aire.
- 4.- Para la limpieza del picnómetro después de una determinación es conveniente calentarlo a no más de 100 ° C, para que casi todo el material pueda ser vaciado y después limpiarlo con un paño suave y terminarlo de limpiar con algún disolvente.

### III.2.2 METODO SAYBOLT-FUROL

Este método permite determinar la viscosidad Saybolt-Furol en cementos asfálticos y permite conocer sus características de flujo a la temperatura de 135 °C pudiéndose realizar esta prueba a otras temperaturas entre 120 y 135 °C, con el objeto de conocer la susceptibilidad al calor de los cementos asfálticos y determinar el tiempo que tardan en pasar 60 cm<sup>3</sup> de cemento asfáltico a través de un orificio Furol bajo condiciones especificadas. La preparación de la muestra consiste en colocar en un recipiente 400 gramos de cemento asfáltico y calentarlo a una temperatura superior en 15 °C, a la temperatura de prueba, para fluidificarlo agitando de vez en cuando, excepto durante los últimos 30 ° c cuando el agitado es continuo. El calentamiento no será mayor de 2 horas y se calentará la muestra una sola vez.

La prueba es la siguiente:

- 1.- Se llena el baño del viscosímetro con aceite adecuado para la temperatura a la cual se efectúa la prueba.
- 2.- Se limpia el tubo del viscosímetro con petróleo diáfano.
- 3.- Se inserta un tapón de corcho en la parte inferior del tubo del viscosímetro de manera que penetre de 6 a 9 mm herméticamente, para evitar que escape el aire y se coloca un anillo de desplazamiento de metal en el tubo de derrame.
- 4.- Se calienta el baño del viscosímetro a una temperatura inferior a la seleccionada para efectuar la prueba, se vierte al tubo del viscosímetro la muestra preparada filtrándola por la malla no. 0.850 previamente entibiada y seca, hasta que el asfalto se derrame en la cazoleta, se pone una tapa y se inserta el termómetro a través del orificio de esta,
- 5.- La muestra se agita con el termómetro con movimientos circulares, evitando movimientos verticales y golpear el fondo del tubo del viscosímetro, para no presionar el asfalto a través del orificio de la boquilla se ajusta la temperatura del baño, hasta que la muestra alcance su temperatura de prueba y establezca el equilibrio técnico.

6.- Cuando la temperatura de la muestra permanezca constante durante un minuto de agitado continuo, con una discrepancia no mayor de 0.3 °C, se retira la tapa y el anillo de desplazamiento para verificar que la muestra dentro de la cazoleta no llegue al nivel de derrame y se coloca una vez más la tapa.

7.- Inmediatamente se coloca un matraz de vidrio de capacidad de 60 +/- 0.05 cm<sup>3</sup> aforado, a una temperatura de 20 °C y con marca de aforo en el cuello debajo del tubo del viscosímetro, se retira el tapón de corcho y simultáneamente se pone en marcha un cronómetro con aproximación de un segundo, el cual se detendrá en el momento que la muestra alcance los 60 cm<sup>3</sup> del matraz, registrándose el tiempo transcurrido desde que se inicia el llenado del tubo del viscosímetro hasta que empiece el llenado del matraz, el cual no será mayor de 15 minutos.

Este tiempo en que tarda en llenarse el matraz con material asfáltico hasta la marca de aforo y la temperatura de la prueba, se reporta como viscosidad Saybolt-Furol.

Para la realización de esta prueba se debe considerar lo siguiente:

- a) La prueba se debe realizar en lugares donde no existen corrientes de aire, ni cambios de temperatura.
- b) Evitar la formación de espuma ó burbujas de aire.
- c) Limpiar el equipo antes y después de utilizarlo, empleando petróleo diáfano.
- d) Verificar que no existan impurezas en las paredes interiores del baño y el tubo del viscosímetro.

### III.2.3 PRUEBA DE PENETRACIÓN VERTICAL

Esta prueba es la que se realiza para determinar la consistencia de los cementos asfálticos mediante la penetración vertical de una aguja en una muestra de dicho material bajo condiciones establecidas de peso, tiempo y temperatura. La profundidad a la que penetra la aguja se mide en décimas de milímetro. La preparación de la muestra consiste en calentar esta hasta que adquiera la fluidez suficiente, para facilitar su vaciado en un molde de prueba, agitándola de forma continua, para distribuir la temperatura uniformemente, cuidando que no se formen burbujas de aire y que la temperatura no exceda de 130 °C y el tiempo de calentamiento no sea mayor de 30 minutos. Dados estos aspectos se llena el recipiente de prueba que puede ser de metal ó vidrio, con fondo plano, diámetro interior de 55 mm. Y altura de 45 mm con la muestra y se cubre adecuadamente para protegerla del polvo, dejándola enfriar a una temperatura entre 15 y 30 °C durante dos horas. La prueba se efectúa como sigue:

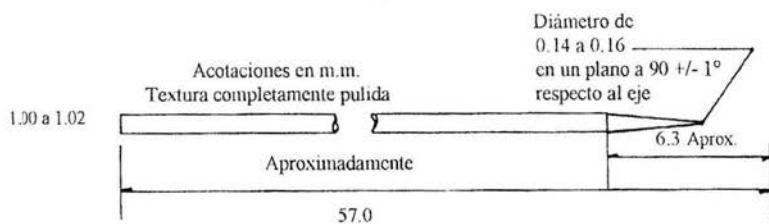
1.- Se coloca un penetrómetro para asfaltos (adoptado para sujetar una aguja y previsto de un dispositivo para medir la profundidad de penetración de dicha aguja en décimas de milímetro y un mecanismo que permite aproximar la aguja muestra y con pesas lastres de 50 y 100 gramos) sobre una superficie plana, firme y sensiblemente horizontal, se lastra para que el elemento que se desplaza tenga un peso de 100 +/- 0.1 gramos del peso especificado para la prueba y se nivela perfectamente.

2.- Se saca del baño el recipiente de manejo conteniendo la muestra en su molde con temperatura de 50 °C y cuidando que se lleve agua suficiente para cubrir completamente el molde. Se coloca el conjunto sobre la base del penetrómetro de tal manera que la muestra quede abajo del agua y se ajusta la altura de esta hasta que tenga contacto con la superficie de la muestra, lo que se logra haciendo coincidir la punta de la aguja con la imagen reflejada en la superficie de la muestra.

3.- Se hace coincidir la manecilla del penetrómetro con el cero de la carátula y se oprime el sujetador para liberar la aguja únicamente durante 5 minutos que es el tiempo especificado para la prueba, se toma la lectura y se registra en décimos de milímetros o grados de penetración. Se hacen tres penetraciones como mínimo con una separación entre sí y la pared del molde de más de 10 milímetros, limpiando cuidadosamente la aguja después de cada penetración, sin desmenzarla. Para la limpieza de la aguja se utiliza un paño humedecido con tetracloruro de carbono y después un paño seco y limpio.

4.- Para penetraciones mayores de 225 décimos de milímetros se emplean por lo menos 3 agujas, las cuales se dejarán introducidas en las muestras mientras se realizan las demás penetraciones. El promedio calculado con aproximación a la unidad de las 3 penetraciones como mínimo será el resultado de la prueba y cuyos valores no difieren en cantidades mayores a los mostrados en la tabla siguiente:

Penetración	Diferencia permisible entre los valores de las penetraciones consideradas.
0 - 49	2
50 - 149	4
150 - 249	6
250 ó más	8



Aguja para prueba de penetración

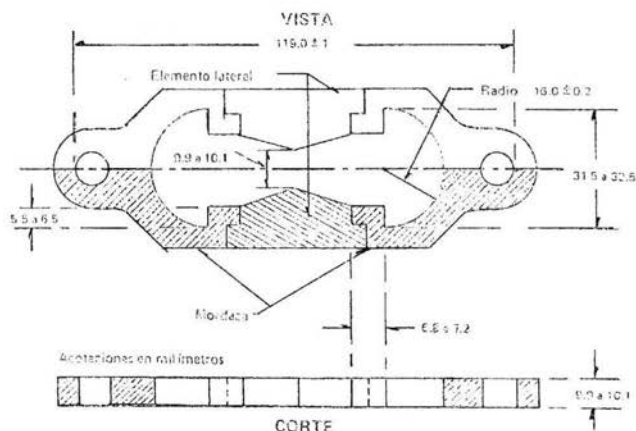
La prueba se repetirá si las condiciones de la tabla no se cumplen Pueden ser causas de error en la prueba los siguientes aspectos:

- Que exista aire atrapado en la muestra de la prueba
- Que no se tenga condiciones adecuadas de limpieza de la aguja en el momento de la penetración.
- Que la aguja no este en contacto con la superficie de la muestra al iniciar la penetración.
- Que la aguja toque el fondo del recipiente antes de finalizar el tiempo especificado.

### III.2.4 PRUEBA PARA DETERMINAR LA DUCTILIDAD DE LOS CEMENTOS ASFALTICOS

Esta prueba es medida por la máxima distancia a la cual una briqueta de características específicas puede ser estirada sin romperse bajo condiciones de temperatura y velocidad de deformación establecida.

Esta prueba se lleva a cabo mediante un molde de latón para elaborar briquetas como se observa en la figura siguiente:



Molde para elaborar la briqueta en la prueba de ductilidad

Una placa de latón de bronce, un baño de agua con temperatura constante de  $25 \pm 0.5$  °C con capacidad no menor de 10 litros, un ductilometro compuesto con un dispositivo para estirar la briqueta de cemento asfáltico a una velocidad uniforme y que permanezca sumergida en agua a no menos de 2.5 cm. del nivel del agua y del fondo del tanque. Un termómetro de graduación de  $-8$  a  $+32$  °C con aproximación a  $0.1$  °C. Una malla no. 0.300. Cloruro de sodio comercial. Materiales para recubrir los moldes de las briquetas, como mezclas de ácido nítrico y mercurio, talco y caolín.

La prueba se efectúa como sigue:

- a) Se preparan los dos elementos laterales del molde y la placa de apoyo de las briquetas, para evitar que se adhiera el asfalto, se aplica una mezcla formada por 3 partes de ácido clorhídrico o nítrico y una parte de mercurio. Posteriormente se coloca el molde sobre la placa y se ajusta dejándolo en posición horizontal.
- b) A la muestra de cemento asfáltico se calienta lo indispensable para que adquiera la fluidez suficiente y se facilite su vaciado, se pasa a través de la malla no. 300, se agita perfectamente y se vacía en el molde formando un chorro delgado, hasta rebasar ligeramente el nivel de enrase, evitando la formación de burbujas.
- c) El molde con el material asfáltico y colocado sobre la placa de apoyo se deja enfriar a una temperatura ambiente durante 30 a 40 minutos, después se coloca en el baño de agua a una temperatura de  $25 \pm 0.5$  °C durante 30 minutos; transcurrido este tiempo se saca del baño y se enrasa cortando todo el exceso de este con un cuchillo ó espátula previamente calentada para un fácil corte.
- d) El molde sobre su placa de latón y conteniendo la briqueta se vuelven a calentar en el baño de agua a una temperatura de  $25 \pm 0.5$  °C durante  $90 \pm 5$  minutos, después de lo cual se retiran los elementos laterales del molde y de inmediato se instala la briqueta con sus mordazas en el ductímetro, sujetando los extremos de estas en los postes o ganchos del aparato, debiendo quedar el nivel del agua a no menos de 2.5 cm. de la cara superior de la briqueta. El agua del ductímetro se acondiciona previamente para que a una distancia de 2.5 cm. alrededor de la briqueta, permanezca a  $25 \pm 0.5$  °C.
- e) Se pone en marcha el mecanismo de prueba a la velocidad de 5 cm. por minuto con variación de 5% hasta producir la ruptura de la briqueta se lee el desplazamiento de la mordaza y se registra en centímetros.

La ductilidad del cemento asfáltico, será la longitud en centímetros que se desplazó la mordaza para lograr la ruptura de la briqueta.

Las causas de error pueden ser

- Que existan burbujas de aire dentro de la briqueta.
- Que al estirarse la briqueta ésta toque el fondo del tanque del ductilómetro ó la superficie del agua, si pasara esto, se repite la prueba agregando sal al agua para aumentar su densidad o alcohol metílico para disminuirla y lograr que la probeta al ser estirada se mantenga en posición sensiblemente horizontal.

### III.2.5 PRUEBA PARA DETERMINAR EL GRADO DE SOLUBILIDAD QUE CONTIENEN LOS CEMENTOS ASFALTICOS

Esta prueba consiste en disolver en tetracloruro de carbono o tricloroetileno una muestra de cemento asfáltico filtrándola a través de una capa de fibra de asbesto, en donde se retiene la fracción insoluble.

Los resultados de la prueba sirven para conocer la pureza del asfalto en cuanto a su contenido de sustancias sólidas. La prueba se realiza como sigue:

1.- Se desmenuzan de 20 a 30 gramos de asbesto, se ponen en un litro de agua destilada y se agitan para formar una suspensión dispersa y uniforme.

2.- Se monta un equipo de filtración a base de un matraz de filtración de 500 cm<sup>3</sup> de capacidad con conexión para la bomba de succión.

Se coloca en el fondo de un crisol Gooch porcelanizado (excepto su base, con diámetro superior de 44 mm., diámetro de la base de 36 mm. y altura de 25 mm. aproximadamente.)

Un parte del asbesto en suspensión y se deja en reposo hasta que se asiente.

Posteriormente se aplica una ligera succión para eliminar el agua y formar una capa firme de asbesto en el fondo del crisol. Una vez más se agrega asbesto en suspensión y se succiona hasta formar una capa de peso de 0.5 +/- 0.1 gramo. Después de someterse al proceso de calcinación que se explica a continuación:

3.- Se desmonta el crisol y se lava la capa de asbesto con agua y se seca el crisol en un horno con termostato de temperatura de 105 +/- 5 °C y se calcina al rojo hasta peso constante, sobre flama abierta.

Posteriormente se deja enfriar en un desecador de cristal con cloruro de calcio anhidro. Enseguida se pesa y su peso se registra como W<sub>i</sub> con aproximación a 0.1 gramo y se conserva en el decantador en tanto se utiliza.

4.- A una muestra de cemento asfáltico se le calienta lo indispensable para homogeneizarla y se agita, cuidando que no se almacenen temperaturas superiores a 130 °C. Enseguida se vierte en un matraz Erlenmeyer de 125 cm<sup>3</sup> de capacidad de un miligramo. A continuación se agregan en porciones pequeñas 100 cm<sup>3</sup> de tetracloruro de carbono tricloroetileno según el solvente seleccionado, agitando y cuidando que las partículas insolubles no se adhieran a las paredes del matraz, después se tapa y se deja en reposo durante 15 minutos.

5.- Se instala una vez más el crisol Gooch en el matraz de filtración debidamente acoplado a la bomba de succión y se humedece la capa de asbesto en el crisol, vaciándose una pequeña cantidad de solvente seleccionado y después se decanta con cuidado la solución de asfalto contenida en el matraz de Erlenmeyer y se hace pasar por la capa de asbesto del crisol succionando ligeramente si se requiere, para facilitar el paso de la solución.

Se lava el interior del matraz con el solvente seleccionado en pequeñas cantidades y se vierte sobre la capa del asbesto.

Posteriormente se lava el contenido del crisol con el disolvente hasta que este salga incoloro y se succiona para eliminarlo del crisol.

6.- Se desmonta el crisol y se lava exteriormente con el solvente, se seca sobre la superficie exterior de un horno hasta que no quede algún olor a solvente, completando el secado dentro del horno a una temperatura de 105 +/- 5° C durante 20 minutos. Después se enfría en el desecador durante 30 +/- 5 minutos y se determina su peso con aproximación de un miligramo. Esta operación de secado se repite hasta obtener un peso constante y se registra como  $W_f$  Posteriormente la fracción soluble del cemento asfáltico se reporta y calcula como:

$$S = W_m - (W_f - W_i) / W_m \times 100 = (1 - (W_f - W_i) / W_m) \times 100$$

En donde:

$S$  es la solubilidad del cemento asfáltico, en por ciento.

$W_m$  es el peso de la muestra de cemento asfáltico, en gramos.

$W_f$  es el peso del crisol preparado conteniendo el material insoluble, en gramos.

$W_i$  es el peso del crisol preparado, en gramos.

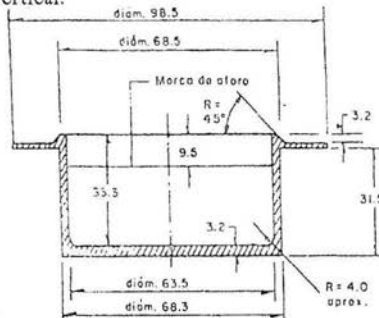
## II.2.6 PRUEBA PARA DETERMINAR EL PUNTO DE INFLAMACIÓN DE LOS CEMENTOS ASFALTICOS EN COPA ABIERTA CLEVELAND.

Esta prueba determina la temperatura mínima a la que el asfalto produce flamas al estar en contacto con el fuego. La prueba consiste en colocar una muestra de asfalto en la copa mencionada, donde se incrementa paulatinamente su temperatura hasta lograr que al pasar la flama por la superficie de la muestra se produzcan en ellas las flamas instantáneas.

Si continua elevando la temperatura de la muestra se llega al punto en que se inicia la combustión del material el cual se denomina punto de combustión.

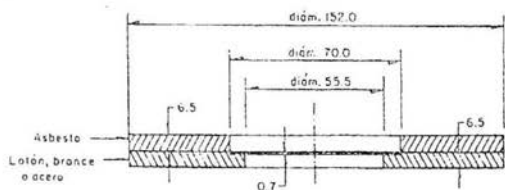
La prueba se efectúa como sigue:

1.- Se monta y sujeta un termómetro de inmersión parcial de 25 mm, (con escala de -6 a + 400 ° C), de manera que el extremo inferior del bulbo quede a 6.4 mm. del fondo de la copa abierta de Cleveland (la cual se describe en la gráfica siguiente, así como una placa circular de apoyo para la copa). en el punto situado a la mitad de la distancia entre el centro y la pared de la copa opuesta al aplicador de la flama; por otra parte, el eje de giro del aplicador, el centro de la copa y el eje del termómetro deben de estar en el mismo plano vertical.



Copa abierta de Cleveland

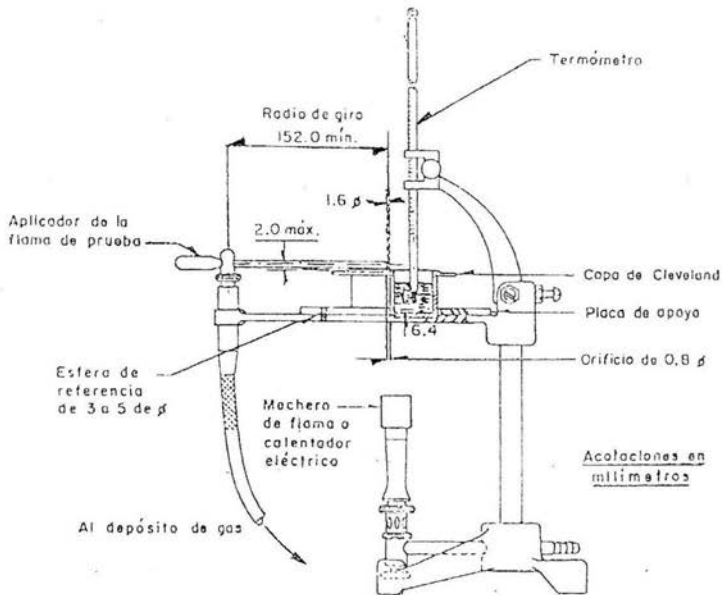
Acotaciones en milímetros con tolerancia de +/- 0.5 milímetros  
Material: latón, bronce o metal no reactivo



Placa circular de apoyo para copa

Acotaciones en milímetros con tolerancia de +/- 0.5 milímetros

## Montaje del equipo para la prueba de puntos de inflamación



2. - A la muestra de cemento asfáltico se le aplica calor para fluidificarla, cuidando que la temperatura alcanzada no sea mayor de 150 °C y agitándola continuamente para evitar sobrecalentamiento, hasta darle la consistencia adecuada para ser vaciada en la copa.
3. - Se vacía la muestra de cemento asfáltico preparado en la copa lentamente hasta que la parte superior del menisco, coincida con la marca de aforo de la copa, sin pasar este nivel, destruyendo cualquier burbuja que se forme.
4. - Se enciende un aplicador de la flama (de 1.6 mm. de diámetro en el extremo de salida y orificio de 0.8 mm. de diámetro acoplado al soporte, de tal forma que pueda girar en su plano horizontal.), y este se ajusta para obtener un diámetro de 3 a 5 mm. aproximadamente.
5. - Se aplica calor al espécimen de manera que su temperatura aumente entre 14 y 17 °C por minuto, hasta que el material asfáltico alcance una temperatura aproximada de 60 °C abajo del punto de inflamación probable, posteriormente el calor aplicado a la copa se reduce gradualmente, de manera que al llegar a 30 °C abajo del punto de inflamación probable, el incremento de la temperatura sea de 5 a 6 °C por minuto.



6. - Cuando el espécimen este a 30 ° C abajo del punto de inflamación probable, se iniciará la aplicación pasándola de un lado a otro de la copa, sobre el centro de esta y con movimiento circular uniforme, siendo la duración del paso de la flama sobre la copa de un segundo aproximadamente y que el aplicador gire lo suficiente hasta formar un ángulo recto con el diámetro de la capa que pasa por el eje del termómetro. La flama se aplicará cada vez que la temperatura de la muestra de la prueba se eleve 2° C.

7.- Para determinar el punto de inflamación se registra como  $t_1$  en ° C con aproximación a 1°, la temperatura leída en el termostato cuando al pasar el aplicador se produzca una pequeña flama instantánea en cualquier punto de la superficie del espécimen.

8.- Para determinar el punto de combustión se continúa incrementando la temperatura de la muestra de la prueba a razón de 5 a 6 °C por minuto, pasando el aplicador de la flama a intervalos de 2°C, hasta que se produzcan flamas que duren 5 segundos, determinando en este momento la temperatura alcanzada y registrándose como  $t_2$  con aproximación a 1°.

Posteriormente se calcula y reporta que:

- a) Si la presión barométrica del lugar en que se efectúa la prueba es diferente a 760 mm. de mercurio, se corrigen las temperaturas  $t_1$  y  $t_2$  , aplicando la fórmula siguiente:

$$t = t' + 0.03 (760 - P)$$

En donde:

$t$  es la temperatura corregida por la presión barométrica, en grados centígrados

$t'$  es la temperatura registrada durante la prueba y que fue designada como  $t_1$  ó  $t_2$  en grados centígrados.

$P$  es la presión barométrica del lugar en que se efectúa la prueba, en mm. de mercurio.

- b) Se reporta como puntos de inflamación y puntos de combustión del cemento asfáltico las temperaturas  $t_1$  ó  $t_2$ , respectivamente, corregidas por presión barométrica en grados centígrados y con aproximación a un grado centígrado.

Para realizar esta prueba se debe de tener las precauciones siguientes:

- Realizar la prueba en un local libre de corrientes de aire y de preferencia relativamente oscuro para identificar las flamas.
- Al aplicar la flama de prueba evitar agitar los vapores que se desprendan de la copa, no respirando cerca, ni movimientos bruscos.
- Lavar la copa con un disolvente adecuado para eliminar residuos de una prueba anterior y si contiene partículas de carbón removerlas con fibra de acero lavándola con agua fría.

### III.2.7 PRUEBAS DE COMPACTACION

#### III.2.7.1 PARA SUB-BASES Y BASES DE PAVIMENTOS

La compactación es la aplicación mecánica de cierta energía o cantidad de trabajo por unidad de volumen, para lograr una reducción de los espacios entre las partículas sólidas de un suelo, para mejorar las características mecánicas, al acomodarse las partículas sólidas de un mejor modo, expulsando el aire que contiene un suelo; se produce un aumento en su peso específico ó volumétrico.

Si a un suelo cuya humedad es baja se le incrementa su contenido de agua y se le aplica la misma energía de compactación, su peso volumétrico de material seco alcanza un valor máximo.

Al contenido de agua con el que se obtiene el mejor acomodo de las partículas y el mayor peso específico o volumétrico del material seco, para una determinada energía de compactación, se le denomina humedad óptima y al peso volumétrico correspondiente se le designa como peso específico o volumétrico seco máximo

A partir de esta condición de humedad óptima, se incrementa el agua para un mismo volumen. El agua con el aire ocuparía el lugar de algunas partículas del suelo, obteniéndose pesos específicos secos, siendo menores a medida que el agua aumenta, llevando esto a ejes coordenados, de un lado cada peso específico seco, y del otro su correspondiente humedad y se unen con una curva, se representará la variación del peso específico ó volumétrico de un material para diferentes contenidos de agua y una misma energía de compactación adoptando la curva una forma de parábola.

El contenido de agua óptimo y el peso específico seco máximo de un suelo también varían con la energía de compactación; cuando esta aumenta, se obtienen mayores pesos específicos secos máximos con humedades óptimas mayores.

La llamada “curva de saturación óptima” es otro parámetro de importancia en la compactación y representa para cada peso específico la humedad necesaria para que todos los vacíos que dejan entre sí las partículas sólidas estén llenas de agua.

El peso específico del suelo seco  $\gamma_c$  correspondiente a la curvatura de saturación teórica para una humedad dada se calcula como sigue:

$$\gamma_c = S_s \cdot \gamma_o / 1 + w S_s$$

En donde  $\gamma_c$  es el valor del peso específico del material seco, para construir la curva de saturación teórica, en  $\text{kg}/\text{m}^3$

$S_s$  es el peso específico relativo de la fase sólida del suelo de que se trate

$\gamma_o$  es el peso específico de agua, considerado de  $1000 \text{ kg. por m}^3$

$w$  es el contenido de agua elegido en cada caso para calcular el peso específico  $\gamma_c$  expresado en forma decimal.

Dado que es imposible llenar con agua los huecos que dejan las partículas de un suelo compactado, la curva peso específico del material seco-húmedo no debe cruzar la curva de saturación teórica respectiva.

El porcentaje de los huecos que quedan llenos de aire para una determinada condición de peso específico seco y humedad de un suelo se calcula como:

$$V_a = 100 (1 - \gamma_d / \gamma_c)$$

En donde

$V_a$  es el volumen de huecos que quedan llenos de aire entre partículas de suelo en por ciento.

$\gamma_d$  es el peso específico del suelo seco compactado, correspondiente a la humedad  $w$ , en  $\text{kg} / \text{m}^3$

$\gamma_c$  es el peso específico del suelo seco, obtenido de la curva de saturación teórica correspondiente a la misma humedad  $w$ , en  $\text{kg} / \text{m}^3$

Para un suelo relativamente bien graduado el por ciento de huecos que quedan llenos de aire cuando alcanza el 100% de compactación con la humedad óptima es de 6.5% y si este porcentaje es mayor, puede ser indicio de que el material no ha alcanzado el 100% de compactación ó que sin valorar su peso específico puede adquirir mayor humedad.

Se han establecidos procedimientos de prueba de compactación en laboratorio de acuerdo a la naturaleza de los materiales ó con el uso que se pretenda dar, tomando en cuenta la forma de aplicar la energía al material, estas pruebas son las siguientes:

1.- Por impactos, la prueba de compactación dinámica AASHTO estándar, AASHTO modificada tres y cinco capas y los métodos de California y Texas.

2.- Por carga estática, la prueba de compactación Porter.

3.- Por amasado, método de compactación de Hueem.

4.- Por vibración, el método de compactación en que se utiliza una mesa vibratoria.

La prueba de compactación dinámica AASHTO estándar sirve para determinar el peso específico seco máximo y la humedad óptima en suelos que se emplean en la construcción de terracerías. El método consiste en preparar especímenes utilizando una muestra de material con diferentes contenidos de agua, compactándolos mediante impactos para determinar el peso específico seco máximo y la humedad óptima.

El muestreo y la preparación de la muestra se llevan a cabo como se indica en el tema I. Existen variantes en la prueba.

La variante A aplica a materiales que pasan la malla no. 4.75 y se compactan en molde de 101.6 mm, de diámetro interior.

La variante B aplica a materiales que pasan por la malla no. 4.75 y se compactan en molde de 152.4 mm, de diámetro interior.

La variante C aplica a materiales con retenido en la malla no. 4.75: se efectúa utilizando la fracción que pasa la malla no. 19.0 y se compacta en molde de 101.6 mm, de diámetro interior.

La variante D se aplica a materiales con retenido de malla no. 4.75, se efectúa en la fracción que pasa la malla no. 19 y se compacta el molde de 150.2 mm. de diámetro interior. Los materiales que pasen ó que presenten retenido en la malla no. 4.75, pueden compactarse en moldes de 101.6 mm. o en moldes de 152.4 mm. de diámetro interior.

Para seleccionar el tipo de molde mas apropiado, se toma en cuenta la conveniencia de utilizar especímenes de prueba más pequeños o la de emplear muestras de mayor tamaño, de acuerdo a los problemas de cada obra. El equipo para efectuar esta prueba es el siguiente:

- Equipo de compactación, el cual consiste en un cilindro metálico de  $W_1$  conocido, de 101.6 mm. de diámetro interior y 116.4 mm. de altura.
- Una placa de base metálica de 9.5 mm. de espesor, la cual se asegura al cilindro.
- Una extensión o collarín removible de 60.3 mm. de altura exterior con diámetro interior igual al del cilindro.
- Cilindro metálico de peso  $W_1$  conocido con diámetro interior de 152.4 mm. y altura de 116.4 mm. con una base metálica de 12.7 mm. de espesor.
- Un collarín con el mismo diámetro interior del cilindro y una altura de 60.3 mm.
- Pisón metálico con peso de 2.5 kilogramos, con superficie circular de apisonado de 50.8 mm. de diámetro, acoplado a una guía metálica tabular, para que tenga una caída libre de 30.5 cm.
- Regla metálica de arista cortante de 25 cm. de largo aproximadamente.
- Balanza con capacidad mínima de 15 kg. Y aproximación de 5 gramos.
- Balanza con capacidad mínima de 2 kg. Y aproximación a 0.1 gramos.
- Horno para secado de muestras, con control termostático para mantener una temperatura de  $105 \pm 5$  °C.
- Base cúbica de concreto o de otro material de rigidez similar, con dimensiones mínimas de 40 mm. por lado.
- Probeta con capacidad de 500 cm.<sup>3</sup> y graduaciones de 10 cm.<sup>3</sup>
- Probeta con capacidad de 1000 cm.<sup>3</sup> y graduaciones de 10 cm.<sup>3</sup>
- Mallas de las siguientes denominaciones: no. 19.0 y 4.75.
- Cápsulas metálicas con tapa.
- Charolas rectangulares.
- Aceite para lubricar las paredes del molde.

La preparación de la muestra se efectúa de acuerdo a lo descrito en el tema de muestreo y preparación de la muestra vista anteriormente. La muestra se realiza de la siguiente forma:

1.- Se agrega a la muestra de prueba, la cantidad de agua necesaria para que al ser repartida uniformemente, se tenga una humedad inferior en 4 a 6 % a la óptima estimada. En caso de suelos que pasan la malla no. 4.75, se considera que cumple lo anterior cuando presenten una consistencia tal que al comprimir una porción de la muestra en la palma de la mano, no deje partículas adheridas a esta, ni la humedad y que a su vez el material comprimido pueda tomarse con dos dedos sin que se desmorone.

2.- Se criba la muestra de la prueba por la malla no. 4.75 de las variantes A y B y por la malla no. 19.0 las variantes C y D, disgregando los gramos que se hayan formados durante la incorporación de agua. Se mezcla cuidadosamente la muestra para homogeneizarla, se disgregan los grumos y se divide en 3 fracciones aproximadamente iguales; se coloca una de las fracciones en el cilindro de la prueba, seleccionando de acuerdo con la variante respectiva, se apoya sobre el bloque de concreto y se compacta con 25 golpes del pisón para las variantes A y C y con 56 golpes para las variantes B y D, manteniendo la altura de la caída de 30.5 centímetros y repartiendo uniformemente los golpes de la superficie de la capa. Se escarifica ligeramente la superficie de la capa y se repite estas operaciones con cada una de las dos fracciones restantes.

3.- Terminada la compactación, se retira la extensión del molde y se verifica que el material no sobresalga del cilindro en un espesor promedio de 1.5 cm. en caso contrario la prueba deberá repetirse, utilizando de preferencia una nueva muestra con peso ligeramente menor que el inicial; se enrasa cuidadosamente el espécimen con la regla metálica y se deposita en una charola el material excedente. A continuación, se pesa el cilindro con su contenido y se anota en la hoja de registro su valor  $W_j$  en gramos.

4.- Se saca el espécimen del cilindro, se corta longitudinalmente y de su parte central se obtiene una porción representada, a la que se le determina su humedad y anotando los datos correspondientes a esta determinación en la hoja de registro.

5.- Se incorporan las fracciones del espécimen al material que sobró al enrasarlo, se disgregan los gramos, se agrega el 2 % de agua, aproximadamente con respecto al peso inicial de la muestra y se repiten los pasos descritos anteriormente.

6.- Con la misma muestra de prueba se repite lo indicado en el párrafo 5, incrementando sucesivamente su contenido de agua, hasta que la muestra este muy húmeda y el último espécimen elaborado presente una disminución apreciable en su peso con respecto al anterior. Para definir convenientemente la variación del peso específico de los especímenes elaborados, se requiere que las determinaciones sean 4 ó 5; Así también, que en la segunda determinación el peso del cilindro con el espécimen húmedo, sea mayor que la primera y que en la penúltima determinación sea mayor que en la última. Los cálculos y reportes que deberán efectuarse en esta prueba son los siguientes:

1.- Se calcula el contenido de agua de cada espécimen.

2.- Se calcula el peso específico del material húmedo por medio de la fórmula siguiente y se anota su valor en la hoja de registro.

$$\gamma_m = (W_i - W_t) / V \times 1000$$

Donde:

$\gamma_m$  es el peso específico del material húmedo en  $\text{kg./m}^3$

$W_i$  es el peso del material húmedo compactado más el peso específico en gramos

$W_t$  es el peso del cilindro, en gramos

$V$  es el volumen del cilindro, en  $\text{cm}^3$ .

3.- Se calcula el peso específico de cada espécimen en estado seco, mediante la fórmula siguiente y se anota su valor en la hoja de registro.

$$\gamma'_d = \gamma_m / (100 + w) \times 100$$

En donde:

$\gamma'_d$  es el peso específico del espécimen en estado seco, en  $\text{kg}/\text{m}^3$   
 $\gamma_m$  es el peso específico del espécimen húmedo, en  $\text{kg}/\text{m}^3$   
 $w$  es el contenido de agua, en por ciento.

4.- Se determina el peso específico máximo del material en estado seco, partiendo de la curva como se observa en la figura siguiente, en donde las ordenadas representan los pesos específicos y las abscisas los contenidos de agua, de cada uno de los especímenes. El punto mas alto de dicha curva es el que representa el peso específico seco máximo  $\gamma'_{d \text{ máx.}}$  y la humedad correspondiente,  $w_o$  es la óptima del material.

5.- Se reportan el peso específico seco máximo  $\gamma'_{d \text{ máx.}}$  en  $\text{kg}/\text{m}^3$  y la humedad óptima  $w_o$  en porciento.

6.- En caso necesario se calculan los pesos específicos secos correspondientes a la curva de saturación teórica para los contenidos de agua de cada espécimen, de acuerdo a la "curva de saturación teórica", vista anteriormente y con estos pesos y los respectivos contenidos de agua, se traza la curva de saturación teórica para el material utilizado en la prueba.

PRUEBA DE COMPACTACION DINAMICA

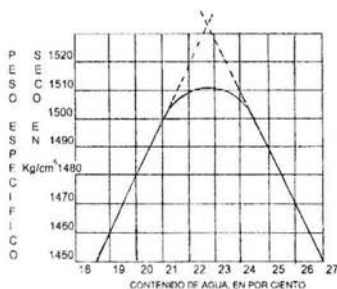
OBRA	Carretera Tuzantla- El Limon	FECHA	
LOCALIZACION	Km. 13 + 200	ENSAYE	75-228
SONDEO NUM.	5	OPERADOR	
MUESTRA NUM.	1	CALCULO	
DESCRIPCION	Arena arcillosa con 30% aproximadamente de grava (SC)		

METODO AASHTO ESTANDAR MOLDE R PESO EN g 2750

VARIANTE D NUMERO DE GOLPES POR CAPA 56

PRUEBA NUMERO		1	2	3	4	5
U	CAPSA NUMERO	2	6	3	9	1
M	PESO CAPSA + SUELO HUMEDO (g)	193.8	204.2	198.1	172.4	187.9
E	PESO CAPSA + SUELO SECO (g)	169	177	171.0	143.8	156.8
D	PESO DEL AGUA (g)	24.8	27.2	27.1	28.6	31.1
A	PESO CAPSA (g)	36	47.2	52.3	28.9	41.5
D	PESO SUELO SECO (g)	131	129.8	118.7	114.9	115.3
	CONTENIDO DE AGUA (%)	18.9	21.0	22.9	24.9	27
PESO	PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (g)	8449	8619	8711	8728	8677
	PESO MOLDE + SUELO SECO (g)	2750	2750	2750	2750	2750
ESPE.	PESO SUELO HUMEDO (kg)	3699	3869	3961	3978	3927
CIFRO	VOL. DEL CAL. DE COMPACTACION (cc)	2133	2133	2133	2133	2133
	PESO ESPECIFICO HUMEDO ( $\gamma_m$ en $\text{kg}/\text{m}^3$ )	1734	1814	1857	1865	1841
	PESO ESPECIFICO SECO ( $\gamma'_d$ en $\text{kg}/\text{m}^3$ )	1458	1499	1511	1493	1450

$$\text{PESO ESPECIFICO SECO} = \frac{\text{PESO ESPECIFICO HUMEDO}}{100 + \text{CONTENIDO DE AGUA}} \times 100$$



OBSERVACIONES PESO ESPECIFICO  
Seco máximo  $\gamma'_{d \text{ máx.}}$  = 1511  $\text{kg}/\text{m}^3$   
Humedad óptima  $w_o$  = 22.9 %

A continuación se compara la curva de saturación teórica con la curva de compactación y se verifica que no se corten en ningún punto. En la figura siguiente se muestran las curvas de saturación teórica correspondientes a suelos cuyos pesos específicos relativos varían de 2.4 a 2.8.

PRUEBA DE COMPACTACION DINAMICA

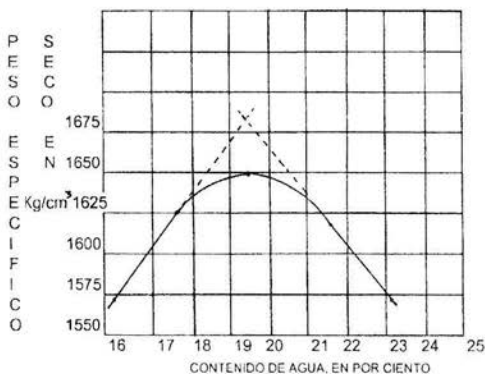
OBRA	Carretera Monterrey-Reynosa	FECHA	
LOCALIZACION	Km. 98 + 500	ENSAYE	2000
SONDEO NUM.	13	OPERADOR	
MUESTRA NUM	1Prof. 0.80 m.	CALCULO	
DESCRIPCION	Limo arenoso, gris claro		

METODO Proctor S.O.P. MOLDE G PESO EN g. 1982

VARIANTE --- NUMERO DE GOLPES POR CAPA 30

H U M E D A D	PRUEBA NUMERO	1	2	3	4
		CAPSULA NUMERO	12	3	8
	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO (g)	80.5	93.1	92.2	107.7
	PESO CAPSULA + SUELO SECO (g)	71.7	84	79.7	91.6
	PESO DEL AGUA (g)	8.8	11.1	12.5	16.1
	PESO CAPSULA (g)	17.6	21.4	21.8	21.8
	PESO SUELO SECO W <sub>s</sub> (g)	54.1	62.6	57.9	69.8
	CONTENIDO DE AGUA W (%)	16.2	17.7	21.6	23.1
PESO	PESO MOLDE + SUELO HUMEDO W <sub>h</sub> (g)	3715	3798	3848	3820
	PESO DEL CIL. DE COMPACTACION W <sub>t</sub> (g)	1982	1982	1982	1982
ESPE- CIFICO	PESO SUELO HUMEDO W <sub>m</sub> (g)	1730	1316	1866	1838
	VOL. DEL CIL. DE COMPACTACION V (cm <sup>3</sup> )	950	950	950	950
	PESO ESPECIFICO HUMEDO γ <sub>m</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	1824	1912	1934	1935
	PESO ESPECIFICO SECO γ <sub>d</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	1570	1624	1615	1572

$$\text{PESO ESPECIFICO SECO} = \frac{\text{PESO ESPECIFICO HUMEDO}}{100 + \text{CONTENIDO DE AGUA}} \times 100$$



OBSERVACIONES PESO ESPECIFICO  
Seco máximo γ<sub>d</sub> máx. = 1650 kg/m<sup>3</sup>  
Humedad óptima w<sub>o</sub> = 19.6 %

CURVAS HUMEDAD-PESO ESPECIFICO SECO

Al efectuar esta prueba se debe de tener las siguientes precauciones.

- 1.- La muestra utilizada para la prueba de compactación, se secará solamente lo necesario para poderla disgregar.
- 2.- Durante la compactación, los golpes del pisón se repartirán uniformemente en toda la superficie del espécimen, manteniendo la guía en posición vertical verificando que la caída del pisón sea libre y que la superficie del mismo se mantenga limpia.
- 3.- La curva peso específico seco-húmedo se obtendrá de una sola muestra de prueba y no se secará ésta para determinar puntos de la curva que correspondan a humedades, menores de las que ya tiene el material.
- 4.- La humedad del primer espécimen será inferior a la óptima y cada una de las ramas de la curva mencionada se definirá con dos puntos.

### **III.2.7.2 PRUEBA DE COMPACTACION DINAMICA AASHTO MODIFICADA TRES CAPAS**

Esta prueba sirve para determinar el peso específico seco máximo y la humedad óptima en suelos que se emplean en la construcción de terracerías.

La prueba consiste en preparar especímenes de la prueba, utilizando la misma muestra de material, con diferentes contenidos de agua, la que se compacta en tres capas en molde de dimensiones especificadas, mediante la aplicación de impactos con un pisón de 4.54 kg. De peso y altura de caída de 45.7 cm. Esta prueba tiene cuatro variantes:

La variante A, la cual se aplica a materiales que pasan la malla no. 4.75 y se compactan en molde de 101.6 mm. de diámetro interior.

La variante B, la que se aplica a materiales que pasan la malla no. 4.75, y se compactan en molde de 152.4 mm. de diámetro interior.

La variante C, la cual se aplica a materiales con retenido en la malla no. 4.75, se efectúa utilizando la fracción que pasa la malla no. 19.0 y se compacta en molde de 101.6 mm. de diámetro interior.

La variante D, la cual se aplica a materiales con retenido en la malla no. 4.75, se efectúa en la fracción que pasa la malla no. 19.0 y se compacta en molde de 152.4 mm. de diámetro interior. Para materiales que pasan ó son retenidos por la malla no. 4.75 de acuerdo a las variantes mencionadas pueden compactarse en molde de 101.6 mm. o en molde de 152.4 mm. de diámetro interior. Para saber cual de los moldes es el más apropiado y por lo tanto la variante correspondiente, se toma en cuenta la conveniencia de utilizar especímenes de prueba más pequeños ó muestras de mayor tamaño según los problemas de cada obra en particular.



- A. El equipo y materiales para efectuar esta prueba son los mismos que se requieren para la muestra AASTHO Estándar, excepto al pisón que para la prueba AASTHO modificada tres capas será de 4.54 kg., de peso, acoplado a una guía metálica tubular para que tenga una caída libre de 45.7 cm. con las mismas tolerancias en peso y altura de caída indicadas en la prueba AASTHO Estándar.
- B. La preparación de la muestra deberá efectuarse como se indica en la prueba AASTHO Estándar.
- C. El procedimiento de prueba será el mismo de la prueba AASTHO Estándar excepto el pisón que será de 4.54 kg., de peso acoplado a una guía metálica tubular para que tenga una caída libre de 45.7 cm.
- D. Los cálculos y reportes que deberán efectuarse son los mismos que se indican en la prueba AASTHO estándar y se registran como se ilustra en la figura siguiente.
- E. Al efectuarse esta prueba se tendrán las mismas precauciones que las mencionadas en la prueba AASTHO estándar.

PRUEBA DE COMPACTACION DINAMICA

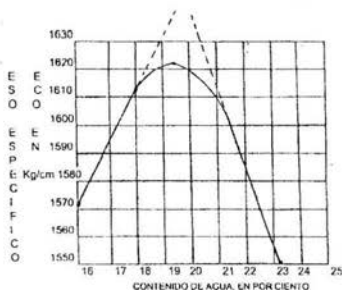
OBRA	Carretera Tuzantla-Ellimón	FECHA	
LOCALIZACION	Km 13 + 200	ENSAYE	75-228
SONDEO NUM	5	OPERADOR	
MUESTRA NUM	1	CALCULO	
DESCRIPCION	Arena arcillosa con 30% aproximadamente de grava (SC)		

METODO AASHTO MODIFICADA MOLDE M PESO EN g 1961

VARIANTE A NUMERO DE GOLPES POR CAPA 25

	PRUEBA NUMERO	1	2	3	4	5
H	CAPSA Nº	14	15	23	17	3
M	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO (g)	165.2	176.7	215.0	201.8	165.2
E	PESO CAPSULA + SUELO SECO (g)	136.8	153.6	104.6	170.7	139.6
D	PESO DEL AGUA (g)	17.4	23.1	31.2	30.9	25.6
A	PESO CAPSULA (g)	30.8	25.3	32.5	29.6	30.2
D	PESO SUELO SECO (g)	106.0	128.3	152.1	141.1	109.4
	CONTENIDO DE AGUA (w)	16.1	18.0	20.5	21.9	23.3
PESO	PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (g)	3993	3770	3625	3805	3776
	PESO MOLDE + SUELO SECO (g)	1961	1961	1931	1961	1961
ESPE-	PESO SUELO HUMEDO (g)	1732	1809	1844	1844	1817
CFICO	VOL. DEL MOLDE DE COMPACTACION (cm <sup>3</sup> )	950	950	950	950	950
	PESO ESPECIFICO HUMEDO (g/cm <sup>3</sup> )	1823	1904	1941	1941	1913
	PESO ESPECIFICO SECO (g/cm <sup>3</sup> )	1570	1614	1611	1592	1550

$$\text{PESO ESPECIFICO SECO} = \frac{\text{PESO ESPECIFICO HUMEDO}}{100 + \text{CONTENIDO DE AGUA}} \times 100$$



OBSERVACIONES PESO ESPECIFICO  
 Seco máximo  $\gamma_d$  máx = 1622 kg/m<sup>3</sup>  
 Humedad óptima  $w_o$  = 19.5 %

### **III.2.7.3 PRUEBA DE COMPACTACION DINAMICA AASHTO MODIFICADA 5 CAPAS**

Esta prueba es similar a la prueba de compactación dinámica AASTHO modificada tres capas, excepto que para elaborar los especímenes de prueba se dividen en cinco porciones, en lugar de tres, aplicándose sucesivamente a cada una de ellas el mismo número de golpes que se especifica, de acuerdo con el tamaño de molde de compactación.

La preparación de la muestra, equipo y materiales necesarios y el procedimiento de prueba son los mismos indicados en la prueba de compactación dinámica AASTHO modificada tres capas, excepto que los especímenes se elaboran con cinco capas. Así mismo los cálculos y reportes que se efectúen en esta prueba son los indicados en la prueba de compactación AASTHO modificada de tres capas.

### **III.2.7.4 PRUEBA DE COMPACTACION POR CARGA ESTATICA**

Esta prueba sirve para determinar el peso específico seco máximo y la humedad óptima, en suelos con partículas gruesas que se emplean en la construcción de terracerías, pudiéndose efectuarse también en arenas y en materiales finos cuyo índice plástico sea menor de 6. El método consiste en preparar especímenes con material que pasa la malla no. 25.0 agregándoles diferentes cantidades de agua y compactándolas con carga estática.

La preparación de la muestra se efectúa como se indica en el primer tema de "Muestreo y Preparación de la Muestra".

1.- De la muestra obtenida y preparada como se ha descrito anteriormente y teniendo cuidado de secar el material únicamente lo necesario para facilitar su disgregación, se toma y criba una cantidad suficiente para obtener una porción de 16 kg. de material que pasa la malla no. 25.0.

2.- Se divide mediante cuarteo la porción que pasa por la malla no. 2.5 en cuatro porciones iguales aproximadamente. La prueba se realiza como sigue:

1.- Se toma una de las porciones y se le incorpora la agua necesaria para que una vez repartida uniformemente, presente una consistencia, tal que al ser comprimido en la palma de la mano, la humedezca ligeramente.

2.- Se coloca el material dentro de un molde cilíndrico de compactación de 157.5 mm. de diámetro interior y de 127.5 mm. de altura con su collarín instalado en tres capas del mismo espesor aproximadamente y se le da a cada una de ellas 25 golpes con una varilla metálica de 19 mm. de diámetro y 300 mm de largo y punta de bala, distribuyéndolos uniformemente.

3.- Al terminar la colocación de la última capa, se toma el molde que contiene el material, se coloca en la máquina de compresión y se compacta aplicando lentamente carga uniforme, hasta alcanzar en un lapso de 5 minutos la presión de  $140.6 \text{ kg./cm.}^2$ , equivalente a una carga de 26.5 toneladas aproximadamente.

Se mantiene esta carga durante un minuto y se hace la descarga en el siguiente minuto, al llegar a la carga máxima, se observa la base del molde y si está ligeramente humedecida, el material tiene la humedad óptima de compactación y ha alcanzado su peso específico ó volumen máximo.

4.- Si al llegar a la carga máxima, no se humedece la base del molde, la humedad con que se preparó la muestra es inferior a la óptima y por lo tanto, se toma otra porción representativa del material y se le adiciona una cantidad de agua igual a la del espécimen anterior, más 80 cm.<sup>3</sup>, se mezclan uniformemente y se repite en esta los pasos descritos en los párrafos 2 y 3.

Se preparan los especímenes que sean necesarios, siguiendo los pasos indicados, hasta lograr que en uno de ellos se observe el inicio del hundimiento de la base del molde con carga máxima.

5.- Si antes de llegar a la carga máxima se humedece la base del molde por haberse iniciado la expulsión de agua, la humedad con que se preparó la muestra es superior a la óptima, si es así se procede como se indica el párrafo 4, con la diferencia de que en lugar de adicionar 80 cm.<sup>3</sup> de agua, se disminuyen en cada proporción representativa del material, hasta lograr que en una de ellas, con la carga máxima, se observe el inicio del humedecimiento de la base del molde.

6.- Terminada la compactación del espécimen preparado con la humedad óptima se retira el molde de la máquina de compresión y se determina la altura del espécimen  $h_e$ , restando de la altura del molde, la altura entre la cara superior del espécimen y el borde superior del molde, registra este valor en centímetros con aproximación a un mm.

7.- Se pesa el molde de compactación que contiene el espécimen compactado y se anota dicho peso  $W_i$  en kg. con aproximación a 5 gramos.

8.- Se saca el espécimen del cilindro se corta longitudinalmente y de la parte central se obtiene una muestra representativa y se le determina su contenido de agua  $W_o$ , anotándose en la hoja de registro. Los cálculos y reportes de la prueba son los siguientes:

- a) El volumen del espécimen compactado con la humedad óptima se calcula por medio de la forma siguiente:

$$V = A_m h_e / 1000$$

En donde:  $V$  es el volumen del espécimen, en d m.<sup>3</sup>

$A_m$  es el área de la sección transversal del cilindro de compactación en, cm.<sup>2</sup>

$h_e$  es el altura del espécimen, en cm.<sup>3</sup>

- b) El peso específico húmedo se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$\gamma'_m = (W_i - W_t / V) \times 1000$$

En donde

- $\gamma'_m$  es el peso específico del espécimen húmedo, en  $\text{kg./m}^3$   
 $W_i$  es el peso del espécimen húmedo mas el peso del molde de compactación en kgs.  
 $W_r$  es el peso del molde de compactación, en kg  
 $V$  es el volumen del espécimen, en  $\text{d m.}^3$

c) El peso específico seco máximo  $\gamma'_d$  máximo, se calcula mediante la siguiente fórmula;

$$\gamma'_d \text{ máx.} = \gamma'_m / (100 + w_o) \times 100$$

En donde

- $\gamma'_d \text{ máx.}$  es el peso específico máximo del espécimen en estado seco, en  $\text{kg. / m}^3$   
 $\gamma'_m$  es el peso específico del espécimen húmedo, en  $\text{kg./m}^3$   
 $w_o$  es la humedad óptima del espécimen, en por ciento.

d) Se reporta el peso específico seco máximo  $\gamma'_d \text{ máx.}$  en  $\text{kg. / m}^3$  y la humedad óptima  $w_o$  en por ciento, como valores correspondientes al material ensayado.

Las causas más frecuentes de error en esta prueba son los siguientes:

- 1.- Que la distribución del agua en el material no sea uniforme.
- 2.- Que no se aplique la carga de compactación en la fórmula especificada
- 3.- Que para fines de estimación de la humedad óptima se considere como humedecimiento de la base del molde, un exceso de agua libre expulsada al aplicar la carga de compactación.

### III.2.7.5 DETERMINACIÓN DEL GRADO DE COMPACTACION

Este procedimiento tiene por objeto determinar el grado de acomodo de las partículas de un suelo en su estado natural o bien, de las de un material pétreo que forma parte de una estructura, ya sea que esta se encuentre en construcción o terminada, fundamentalmente, consiste en relacionar el peso volumétrico seco en el lugar, con el respectivo peso volumétrico seco máximo, expresándose el resultado en por ciento, las dos determinaciones se efectuarán con porciones del suelo o material correspondientes a un mismo tamaño máximo, el cual queda limitado de acuerdo con la fracción de suelo que se utilice en la prueba de compactación de laboratorio considerada. El grado de compactación se determina como se indica a continuación:

- 1.- Se obtiene el peso específico máximo  $\gamma'_d \text{ máx.}$  del material, de acuerdo con el procedimiento visto anteriormente.
- 2.- Se obtiene el peso volumétrico seco en el lugar ó fracción del mismo  $\gamma'_d$  mediante los métodos descritos anteriormente, con excepción que para medir el volumen del sondeo una

vez extraído todo el material, las partículas mayores al tamaño máximo con que se realiza la prueba de compactación en el laboratorio serán separadas mediante cribador y devueltas al sondeo después de iniciarse el vaciado de arena para la determinación del contenido de agua; dichas partículas deberán colocarse cuidadosamente en la excavación, interrumpiendo el vaciado de la arena, de tal manera a que al depositarlas, no se altere el acomodo de ésta, la que deberá cubrir a cada una de las partículas individualmente, en tal forma que al completar el vaciado de arena, esta las envuelva sin dejar huecos.

El cálculo del grado de compactación se realiza aplicando la fórmula siguiente:

$$G_c = ( \gamma'_d / \gamma'_{d\text{máx.}} ) \times 100$$

En donde:  $G_c$  es el grado de compactación del material, en por ciento.

$\gamma'_d$  es el peso volumétrico del material en estado seco en el lugar, en  $\text{kg./m}^3$

$\gamma'_{d\text{máx.}}$  es el peso específico ó volumétrico seco máximo del material, en  $\text{kg./m}^3$

### III.2.7.6 GRANULOMETRIA

La determinación de la composición granulométrica se aplica en el estudio de materiales pétreos para revestimientos, sub bases y bases de pavimentos, para ayudar a juzgar su calidad, como hacer el proyecto de mezclas de materiales con objeto de corregir deficiencias que se presenten en su granulometría, plasticidad, valor, soporte, etc.

La prueba consiste en separar por tamaños a las partículas de suelo, pasándolo a través de una sucesión de mallas de aberturas cuadradas y en pesar las porciones que se retienen en cada una de ellas expresando dichos retenidos como porcentajes en peso de la muestra total.

La sucesión de tamaños obtenida mediante el empleo de mallas da una idea de la composición granulométrica únicamente en dos dimensiones, por lo que las curvas resultantes solo serán representativas de materiales constituidos por las partículas de forma equidimensional.

Las características granulométricas de un suelo influyen en la mayor o menor facilidad para lograr la composición adecuada y tienen importancia en su comportamiento mecánico, principalmente en suelos gruesos. Por lo general la mayor estabilidad de un suelo se alcanza cuando la cantidad de vacíos es mínima y para que esta condición pueda lograrse, se requiere que el material tenga una sucesión adecuada de tamaños que permita que los huecos resultantes del acomodo de las partículas mayores sean ocupados por partículas menores y a su vez los huecos que dejan estas, sean ocupados por partículas mas finas y así sucesivamente.

La prueba se divide en dos análisis granulométricos, el estándar y el simplificado.

El análisis estándar consiste en separar y clasificar por tamaños las partículas que componen el suelo, utilizando el procedimiento de cribado, esto es pasar el material a través de un juego de mallas de aberturas cuadradas y que comprende de la malla no. 75.0 a la no. 0.075.

La preparación de la muestra se hace como sigue:

Se toma una porción representativa del material con el que se pretende construir una estructura, se incluye las operaciones de envase, identificación y transporte, esta porción se prepara mediante la operación de secado, disgregación y cuarteo, que son necesarias para obtener porciones representativas.

Se obtiene por cuarteo una porción de 15 kilogramos, el cual se determina y anota como  $W_m$  con aproximación a un gramo. Si se requiere de conocer con mayor exactitud el porcentaje del material que pasa por la malla 0.075, la muestra se somete a un lavado previo en un recipiente con vertedero y corriente de agua continua, derramando sobre la malla no. 0.075, removiéndose la muestra en forma adecuada para un mejor arrastre de la fracción fina, suspendiendo el lavado en el momento en que el agua salga del vertedero claramente. Se deja escurrir la muestra y después se seca en un horno con termostato para una temperatura constante de  $105 \pm 5^\circ \text{C}$ .

Posteriormente se deja enfriar a una temperatura ambiente y se determina su peso registrando este como  $W_m$  con aproximación a un gramo. La diferencia entre  $W_m$  y  $W'_m$  es el peso de la fracción que pasa la malla no. 0.075.

Una vez preparada la muestra como se indicó anteriormente se criba el material por la malla no. 4.75, para separarlo en dos fracciones, determinándose el peso de estas y se anotan como  $W_{m1}$  el peso de la fracción retenida en la malla no. 4.75 y como  $W_{m2}$  al de la fracción que pasa esta malla con aproximación a un gramo.

La prueba se desarrolla como sigue:

1.- Se criba en forma manual el material retenido en la malla no. 4.75 a través de las mallas número 75.0, 50.0, 37.5, 25.0, 19.0, 12.5, 9.5 y 4.75 comenzando por la mayor abertura y siguiendo el orden de las mallas descritas.

Para esta operación se dará movimiento vertical y de rotación horizontal a la malla en turno para que el material tenga movimiento constante y permita que los tramos pequeños pasen a través de las aberturas correspondientes libremente.

El cribado se suspenderá cuando se estime que el peso del material que pasa dicha malla durante un minuto no sea mayor de un gramo.

Se verifica si las partículas que queden retenidas y que tengan forma de lascas o forma de aguja pueden pasar a través de cada malla, sin forzarlas acomodándolas con la mano según su dimensión menor y las que queden atoradas deberán incorporarse a la porción retenida en la malla correspondiente.

2.- Se pesan en una balanza de 20 kilogramos de capacidad y un gramo de aproximación, a los materiales retenidas en cada una de las mallas y se anotan los pesos respectivos como  $W_i$  en gramos.

3.- La fracción que pasa la malla no. 4.75 se cuarteo obteniendo una porción representativa como se vio anteriormente, y se obtiene una porción al equivalente a 200 gramos de material seco, dicha cantidad se determinará previamente mediante la fórmula siguiente:

$$W_h = 200 (1 + W_2)$$

En donde:

$W_h$  es el peso de la muestra húmeda equivalente a 200 gramos de material seco.

$W_2$  es el contenido de agua del material que pasa la malla no. 4.75 expresado en forma decimal.

4.- Se coloca esta muestra en un vaso metálico y se agregan 500 cm.<sup>3</sup> de agua aproximadamente, dejándose en reposo durante 12 horas como mínimo.

5.- Posteriormente se lava la muestra a través de la malla no. 1.075, agitando el contenido del vaso con una varilla durante 15 segundos moviéndose en forma de "8" y dejando reposar este contenido durante 30 segundos. Inmediatamente después se decanta la suspensión sobre la malla no. 0.075.

Para facilitar el paso de partículas finas a través de la malla, se aplica un chorro de agua a presión.

6.- Se repite la operación de lavado hasta que el agua decantada sale limpia.

7.- A continuación se regresa al vaso el material que se haya retenido en la malla no. 0.075, utilizando agua, la cual se decanta del vaso al final de la operación, cuidando que no haya arrastre de partículas.

8.- El material se seca en el mismo vaso, dejándolo en el horno un lapso no menor de 16 horas a una temperatura de 105 +/- 5° c., hasta peso constante, a continuación se saca del horno y se deja enfriar en un desecador de cristal hasta que la muestra tenga temperatura ambiente.

9.- Se superponen las mallas a partir de la charola de fondo en el orden siguiente malla no. 0.075, 0.150, 0.20, 0.425, 0.850 y 2. Se vierte el material sobre la malla superior, se coloca la tapa y se efectúa la operación de cribado mediante un movimiento vertical y de rotación horizontal durante 5 minutos, en esta operación es conveniente emplear un agitador de varilla metálica de 6 mm. de diámetro y 20 cm. de longitud.

10.- Se quita la tapa y se separa la malla no. 2.0 se agita sobre una charola hasta que se estime, que el peso del material que pasa dicha malla durante un minuto no sea mayor de un gramo. Se vierte sobre la malla no. 0.850 el material que paso la malla no. 2.0 y se deposita en una charola, se repite este procedimiento de cribado adicional con cada una de las mallas restantes. Las partículas que hayan quedado atoradas deberán regresarse a las porciones retenidas correspondientes, carrillando las mallas por el revés.

A continuación se pesan los materiales retenidos en cada una de las mallas y se anotan sus respectivos pesos como  $W_j$ . La composición granulométrica se calcula como sigue:

- a) Los pesos  $W_i$  de las porciones retenidas en cada una de las mallas no. 50.0, 37.5, 25.0, 19.0, 12.5, 9.5, y 4.75 se expresan en por ciento del peso de la muestra seca  $W_d$ , anotándose como retenidos parciales y designándolos como "i".

El peso de la muestra seca se determinará por medio de la siguiente fórmula.

$$W_d = W_{d1} + W_{d2} = W_{m1} + W_m^2 / 1 + W_2$$

En donde:

- $W_d$  es el peso de la porción representativa del material seco, en gramos
- $W_{d1}$  es el peso de la fracción retenida en la malla no. 4.75 de la muestra seca en gramos, o sea la suma de los pesos  $W_i$ ; en el caso de que no se lave la muestra.
- $W_{d2}$  se considera igual a  $W_{m1}$ , en virtud de no haber tomado en cuenta la humedad de la fracción gruesa.
- $W_{d2}$  es el peso de la fracción que pasa la malla no. 4.75 de la muestra seca, en gramos.
- $W_{m1}$  es el peso de la fracción retenida en la malla no. 4.75 de la muestra seca cuando no se efectúa la operación de lavado, en gramos.
- $W_{m2}$  es el peso de la fracción que pasa la malla no. 4.75, de la muestra húmeda en gramos.
- $W_2$  es la humedad de la porción que pasa la malla no. 4.75 expresada en fracción decimal.

Los valores de los retenidos parciales “i” en por ciento, se registran considerándolos hasta la primera decimal. La suma de los pesos  $W_i$  más el de la fracción  $W_{d2}$  será igual a  $W_d$  y la suma de estos pesos, expresados en por ciento, será de 100 aproximadamente.

En el caso de que la muestra haya sido previamente lavada, la suma de los pesos  $W_i$  y  $W_{d2}$  más el peso del material que pasa la malla no. 0.075,  $W_m - W'_m$  deberá ser igual a  $W_d$  y la suma de estos pesos expresados en por ciento con relación a  $W_d$  deberá ser aproximadamente igual a 100, cuando este último valor en ambos casos no se obtenga, podrán efectuarse ajustes en forma proporcional para lograrlo.

- b) El retenido parcial en por ciento correspondiente a la malla no.50.0 deberá restarse en 100, para calcular el porcentaje de partículas que pasan dicha malla. Posteriormente se realizarán sustracciones sucesivas, restando el valor inmediato anterior obtenido en por ciento parcial retenido en la malla que le sigue en abertura inferior, con lo cual se irán calculando los porcentajes que pasan en cada una de las mallas, hasta llegar a la malla no. 4.75.
- c) Después se deben dividirse los pesos  $W_j$ , en gramos, retenidos en cada una de las mallas no. 2.0, 0.850, 0.425, 0.250, 0.150 y 0.075; entre el peso de 200 gramos de la muestra seca previamente lavada, posteriormente deberán multiplicarse los cocientes anteriores por el por ciento que pasa la malla no. 4.75 para obtener los porcentajes retenidos parciales “j” aproximándolos hasta la primera decimal.

La suma de los pesos  $W_j$  restada de 200 gramos dará el peso del material que paso la malla no. 0.075 el que deberá expresarse también en por ciento respecto al total  $W_d$  de la muestra seca. Los porcentajes se calculan con la fórmula siguiente:



$$j = (W_j / 200) (100) (W_{d2} / W_d) = (W_{d2} / 2W_d) W_j$$

En donde:

$j$  es el retenido parcial en cada malla desde la no. 2.0 a la no. 0.075 y el que pasa la malla no. 0.075 en por ciento del peso de la muestra.

$W_j$  es el peso del material seco retenido parcialmente en cada malla y el de la fracción que pasa la malla no. 0.075 del material seco, en gramos.

200 es el peso en gramos de la muestra seca obtenida de el material que pasa la malla no. 4.75.

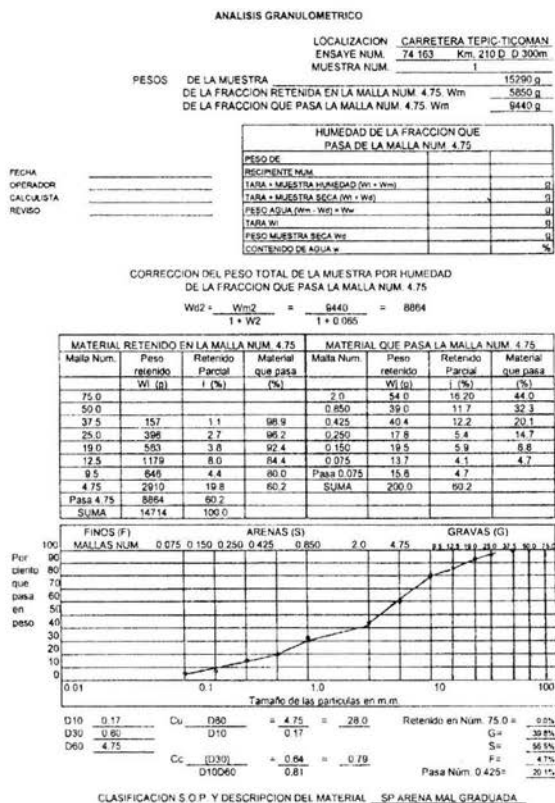
100 fórmula, es la fracción que pasa la malla no. 4.75 en por ciento.

$W_{d2}$  es el peso de la fracción que pasa la malla no, 4.75 de la muestra seca en gramos.

$W_d$  es el peso de la porción representativa del material seco.

- d) Se calculan los valores correspondientes a los porcentajes que pasan las mallas no. 2.0, 0.850, 0.425, 0.250, 0.150 y 0.075 en la forma descrita en el inciso c).

En la siguiente ilustración se observa un ejemplo del cálculo y de la gráfica que representa la composición granulométrica de un suelo.



Para la clasificación del suelo se deberán calcularse los coeficientes de uniformidad  $C_u$  y coeficiente de curvatura  $C_c$  que se emplean para juzgar la graduación del material por medio de las formulas siguientes:

$$C_u = D_{60} / D_{10} \qquad C_c = (D_{30})^2 / D_{60} \times D_{10}$$

En donde

$C_u$  es el coeficiente de uniformidad del material, número abstracto.

$C_c$  es el coeficiente de curvatura del material, número abstracto.

$D_{10}$ ,  $D_{30}$ , y  $D_{60}$  representan los tamaños de las partículas de suelo en milímetros que en la gráfica de la composición granulométrica corresponden al 10%, 30% y 60% que pasa respectivamente, es decir son las abscisas de la gráfica de la composición granulométrica correspondientes a las ordenadas de 10, 30 y 60 por ciento respectivamente.

Las causas más frecuentes de error al efectuar esta prueba son las siguientes:

- a) Que se produzcan pérdidas de materiales por manipulaciones descuidadas durante las operaciones de cribado, lavado y pesado.
- b) Que se usen mallas con aberturas diferentes de las especificadas, debido a construcción defectuosa, desgaste y deformación ó ruptura de los alambres de las tramas.
- c) Que permanezcan partículas de material atoradas en las tramas de las mallas y no se consideren en el peso del material retenido.

### III.2.7.7 ANÁLISIS GRANULOMETRICO SIMPLIFICADO

Este análisis consiste en separar por tamaño las partículas que componen un suelo, empleando un número reducido de mallas y sirve para juzgar su calidad, relacionando su cantidad de finos con las características de plasticidad.

También se define con este análisis el tamaño máximo de material.

La preparación de la muestra se sujeta al procedimiento visto anteriormente.

La prueba se lleva a cabo cribando el material únicamente por las mallas no. 75.0, 50.0, 37.5, 25.0, 19.0, 12.5, 9.5, 4.75, 0.425 y 0.075.

El cribado del material en las mallas del no. 75.0 a la malla no. 9.5 es solamente para determinar su tamaño máximo.

El cálculo de la composición granulométrica se hará conforme al análisis granulométrico estándar descrito anteriormente, pero en este caso no es necesario dibujar la curva correspondiente y no se determinan los coeficientes de curvatura y uniformidad del material, solamente se reportan los resultados siguientes:

- 1.- Tamaño máximo del material, de acuerdo con la denominación de la malla correspondiente.
- 2.- Fracción que pasa la malla no. 4.75 y se retiene en la malla no. 4.75, esta fracción representa el contenido de grava en por ciento, con relación al peso de la muestra seca.

3.- Fracción que pasa la malla no. 4.75 y se retiene en la malla no. 0.075 en por ciento con relación al peso de la muestra seca, esta fracción representa el contenido de arena.

4.- Fracción que pasa la malla no. 0.425 en por ciento, con relación al peso de la muestra seca.

5.- Fracción que pasa la malla no. 0.075 en por ciento, con relación al peso de la muestra seca; esta fracción representa el contenido de finos.

Las causas más frecuentes de error son las mismas que las del análisis granulométrico estándar.

## CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

### La Importancia de la Calidad

Existen diferentes términos para referirse a los sistemas de calidad, tales como control de calidad, verificación de calidad, aseguramiento de calidad ó calidad total.

En México se ha hecho patente el deterioro de las políticas y criterios de calidad, lo que afecta el funcionamiento y la vida útil de las obras. El control de calidad, contado de los años cuarenta hasta estos días, ha tenido desviaciones y retrocesos, debido a que en muchos casos se anteponen intereses políticos ó personales a los de la población en general implementando programas de obras irrealizables, otorgando contratos con el criterio de selección a la cotización más baja y otros problemas como estos que impiden la optimización de los recursos empleados y propician un funcionamiento inadecuado de las obras. Por lo tanto es necesario tomar medidas como las siguientes:

- 1.- Perfeccionar el marco jurídico.
- 2.- Hacer normas exigibles.
- 3.- Apegarse a la normatividad en todos los aspectos que conforman una obra, desde la planeación, proyecto, ejecución, operación y mantenimiento.
- 4.- Verificar el cumplimiento de las especificaciones aplicando las sanciones que procedan y no admitiendo conceptos mal ejecutados, ni productos deficientes.
- 5.- Estimular el buen cumplimiento dando incentivos a quienes superen las metas en cuanto a programa y calidad, esto es privilegiar la calidad y promover la excelencia.
- 6.- Favorecer los procesos o sistemas de certificación como los siguientes:

- Certificación del producto
- Certificación de empresas
- Certificación de personal

La aplicación estricta de las especificaciones, nos llevará a obtener un nivel de calidad alto que proporcionara un escudo contra la corrupción, ya que cuando se cumple con los ordenamientos y se hacen bien las cosas se reducen las posibilidades de ser coaccionado y menos se tendrá que llegar al soborno para que sean aceptados los trabajos.

## **IV MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN**

En este capítulo, se expone los trabajos de mantenimiento y limpieza que con lleva el diseño y construcción de una obra vial, que como en cualquier otra edificación es parte fundamental para su funcionamiento a lo largo de su vida útil.

### **IV.1 LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO DE OBRAS DE DRENAJE**

Las obras de drenaje son aquellas obras capaces de captar y conducir el agua producto de la precipitación que se vierte sobre la carpeta asfáltica.

Las obras principales de drenaje en carreteras son las siguientes:

**El bombeo.-**

Se le denomina así a las pendientes transversales de una sección de carretera, estas se originan durante el procedimiento constructivo de la obra y se considera con un valor del 2%. En zonas de curva el bombeo se modifica y se calcula como sobre elevación de curva de acuerdo a su grado de curvatura, velocidad de proyecto y tipo de camino.

**Los Bordillos.-**

Son obras de drenaje complementarias construidas a orillas de la carpeta asfáltica ó acotamientos, están contruidos de concreto hidráulico ó asfáltico y su función es contener y dirigir el agua hacia los lavaderos.

**Los Lavaderos.-**

Son canales que se conectan a los bordillos y bajan transversalmente por los taludes, llevando el agua a zonas alejadas del terraplén. Son contruidos de concreto hidráulico, de mampostería de piedra brasa ó con lámina de acero.

Se recomienda construir en estos lavaderos una superficie rugosa a fin de que el agua no corra en forma laminar, lo cual erosiona la plantilla, estos casos se dan cuando la pendiente es muy pronunciada.

**Las Alcantarillas.-**

Son una obra de drenaje transversal que tienen como objetivo dar paso al agua que cruza de un lado a otro del camino, su característica es que cuenta sobre de ella con un colchón de tierra. Las partes que forman una alcantarilla son el cañón y los muros de cabeza. El cañón forma el canal de la alcantarilla y cuando se extiende a los lados puede ocasionar eliminación de los muros de cabeza, convirtiéndose a si en alcantarilla de tubo.

Las alcantarillas se construyen sobre el cause que desaguan, evitando con esto desviar los causes ó construirlos cruzados por los daños que el agua pueda ocasionar en la obra.

La conservación de una alcantarilla es muy costosa, pero resulta muy importante, puesto que sino se tiene cuidado, se azolvaría el tubo ó cañón provocando daños muy considerables en la vía.

#### La Vegetación.-

Esta es una muy buena protección de taludes de un corte ó terraplén, puesto que impide la erosión de los mismos provocado por el agua, por lo tanto se procura fomentar la plantación de vegetales sobre los taludes ó terraplén para su mejor protección.

#### Los Bordes.-

Son generalmente obras de tierra capaces de contener y encausar las aguas próximas a las vías terrestres, estos bordes se construyen con material producto de excavación y en muchos casos conducen el agua de manera controlada hacia las alcantarillas u obras laterales de drenaje. Así como también se utilizan en tierras en peligro de inundación. Cuando un bordo es de tamaño importante se construye sobre sus taludes un zapeado de piedra para optimizar su conservación.

#### Las Cunetas.-

Consisten en canales que se adosan a los lados del camino, capaces de conducir escurrimientos de las áreas de la corona de la superficie de rodamiento, así como los taludes adyacentes, estas obras son de mayor uso, en México estas cunetas son de tipo triangulares con taludes de tres a uno, se fabrican de concreto hidráulico o de mampostería.

Las cunetas conducen el agua hasta los lavaderos ó alcantarillas, las cunetas deben de estar limpias de yerbas, tierras, piedras o cualquier otro objeto que las obstruya, pues estos elementos complican su función.

#### Las Contra-cunetas.-

Son construcciones de canales excavados en terreno natural o formados de pequeños bordes, sirven para captar el agua de grandes taludes y que son descargadas sobre arroyos o cañadas, evitando que estas descargas lleguen a las cunetas.

Estas contra-cunetas se construyen aguas arriba de los taludes de corte a una distancia variable dependiendo de la altura de este. Debe de ser paralelo al corte para que el canal desarrolle con pendiente longitudinal. Estas construcciones implican problemas, pues al estar fuera de camino la supervisión no es la adecuada y su conservación se dificulta, presentando erosión, infiltraciones y probablemente deslizamiento de taludes. Por lo tanto es necesaria su conservación periódicamente para evitar dificultades.

#### Las Bermas.-

Son construcciones de cortes en los taludes muy pronunciados, con objeto de estabilizarlos y disminuir la fuerza erosiva del agua y conducir el flujo hacia los lavaderos y bajadas ó algún otra obra que se encargue de captar el agua. La conservación de las bermas puede ser a base de plantación de arbustos ó pastos para evitar su erosión.

#### Drenaje Subterráneo.-

Este drenaje ayuda a captar y conducir agua por medio de sistemas ó filtros de materiales graduados ó tubos. Se localiza bajo la zona de cunetas, la construcción de estos drenes debe de ser con mucho cuidado, pues se pueden provocar filtraciones en las capas del pavimento si no están bien diseñados.

## IV.2 CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS Y SUPERFICIES DE RODAMIENTO

La conservación de pavimentos, son los trabajos que se llevan a cabo para mantener en condiciones adecuadas de tránsito, geometría y seguridad la superficie de rodamiento, evitando su desgaste prematuro y aumentando su vida útil.

Estos trabajos de conservación de pavimentos se clasifican de la siguiente manera:

### Conservación de la Superficie de Rodamiento

- a) Cuando la superficie de rodamiento no tiene carpeta asfáltica
- b) Cuando la superficie de rodamiento tiene carpeta asfáltica

Cuando no se tenga carpeta asfáltica, se efectúa una inspección para detectar las zonas dañadas y se procede a su corrección, como es el desyerbe, conformaciones, construcción de muros, limpieza de material de derrumbes, tratamientos asfálticos y todo lo que conlleve, organizando materiales, maquinaria y personal necesario.

En los trabajos de conservación se incluyen; escarificaciones, reposición del material y compactación, estos trabajos pueden ser en tramos aislados debido principalmente a un drenaje superficial defectuoso, una sub-rasante de mala calidad ó el uso de material inadecuado para revestimiento.

Cuando existen deslizamientos de taludes en zonas pequeñas se construyen muros de contención colocando drenes adecuadamente durante el proceso constructivo para evitar cargas hidrostáticas.

En taludes cuyo material tiene un ángulo de reposo menor al fijado en proyecto ó en zonas de precipitación pluvial muy alta, ocurren derrumbes sobre el camino.

En caminos de tránsito intenso, el material tiende a disgregarse con demasiada rapidez, por lo que se debe aplicar un riego de impregnación con asfalto rebajado y un tratamiento superficial de riego.

Cuando la superficie de rodamiento tenga carpeta asfáltica se efectúa una inspección a lo largo de la vía y con objeto de formular adecuadamente los programas de conservación en caminos asfaltados se hace un consenso que contenga la información siguiente:

- a) Edad de los pavimentos para fin estadístico.
- b) Estado de conservación de la superficie de rodamiento.
- c) Indicaciones aportadas por el laboratorio.
- d) Efectuar estudios de evaluación de los pavimentos, mediante pruebas no destructivas para conocer a fondo su grado de deterioro y las causas de ello.

En las superficies con carpeta asfáltica los trabajos a desarrollar son de sello, bacheo y sobre carpetas.

El objetivo del sello es alargar la vida útil del pavimento, aumentar la rugosidad de la superficie y sellar fisuras.

Los tipos principales de sello son:

- a) Tratamiento superficial simple y
- b) Mortero asfáltico ( Slurry Seal )

El tipo de tratamiento superficial simple consiste en aplicar riego de asfalto rebajado FR3 a razón de 1 lts./m<sup>2</sup>. a temperatura de 90°C , sobre este se coloca el agregado pétreo del tipo 3-A ó 3-E a razón de 10 litros por m<sup>2</sup>., el cual debe tener buena adherencia al asfalto y su tamaño debe de comprender entre las mallas 3/8" y la no. 8 y se compacta con un rodillo liso de 8 toneladas de peso.

El mortero asfáltico (Slurry Seal) es un tratamiento también superficial constituido a base de agregado pétreo graduado, emulsión asfáltica, cal ó cemento y agua, su función principal es penetrar en grietas de la superficie de rodamiento sellando y evitando el paso de agua a las capas inferiores, otra característica es que proporciona una superficie antiderrapante.

Es recomendable en carpetas que presentan agrietamientos, así como en pavimentos de concreto hidráulico. Este sello se puede aplicar directamente sobre bases hidráulicas impregnadas.

Los materiales que componen este sello son triturados de basalto, calizas ó granitos y arena de mina, sus proporciones adecuadas son: 50% de arena ó 60% triturado y 40% arena (mínimo) y deben cumplir con la granulometría siguiente:

Tamaño de mallas	% que pasa
3/8"	100
no. 4	85-100
no. 8	65-90
no. 16	45-70
no. 30	30-50
no. 50	18-30
no. 100	10-21
no. 200	5-15

La emulsión asfáltica, son mezclas de asfaltos con agua, cuyas partículas se dispersan por medio de agentes emulsificantes.

Existen dos tipos de emulsiones las cuales son:

- a) Emulsiones Aniónicas
- b) Emulsiones Catiónicas

En las emulsiones aniónicas las partículas de asfalto presentan una carga eléctrica y son afines con agregados cargados positivamente.

Se clasifican en "lentas", "medias" y "rápidas", de acuerdo a la separación de sus fases de asfalto.

En las emulsiones catiónicas, las partículas de asfalto están cargadas positivamente y presentan afinidad a los agregados cargados negativamente, también se clasifican en lentas, medias y rápidas de acuerdo a sus fases de ruptura.

En este tipo su rompimiento se efectúa sin intervenir la evaporación del agua, por lo cual su empleo es recomendable en condiciones climáticas húmedas, la cantidad de agua para la mezcla varía del 4 al 12% del peso del agregado pétreo.

Para dar más consistencia a la mezcla y evitar agregaciones es recomendable el uso de cal o cemento en proporciones de 0.5 a 3% en peso del agregado seco.

Las proporciones para los sellos de mortero asfáltico deberán ser:

a) Superficie general

Agregado pétreo 5.5 a 8.2 Kg./m<sup>2</sup>.

Cemento asfáltico 7.5 al 13.5% (en relación al peso del agregado seco)

Emulsión asfáltica 1.90 lt./m<sup>2</sup>.

b) Superficie gruesa

Agregado pétreo 8.2 a 13.6 kg / m<sup>2</sup>.

Cemento asfáltico 6.5 al 12 % (con relación al peso del agregado seco)

Emulsión asfáltica 2.38 lt./m<sup>2</sup>.

La superficie donde se aplica este sello debe de estar limpia, los trabajos de bacheo terminados y los pozos de visita, rejillas de piso etc., deben estar tapados para evitar azolves.

La aplicación de este sello se realiza con una máquina aplicadora, la cual consta de tanques de agua y emulsión, tolvas de agregados gruesos y finos bombas de emulsión, compuertas de agregados, mezclador, caja extendedora y barra de aspersión de agua.

El tendido se hará en franjas de 2.44 metros de ancho longitudinalmente, cuando se inicia el fraguado se procede a compactarla con un rodillo de neumáticos hasta en 5 ocasiones a una velocidad entre 5 y 8 Km./h. Posteriormente se aplica una lechada, la cual elimina el material suelto.

#### **IV.2.1 BACHEO**

Es la reposición parcial o total de la estructura y superficie de pavimento en zonas donde se presentan fallas.

El procedimiento para realizar estos trabajos es el siguiente:

En primer termino se identifica la zona ó zonas de fallas, se observa cual fue la causa de la falla, como por ejemplo la desintegración de la carpeta, deformaciones, corrimientos o fugas de agua.

En segundo termino se marca un cuadro o rectángulo en la zona dañada aumentando en cada lado 25 cm.



El procedimiento siguiente consiste en hacer un corte en el área marcada sobre el pavimento para posteriormente abrir una caja y extraer el material de falla, hasta donde se encuentre suelo firme.

El siguiente paso es realizar la extracción del material y es cargado y transportado en camión al tiradero más próximo. Cuando la excavación solo afecta la carpeta se da una afinada y compactada con un rodillo manual ó compactador adecuado a la superficie.

Cuando la excavación es profunda se coloca base de grava cementada hasta el nivel de la carpeta.

El paso siguiente es la aplicación de un riego asfáltico, el cual es un riego de asfalto rebajado FR3 a razón de 1.0 lt / m<sup>2</sup>. aproximadamente aplicándose también a las paredes verticales de la excavación. La actividad siguiente es la colocación de la mezcla asfáltica, esta se coloca primero en las orillas y después hacia el centro asegurando que sea la cantidad requerida para que cuando sea compactada alcance el nivel del pavimento adyacente.

Como último paso se realiza la compactación de la carpeta por medio de un rodillo vibratorio, esta compactación se realiza de las orillas hacia el centro y de la parte baja a la parte alta del bache en su caso, traslapando cuando menos 15 centímetros.

Al terminar la compactación el nivel del bache tiene que ser mismo que el de la demás carpeta.

#### Sobre-carpeta de concreto asfáltico

Cuando la carpeta asfáltica presenta daños cuya conservación es incosteable, se aconseja la reconstrucción por medio de sobre-carpeta asfáltica.

El procedimiento para realizar estos trabajos consiste en tener la superficie a reconstruir limpia y seca, hacer los trabajos de bacheo necesarios, renivelar brocales y cajas de agua, rejillas de piso etc. hasta el nivel que tendrá la nueva sobre-carpeta.

Si existen grietas en la superficie del pavimento son cubiertas con un riego de asfalto rebajado, en el caso de que las grietas sean más grandes se aplica mortero asfáltico.

Para conservar el nivel de guarniciones en el caso de que sean calles, se construye una cuneta junto a la guarnición de aproximadamente 2 metros y se construye una caña de mezcla asfáltica hasta quedar en su nivel original.

En el área a reconstruir se realiza un piquete de amarre a base de pico y pala a razón de 25 piquetes por metro cuadrado con el objeto de que la carpeta presente adherencia a la superficie y evite corrimientos. Como paso siguiente se realiza la limpieza del producto del piquete de amarre, mediante barrido en toda la zona a reconstruir.

Enseguida se aplica el riego de liga a razón de 0.5 lts./m<sup>2</sup>. mediante una irrigadora conectada a la pipa que almacena el riego. Una vez efectuado el riego, este es protegido mediante tendido de material asfáltico a base de paladas, para evitar que sea levantado por las llantas de los camiones que se encuentren dentro del área de trabajo.

Posteriormente se realiza el tendido de la mezcla asfáltica mediante una máquina pavimentadora ó extendedora dando el espesor requerido del proyecto manipulando el escantillón de la máquina. Terminando este proceso se lleva a cabo la compactación de la sobre-carpeta mediante una compactadora tandem de 6 a 8 toneladas a una velocidad de 5 Km./h. aproximadamente para evitar que el material se levante.

Como paso siguiente al área de sobre-carpeta se le compacta nuevamente, pero ahora con una compactadora de rodillos lisos de 12 toneladas para borrar huellas de la compactadora anterior. La compactación final se realiza con una compactadora de neumáticos de 12 toneladas, dando pasadas hasta dejar la superficie homogénea y adecuada para el tránsito de vehículos.

#### **IV.3 SEÑALAMIENTOS Y OBRAS DE PROTECCIÓN**

Existen dos tipos de señalamiento en las vialidades o caminos, estos son los señalamientos verticales y los señalamientos horizontales.

Los verticales son elementos colocados al margen de la vialidad, con el fin de dar información ó señalar restricciones en el uso del camino, estos señalamientos son hechos por lo general de lámina, soldados ó atornillados a una estructura de acero o tubo metálico, aunque también pueden ser colocados sobre mampostería o elementos de concreto.

Estos señalamientos pueden llegar a sufrir desperfectos ya sea por impactos vehiculares o por las mismas personas. Por este motivo existen áreas que se encargan de rehabilitar, conservar o sustituir estos elementos en el lugar donde se encontraban normalmente.

Los señalamientos horizontales son los que se encuentran en la superficie de rodamiento y son trabajos de pintura de rayas separadoras, de carriles, de orilla, continuos, discontinuas, flechas, rayas transversales etc. Son de gran ayuda para el conductor que transita en estos caminos, sobre todo de noche. La conservación de estos señalamientos es continua y en forma permanente repintando las líneas más dañadas.

Las obras de protección, son los elementos que señalan los límites del camino en el sentido transversal, como son las camas de concreto, defensas metálicas, enrocamientos de concreto arbustos etc.

Estos elementos al igual que los señalamientos verticales pueden ser dañados por impactos vehiculares, por lo tanto existe la necesidad de reponerlos para evitar accidentes posteriores.

#### **IV.4 CONSERVACIÓN DE MANTENIMIENTO DE TALUDES**

En las inspecciones que se llevan a cabo periódicamente en los caminos, se observan los problemas que presentan los taludes, por ejemplo en zonas donde no existe un buen sistema de drenaje las fallas en taludes es frecuente y por consiguiente los daños en estas zonas del camino sufren deterioro. Otras causas que propician las fallas en taludes son el viento, la lluvia, las filtraciones de agua ó la inestabilidad del material que lo compone.

Existen métodos de instrumentación para evaluar desplazamientos horizontales asentamientos, esfuerzos verticales, presión de poro y en general los problemas que presenten los taludes. De acuerdo al diagnóstico de falla se realizan los trabajos de conservación de taludes. Algunos ejemplos son el de proteger el talud con zampeado, enrocamientos, sembrado de pasto ó el de construir obras de drenaje que sean necesarias como barandillas, lavaderos, bermas, etc.

La conservación de los taludes es necesaria y debido que su costo es muy alto, se requiere de mucha experiencia de el constructor para determinar el mejor tratamiento que conviene a la obra.

## V MODIFICADORES Y POLIMEROS

### V.1 MODIFICADOR

El modificador es un material incorporado a la mezcla asfáltica, diferente del asfalto, del agregado pétreo y del llenante mineral, con el fin de controlar el desarrollo o incidencia de deterioros en el pavimento y de mejorar el desempeño mismo del pavimento.

El asfalto modificado es aquel que mediante un proceso de mezclado a alta temperatura y esfuerzo cortante, se le incorporan polímeros para formar una “RED” tridimensional que atrapa dentro de sus espacios a las moléculas del asfalto convirtiéndolo en un producto “multigrado”. Es decir, el comportamiento visco-elástico esperado se incrementa, así como el rango de temperaturas de servicio.

Esta RED absorberá gran parte de los esfuerzos a los que se vería sometido el asfalto en un pavimento. Por ejemplo un asfalto (Tipo AC5) adecuado para bajas temperaturas, al ser modificado aumentará su umbral de servicio en el rango superior de temperatura.

En respuesta a la cada vez mayor demanda de contar con productos que tengan un mejor desempeño bajo la acción del tránsito vehicular y de los distintos factores ambientales, se han desarrollado procesos y fórmulas que permiten la fabricación de asfaltos de alto rendimiento, mediante su modificación con polímeros. El término “POLÍMERO” se refiere a una molécula larga creada por una reacción química de muchas (poli) pequeñas moléculas (monómeros), que una con otra forman cadenas. Estos presentan características que satisfacen las especificaciones ASTM, AASHTO e incluso exceden los rigurosos parámetros delineados por la Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos (FHWA) como parte del sistema Superpave.

La experiencia en el uso de polímeros en la modificación de asfaltos sugiere que este tipo de modificadores mejora el pavimento de concreto asfáltico.

Teniendo en cuenta que las propiedades de los asfaltos dependen de factores que no son siempre controlables y dada la necesidad de disponer de carreteras mejores y más duraderas, han surgido distintos medios para modificar el asfalto. Especialmente durante los últimos años, la modificación de los asfaltos se muestra como una solución de ingeniería que puede vencer las barreras económicas y logísticas de mejorar el asfalto a través de procesos de refinación. Los procesos de modificación también han cobrado importancia debido a que el tránsito aumenta cada día más, y los estándares de calidad y comodidad también. Además es importante reducir los costos de mantenimiento de carreteras y los problemas que generan por la interrupción del tránsito durante las actividades de mantenimiento.

Al modificar se debe conocer que existen dos métodos para preparar asfaltos modificados con polímeros, el mezclado mecánico, que es el método más común, y las mezclas que involucran reacción química entre los componentes, situación que no se produce con los métodos convencionales normalmente también utilizados en México, y que presentan considerables problemas de inestabilidad (separación sistema – polímero), no lográndose las expectativas del sistema.

Las propiedades físicas de un polímero se determinan por la secuencia y la estructura química de los monómeros que lo conforman. Cuando se añaden polímeros al asfalto, las propiedades del asfalto modificado dependen de dos aspectos:

- El sistema de polímero utilizado.
- La compatibilidad del polímero con el asfalto

## V.2 SISTEMA DE POLÍMERO UTILIZADO

A pesar de que los polímeros pueden formularse de tal manera que resulten con cualquier propiedad física, aquellos que más se utilizan en la modificación de asfaltos se pueden agrupar en dos categorías principales: Plastómeros y elastómeros. Los elastómeros se pueden alargar, y por su elasticidad, recobran su forma. Dichos polímeros no añaden mucha resistencia al asfalto, si éste no se encuentra estirado; una vez estirado, adquiere una gran resistencia con la propiedad de recuperar totalmente su forma inicial cuando se liberan los esfuerzos aplicados. Algunos de los elastómeros utilizados para modificar asfaltos son: bloque de copolímeros estireno-butadieno-estireno (SBS – SB), bloque de copolímeros estireno-isopreno-estireno (SIS), látex ahulado de estireno-butadieno (SBR), látex de policloropreno, y látex de hule natural. (El látex es una emulsión de gotas microscópicas de polímero suspendidas en agua).

Por otra parte, los plastómeros forman una red rígida tridimensional, estos polímeros dan mucha fuerza a temprana edad para resistir cargas pesadas, pero pueden fracturarse cuando son deformados, ya que son muy rígidos y no cuentan con una estructura adecuada, provocando la fatiga acelerada del pavimento, Los plastómeros más comunes son: el etilvinilo-acetato (EVA), polietileno/polipropileno, y poliolefinas.

El ligante asfáltico y las propiedades de la mezcla pueden ser diseñadas eligiendo el polímero correcto para determinada aplicación, y asegurándose que es compatible con el asfalto base. En general, se eligen elastómeros para proporcionar una mayor resistencia y flexibilidad al pavimento, mientras que los resultados con plastómeros generan una mezcla de alta estabilidad y rigidez.

Los resultados obtenidos de un proceso de modificación de asfalto dependen altamente de la concentración, peso molecular, composición química y orientación molecular del polímero, así como, de la fuente del crudo, del proceso de refinación y del grado del asfalto base que se utiliza.

La mayor diferencia cuando es modificado un asfalto con polímeros es su reología o sus características de flujo, particularmente su susceptibilidad térmica. Por ejemplo, un AC-10 modificado con 3% de polímero SBS se convierte en un AC-20, y con 9% en un AC-100. Cuando un asfalto es modificado, la viscosidad a 60° C cambia dramáticamente, pero las penetraciones tanto a 25° C como a 4° C cambian tan solo pocos grados.

Las características físicas y reológicas superiores de los asfaltos modificados con polímero causan y mejoran sustancialmente entre otros aspectos, la resistencia, la relación esfuerzo -deformación, la respuesta a la deformación plástica y los parámetros de flujo tipo newtoniano.

La capacidad de algunos polímeros para su recuperación elástica (la respuesta a la deformación) se mide monitoreando el flujo bajo la acción de una carga y su recuperación elástica cuando la carga desaparece y añade durabilidad al asfalto, así como el agrietamiento, este último ya sea térmico o generado por el fenómeno de fatiga; lo que se traduce en una mayor durabilidad de los pavimentos y por lo tanto, en una excelente alternativa desde el punto de vista costo / beneficio.

Se han desarrollado nuevas pruebas para medir estas propiedades; los métodos de prueba de ligantes de Superpave generados de SHPR son más adecuados que los métodos convencionales (viscosidad absoluta o cinemática, punto de reblandecimiento “anillo y bola”, penetración, etc.), ya que caracterizan las propiedades físicas de los asfaltos modificados con polímeros a altas y bajas temperaturas. Como un ejemplo, un AC-20 que se gradúa como PG 64-22, puede convertirse en un PG 76-28 cuando se modifica.

### **V.3 COMPATIBILIDAD CON EL POLIMERO**

El asfalto y el modificador deben de coexistir como “sistema” esto es que combinados se comporten de acuerdo a lo planeado.

La compatibilidad entre el asfalto y el polímero es muy importante para asegurar que las propiedades de ambos sean transferibles al producto final para un buen desempeño a largo plazo. En el plan científico se puede admitir que “compatible” es sinónimo de miscible. Lo que implica una mezcla monofásica. La inmiscibilidad se traduce en la aparición de una segunda fase.

Se dice que un polímero es compatible con el asfalto cuando la heterogeneidad de la mezcla no se puede apreciar por un simple examen visual.

El sistema “asfalto-polímero” desde el punto de vista microscópico es una mezcla heterogénea. Dependiendo del poder de aumento del microscopio se puede llegar a ver la separación de fases. Se pueden observar las dos fases con 50 aumentos en sistemas poco compatibles, a mayor compatibilidad mayor número de aumentos se requieren, pudiéndose llegar a 5 o 6,000 aumentos en sistemas muy compatibles.

Si el polímero se añade a dos diferentes asfaltos, las propiedades físicas de los productos finales, pueden ser muy diferentes. Para mayor efectividad, el polímero debe crear una red continua de trabajo en el asfalto; y para que esto ocurra, la química del polímero y del asfalto necesita ser compatible.

Algunos productores de asfalto polimerizado utilizan procesos especiales para lograr compatibilidad entre el polímero y el asfalto. Cuando la tecnología es apropiada, las propiedades del ligante pueden reducir el efecto de las roderas, el desprendimiento de pétreos, el agrietamiento térmico o fluencia en la mezcla, así como el incremento en la vida útil del pavimento, debido a una mayor estabilidad y resistencia a la fatiga.

En caso de no haber compatibilidad se daría una separación de fases que evitaría que el polímero transfiera sus propiedades al asfalto.

El tiempo que la mezcla debe permanecer sin separación de fases apreciable, debe ser el suficiente para que sea transportada y aplicada. Sin embargo, incompatibilidad y separación de fases durante el almacenaje es uno de los problemas más importantes en asfaltos modificados con polímero (PMA).

Los asfaltos más ricos en fracciones aromáticas y resinas serán los más compatibles ya que estas fracciones son las que permiten disolverse al polímero.

Los asfaltos menos compatibles son aquellos que en su composición son más ricos en asfaltenos y saturados. Estas fracciones son de alto peso molecular.

Los asfaltos se pueden ajustar agregando aceites del tipo aromático para enriquecerlo y hacerlo compatible con el polímero.

En muchos de los estudios realizados sobre mezclas mecánicas, la compatibilidad entre el asfalto ligante y el polímero modificador aparece como uno de los problemas principales. Esto depende del equilibrio de las estructuras coloidales presentes en el asfalto y de las propiedades del polímero. Generalmente se pueden encontrar tres morfologías diferentes dependiendo de la concentración del polímero usado.

- a) Bajo contenido de polímero (< 4%). El asfalto es la base continua en la que el polímero está disperso y absorbiendo parte de los aceites. Se aumenta la elasticidad y cohesión y las propiedades mecánicas a alta y baja temperatura. Se aplican generalmente en pavimentación.
- b) El contenido de polímero es suficientemente alto (más del 7% en general, si el asfalto y el polímero se escogen correctamente) y el polímero es la matriz del sistema. En este caso el polímero está plastificado por los aceites del asfalto, cuyas fracciones más pesadas están dispersas en la matriz polimérica, resultando en un material similar a un adhesivo termoplástico. Se usan en techos principalmente.
- c) El contenido de polímero es aproximadamente del 5%, se pueden formar microestructuras con las dos fases continuas e interconectadas. Estos sistemas son difíciles de controlar, tienen problemas de inestabilidad y su comportamiento depende de su historia térmica.

La introducción de un polímero bajo agitación en el asfalto a alta temperatura generalmente resulta en floculación de los asfaltenos y exudación de los aceites, produciéndose un ligante sin cohesión.

La Estabilidad en Almacenaje, es un “sistema” en donde ninguno de los componentes pierde su función durante el almacenaje.

#### **V.4 ESTABILIDAD**

Cuando más pequeñas son las partículas de polímero, sin perder su estructura o disolverse, más estable será la mezcla.

Se han propuesto varios métodos para mantener estabilidad durante el almacenaje, como por ejemplo, el uso de copolímeros de bajo peso molecular, añadir aceites del proceso, y el uso de condiciones de procesamiento específicas para promover reacciones químicas (como entrecruzamientos).

Más específicamente, un método sugiere el mezclado continuo de la mezcla, con el riesgo de desagradar el polímero. Otro método propone añadir uno o más dispersantes a un asfalto modificado con Polietileno (PE).

En otros casos, la composición del asfalto es confeccionada de tal manera de asegurar compatibilidad con el polímero escogido o escoger un polímero compatible con el asfalto. Las mezclas también se pueden utilizar agregando ácido después de mezclados el polímero y el asfalto, o añadiéndoselo al asfalto antes de incorporar el polímero.

El polietileno (PE) generalmente produce sistemas bifásicos. Una vez que el polímero forma una capa rígida en la superficie del ligante caliente, es muy difícil distribuir uniformemente los agregados. Además, esta gruesa capa del polímero puede dañar los equipos de bombeo. El problema disminuye si se agregan estabilizantes estéricos (compatibles con el asfalto y enlazados con las partículas a dispersar) para prevenir la coalescencia de las gotas de PE. Estos estabilizantes pueden ser cauchos dilenos, enlazados covalentemente al PE, con o sin polibutadieno líquido.

Copolímeros de estireno y dilenos puede compatibilizarse al asfalto haciendo reaccionar el asfalto previamente con un polímero de etileno conteniendo estructuras glicidil. Debido a diferencias en densidad, el asfalto modificado con caucho molido también experimenta separación de fase. Esto se puede evitar durante el almacenaje, con agitación continua de los tanques. La existencia de compatibilidad en sistemas de Asfaltos Modificados con Polímeros (PMA) ofrece ventajas, tales como:

- a.- Durante el mezclado: tiempos de mezclado más cortos y menor viscosidad.
- b.- Durante el almacenaje: estabilidad de fases
- c.- Durante el servicio: mejor elasticidad y durabilidad, y mayor resistencia a la fatiga.

Para ser efectivo, un polímero mezclado con el asfalto debe aumentar su resistencia al "rutting" a alta temperatura sin hacerlo demasiado viscoso para el mezclado o demasiado frágil a baja temperatura. La mezcla debería ser procesable en equipo de asfalto convencional y ser lo suficientemente compatible para no sufrir separación de fases durante el almacenaje, transporte, aplicación o servicio.

Además, el modificador debe ser económicamente efectivo, es decir, el polímero debe mejorar la reología y resistencia del asfalto con el que es mezclado de tal manera que cualquier costo extra ocasionado por su uso sea recuperado a través de un buen desempeño y menores costos de mantenimiento.

Los parámetros del polímero que afectan la modificación de asfaltos son el contenido de polímero, la composición química, la estructura, el peso molecular promedio y su distribución, el grado de ramificaciones, la cristalinidad, etc.

Por ejemplo, el estireno-butadieno (SBS) debe ser rico en butadieno (60-70%) y el peso molecular de la fracción de estireno debe exceder 10000 para obtener dominios ricos en poliestireno (PS) y ser compatible con el asfalto. Ali et al, encontró que a baja temperatura, las propiedades mecánicas de mezclas para pavimentación están determinadas por el asfalto usado, mientras que la adición del modificador no parece estadísticamente significativa en cuanto a propiedades a baja temperatura. Así, el agrietamiento a baja temperatura no parece afectado negativamente por la presencia de modificadores. Sin embargo cuando la temperatura aumenta el efecto rigidizante del modificador en la mezcla se hace evidente, resultando en un aumento significativo del módulo.



## V.5 TIPOS DE MODIFICADORES Y SUS EFECTOS

### Llenantes y Minerales

- Cal hidratada, ceniza de escoria, cemento Pórtland, humo de sílica, etc., tienen efecto sobre deformación permanente y la susceptibilidad a la humedad.

### Extendedores

- Azufre, algunos llenantes minerales y tienen efecto sobre deformación permanente, falla por fatiga y falla por temperatura baja.

### Hule Molido de llanta

- Es utilizado para tener efecto sobre deformación permanente, agrietamiento por fatiga y agrietamiento por temperatura baja

### Antistrips (reducir los efectos adversos de la humedad)

- Amidoaminas grasas, imidazolinas, poliaminas y cal hidratada, utilizados para tener efecto sobre susceptibilidad a la humedad.

### Fibras

- Polipropileno, poliéster, celulosa, fibras minerales, fibras de refuerzo, tienen efecto sobre deformación permanente, agrietamiento por fatiga y agrietamiento por temperatura baja

### Antioxidantes

- Carbonatos de plomo y zinc, negro de humo, cal hidratada y fenoles, tienen efecto sobre Agrietamiento por temperatura baja, susceptibilidad térmica y envejecimiento.

### Oxidantes

- compuestos de manganeso y tienen efecto sobre deformación permanente.

### Polímeros Plastoméricos

- poliisoprenos, polipropileno, etilenvinilacetato (eva), polietileno y poliolefina, tienen efecto sobre deformación permanente y agrietamiento por fatiga.

### Polímeros Elastoméricos

copolímeros en block los cuales su característica es contener bloques finales de estireno y bloques medios de butadieno para proporcionar "elasticidad"

- SB (estireno-butadieno)
- SBS (estireno-btd-estireno)
- SIS (estireno-isopreno-estireno)
- SBR (látex de estireno-butadieno)

Tienen efecto sobre deformación permanente, agrietamiento por fatiga, agrietamiento por temperatura baja y envejecimiento.

## V.5.1 DIAGRAMA DEL PROCESO SBS

Almacén de materia prima → Purificación de materia prima → Alimentación de la materia prima → Reacción → Mezclado → Desprendimiento → Acabado → Empacado y almacenaje.

### Almacenamiento.-

El almacenamiento de los monómeros es también una parte importante en donde la seguridad es esencial.



Se requiere de contenedores especiales dependiendo de las propiedades de los monómeros. El butadieno es un gas y se almacena bajo presión en forma líquida en contenedores tipo esfera de más de 15 m. (50 ft) de diámetro con capacidades de 2,000 toneladas métricas. El estireno es un líquido y se puede almacenar en contenedores normales tipo cilindro. Debido a que este líquido es muy sensible al calor, los tanques deben de equiparse con un sistema de enfriamiento.

#### **Purificación.-**

Los hules sintéticos son productos de alta pureza. Por lo tanto las materias primas deben de purificarse antes de ser utilizadas, el método de purificación depende del tipo del material.

#### **Iniciador.-**

El hule sintético se fabrica mediante un proceso de polimerización, en el cual el monómero reacciona formando largas cadenas de moléculas ligadas unas con otras. El proceso de polimerización ocurre en el reactor y debe de iniciarse al introducir una sustancia llamada iniciador o catalizador.

#### **Reactor.-**

La polimerización puede llevarse a cabo en un solo reactor ( proceso intermitente ) varios reactores (proceso continuo)

#### **Mezclado.-**

Después de la polimerización, el producto se mezcla con el fin de garantizar homogeneidad. Dependiendo de la utilización final, cantidades apropiadas de diversos tipos de anti oxidantes se agregan en los tanques de mezclado para estabilizar el hule sintético.

#### **Coagulación.-**

Como se menciono anteriormente, los procesos para fabricar hule sintético requieren de la utilización de un medio de transporte y un solvente en el proceso de la solución o agua en el caso del proceso de emulsión. En la etapa de coagulación el objetivo es eliminar el transporte y obtener hule sintético como migajón sólido.

#### **Secado.-**

El migajón de hule se encuentra húmedo debido a la etapa anterior. Se debe secar en equipo especial. Se fabrican diferentes tipos de hule sintético:

Polibutadieno

Estireno .- butadieno, copolímeros.

Elastómeros .- termoplásticos.

Resinas de Estireno.

Cada tipo de hule sintético requiere de un proceso particular de secado con equipo especial.

## V.6 CLASIFICACIÓN DE POLÍMEROS USADOS COMO MODIFICADORES

Los polímeros usados como modificadores pueden ser clasificarlos en cinco grupos: termoplásticos, hules naturales y sintéticos, hules termoplásticos, termoestables y sistemas mixtos.

Los materiales termoplásticos pueden ser calentados para procesarlos y enfriarlos para retomar su forma original sin sufrir cambios químicos. De este grupo el polietileno (PE), polipropileno atáctico (aPP) e isotáctico (iPP), policloruro de vinilo (PVC), poliestireno (PS), copolímeros de etilén vinilo acetato (EVA) y etilén metacrilato (EMA) se usan para modificar asfaltos.

El PE y el PP (poliolefinas) son estructuras saturadas, lo que los hace más resistentes a la temperatura y el envejecimiento, pero es difícil dispersarlos en el asfalto. Solo moléculas de bajo peso molecular son estables en la mezcla. Estos materiales son usados más comúnmente en la industria de la construcción y se requieren altas concentraciones (5-15%) para alcanzar mejoramiento en propiedades.

Una de las ventajas del PE es su relativo bajo precio, especialmente cuando se usa material de reciclaje. Mejora la resistencia a la fatiga a bajas temperatura y debido a su estabilidad a alta temperatura, puede disminuir el "rutting". El PE de alta densidad (PEAD) es altamente cristalino, pero sus dominios amorfos tienen una muy baja temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ), lo que aumenta la tenacidad y ductilidad del sistema a baja temperatura.

Este mejoramiento de propiedades es afectado por el estado de dispersión del polímero en el asfalto. La dispersabilidad y estabilidad aumentan con las ramificaciones. Así el PE de baja densidad (PEBD), con numerosas ramificaciones, tiende menos a la separación de fases que un PE más cristalino.

Debido a que el PE es bastante incompatible con el asfalto, a menudo se usa otro tipo de modificación como clorinación del PE o reacción con anhídrido maleico para mejorar compatibilidad. De hecho, se ha probado el procesamiento reactivo con PE clorinado con asfalto obteniéndose excelentes resultados.

El PP atáctico (aPP) es la fase continua cuando se mezcla con asfalto en altas proporciones (20 a 30%). La viscosidad del ligante permanece baja aún a estas concentraciones del polímero. El problema está en que la mezcla resultante, aunque bien dispersa, es susceptible a la separación de fases.

La adición de aPP amplía el intervalo de plasticidad y mejora la resistencia a la carga, ya que aumenta la rigidez del ligante, aumenta el punto de reblandecimiento y baja la penetración. Sin embargo, no se observan mejoras en las propiedades mecánicas. Además el aPP muestra problemas de depolimerización, lo que acentúa la separación de fases.

Los copolímeros EVA son materiales termoplásticos producidos con una estructura al azar. La presencia del vinil acetato disminuye la cristalinidad con respecto a la del PE, lo cual va en beneficio de la flexibilidad y tenacidad del asfalto modificado, aunque disminuye su rigidez; además el vinil acetato aumenta la compatibilidad asfalto-polímero.

## V.7 HULES NATURALES Y SINTÉTICOS

El hule natural, polibutadieno, poliisopreno, hule butílico, hule estireno-butadieno y policloropreno son ejemplos de hules usados para modificar asfaltos. El uso creciente de hule reciclado en esta aplicación se debe a la mejora que este aditivo puede dar a las mezclas asfálticas para carreteras y calles, esto debido a que al adicionarse como componente en la mezcla asfáltica le proporciona características y ventajas como son:

- Una mayor resistencia a los embates de la humedad, el ozono y la abrasión.
- Mayor resistencia al intemperismo y la luz solar
- Mantener la temperatura
- Reducir el consumo de gilsonita.
- Reducir la aplicación de adhesivos preliminares, tales como el riego de liga.
- Se integran 100% y en forma directa al núcleo asfáltico.
- Mayor resistencia a los esfuerzos de cargas, ya que le proporciona a la carpeta asfáltica una mayor resistencia, por lo que reduce la posibilidad que se presenten grietas o deformaciones.

Existen varias clases de hule sintético, la diferencia entre ellos se basa en el tipo de monómeros utilizados. En el mercado se utiliza el butadieno y el estireno para fabricar una amplia gama de productos.

### **Hules Termoplásticos**

#### Termoestables

Los polímeros termoestables son materiales entrecruzados que debido a la red química que poseen, resisten alta temperatura sin fluir. Aunque ellos pudiesen proveer buenas propiedades al asfalto, no son muy usados por su alto costo. Las resinas epoxi son las más usadas, seguidas por poliuretano. Su principal desventaja además del costo es que requieren ser entrecruzados antes de incorporarse al asfalto. Este entrecruzamiento dificulta la reciclabilidad de los asfaltos modificados con los polímeros.

#### Sistemas mixtos

El uso de estos sistemas que combinan elastómeros y plastómeros no está ampliamente extendido comercialmente. Morfológicamente, uno de los componentes de estos sistemas parece desaparecer, produciéndose una mezcla homogénea o compatible de propiedades superiores a las de sus componentes, lo que puede ampliar el intervalo de condiciones de uso del pavimento. La dificultad está en la incompatibilidad inherente entre el asfalto y polímero, la cual puede verse enfatizada en presencia de dos polímeros.

Una amplia variedad de copolímeros con PE u otras poliolefinas estabilizadas pueden usarse para modificar asfaltos sin los problemas de separación de fase.

Los copolímeros se mantienen estables en la mezcla mediante entrelazamientos moleculares, atrapamiento físico, entrecruzamiento químico o combinaciones de dos ó más de tales mecanismos.

Mezclas SBS-PEBD se han usado con éxito en Italia por algunos años en pavimentos drenantes. Mezclas SBS-copolímeros olefinicos han sido investigadas por su buena adhesividad en microgrietas de concreto de capa delgada. Otras combinaciones, tales como SBS-EVA pueden ser aplicadas cuando se requiera rigidez y flexibilidad en frío. En general mezcla de SBS y plastómeros son beneficiosas si el segundo componente contribuye a la rigidez o adhesividad del sistema.

### Hule Molido

La utilización de hule molido de neumáticos usados, es generalmente confundido con el proceso de modificación con polímero. Mientras el hule molido es ciertamente un polímero, las partículas de éste son normalmente mucho mas largas que las moléculas utilizadas en los asfaltos polimerizados, además de que tienen un alto porcentaje de aditivos.

Las partículas de hule molido están generalmente suspendidas en vez de estar disueltas en el asfalto, y por lo tanto, no tienen el mismo efecto en las propiedades mecánicas de la mezcla.

En efecto, las partículas suspendidas del hule molido se comportan mas como un agregado fino o "filler", que como un ligante modificado. El hule molido generalmente se incorpora en alguna de las dos siguientes formas: proceso húmedo o proceso seco. En el proceso húmedo, el hule se adiciona al asfalto líquido antes de realizar la mezcla con los agregados. El proceso en seco contempla la incorporación del hule directamente en el agregado pétreo.

Existen tecnologías que combinan hule molido con polímeros, en un proceso mojado, para mantener suspendidas las partículas de hule y ganar algunos de los beneficios de los asfaltos modificados con polímeros

## V.8 EFECTOS DE CARACTERÍSTICAS DEL ASFALTO

Las características del asfalto influyen en la micro morfología del ligante, la estabilidad de la mezcla asfalto / polímero y otras propiedades como penetración y resistencia mecánica. El asfalto contiene grandes fracciones de aceites que disuelven y expanden el polímero. Para garantizar mejores propiedades el asfalto debería tener un alto contenido de ingredientes condensados (hidrocarburos aromáticos, por ejemplo, se mezclan bien con polímeros polares aromáticos.)

En la modificación de asfaltos con polímeros, se observan dos casos:

- a) Si el asfalto tiene una gran aromaticidad, el polímero puede solubilizarse en él;
- b) Si esto no ocurre, el polímero puede hincharse en la fase aceite del asfalto. Para concentraciones bajas de polímero, aumentará el contenido de resinas y asfaltenos de la matriz asfáltica, lo que produce un aumento en la consistencia y las propiedades elásticas del ligante.

En general, un asfalto modificado con un polímero termoplástico resultará en un sistema bifásico, siendo una de las fases polímero hinchado en aceites y la otra, todos los componentes restantes del asfalto. Al aumentar el contenido de polímero se produce la inversión de fases, aumenta la resistencia tensil y las propiedades elásticas y se reduce la sensibilidad a la temperatura en el intervalo de temperaturas de uso. La adición de un hule termoplástico con un peso molecular igual o mayor que el de los asfaltenos perturba el equilibrio de fase, causando competencia entre el polímero y los asfaltenos por la solvatación de la fase de maltenos. Dependiendo del poder de solvatación y la cantidad requerida de maltenos, se puede dar la separación de fases. Cuando se separan las fases en una mezcla asfalto/SBS, el hule sube a la superficie y la fase de asfaltenos se va al fondo. La sección superior es suave y elástica mientras que al fondo es duro y frágil.

El cociente entre los valores de penetración de la parte superior y el fondo del sistema cuantifica la separación ocurrida, fenómeno que depende de los siguientes factores:

- Cantidad y tamaño de los asfaltenos;
- La cantidad y tamaño de las moléculas de polímero;
- La aromaticidad de la fase de maltenos

El punto de reblandecimiento de las mezclas de asfalto y hule termoplástico, está determinado por la aromaticidad y el peso molecular promedio del asfalto base y está influenciado muy poco por la dureza del asfalto. La viscosidad de las mezclas es muy afectada por el peso molecular promedio del bitumen. El contenido de asfaltenos en las mezclas debe ser balanceado ya que a bajas concentraciones, los asfaltenos interaccionan con las moléculas de caucho formando asociaciones que aumentan la viscosidad y los puntos de reblandecimiento. Por el contrario, a altas concentraciones de asfaltenos, puede ocurrir separación de fases, lo que lleva a una baja proporción de hule termoplástico en la fase continua. El nivel permisible de asfaltenos depende del contenido y peso molecular del polímero, del peso molecular de los asfaltenos, y de la aromaticidad.

Es necesario hacer un balance cuidadoso del contenido de aromáticos y la aromaticidad en relación con el contenido del polímero, para producir una mezcla asfalto/ polímero estable y con el polímero como fase continua tanto como sea posible.

## **V.9 PARAMETROS QUE AFECTAN AL MEZCLADO**

- a) Naturaleza del polímero. El tiempo para obtener una mezcla homogénea depende del tipo de polímero, su peso molecular y (en caso de cauchos termoplásticos) de la composición química del polímero. Por ejemplo, polímeros de alto peso molecular requieren largos tiempos de mezclado
- b) Forma física del polímero (polvo, migajas, gránulos). Cuanto más pequeño es el tamaño de la partícula, es más fácil obtener una buena dispersión; además la penetración del bitumen y el hinchamiento y/o disolución del polímero son más rápidas.

- c) Naturaleza y grado del asfalto. La composición y viscosidad del asfalto afectan el proceso de mezclado. En general, se sabe que el asfalto debería contener grandes fracciones de aceites para disolver y expandir el polímero. Una baja viscosidad del bitumen ayuda en la predispersión y mezclado eficiente del polímero.
- d) Tipo de equipo de mezclado. Existen dos métodos: el de alta tasa de corte y el de baja tasa. Para bajas tasas de corte se usa un tanque simple de mezclado con paletas agitadoras donde se hincha y disuelve el polímero en el bitumen. El mezclador mantiene homogeneidad en la composición y uniformidad en la temperatura, aunque no provee calor. En los mezcladores de alta tasa de corte, las partículas de polímero son reducidas en tamaño vía cizalla mecánica e hidromecánica en un rotor-estator, con calentamiento.
- e) Perfil de tiempo-temperatura durante el mezclado. El mezclado ideal es aquel que ocurra a la temperatura más baja posible durante el tiempo más corto posible y que a la vez produzca la incorporación completa del polímero en el asfalto de una manera más económica y minimizando la degradación del polímero. Sin embargo en general, tiempos de mezclado largos producen las microestructuras más finas y temperaturas elevadas generan la mejor incorporación del polímero en el asfalto, aunque se alcanza rápidamente el umbral de degradación del polímero.

#### **V.10 DEPENDENCIA DEL DESEMPEÑO DE LA MEZCLA Y LAS PROPIEDADES DEL LIGANTE**

El programa SEP desarrolló especificaciones para el asfalto y sus mezclas basadas en el desempeño de estos materiales y no en su composición. Como resultado de esto se ha preparado un conjunto de nuevas pruebas y sistemas de clasificación que están basados en medidas básicas de propiedades ingenieriles relacionadas con el comportamiento del pavimento.

A lo largo de los años, un gran número de métodos se han propuesto para caracterizar asfaltos, asfaltos modificados y sus mezclas con agregados. Generalmente los métodos usados para asfaltos sin modificar se usan o adaptan para los asfaltos modificados. Estos métodos son usualmente estandarizados por ASTM, DIN y otras organizaciones dedicadas a este fin.

Algunos de los métodos diseñados exclusivamente para los ligantes asfálticos modificados con polímeros son: microscopía de fluorescencia (para determinar el grado de incorporación y dispersión del polímero y la compatibilidad asfalto-polímero) y estabilidad durante el almacenaje.

El desempeño de los asfaltos no puede ser caracterizado en término de composición química, sino que debe ser descrito en términos físicos relacionados con el comportamiento de pavimento. Por esto es necesario realizar pruebas de laboratorio y de campo en muestras de concreto asfáltico (ligante asfáltico + agregados) que simulen las fallas esperadas (estos son llamadas las "pruebas de tortura"). El French Central Highway Laboratory (LCPC) ha desarrollado un sofisticado aparato para predecir deformación permanente y los daños por fatiga, el "wheel tracking device". En Alemania e Inglaterra se usan equipos similares a este con excelentes resultados.

Resultados de pruebas realizadas en el mencionado equipo francés señalan que aunque los polímeros pueden ser usados efectivamente para mejorar el comportamiento a alta temperatura, más polímero no siempre es mejor. Una vez que el ligante alcanza una cierta rigidez más polímero tiene un efecto despreciable en la resistencia al “rutting”. Sin embargo, resultados de un equipo similar en Alemania muestran que cuando se miden el efecto de la humedad y la presión hidrostática, añadir más polímero puede ser beneficioso, especialmente para los asfaltos más blandos.

Las medidas clásicas de consistencia para los asfaltos, como penetración, viscosidad absoluta, viscosidad cinemática y punto de reblandecimiento no predicen adecuadamente los resultados de los simuladores de “rutting” en el caso de PMA. Estas pruebas tampoco se correlacionan con los resultados de los análisis dinámicos mecánicos. La tendencia es que las pruebas tradicionales predicen las propiedades de los PMA por encima de su comportamiento real.

Se han realizado intentos para establecer correlaciones entre “rutting” y las medidas tradicionales de consistencia, pero se requieren muchos parámetros empíricos (válidos solo dentro de ciertos límites) para hacerlo, lo que le resta significado real a estas correlaciones. Algunos resultados de pruebas dinámico mecánicas parecen correlacionar bien con lo encontrado en el “wheel tracking device”, como lo mostró King et al en 1992. Ellos concluyeron que la selección de las condiciones de los ensayos es crítica en la predicción del comportamiento del pavimento a alta temperatura.

## **V.11 FACTORES QUE SE DEBEN DE TOMAR EN CUENTA PARA LA SELECCIÓN DE LOS MODIFICADORES**

- Que mejoría es necesaria.
- Cual modificador puede lograrla.
- Que se va a comprometer al usar el modificador.
- Se tiene tecnología disponible para incorporar el modificador.
- Es importante considerar la compatibilidad en el sistema final.
- Se puede almacenar el asfalto modificado.
- Como se puede especificar el asfalto modificado.
- De que manera afecta el modificador las pruebas de laboratorio típicas.
- Cuál es el efecto en el costo de la vida útil.

### **V.11.1 CAMBIOS INMEDIATOS EN ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL ASFALTO AL SER MODIFICADO CON POLIMEROS**

- Disminución de la penetración
- Aumento del punto de ablandamiento
- Aumento del intervalo de plasticidad
- Disminución de la fragilidad a baja temperatura
- Aumento de viscosidad
- Disminución de la susceptibilidad térmica
- Mejora de la adhesividad

- Incremento de la carga de rotura mediante ensayos de tracción a diferentes temperaturas
- Aumento de la durabilidad debido a la disminución de la oxidabilidad
- Disminución en deterioro por permeabilidad

#### **V.11.2 EFECTOS DE LOS ASFALTOS MODIFICADOS EN LOS PAVIMENTOS**

- Permite obtener mayor espesor de película de ligante mejorando la cohesión, resistencia al envejecimiento y durabilidad de la mezcla.
- Disminuye las pérdidas por desgaste
- Mayor durabilidad de la baja permeabilidad inicial
- Menor susceptibilidad térmica
- Mejor comportamiento frente a la deformación plástica

#### **V.12 METODOS DE PRUEBA ESPECIALES PARA ASFALTOS MODIFICADOS**

Estas pruebas no son aplicables a asfaltos sin modificar ni asfaltos que se modifiquen durante el proceso de elaboración de la mezcla asfáltica, siendo algunas de estas pruebas de carácter específico para un tipo de modificador, por lo cual el método de prueba mencionará a que tipo de asfalto modificado es aplicable.

También se hace mención que estos métodos de ensayo quizá con algunas variantes, empezaron a aplicarse en los países que primero utilizaron el asfalto modificado. Algunos de la unión europea como España y Francia y su primera normatividad estaba aplicada a los asfalto modificados para impermeabilizante, que usan un alto porcentaje de modificador.

Por otra parte y haciendo un poco de historia, los asfaltos modificados se utilizaron primero en las emulsiones para impermeabilizantes y después se empezaron a utilizar en la pavimentación; en riesgos como tratamientos superficiales en frío, y posteriormente se empezó a modificar el cemento asfáltico para utilizarse cuando se requería un asfalto de mejor calidad o mayor resistencia que la que ofrecía un cemento asfáltico normal.

Hace poco tiempo se hizo una recopilación de los métodos de ensayo en la Unión Europea y en los Estados Unidos por un comité convocado por AASHTO y se llegó a una normatividad en febrero de 1992.

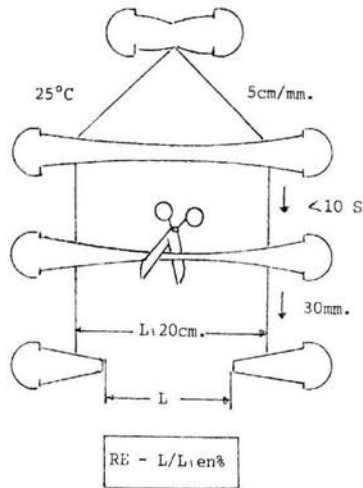
##### **V.12.1 SEPERACION POR ANILLO ESFERA (AASHTO) TF 32R-1**

Este ensayo es aplicable a asfalto modificados con polímeros del tipo SB o SBS de estireno-butadieno en blocks de una o varias ramificaciones. El método consiste en observar la separación de un polímero en el asfalto mediante una muestra que se sujeta a altas temperaturas durante un tiempo y después se coloca en un congelador. Posteriormente la muestra se separa en tres partes, y a las extremas se les hace prueba de punto de reblandecimiento en anillo y esfera debiendo de ser la temperatura en ambas con un diferencial no mayor de 1° C como máximo. El objetivo de esta prueba es verificar si el polímero está bien incorporado y no existe separación al sujetarlo a las altas y bajas temperaturas.



### V.12.2 RECUPERACION ELASTICA POR DUCTILOMETRO (AASHTO) TF31R-2

Esta prueba consiste en medir la recuperación elástica en un porcentaje de la deformación después de un alargamiento en el ensaye de ductilidad a 25° C con un molde y una elongación determinada, así como el tiempo de recuperación. Los asfaltos con polimeros tipo SBS o SB, tienden a volver a su posición original una vez que se retira el esfuerzo de tensión a que habían sido sujetos y se considera que la elasticidad es una energía almacenada, al disiparse tienden a su posición original y únicamente se pierde el componente de la viscosidad.

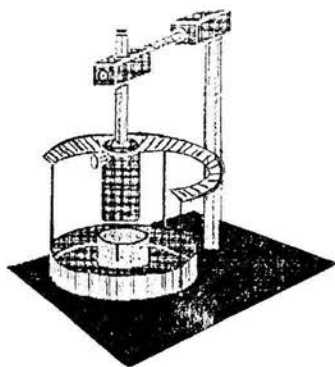


#### Recuperación Elástica por el Ductilómetro

Los asfaltos normales sin modificar tienden a una característica más viscosa que plástica, por lo que su recuperación en la prueba es muy lenta y pobre no mayor a un 15%, ha diferencia de los asfaltos polimerizados con SBS o SB que tienen una recuperación elástica de 45% como mínimo dependiendo del contenido del producto modificador.

### V.12.3 RECUPERACION ELASTICA POR TORSION (CEDES NLT -329-91)

Este método es aplicable a asfaltos modificados con polimeros SBS, SB, SBR o Neopreno Látex y consiste en aplicar una muestra de asfalto en una cápsula de dimensiones conocidas a una temperatura de 25° C un esfuerzo de torsión con un cilindro en un eje haciendo un giro de 180° C y después de 30 minutos se determina el ángulo recuperado por el cilindro al soltarse el esfuerzo aplicado. Esta prueba es similar en su comportamiento con la del ductilómetro AASHTO TF31R-2.



Equipo de Torsión

#### V.12.4 PENETRACION A 4° C

Esta prueba sirve para determinar la penetración a 4° C antes de la prueba delgada "TFOT" y con los datos obtenidos, se determinará la retención de la penetración, y se podrá comparar con las penetraciones de 13 dmm como mínimas que debe tener un asfalto modificado con polímeros. El método de prueba es similar al método normal a 25° C, siendo en este caso, que se realiza a 4° C y por un periodo de tiempo de 60 segundos y un peso en aguja de 200 gramos.

#### V.13 RECOMENDACIONES PARA POLIMEROS

##### V.13.1 PARA POLIMEROS COMO EL SB Y SBS

Asfalto modificado con polímero Tipo 1

		I-A	I-B	I-C	I-D
Penetración 25° c, 100grs , 5 seg.	Mín.	100	75	50	40
	Máx.	150	100	75	75
Penetración 4° c, 200grs , 60 seg.	Mín.	40	30	25	25
Viscosidad 60° c, Poises	Mín.	1000	2500	5000	5000
Viscosidad 135° c, Cst	Máx.	2000	2000	2000	2000
Punto de Reblandecimiento, Anillo y Bola, °C	Mín.	43	49	54	60
Punto de Encendido, ° C	Mín.	218	218	240	240
Solubilidad en Tricloroetileno, %	Mín.	99	99	99	99
Separación, Diferencia Anillo y Bola °C	Máx.	2.2	2.2	2.2	2.2
Residuo RTFOT ó TFTO					
Recuperación Elástica, 25 ° C	Mín	45	45	45	50
Penetración 4° C, 200 grs., 60 seg.	Mín	20	15	13	13

Usos:

Tipo I-A:

Ligantes para uso en mezcla caliente para servicio en condiciones de clima frío y en tratamientos superficiales en caliente y sellado de grietas.

Tipo I-B:

Para toda aplicación de mezcla densa o abierta y aplicaciones de sellado en caliente para climas de moderado a caliente.

Tipo I-C:

Para toda aplicación de mezcla densa o abierta y aplicaciones de sellado en caliente en climas más calientes que I-B.

Tipo I-D:

Aplicaciones para climas calientes, donde el concreto asfáltico es usado en altos volúmenes de tráfico y áreas con gran porcentaje de vehículos de carga.

### V.13.2 PARA POLIMEROS COMO EL LATEX SBR Ó LATEX NEOPRENO

Asfalto Modificado con Polímero Tipo II

		II-A	II-B	II-C
Penetración, 25 ° C, 100 grs, 5 seg.	Mín.	100	70	80
Viscosidad, 60 ° C, Poises	Mín.	800	1600	1600
Viscosidad, 135° C, cSt	Máx.	2000	2000	2000
Ductilidad 4° C, 5 cpm, centímetros	Mín.	50	50	25
Punto de encendido ° C	Mín.	240	240	240
Solubilidad en tricloroetileno, %	Mín.	99	99	99
Rigidez, 25° C, cm, Kg.	Mín.	420	615	615
Tenacidad, 25° C, cm, Kg.	Mín.	280	420	420
Residuo RTFOT ó TFOT				
Viscosidad, 60° C, Poises	Máx.	4000	8000	8000
Ductilidad, 4° C, cpm, cm.	Mín.	25	25	8
Rigidez, 25° C, cm, Kg.	Mín.			615
Tenacidad, 25° C, 50 ipm, cm, Kg.	Mín.			420

Usos:

Tipo II-A:

Ligantes para uso en concreto de mezcla caliente en climas fríos y en aplicaciones de tratamientos superficiales de mezcla en caliente y llenado de grietas.

Tipo II-B y C

Para uso en cualquier grado de concreto asfáltico para graduación densa o abierta y para aplicaciones de sellado en caliente, en condiciones de servicio de climas cálidos.

### V.13.3 PARA POLIMEROS DEL TIPO ETILEN VINIL-ACETATO Y POLIETILENOS

Asfalto Modificado con Polímeros Tipo III

		III-A	III-B	III-C	III-D	III-E
Penetración, 25° C, 100grs, 5 seg	Mín.	30	30	30	30	30
	Máx	130	130	130	130	130
Penetración, 4° C, 200 grs, 60 seg	Mín.	48	35	26	18	12
	Mín.	150	150	150	150	150
Viscosidad, 135° C, cSt	Mín.	1500	1500	1500	1500	1500
	Máx.	1500	1500	1500	1500	1500
Punto de reblandecimiento, Anillo y Bola ° C	Mín.	51	54	57	60	63
Punto de Encendido, ° C	Mín.	218	218	218	218	218
Separación	Homog	Homog	Homog	Homog	Homog	Homog
Residuos RTFOT ó TFOT						
Pérdida, %	Máx.	1	1	1	1	1
Penetración, 4° C, 200 grs, 60 seg.	Mín.	24	18	13	9	6

### V.14 RELACION DE COMPORTAMIENTO-PROPIEDADES EQUIPO MEDICION DE DATOS

#### Equipo

#### Propiedades de desempeño

Viscosímetro Rotacional -----	Manejo del asfalto -----	Flujo
Rehómetro de esfuerzo Dinámico -----	Roderos de desgaste -----	Deformación permanente
	Fractura por fatiga -----	Falla estructural
Rehómetro de torsión ----- Tensiómetro	Fractura por temperatura ---	Falla por baja temperatura

#### V.14.1 TABLA DE PARÁMETROS DE DESEMPEÑO

PRUEBA	PROPIEDAD	AC20	3% SBR	3% SBS	ESPECIFICACIONES
Cortante Dinámica	G (kPa)	1.15	1.12	2.13	
	Respuesta	89.9	75.3	63.3	
	Ángulo Módulo	1.15	1.15	2.38	1.0 min.
Cortante Dinámica	G (kPa)	1.87	2.31	3.00	2.2 min.
RTFO	Respuesta	87.4	68.5	59.0	
	Ángulo				
	Módulo	1.87	2.48	3.50	
Cortante Dinámica PAV	G(kPa)	4,114	2,005	1,980	5,000 max.
	Respuesta	49.0	49.5	49.3	
	Ángulo Módulo	3,106	1,525	1,500	
Destilado Rigidez PAV	S (mpa)	286.2	143.9	157.0	300 max.

#### V.15 ESTUDIOS DE CAMPO

Se han realizado numerosas encuestas sobre el uso de PMA y su comportamiento en el campo. Si embargo, existen aún pocas publicaciones que describan experimentos bien diseñados para establecer las relaciones entre las propiedades de los PMA medidas en el laboratorio y el comportamiento durante el servicio.

Para 1989, 39 estados de los EE.UU. estaban experimentando con polímeros para modificar asfaltos. De una encuesta realizada por Anderton a más de 100 aeropuertos en ese país, el agrietamiento por fatiga y térmico eran problemas más comunes, lo que motivó la implantación del uso de polímeros en pavimentación. De esta encuesta se obtuvo que el 76% de los entrevistados describieron el uso de modificadores como bueno o excelente. Button encuestó a los departamentos de transporte de 14 estados de estados en EE.UU.

La mayoría de ellos estaban usando o planeaban usar polímeros para modificar asfalto, pero estaban preocupados por la rentabilidad, ya que no disponían de datos históricos sobre el tema. Button concluyó que las expectativas sobre un mejor pavimento dado el peso de los vehículos actuales, el volumen de tránsito y las características de presión de las llantas, requieren el uso de PMA en las carreteras.

En un estado del arte publicado en 1993 por el programa SEP, uno de los estudios reseñados indica que la adición de SBS al asfalto retarda el envejecimiento. Mulder y Whiteoak, también mostraron impresiones positivas del comportamiento de asfaltos modificados con CT, el cual supera el de los asfaltos no modificados durante el uso.

Prahdan et al, reportaron resultados de un campo experimental en Montana. Se usó Kraton (SBS), Polybilt (EVA) y un asfalto sin modificar. Después de un año de aplicación del pavimento, el agrietamiento transversal fue la falla más importante en los asfaltos modificados con Kraton y Polybilt. Si embargo, se observó “rutting” y agrietamiento en las secciones de control. Después de dos años la profundidad no había aumentado significativamente en ninguna de las secciones bajo estudio.

Otro estudio fue emprendido durante el programa SEP. Se analizaron 38 diferentes modificadores, incluyendo polímeros, productos de hule reciclado, rellenos, fibras, extendedores y agentes anti-deslizantes. Los polímeros y el hule reciclado obtuvieron la clasificación más alta en las propiedades estudiadas: deformación permanente, agrietamiento por fatiga y térmico, envejecimiento y susceptibilidad a la humedad. De acuerdo a los resultados, los polímeros son los modificadores más usados (86%), seguidos por el hule reciclado (36%). Con respecto a los defectos más comunes reportados, todos los que se nombran a continuación tienen una ocurrencia similar: deformación permanente, agrietamiento por fatiga y a baja temperatura, susceptibilidad a la humedad (30% aprox. cada uno) y envejecimiento (15%). Otro interesante hecho a mencionar es que las autoridades estatales de autopistas están desarrollando evaluaciones basadas en comportamiento a más largo plazo. También se señala que el 8% de las instituciones involucradas en investigación en esta área son organismos estatales en EE.UU.

Se han realizado también estudios de campo en Europa. Es importante señalar que hay una diferencia significativa entre la industria de pavimentación europea y la norteamericana. En Europa, todos los miembros de la comunidad son parte del esfuerzo (tanto agencias estatales como la industria). Por el contrario, en EE.UU. sólo las agencias estatales son responsables de la actividad de la pavimentación. Otra diferencia importante es que las especificaciones norteamericanas están determinadas por las condiciones extremas de temperatura a las que se somete el pavimento: para los europeos esto está definido por el tipo de cargas y el volumen de tránsito.

Terrel et al, estudiaron algunas experiencias de campo en Europa. Las conclusiones más importantes son las siguientes:

- Se alcanzan tiempos de vida más largos con asfaltos modificados con polímeros.
- Los polímeros proveen una mejora considerable en las propiedades físicas del ligante y de la mezcla con agregado; ellos aumentan la adhesión y la cohesión, mejoran la susceptibilidad a la temperatura, mejoran el módulo (rigidez), aumentan la resistencia a la fatiga y el “rutting” y aumentan la durabilidad.

## V.16 CONTROL RAPIDO EN CAMPO DE ASFALTOS MODIFICADOS

### Alcance

Método rápido de campo para determinar la calidad, grado de modificación así como la homogeneidad del asfalto modificado mediante pruebas rápidas en la obra

### Pruebas a efectuar

- 1.- Penetración a 4 y 25° C.
- 2.- Penetración Elástica por Torsión
- 3.- Resiliencia
- 4.- Recuperación Elástica (variante de campo del ductilímetro)
- 5.- Separación por Anillo y Esfera.

**Tiempo de Ensaye:** 5 horas para las pruebas de la una a la cuatro, treinta horas para la prueba numero cinco de homogeneidad.

### Equipo

- a) Horno de 163° C.
- b) Tener acceso a un congelador a un sistema de refrigeración con fábrica de hielo.
- c) Penetrometro manual de asfaltos
- d) Equipo de separación y esfera (punto de reblandecimiento)
- e) Equipo de recuperación elástica por torsión.
- f) Aditamento de resiliencia para penetrometro
- g) Tres juegos de mordazas para especímenes de recuperación elástica.

### Procedimiento

- a) Se deberá muestrear al llegar el transporte de asfalto, en dos recipientes de 3.8 lts. con tapa, una muestra para el ensaye de campo y otra de testigo para ensaye en laboratorio central si es necesario.
- b) De la muestra para ensaye de campo se deberán llenar dos cápsulas de aluminio para las pruebas de penetración (4 y 25° C.) y una cápsula adicional para la prueba de resiliencia y colocarlas a enfriamiento a baño maría para temperatura ambiente y una a 4° C. y otra cápsula se preparará para la prueba de recuperación elástica por torsión.
- c) Se deberá dejar los materiales en las cápsulas por dos horas a la temperatura de ensaye para las pruebas 1,2 y 3, para la prueba 4 se llenaran los moldes a la temperatura de que puedan ser vertidos en los moldes de ductilidad o los de norma del TF-31R y dejar enfriar por dos horas a la temperatura de ensaye para la prueba.
- d) Se efectuaran las pruebas de penetración a 4 y 25° C. recuperación elástica por torsión y resiliencia de acuerdo a los métodos de ensaye especificados.
- e) Se llenarán de inmediato los tubos de aluminio para la prueba de separación por anillo y esfera y se dejarán para la prueba en el horno 20 horas, para después de tenerlos en congelador hacer la prueba si se tiene duda, también se puede efectuar la penetración a la parte superior e inferior.

- f) Se podrá efectuar la recuperación elástica utilizando un aditamento de alargamiento de agua para el ductilómetro o este si se tiene en el campo el equipo.

### **Resultados obtenidos**

- a) Se tendrán valores de penetración, recuperación elástica por torsión y resiliencia en menos de 4 horas de recibirse el producto.
- b) La resiliencia elástica de AASTHO Task Force 31R, se tendrán resultados a las 6 horas de obtenerse las muestras del equipo de transporte.
- c) La separación (homogeneidad) se tendrán resultados aproximadamente a las 36 horas de la llegada del producto.
- d) Se tendrá la ventaja de que antes de utilizarse el producto asfáltico ya se estén los resultados de calidad del asfalto modificado y en menos de 30 horas resultados completos del mismo en el campo.
- e) Por otra parte si los resultados obtenidos presentan valores en las pruebas efectuadas de los que se tengan duda se podrá enviar la otra muestra a laboratorio central para su ensaye completo incluyendo reología.

### **V.16.1 ENVEJECIMIENTO DE ASFALTOS MODIFICADOS CON POLIMEROS A CORTO Y LARGO PLAZO**

Para asfaltos modificados con polímeros que son usados en pavimentación se tiene un estudio que se basa en el desarrollo de un nuevo ensayo de envejecimiento acelerado de laboratorio, basado en el RTOFT ( Rolling Thin Film Oven Test) norma ASTM D 2872, en razón de las posibles limitaciones del ensayo actual cuando se lo aplica a materiales con una resistencia elevada, como es el caso de los asfaltos modificados. Este problema origina que el asfalto modificado no pueda fluir uniformemente dentro del frasco durante la rotación por lo tanto la exposición al oxígeno durante el ensayo es menor que con los asfaltos convencionales y como consecuencia, el envejecimiento alcanzado sería mucho más bajo.

Con el objetivo de verificar si un aumento de la temperatura (disminución de la viscosidad durante el ensayo) tiene un efecto importante sobre el envejecimiento de los asfaltos modificados, se efectuaron ensayos pero a una temperatura de 185° C. Esta temperatura se ha elegido por ser similar a las que se emplean cuando se fabrican las mezclas con los asfaltos modificados.

También se han realizado determinaciones de envejecimiento a largo plazo, aplicando el método desarrollado por SEP denominado PAV (Pressure Aging Vessel) que simula el envejecimiento que sufren los asfaltos convencionales en un lapso comprendido entre 7 y 10 años de exposición en el camino.



## V.17 PRODUCCIÓN DE ASFALTOS MODIFICADOS CON POLIMEROS

Efectos de la temperatura del proceso, la velocidad de mezclado y la estabilización química en las propiedades reológicas del material resultante.

El objetivo del estudio, fue el de simular en el laboratorio las condiciones de manufactura usadas corrientemente en distintas tecnologías para producir asfaltos modificados con polímeros y determinar cuales condiciones pudieran considerarse como óptimas basadas en las propiedades reológicas del material resultante.

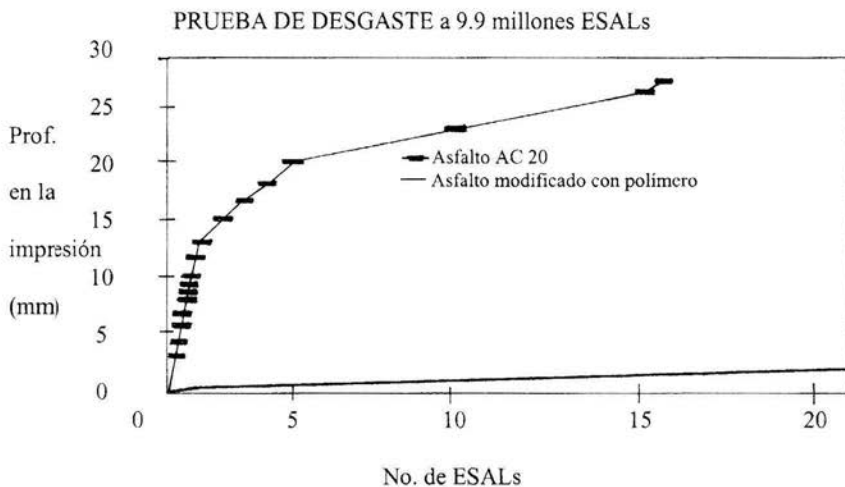
Se estudiaron los efectos de la temperatura, la velocidad de mezclado, el tipo de polímero, el tipo de asfalto y la estabilización con aditivos químicos sobre la compatibilidad polímero-asfalto, la estabilidad al almacenamiento, la reología y el envejecimiento del material. El diseño experimental incluye 32 mezclas de asfalto modificado preparados con dos asfaltos de diferente origen, dos polímeros (de tipo elastomérico y plastomérico).

Para evaluar la estabilidad de las mezclas asfalto-polímero, un grupo de mezclas fue estabilizada usando aditivos químicos.

Los resultados indican que los asfaltos modificados con polimeros pueden producirse en procesos a relativa baja temperatura y con bajo cizallamiento en el mezclado y aun así mejorar apreciablemente las propiedades reológicas a temperaturas altas y bajas de los asfaltos modificados con polímeros. Los resultados indican también que los aditivos químicos son imprescindibles para la estabilización y son específicos del sistema asfalto-polímero a utilizar.

## V.18 CASO BIBLIOGRAFICO

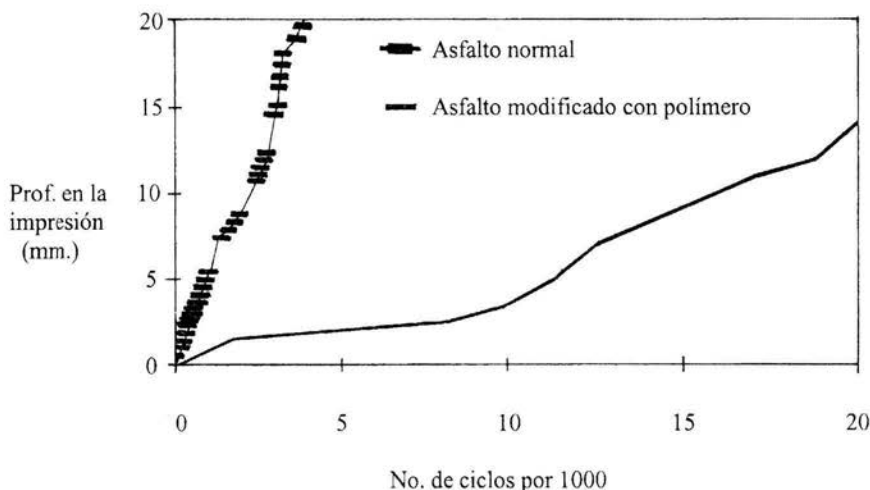
Resultados de prueba editados por Heritage Research, Group. Indianápolis, EUA.



## V.19 CASO REAL

### AUTOPISTA CUERNAVACA - ACAPULCO

#### GERMAN WHEEL TRACK



La prueba de Wheel Track indica que el asfalto modificado es más resistente al desplazamiento y al daño ocasionado por el agua.

La mezcla convencional de asfalto se daña con relativa facilidad por lo que se pueden esperar fallas a corto plazo, sobre todo en clima caliente o tráfico intenso.

## V.20 AVANCES TECNOLÓGICOS EN ASFALTOS MODIFICADOS CON POLIMEROS

Los desarrollos tecnológicos en asfaltos modificados para la pavimentación se concentran principalmente en dos áreas: nuevas formulaciones para las mezclas asfálticas y nuevas técnicas y procesos para aumentar la vida útil del pavimento.

Al revisarse publicaciones relacionadas con asfaltos modificados con polímeros (PMA) desde 1990 hasta el presente, los aspectos más importantes observados son los siguientes:

- El polímero más estudiado es el SBS (25% de las publicaciones), seguido por el hule reciclado (14%), PE (11%), y los copolímeros EVA/ EMA y SBR (con 9% cada uno). Otros materiales objeto de investigación son el aPP, el PE clorado, el neopreno y, en menor extensión, PVC, PS, resina epoxi, poliuretano, hule natural, y el iPP.
- Los países más activos en investigación en esta área son EE.UU., China, Francia, Canadá, Italia, Alemania e India, principalmente en universidades o escuelas técnicas (aprox. 32%). La compañía que más publica es Shell.

- El esfuerzo de investigación en PMA está distribuido entre unos 280 investigadores de los cuales casi un 80 % ha publicado sólo un trabajo en los últimos seis años. Investigadores tales como Hesp, Bouldini, Molenaar, Monismith y Morrison se descartan en este grupo.

De una búsqueda realizada en el World Patents Index sobre PMA (excluyendo todo lo relacionado con techos y otras aplicaciones no relacionadas con pavimentación), aparece un total de 3925 invenciones entre 1970 y 1996. Se encuentran 2013 compañías protegiendo patentes en el área. Entre ellas, Owens-Corning Fiber Corporation está a la cabeza con 58 patentes (1,47% del total) El Road Research Institute tiene 49 invenciones (1.24 %) y Shell International Research, 48 (1.22 %). Otras compañías con más de 20 patentes son Exxon Reseca and Engineering, Nichireki Kagaku Ko, Westvaco Corporation, Elf Aquitaine, Phillips Petroleum Co., Nipón Hodo KK y Chevron Research Co.

Más del 40 % de las invenciones se han producido en los últimos diez años. Esto puede indicar que este campo aún concentra gran interés. La gran dispersión en los esfuerzos de investigación y desarrollo pudiera indicar la madurez de la tecnología de modificación de asfaltos con polímeros. Actualmente, es muy probable que se patentes sólo pequeños avances, en lugar de innovaciones que realmente cambien el rumbo tecnológico de esta industria.

Una de las áreas que recibe mayor atención en investigación y desarrollo de asfaltos es el mejoramiento de propiedades mediante la adición de polímeros. Esta modificación reduce la penetración y aumenta el punto de reblandecimiento. Además, aumenta la resistencia a la fatiga y disminuye la susceptibilidad a la temperatura, la deformación permanente y el agrietamiento a baja temperatura.

La principal desventaja de esta tecnología es el aumento en costo, y los problemas de compatibilidad y estabilidad entre el polímero y el asfalto.

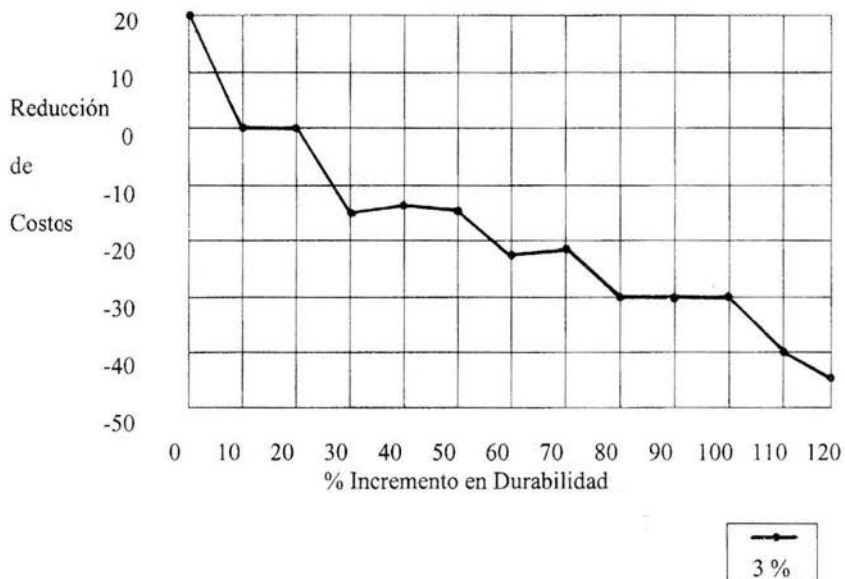
El SBS es el polímero más usado para modificar asfalto, seguido por el caucho reciclado. Shell es la compañía líder en investigación en el área y EE.UU., China, Francia e Italia son los países donde se realiza la mayor parte de este esfuerzo.

Aunque se han realizado numerosos estudios de campo sobre el uso de PMA, no se tienen conclusiones definitivas para períodos de tiempo suficientemente largos.

La literatura de los últimos 26 años parece indicar que el área de PMA va hacia la madurez, ya que se observa una gran dispersión en las instituciones que investigan activamente en esta área. Owens-Corning Fiber Corporation es la compañía líder en producción de patentes, con 58 invenciones en los últimos 26 años. Shell es la primera compañía en publicaciones en el ámbito mundial.

Las características físicas y reológicas superiores de los asfaltos modificados con polímero mejoran substancialmente, entre otros aspectos, la resiliencia y flexibilidad de los pavimentos para que éstos sean más resistentes a deformaciones plásticas (roderas, corrimientos, ondulaciones, etc.) y al agrietamiento, éste último ya sea térmico o generado por el fenómeno de fatiga. Todo esto se traduce en una mayor durabilidad de los pavimentos y por lo tanto en una excelente alternativa desde el punto de vista COSTO / BENEFICIO.

Reducción de Costos por Km. Para distintos Incrementos de la Vida Útil de Pavimentos con Asfalto Modificado



## **V.21 PRODUCTO STYLINK DE KOCH MATERIALES MEXICO**

Stylink es el concepto de la tecnología utilizada en un proceso de modificación de asfalto con polímero. Consiste en la distribución y homogenización del polímero por los medios mecánicos y una serie de procesos basados en reacciones químicas para garantizar su trabajo estructural y la estabilidad del producto terminado

### **V.21.1 RESULTADOS (LABORATORIO / CAMPO) PARA UN ASFALTO MODIFICADO “STYLINK”**

Las prácticas convencionales para manejo, almacenaje y construcción, pueden ser o no modificadas, dependiendo del sistema de polímero utilizado. Normalmente los asfaltos polimerizados requieren temperaturas elevadas para su manejo y construcción de la mezcla en caliente. La dureza de la mezcla en campo durante la construcción dependerá de la temperatura de mezclado, del tipo de polímero, de la concentración del polímero y del grado del asfalto. La compactación de la mezcla será el último indicador para el control térmico. Los actuales métodos utilizados para determinar las temperaturas óptimas de compactación y mezclado, no corresponden con las propiedades de flujo de un asfalto modificado. Las temperaturas recomendadas y las prácticas de colocación deben corresponder con cada sistema en particular.

Stylink es un proceso tecnológico para producir cemento asfáltico modificado con polímero. La calidad y estabilidad del producto se logra mediante la reacción química de bloques de copolímeros (estireno-butadieno) en una base asfáltica previa dispersión del polímero por medios mecánicos.

El asfalto modificado Stylink se encuentra listo para su utilización y únicamente se requieren algunos cuidados especiales para asegurar que una mezcla asfáltica elaborada con Stylink cumpla las expectativas de manejo y rendimiento. Al manejar Stylink es importante seguir buenas prácticas constructivas como en el caso de cualquier asfalto, para que los cuidados generen la mejor calidad en la obra terminada y disminuyan atrasos que inciden en el costo final del trabajo.

Basándose en la tecnología Stylink, se puede producir un gran número de grados de asfalto modificado con polímero. Cada distinto grado de asfalto se formula para cumplir en condiciones locales, con requerimientos técnicos y especiales y con ciertas especificaciones particulares, para aprovechar al máximo las propiedades de nuestro asfalto y conocer los parámetros que se deben seguir en su utilización.

### **V.21.2 TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE ASFALTO MODIFICADO “STYLINK”**

1.- Debido al proceso de fabricación del Stylink, basado en una reacción química permanente, el asfalto modificado no presenta separación del polímero, permitiendo que su manejo sea sin complicaciones además que se asegura un excelente rendimiento del producto una vez que es colocado.

2.- El asfalto modificado Stylink suministrado por Koch, se encuentra listo para utilizarse en prácticamente cualquier planta de asfalto en caliente. Normalmente se entrega en planta a una temperatura entre 155° C y 180° C. En función de la logística y requerimientos que se tengan para la producción de la mezcla asfáltica, puede transportarse en los auto tanques usados para cemento asfáltico convencional.

3.- Para almacenar asfalto que ha sido modificado con la tecnología Stylink, no se requieren tanques especiales ni sistemas de agitación; sin embargo, es recomendable que los tanques se encuentren limpios, para no diluir el producto y perder alguna de sus propiedades de alto rendimiento.

4.- No obstante de que no se requiere agitar el Stylink, para mantener la dispersión del polímero es recomendable recircular o no mantener en reposo el producto para evitar el sobrecalentamiento del asfalto en alguna zona específica y para tener un aprovechamiento energético óptimo al distribuir de una mejor manera la temperatura.

5.- El asfalto modificado normalmente se mantiene a una temperatura que fluctúa entre los 150° C y 180° C al almacenarlo por periodos cortos de tiempo (2 a 3 días).

Si por alguna razón se tuviera que almacenar el asfalto por un período mayor de 3 días y menor a tres semanas, la temperatura deberá mantenerse entre los 125° C y 145° C, ya que al exponer al asfalto modificado a más de 150° C por periodos largos de tiempo puede provocar, bajo ciertas circunstancias, el rompimiento de la estructura del polímero generando así la degradación del producto; además de que sería una operación muy costosa.

Si por algún retraso o estrategia operativa es necesario almacenar el Stylink por un periodo mayor de tres semanas, es recomendable mantener la temperatura del asfalto por debajo de los 135° C, o bien, no aplicar calor, lo que dependerá de la logística en particular y la capacidad de que se tenga para elevar la temperatura cuando se requiera.

6.- Si un fuerte calentamiento es necesario, éste deberá realizarse de manera gradual, cuidando de no sobre-calentar el asfalto modificado. Un sistema de inducción de calor a base de aceite térmico es preferible a la de aplicación directa, y como se ha mencionado antes, recircular el material ayuda a una mejor distribución del calor. Estos métodos para elevar y mantener temperaturas son buenas prácticas de operación con cualquier material asfáltico.

### **V.21.3 PRODUCCION, TENDIDO Y COMPACTADO**

1.- Durante el proceso de producción, deberá tener especial cuidado en la temperatura de mezclado y el sistema de dosificación del cemento asfáltico, ya que al tener una mayor viscosidad puede variar la calibración de los equipos de suministro y medición.

2.- La temperatura típica de mezclado recomendada para el asfalto Stylink, fluctúa entre 150° C y 180° C, lo que dependerá de las condiciones de cada obra en particular (temperaturas ambientales, distancia de acarreo, equipo de tendido, etc.) y la capacidad de la planta de asfalto.

3.- El punto crítico para determinar las temperaturas de trabajos (mezclado y tendido) de una mezcla asfáltica, es la manejabilidad del concreto asfáltico durante el proceso de compactación, la cual debe fluctuar entre los 135° C y 155° C.

#### V.21.4 TABLA DE ESPECIFICACIONES Y CARACTERISTICAS

Parámetro/ Característica	Temp. de Prueba (° C.)	Stylink PG 76-22	Unidad	Significado de la Prueba
<b>ASFALTO ORIGINAL</b>				
Penetración, 100 gr., 5 seg.	25.0	40-75	1/10 mm	Clasificación
Penetración, 200 gr., 60 seg.	4.0	25-35	1/10 mm.	Clasificación
Viscosidad Absoluta	60.0	5000	Mínimo Poises	Clasificación
Viscosidad Cinemática	135.0	2000	Máximo cSt	Manejabilidad
Viscosidad Rotacional	135.0	3000	Máximo cPoises	Manejabilidad
Punto de reblandecimiento		60-70	° C	Comportamiento
Punto de inflamación		250	Mínimo ° C	Seguridad
Solubilidad en Tricloroetileno		99.0	%	Calidad
Separación Anillo / Bola		1.0	Máximo ° C	Calidad / Comportamiento
Recuperación Elástica por Torsión	25.0	35.0	Mínimo %	Calidad
Modulo Reológico de Corte Dinámico.	76.0	1.0	Mínimo kPa	Comportamiento
<b>ASFALTO ENVEJECIDO (TFO / RTFO)</b>				
Pérdida de Masa	163.0	0.8	Máximo %	Calidad
Recuperación Elástica	25.0	45.0	Mínimo %	Calidad / Comportamiento
Penetración, 200 gr., 60 seg.	4.0	13	Mínimo 1/10 mm	Clasificación.
Ductilidad, 5 cm. / minuto	4.0	5.0	Mínimo cm.	Comportamiento
Ductilidad, 5 cm. / minuto	25.0	50.0	Máximo cm.	Comportamiento
Modulo Reológico de Corte Dinámico	76.0	2.2	Mínimo kPa	Comportamiento
Modulo Reológico de Corte Dinámico	22.0	5000.0	Máximo kPa	Comportamiento
Angulo Fase (visco-elasticidad)	76.0	70	Máximo °	Comportamiento

## V.21.5 ASFALTO MODIFICADO “STYLINK”, INFORME TECNICO

**Proyecto:** Realización de tramo de prueba utilizando asfalto modificado con polímeros.

Construcción del tramo: Marzo 18 del 2000

Descripción: Carpeta de concreto asfáltico de 10.0 cm. de espesor, en la carretera Pachuca-Cd. Sahún, tramo del km 33+600 al km 34+600.

Carretera con tránsito de alta intensidad (TDPA > 7500 vehículos, composición de vehículos pesados > 25.0 %). Asfalto Modificado: Stylink PG 76-22

### Objetivos

- No. 1 Evaluar y cuantificar los beneficios generados en un pavimento flexible con el uso de asfalto modificado elaborado conforme a la tecnología “Stylink” de Koch.
- No. 2 Evaluar el rendimiento del asfalto modificado con polímero en comparación a un asfalto convencional.
- No. 3 Demostrar que no se requiere equipo adicional para la producción y construcción de carpetas de mezcla asfáltica utilizando asfalto modificado.

### Resultados

#### Construcción

La construcción (producción, transporte, tendido y compactado) de la carpeta con asfalto modificado con polímero se pudo realizar, sin ningún contratiempo motivado por el uso del producto asfáltico especial, equipo convencional y con los procedimientos tradicionales, a excepción de la mayor temperatura requerida.

### Resistencia

- I.- La estabilidad Marshall del concreto con el asfalto modificado con polímero es de 68.0 % mayor a la del concreto asfáltico convencional, siendo en el primero mayor a 2,100 kg.
- II.- La capacidad de resistencia a la fatiga (agrietamiento) en la carpeta elaborada con el asfalto modificado con polímero es mayor que con asfalto convencional, ya que el aumento de la resistencia a la tensión, obtenida con el ensaye de tensión indirecta por el uso del asfalto modificado, fue superior al 55 %.

### Durabilidad

- I.- El desgaste por abrasión obtenido mediante el ensaye de Cántabro fue del 8.7 % en el concreto con asfalto modificado con polímero, lo cual cumple con la Norma Española para Mezclas Asfálticas al ser menor al 10.0 %. La mezcla con asfalto convencional arrojó un desgaste superior al 20.0 %.
- II.- La flexibilidad de la carpeta asfáltica con el asfalto modificado se conserva, no obstante de su mayor resistencia, ya que la diferencia entre las dos mezclas del flujo medido en la prueba Marshall es menor a 0.01 mm. y la diferencia en la deformación unitaria a la falla por tensión indirecta es de 0.2 puntos porcentuales.



## **Comportamiento**

- I.- Después de seis meses de estar en operación el tramo de prueba, resulta muy evidente el mejor desempeño y trabajo estructural de la carpeta con el asfalto modificado con polímero, ya que ésta última no presenta agrietamientos, mientras que la elaborada con el asfalto convencional tiene un agrietamiento fuerte por fatiga en la zona de rodamiento, en prácticamente toda la longitud de la carretera que se reconstruyó (más de 40 km), incluyendo el tramo de prueba.
- II.- Visualmente se aprecia que la carpeta con asfalto modificado conserva mejor sus características originales, mientras la carpeta convencional tiene un aspecto opaco, con el agregado pétreo lavado (pérdida de asfalto), con ascenso de finos y una superficie muy lisa.

## **V.21.6 DETALLES PARTICULARES**

### **Ejecución**

Se construyó en el carril derecho de la carretera Pachuca-Cd. Sahagún, del km. 33+600 al km. 34+100, la carpeta de concreto asfáltico elaborado en caliente utilizando asfalto modificado con polímero tipo “Stylink”, y del km. 34+100 al km. 34+600, se construyó la carpeta con asfalto convencional tipo AC-20, bajo las mismas condiciones (materiales, diseño, proyecto y procedimiento constructivo).

La prueba se realizó bajo el marco del programa de conservación mediante reconstrucción del Centro SCT Hidalgo.

El asfalto modificado Stylink PG 76-22 se elaboró agregando al cemento asfáltico tipo AC-20, copolímero elastómero de estireno (25%) y butadieno (Solprene fabricado por la empresa Dynasol) en relación de 30 kg. de polímero por tonelada de asfalto. El polímero se incorporó por medios físicos hasta lograr su disolución y posteriormente, se provocó una reacción química con tal de garantizar su estabilidad y trabajo estructural. La modificación se realizó en la planta de Koch Materials ubicada en Tula Hidalgo.

La elaboración de la mezcla asfáltica la realizó la empresa Facopsa en una planta de asfalto convencional, suministrando el asfalto directamente del auto tanque. Para el tendido se utilizó una extendidora marca Demac y se compactó con un equipo tandem de 12 toneladas con rodillos lisos. Todo el equipo y los procedimientos constructivos fueron los mismos que venían utilizando la empresa en la reconstrucción de la carretera, con excepción de la temperatura de compactación.

La temperatura para iniciar la compactación fluctuó entre 145 y 165° C, por lo que fue necesario realizar la producción de la mezcla a 170° C.

## **V.21.7 PROYECTO**

La carpeta con espesor de 10.0 cm. se aplicó sobre una base estabilizada con espesor de 20.0 cm, la cual se formó con la recuperación del pavimento deteriorado en un espesor de 10.0 cm. y la incorporación de agregado con calidad de base sin finos y de emulsión asfáltica tipo RT-3K.

El pavimento previo a la recuperación presentaba un alto nivel de deterioros, con roderas longitudinales, un alto índice de agrietamiento por fatiga (Piel de Cocodrilo y Mapa), desprendimientos severos, baches reparados, calavereo y depresiones aisladas fuertes.

Posterior a la recuperación, la base estabilizada tenía un aceptable aspecto superficial, pero con capacidad estructural deficiente; ya que arrojó una Deflexión Característica mayor a  $100 \times 10^{-3}$  pulgadas (medida con viga Benkelman y calculada por el método del Instituto Americano del Asfalto).

## **CONCLUSIONES**

Las causas principales del deterioro del asfalto son:

- Clima
- Carga
- Envejecimiento

La conveniencia de usar los asfaltos modificados con polímeros son

- La economía
- La seguridad
- El desempeño

Conviene utilizar asfaltos modificados con polímeros cuando:

- El tiempo de recuperación de la inversión es importante.
- Se requiere de altas especificaciones y alto desempeño.
- Se requiere reducir el costo de mantenimiento.
- Existen temperaturas extremas y/ o tráfico intenso.

La modificación con polímero mejora sustancialmente el desempeño del asfalto ante los agentes de deterioro.

La mejora es medible y debe ser objeto de evaluación Costo-Beneficio.

## VI CONCEPTOS Y VOLUMETRIA

### VI.1 CONCEPTOS COMUNES

Los conceptos para la construcción de una carpeta asfáltica utilizando polímeros, son los mismos que se utilizan para la construcción de una carpeta convencional, la diferencia se da solamente hasta los últimos conceptos, que son el acarreo, tendido y compactado de la carpeta asfáltica.

Los conceptos comunes que intervienen o pueden intervenir en la construcción de ambos tipos de carpeta son:

- a) Trazo y nivelación para vialidad, con equipo de topografía, incluye materiales para su señalamiento, la unidad de medición es el  $m^2$ .
- b) Sustitución de material de terraplenes con tepetate en capas no mayores de 20 cm. de espesor, compactado al 90 % con acarreo libre al primer kilómetro, la unidad de medición es el  $m^3$ .
- c) Sobre acarreo por cada estación de un kilómetro, posteriores al acarreo libre en camión, zona urbana ó sub-urbana, de material de tepetate, la unidad de medición es el  $m^3/km$ .
- d) Construcción de la capa sub-rasante con grava cementada compactada al 95% proctor en capas no mayores de 15 cm. de espesor, incluye agua con acarreo libre del material, primer kilómetro, la unidad de medición es el  $m^3$ .
- e) Sobre acarreo por cada estación de un kilómetro, posteriores al acarreo libre en camión zona urbana ó sub-urbana, de grava cementada, la unidad de medición es el  $m^3/km$ .
- f) Conformación de la capa sub-rasante en forma mecánica, bailarina, ó rodillo pata de cabra al 90% proctor, incluye incorporación de agua, la unidad de medición es el  $m^3$ .
- g) Construcción de base hidráulica con grava cementada, compactada al 98% proctor en capas mínimas de 15 cm. de espesor, incluye incorporación de agua, con acarreo libre del material al primer kilómetro, la unidad de medición es el  $m^3$ .
- h) Sobre acarreo por cada estación de un kilómetro posteriores al acarreo libre en camión, zona urbana ó sub-urbana de la grava cementada , la unidad de medición es el  $m^3/km$ .
- i) Construcción de base negra de 10 cm. de espesor tendido con espaciador Finisher, motoconformadora ó en forma manual, compactada al 95% de la D.T.M., el material suministrado por el G.D.F. ó en su caso por el contratista con acarreo al primer kilómetro, la unidad de medición es el  $m^2$ . compacto con aproximación a dos decimales
- j) Barrido de base previo al riego de impregnación, la unidad de medición es el  $m^2$ .

- k) Riego de impregnación con emulsión asfáltica, el precio unitario incluye el suministro del asfalto rebajado, la carga al vehículo de transporte, el tiempo de espera, el acarreo libre de un kilómetro, el riego, las mermas, y desperdicios; la mano de obra necesaria para la preparación previa de la capa anterior al riego para efectuar la liga adecuada y la protección a las estructuras o parte de ellas que lo requieran, retiro de desperdicios y limpieza final; el equipo y herramienta necesarios para la correcta ejecución del trabajo. Así como los indirectos, la utilidad del contratista y los cargos contractuales que se estipulen. La unidad de medición será el litro con aproximación de dos decimales. Para efecto de pago se medirá según líneas de proyecto.
- l) Acarreo kilómetros subsiguientes, de emulsión asfáltica para impregnación, la unidad de medición es el m<sup>3</sup>/km.

Hasta el concepto anterior, el proceso de construcción de carpeta asfáltica es el mismo, ya sea para una carpeta asfáltica convencional o con polímeros.

## VI.2 CONCEPTOS DE TENDIDO DE CARPETA ASFÁLTICA CONVENCIONAL

Los conceptos de obra para el tendido de carpeta asfáltica con máquina y/o tendido manual de una carpeta convencional son los siguientes:

### Tendido con máquina

- m) Construcción de carpeta de concreto asfáltico elaborado en planta y tendido con máquina.- El precio unitario incluye: el suministro del concreto asfáltico en caliente en la planta del Gobierno y materiales menores de consumo, carga del asfalto y su descarga adecuada para el tendido, tiempos de espera del vehículo de transporte, acarreo libre del primer kilómetro, manejos necesarios, mermas y desperdicios; la mano de obra para la preparación de la capa anterior, previa al tendido de la nueva capa, tendido del material a la temperatura adecuada, compactación al 95% de su densidad máxima teórica, preparación de juntas longitudinales y transversales, afine de la carpeta terminada, el recorte de cuñas necesarias, eliminación de sobrantes y la limpieza final; el equipo y herramientas necesarias para la correcta ejecución del trabajo. Así como indirectos, la utilidad del contratista y los cargos contractuales que se estipulen. La unidad de medición será el metro cuadrado compactado, con aproximación de dos decimales. Construcción de carpeta de concreto asfáltico elaborado en planta del G.D.F., con agregado máximo de 20 mm. Y su acarreo en el primer kilómetro. Compactada al 90% de su densidad teórica máxima; espesores entre 2.5 y 10 cm. Compactada al 95% de su densidad teórica máxima; espesores entre 2.5 y 10 cm.
- n) Sobre acarreo, por cada estación de un kilómetro, posteriores al acarreo libre, en camión de concreto asfáltico, la unidad de medición es el m<sup>3</sup>/km.

## Tendido manual

- o) Construcción de carpeta de concreto asfáltico elaborado en planta y tendido manual. El precio unitario incluye: el suministro del concreto asfáltico en caliente en la planta del Departamento y materiales menores de consumo, carga del asfalto y su descarga adecuada para el tendido, tiempos de espera del vehículo de transporte, acarreo libre del primer kilómetro, manejos necesarios, mermas y desperdicios; la mano de obra para la preparación de la capa anterior, previa al tendido de la nueva capa, tendido uniforme del material a la temperatura apropiada, la compactación al 95% de su densidad máxima teórica hasta obtener el espesor mínimo y uniforme de carpeta, la preparación de juntas de construcción longitudinales y transversales cuñas necesarias, la eliminación de sobrantes y la limpieza final; el equipo y herramientas necesarias para la correcta ejecución del trabajo. Así como indirectos, la utilidad del contratista y los cargos contractuales que se estipulen. La unidad de medición será el metro cuadrado compactado, con aproximación de dos decimales. Para efecto de pago se medirá según líneas de proyecto.
- p) Construcción de carpeta de concreto asfáltico, con agregado máximo de 20 mm., Compactada al 95% de su densidad teórica máxima. Compactada al 90% de su densidad teórica máxima; espesores entre 2.5 y 10 cm. Compactada al 95% de su densidad teórica máxima; espesores entre 2.5 y 10 cm.

### **VI.3 CONCEPTOS DE TENDIDO DE CARPETA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLIMEROS**

Antes de conocer los conceptos de tendido de una carpeta con polímeros, se debe tener en cuenta los siguientes aspectos importantes:

Para la construcción de una carpeta asfáltica modificada con polímeros, se debe saber que los conceptos más importantes son el de la producción, transporte, tendido y compactado.

- 1.-Durante el proceso de producción se debe tener especial cuidado en la temperatura de mezclado y el sistema de dosificación del cemento asfáltico, ya que al tener una mayor viscosidad puede variar la calibración de los equipos de suministro y medición.
- 2.-La temperatura típica de mezclado recomendada fluctúa entre 150° C y 180° C, lo que dependerá de las condiciones de cada obra en particular (temperaturas ambientales, distancia de acarreo, equipo de tendido, etc.) y la capacidad de la planta de asfalto.
- 3.-En función de la logística y requerimientos que se tengan, la mezcla asfáltica se puede transportar en camiones usados para mezcla asfáltica convencional, sin embargo es recomendable que estos camiones se encuentren limpios, para no diluir el producto y perder alguna de sus propiedades de alto rendimiento
- 4.-El tendido de la carpeta asfáltica modificada con polímeros se hace con equipo convencional y con los procedimientos tradicionales, a excepción de la temperatura requerida, normalmente los asfaltos modificados polimerizados requieren de temperaturas



## Tendido manual

- o) Construcción de carpeta de concreto asfáltico elaborado en planta y tendido manual. El precio unitario incluye: el suministro del concreto asfáltico en caliente en la planta del Departamento y materiales menores de consumo, carga del asfalto y su descarga adecuada para el tendido, tiempos de espera del vehículo de transporte, acarreo libre del primer kilómetro, manejos necesarios, mermas y desperdicios; la mano de obra para la preparación de la capa anterior, previa al tendido de la nueva capa, tendido uniforme del material a la temperatura apropiada, la compactación al 95% de su densidad máxima teórica hasta obtener el espesor mínimo y uniforme de carpeta, la preparación de juntas de construcción longitudinales y transversales cuñas necesarias, la eliminación de sobrantes y la limpieza final; el equipo y herramientas necesarias para la correcta ejecución del trabajo. Así como indirectos, la utilidad del contratista y los cargos contractuales que se estipulen. La unidad de medición será el metro cuadrado compactado, con aproximación de dos decimales. Para efecto de pago se medirá según líneas de proyecto.
  
- p) Construcción de carpeta de concreto asfáltico, con agregado máximo de 20 mm., Compactada al 95% de su densidad teórica máxima. Compactada al 90% de su densidad teórica máxima; espesores entre 2.5 y 10 cm. Compactada al 95% de su densidad teórica máxima; espesores entre 2.5 y 10 cm.

### **VI.3 CONCEPTOS DE TENDIDO DE CARPETA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLIMEROS**

Antes de conocer los conceptos de tendido de una carpeta con polímeros, se debe tener en cuenta los siguientes aspectos importantes:

Para la construcción de una carpeta asfáltica modificada con polímeros, se debe saber que los conceptos más importantes son el de la producción, transporte, tendido y compactado.

- 1.-Durante el proceso de producción se debe tener especial cuidado en la temperatura de mezclado y el sistema de dosificación del cemento asfáltico, ya que al tener una mayor viscosidad puede variar la calibración de los equipos de suministro y medición.
- 2.-La temperatura típica de mezclado recomendada fluctúa entre 150° C y 180° C, lo que dependerá de las condiciones de cada obra en particular (temperaturas ambientales, distancia de acarreo, equipo de tendido, etc.) y la capacidad de la planta de asfalto.
- 3.-En función de la logística y requerimientos que se tengan, la mezcla asfáltica se puede transportar en camiones usados para mezcla asfáltica convencional, sin embargo es recomendable que estos camiones se encuentren limpios, para no diluir el producto y perder alguna de sus propiedades de alto rendimiento
- 4.-El tendido de la carpeta asfáltica modificada con polímeros se hace con equipo convencional y con los procedimientos tradicionales, a excepción de la temperatura requerida, normalmente los asfaltos modificados polimerizados requieren de temperaturas

elevadas para su manejo y construcción de la mezcla en caliente, normalmente se entrega en planta a una temperatura entre 155° C y 180° C., lo que dependerá de las condiciones de cada obra en particular, es recomendable recircular o no mantener en reposo el producto para evitar el sobrecalentamiento del asfalto en alguna zona específica y para tener un aprovechamiento energético óptimo al distribuir de una mejor manera la temperatura.

5.-El punto crítico para determinar las temperaturas de trabajos (mezclado y tendido) de una mezcla asfáltica, es la manejabilidad del concreto asfáltico durante el proceso de compactación, la cual debe fluctuar entre los 135° C y 155° C.

Teniendo en cuenta los aspectos anteriores, los conceptos de tendido de carpeta asfáltica modificada con polímeros son los siguientes:

- q) Construcción de carpeta de concreto asfáltico modificado con polímeros, de acuerdo a los requerimientos de obra (temperatura de mezclado, tipo de polímero, concentración de polímero y grado del asfalto), elaborado en planta y tendido con máquina.- El precio unitario incluye; el suministro de planta, del concreto asfáltico en caliente modificado con polímeros a una temperatura de entre 155°C a 180°C y materiales menores de consumo, carga del asfalto y sus descarga adecuada para el tendido, tiempo de espera del vehículo de transporte, acarreo al primer kilómetro, manejos necesarios, mermas y desperdicios; la mano de obra para la preparación de la capa anterior, (si es el caso) previa al tendido de la nueva capa, tendido del material a la temperatura de entre 150°C a 180°C y compactación al 95% de su densidad máxima teórica y a la temperatura de entre 135°C a 155°C , según corresponda para cada sistema en particular, preparación de juntas longitudinales y transversales, afine de la carpeta terminada, el recorte de cuñas necesarias, eliminación de sobrantes y la limpieza final; el equipo y herramientas necesarias para la correcta ejecución del trabajo. Así como indirectos, la utilidad del contratista (en su caso), y los cargos contractuales que se estipulen. La unidad de medición será el metro cuadrado compactado, con aproximación de dos decimales.
- r) Construcción de carpeta de concreto asfáltico modificada de polímeros, elaborado en planta con agregado máximo de 20 mm. Y su acarreo en el primer kilómetro. Compactada al 90% de su densidad teórica máxima; espesores entre 2.5 y 10 cm. Compactada al 95% de su densidad teórica máxima; espesores entre 2.5 y 10 cm.
- s) Sobre acarreo, por cada estación de un kilómetro, posteriores al acarreo libre, en camión de concreto asfáltico, la unidad de medición es el m<sup>3</sup>/km.

Como ejemplo ilustrativo para relacionar estos conceptos con su volumetría, se propone la construcción de un tramo de carpeta asfáltica, mediante asfalto modificado con polímeros, el área a construir tiene una longitud de 1000.00 y un ancho de 8.00 m.

La carpeta será de un espesor de 10.0 cm. aplicada sobre una base estabilizada con espesor de 20.0 cm, la cual se formó con la recuperación del pavimento deteriorado, en un espesor de 10.0 cm. y la incorporación de agregado con calidad de base sin finos y de emulsión asfáltica tipo RT-3K.

El asfalto modificado será transportado una distancia de 25 kilómetros desde el sitio de fabricación, al sitio de obra, así como la emulsión asfáltica Tipo RT-3K.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
Trazo y nivelación para vialidad, con equipo de topografía, incluye materiales para su señalamiento.	m <sup>2</sup>	8,000.00
Barrido de base previo al riego de impregnación.	m <sup>2</sup>	8,000.00
Riego de impregnación con emulsión asfáltica, el precio unitario incluye el suministro del asfalto rebajado, la carga al vehículo de transporte, el tiempo de espera, el acarreo libre de un kilómetro, el riego, las mermas, y desperdicios; la mano de obra necesaria para la preparación previa de la capa anterior al riego para efectuar la liga adecuada y la protección a las estructuras o parte de ellas que lo requieran, retiro de desperdicios y limpieza final; el equipo y herramienta necesarios para la correcta ejecución del trabajo. Así como los indirectos, la utilidad del contratista y los cargos contractuales que se estipulen. La unidad de medición será el litro con aproximación de dos decimales. Para efecto de pago se medirá según líneas de proyecto.	litro	8,000.00
Acarreo kilómetros subsecuentes, de emulsión asfáltica para impregnación, la unidad de medición es el m <sup>3</sup> /km. 25 kms.	m <sup>3</sup> /km.	200.00
Construcción de carpeta de concreto asfáltico modificado con polímeros, elaborado en planta con agregado máximo de 20 mm. de espesor, de acuerdo a los requerimientos de obra (temperatura de mezclado, tipo de polímero, concentración de polímero y grado del asfalto), elaborado en planta y tendido con máquina.- El precio unitario incluye: el suministro de la planta del concreto asfáltico en caliente modificado con polímeros a la temperatura de entre 155°C a 180°C y materiales menores de consumo, carga del asfalto y su descarga adecuada para el tendido, tiempos de espera del vehículo de transporte, acarreo libre del primer kilómetro, manejos necesarios, mermas y desperdicios; la mano de obra para la preparación de la capa anterior, si es el caso, previa al tendido de la nueva capa, tendido del material a la temperatura de entre 150°C a 180°C y compactación al 95% de su densidad máxima teórica y a la temperatura de entre 135°C a 155°C, según corresponda para cada sistema en particular, preparación de juntas longitudinales y transversales, afine de la carpeta terminada, el recorte de cuñas necesarias, eliminación de sobrantes y la limpieza final; el equipo y herramientas necesarias para la correcta ejecución del trabajo. Así como indirectos, la utilidad del contratista (en su caso), y los cargos contractuales que se estipulen. Carpeta de concreto asfáltico modificado con polímeros, de 10 cm. de espesor, con carga y acarreo al primer kilómetro.	m <sup>2</sup>	8,000.00
Sobre acarreo, por cada estación de un kilómetro, posteriores al acarreo libre, en camión de concreto asfáltico. 25 kms.	m <sup>3</sup> /km.	20,000.00



## CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

Las principales razones para modificar asfaltos con polímeros son la mejora de la resistencia a la deformación permanente o “rutting” que se da en el pavimento ocasionada por las altas temperaturas y/o cargas altas o lentas que generalmente se dan en climas calientes, zonas de tránsito pesados y zonas de estacionamiento.

El asfalto modificado mejora también la resistencia a la fractura permanente, ocasionadas por las fuerzas derivadas de bajas temperaturas o cargas aplicadas rápidamente (frecuencias altas), así como a los factores de tráfico que se han incrementado produciendo cargas más pesadas, más altos volúmenes de tránsito y más altas presiones de inflado de las llantas.

Mejora su desempeño a altas temperaturas, reduce la viscosidad a las temperaturas de aplicación, no se reblandece a bajas temperaturas, no se fractura, aumenta la estabilidad y resistencia de las mezclas con agregados, mejora la resistencia a la abrasión de las mezclas, la resistencia a la fatiga de las mezclas, la resistencia a la oxidación y el envejecimiento, reduce el adelgazamiento estructural del pavimento, el asfalto adquiere mayor flexibilidad y aumenta la vida útil del pavimento, y esto ayuda a los diferimientos de mantenimiento debido a recortes de presupuesto y reduce significativamente los costos de mantenimiento, así como los altos costos en la construcción de pavimentos que han creado la tendencia de reducir los espesores de las carpetas, reduciendo también la vida de servicio y presiones ambientales y económicas para la disposición de desperdicios industriales.

Al mejorar la resistencia a las roderas, el agrietamiento térmico, el daño por fatiga, la fluencia y la susceptibilidad térmica, se permite que los asfaltos modificados con polímeros sustituyan a los asfaltos convencionales virtualmente en todas las aplicaciones de pavimentación y mantenimiento, incluyendo mezcla en caliente, mezcla en caliente tendida en frío, mezcla en frío, riegos de sello, sellado de grietas, bacheo, reciclados y sellos tipo slurry. Es decir, se utilizan donde se requiere un mejor desempeño y una mayor durabilidad, seleccionándose para reducir los costos de los ciclos de vida de los proyectos.

Por otra parte, los asfaltos modificados con polímero permiten el uso de prácticas que anteriormente no se utilizaban, como es la micro carpeta, carpetas delgadas como superficie de rodamiento (Open Graded / S.M.A.) o el uso de riegos de sello en carreteras de alto tráfico. También, se ha encontrado que para lograr muchos de los distintos grados de asfalto especificados en el sistema Superpave, se requiere un proceso de modificación con polímeros, para así cumplir con los requerimientos de resistencia a altas temperatura, para evitar roderas, y a bajas temperaturas, para mayor flexibilidad.

## ***Bibliografía***

Plascencia, Nicolás  
“ Conservación y pavimentos”  
Centro de Actualización Profesional  
Colegio de Ingenieros Civiles

López Zenteno, Luis Martín  
Hernández Plata, Francisco  
“ Modificación de Asfalto (Generalidades)”  
Asociación Mexicana del Asfalto A.C.

Cisneros Rached, Moisés  
“Modificación de asfaltos con polímeros SBS”  
Industrias Negromex, I N S A.

Limón Limón, Luis Guillermo  
“Modificación de asfaltos con polímeros”  
KOTCH Materials, México.

López Zenteno, Luis Martín  
“Asfaltos modificados con polímeros”  
Asociación Mexicana del Asfalto A.C.

Becker Ivonne  
Rodríguez, Yhajaira  
“Asfaltos modificados con polímeros”  
Estado del arte y perspectivas  
1er. Congreso Venezolano del Asfalto.

## ***Referencias***

Laboratorio de Suelos, Facultad de Ingeniería U.N.A.M.  
“Muestreo y pruebas de materiales para revestimientos, sub-bases y bases de pavimento”

Segundo Congreso Mexicano del Asfalto, Agosto 2001  
“La importancia de la calidad de los asfaltos”  
Asociación Mexicana del Asfalto A.C.