

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGON.

**ASPECTOS GENERALES PARA  
SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y  
TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS  
ESPECIFICACIONES DE LOS  
MATERIALES Y SUS APLICACIONES.**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL.**

**PRESENTA:**

**RICARDO HERNANDEZ BARRAGAN**

ASESOR DE TESIS:

ING. GABRIEL ALVAREZ BAUTISTA.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

## **AGRADECIMIENTOS:**

PARA EL INGENIERO GABRIEL ALVAREZ BAUTISTA. MI ASESOR Y AMIGO.

PARA LA INGENIERA KARLA IVONE. MI CONSEJERA

PARA MIS SINODALES

PARA CASTAÑEDA LUCERO ALMA DENISS. MI NOVIA

PARA HIPOLITO HERNANDEZ ZAMORA Y PATRICIA BARRAGAN MANZO.  
MIS PADRES

PARA EL ING. OSCAR M. BOLAÑOS MACIAS. MI AMIGO.

**ESTE TRABAJO DE TESIS LO DEDICO A MIS PADRES  
EL SR. HIPOLITO HERNANDEZ ZAMORA Y LA SRA.  
PATRICIA BARRAGAN MANZO, YA QUE SIN ELLOS,  
ESTO NO PODRIA EXISTIR; ESTE LOGRO NO ES MIO,  
EN REALIDAD ES DE ELLOS.**

## **CONTENIDO.**

### **INTRODUCCIÓN.**

**I LA COMPACTACION.**

**II CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS.**

**III MORFOLOGÍA DE LOS PAVIMENTOS.**

**IV DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA.**

**V INNOVACIONES DEL PAVIMENTO FLEXIBLE.**

**VI METODOS DE PRUEBAS ESPECIALES PARA ASFALTOS MODIFICADOS.**

**VII CONCLUSIONES.**

### **BIBLIOGRAFIA**

## INTRODUCCIÓN

La necesidad de compactar los suelos que habrían de integrar una obra de tierra fue uno de los primeros conocimientos empíricos que el constructor primitivo derivó de su experiencia; posiblemente por accidente, descubrió que los suelos compactados tienen un mejor comportamiento comparado con los sueltos. Indicios de estos son los bordos construidos en China antes de nuestra era, así como los erigidos en América por los Mexicanos en el siglo XV.

La compactación fue entonces generada como un medio para obtener obras más duraderas y con mejores propiedades mecánicas.

Como consecuencia del auge en la construcción de obras de tierra, en la tercera década del siglo XX se iniciaron los esfuerzos por racionalizar la compactación en varias partes del mundo, principalmente en los Estados Unidos de Norteamérica. Estas investigaciones condujeron al establecimiento de métodos para la especificación y la verificación de los trabajos de campo, mediante el uso de patrones de compactación en el laboratorio. Estos patrones se fijaron, naturalmente, atendiendo a las necesidades específicas y a los procedimientos de construcción de la época. A partir de ese momento se observa la tendencia a referir todo trabajo de compactación a aquellos patrones, independientemente de los requerimientos particulares de la obra. Ello implica proceder como si la compactación fuese un fin en sí misma, independiente de las características de la estructura para construir, y no solo un medio para lograr las propiedades mecánicas adecuadas, como lo sabían ya los primeros constructores de presas.

Actualmente aún persiste la idea de que la compactación consiste en: “incrementar el peso volumétrico del material por medios mecánicos y que a mayor peso volumétrico mejor obra se está ejecutando”.

Esto desde luego en términos generales no es cierto ya que dentro del comportamiento mecánico de los suelos intervienen otras variables como se comentará mas adelante.

La parte más importante de cualquier infraestructura de tránsito es el pavimento, este puede garantizar el tránsito rápido, cómodo y seguro.

En todas las naciones se están realizando esfuerzos cada vez más intensos para diseñar, construir y conservar mejor sus pavimentos en algunas naciones de bajos recursos como México y algunas repúblicas

latinoamericanas con caminos poco transitados necesitan intervenir tiempo y diseño sobre todo sin gastarlo. Innecesariamente en pavimentos más resistentes de lo necesario para mantener en óptimas condiciones sus infraestructuras por 20 años de vida.

Los caminos se construyen y conservan a través de un ciclo de continuo mejoramiento, el diseño de un camino empieza por la necesidad de comunicación entre poblados, estados y ciudades.

El caso del asfalto se conoce hace más de 50 siglos. Los Asirios, los Egipcios y los Persas lo usaron para hacer vasos y esculturas o para decorarlos y siglos antes de la era Cristiana ya se utilizaba el asfalto como aglutinante, existiendo numerosas inscripciones en Babilonia que mencionan muros y pavimentos de ladrillo pegados con asfalto.

Durante mucho tiempo se abandono al parecer el uso de este producto y la noticia más antigua que se tiene del mismo, es su utilización para construcción de caminos de un tipo similar al cemento asfalto hechos por los Incas en el Perú hacia el año de 1500.

Vuelve a dejarse abandonado el asfalto más de 300 años, hasta que su aplicación en los pavimentos se usa en Paris en 1835 para las banquetas, las cuales fueron ejecutadas en rocas asfálticas del val transvers en Suiza.

A mediados del siglo se usa en Inglaterra y los Estados Unidos y a fines del mismo ya se usaba en escala bastante importante para fijar y eliminar el polvo en los caminos.

Los estudios generales a través del tiempo y la investigación que en la actualidad se esta llevando a cabo, revisando, comparando y unificando criterios basados en lo establecido por las normas de la secretaria de comunicaciones y transportes, referentes a la ejecución del proyecto y construcción de carreteras de pavimentos flexibles y específicamente a lo concerniente a las mezclas y carpetas asfálticas.

Para la buena ejecución de proyecto de carreteras es indispensable que nosotros como profesionales en la carrera de ingeniería civil, conozcamos a fondo las normas que rigen la ejecución de estos proyectos, de igual forma conocer la teoría y alcances de los mismos. Entendiendo el crecimiento del país y específicamente la construcción de carreteras de pavimentos flexibles.

En la actualidad las carreteras son superficies de forma y dimensiones especialmente estudiados para facilitar el desplazamiento de los vehículos. Estas superficies deben de estar acondicionadas de tal forma, que el desplazamiento de los vehículos pueda realizarse con comodidad, seguridad y economía, sin que el camino sufra deterioro apreciable en plazos de tiempo suficientemente amplios, brindando un servicio óptimo aceptable.

Es necesario el tener en cuenta que el camino debe ser capaz de soportar las cargas ocasionadas por el tránsito, sin que se produzcan movimientos ni en su superficie ni en ninguna de las capas situadas por debajo de ella, porque un movimiento en cualquiera de estas capas repercutirá en la superficie.

Los materiales empleados en la construcción de caminos desde el comienzo de la historia han sido muy variados. Actualmente los caminos suelen ser de tierra, de concreto hidráulico o de diversas combinaciones de estos materiales con materiales asfálticos, por ende la necesidad de su estudio y conocimiento.





## I LA COMPACTACION

Existe una definición que considera a la compactación como un medio para alcanzar el objetivo principal de los antiguos constructores la siguiente:

*“Compactación es el proceso, por medios artificiales, con el cual se pretende obtener mejores características en los suelos, de tal manera que la obra resulte duradera y cumpla con el objetivo para el que fue proyectada”*

Las características que se pretende mejorar con la compactación son:

- a).- Resistencia
- b).- Compresibilidad
- c).- Relación esfuerzo – deformación.
- d).- Permeabilidad
- e).- Flexibilidad
- f).- Resistencia a la erosión

Las tres primeras son por lo general requeridas en cualquier obra, en obras se busca además una adecuada permeabilidad y una buena flexibilidad. Y por último una consecuencia del proceso de compactación es favorecer la resistencia a la erosión del suelo compactado.

Es importante anotar que en cada caso particular la relación entre estas características es diferente, por lo que propiedades que son deseables en una obra pueden ser menos importantes en otra. Por lo tanto se puede decir que el obtener una buena compactación implica la obtención de la relación idónea de las características antes anotadas en el suelo procesado.



## EFFECTOS DE LOS DIFERENTES FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA COMPACTACION

- Efectos del contenido de agua.

a).- En el peso volumétrico seco.

Es un hecho empírico que la eficiencia de cualquier proceso de compactación depende del contenido de agua del suelo. La forma de dicha dependencia es la mostrada por cualquiera de las curvas experimentales Vs.

El peso volumétrico seco resultante de la compactación es tanto mayor cuanto menor es la diferencia entre el contenido de agua de compactación y el contenido de agua óptimo, y alcanza un máximo para dicho óptimo.

b).- En el grado de saturación.

El efecto del contenido de agua en el grado de saturación  $G_w$  de un suelo compactado también puede verse de inmediato en el diagrama Vs. W para cualquier par de valores y W,  $G_w$  puede calcularse mediante la expresión:

$$G_w (\%) = W (S) Y_d / Y_w + Y_d / s_s (100)$$

En que  $Y_w$  es el peso volumétrico del agua y  $s_s$  la densidad de los sólidos. La misma ecuación permite dibujar las curvas de  $G_w$  constante que se muestra en la **fig. 1**, siendo constantes las otras condiciones.

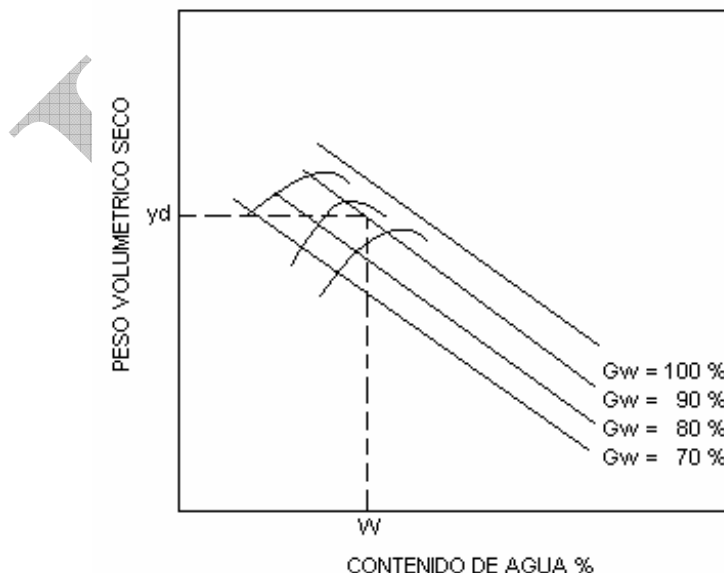


Fig. 1 Curvas de la densidad de sólidos, respecto a su peso volumétrico relacionado con el contenido de humedad.



Se ve que el grado de saturación disminuye rápidamente al disminuir el contenido del agua por debajo del óptimo, y que el grado de saturación de muestras compactadas con contenido de agua superior al óptimo es casi constante y relativamente alto.

.- Efectos de la energía de compactación.

a).- En el peso volumétrico seco

La **fig. 1** muestra un conjunto de curvas de compactación de un mismo suelo con el mismo procedimiento pero diferentes energías de compactación. Se ve al aumentar la energía de compactación que las curvas se desplazan hacia arriba y hacia la izquierda, es decir, aumenta el peso volumétrico seco máximo y disminuye el contenido de agua óptimo. Puede observarse también que el incremento de peso volumétrico seco que se logra con cierto aumento en la energía de compactación es tanto mayor cuanto menor sea el contenido de agua del suelo, de modo que cualquier incremento de energía aplicado a un suelo con contenido de agua superior al óptimo se “gasta” en deformar angularmente, pero no reducir el volumen del suelo. Esto se debe a que un suelo con contenido de agua superior al óptimo es más deformable y su fase fluida menor comprensible (por su bajo contenido de aire).

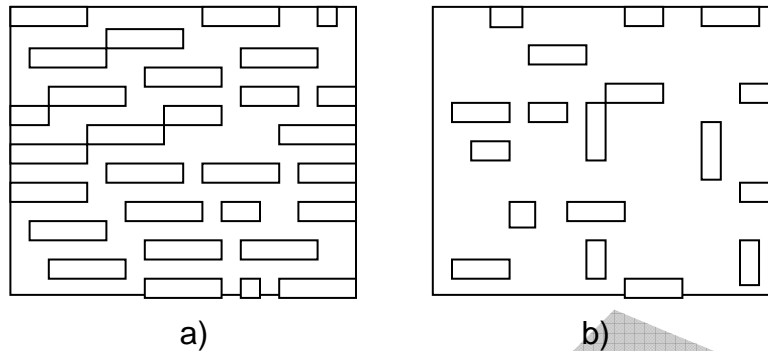
b).- En el grado de saturación.

Como el proceso de compactación en suelos finos (poco permeables) se realiza a contenido de agua constante, todo aumento de peso volumétrico seco logrado por incremento de la energía de compactación da lugar a un aumento bien determinado del grado de saturación. Por tanto un suelo compactado con cierto contenido de agua resultará con un grado de saturación tanto más alto cuando mayor sea la energía empleada en la compactación, excepto para contenidos de agua superiores al óptimo, para los que todo intento de compactación adicional involucra un proceso muy ineficiente, por las razones señaladas en el párrafo anterior.

c).- En la estructura.

Toda energía aplicada a un suelo durante la compactación se gasta en: 1) reducir su volumen, 2) inducirle deformaciones angulares. Por tanto el grado de orientación adicional de las partículas de un suelo arcilloso, inducido por un incremento en la energía de compactación es una función creciente del contenido

de agua. Por lo señalado en los dos párrafos anteriores, si el contenido de agua de compactación es superior al óptimo, toda la energía adicional aplicada será empleada en acercar la estructura del suelo a la condición extrema a) de la Fig. 2



**Fig. 2** Estructuras extremas de un suelo arcilloso: a) alto grado de orientación de partículas. b) bajo grado de orientación de partículas.

### 3.- Efectos en el método de compactación.

Al tratar de métodos de compactación diferentes no es posible hacer comparaciones a igual energía de compactación, a causa de los factores imponderables que influyen en la eficiencia del proceso de compactación y en la magnitud misma de la energía aplicada al suelo. Interesa sin embargo, saber cual es la diferencia resultante de compactar un mismo de suelo a  $W$  y  $d$  dados por dos procedimientos diferentes. En tales condiciones, cualquier diferencia de propiedades solo puede deberse a una diferencia en la magnitud de las deformaciones angulares inducidas por el método de compactación.

Por tanto a igualdad de  $W$  y de  $Y_d$ , el máximo grado de orientación de las partículas se lograría, en el laboratorio, mediante compactación por amasado y el mínimo por compactación estática; la compactación por impactos daría resultados intermedios. En el campo, la compactación con rodillo pata-de-cabra produce un grado de orientación de partículas ligeramente mayor que el rodillo neumático.

Por otra parte, una diferencia muy conocida entre los resultados de las pruebas de compactación por amasado y por impactos en el laboratorio es que el lugar geométrico de los óptimos corresponde a grados de saturación mayores en la primera que en la segunda prueba mencionada.



El orden de magnitud de dicha diferencia para una arcilla arenosa bien graduada y poco plástica es menor que para suelos más plásticos.

#### 4) .- Efectos de la fracción gruesa.

El efecto principal de la fracción gruesa de un suelo en los resultados de la compactación se manifiesta principalmente en el peso volumétrico seco. En el efecto de la fracción gruesa en el peso volumétrico seco máximo de una mezcla bien graduada de arcilla, arena y grava, se ve que el peso volumétrico seco máximo aumenta y hasta cierto límite al aumentar de porcentaje de fracción gruesa, para después decrecer. Puede decirse que mientras la fracción fina constituye una matriz dentro de la cual las partículas gruesas no establecen cadenas continuas, el peso volumétrico seco máximo aumenta con el porcentaje de gruesos, ocurriendo lo contrario a partir del momento en que la fracción gruesa forme una estructura continua.

Si al contenido de gruesos constante, se cambia la granulometría de la fracción gruesa, el peso volumétrico máximo aumenta sistemáticamente al mejorar la distribución granulométrica de la fracción gruesa. Por esta razón es inadecuado el procedimiento de compactación de laboratorio en el que la fracción retenida en cierta malla (generalmente la de  $\frac{3}{4}$ " ) se sustituye por el mismo peso de material que pasa por aquella malla y es retenido en la No. 4. Los resultados de la compactación por tal método obviamente no son aplicables a la verificación de la compactación de campo.

El efecto de la fracción gruesa en la posición de la curva de óptimos es muy pequeño. De su influencia en la estructura no tienen evidencias claras; pero cabe esperar que no sea muy importante.

## COMPACTACIÓN DE PROYECTO



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

El requisito de compactación se fija básicamente buscando el balance óptimo de las siguientes propiedades:

- 1.- Homogeneidad
- 2.- Características favorables de permeabilidad
- 3.- Baja compresibilidad para evitar el desarrollo de presiones de poro excesivas o deformaciones inaceptables. Este requisito es más importante a mayor altura del terraplén.
- 4.- Razonable resistencia al esfuerzo cortante
- 5.- Permanencia de las propiedades mecánicas en condiciones de saturación
- 6.- Flexibilidad para soportar asentamientos diferenciales sin agrietamiento.

El cumplimiento de la condición 1 depende sólo del equipo de compactación que se use y del buen control del proceso. El conjunto de los requisitos 3 y 4 es compresivo con los 5 y 6 y frecuentemente con el 2.

Dados el suelo y la energía de compactación de campo, la mejor solución al conflicto es la compactación con un contenido de agua muy próximo al óptimo de campo. Cuando uno de los grupos de requisitos en conflicto se considera más importante que el otro, debe mortificarse en el sentido que convenga las especificación del contenido de agua de compactación por ejemplo, si las condiciones 3 y 4 se consideran de mayor interés que las 5 y 6, debe especificarse un contenido de agua menor que el óptimo, y mayor, en caso contrario.

La condición 5 puede investigarse mediante pruebas de consolidación en que la muestra se someta a saturación bajo diversas cargas, así se llegara a un valor mínimo aceptable del contenido de agua de compactación.

Para estimar el máximo contenido de agua de compactación aceptable desde el punto de vista de las condiciones 4 y 5 se pueden realizar pruebas triaxiales sin consolidación ni drenaje, con mediación de los coeficientes de presión de A y B. El contenido de agua mínimo necesario para satisfacer la condición 6 solo se puede estimar cualitativamente, pues por ahora no hay disponible ninguna correlación entre el comportamiento probable del prototipo y las propiedades esfuerzo deformación de los suelos.

Al especificar el mínimo peso volumétrico seco debe considerarse sobre todo la experiencia acumulada en la construcción de obras similares.

En rigor el requisito de compactación se fija en términos del equipo que se vaya a usar, del resultado que se espera obtener o para una combinación de



ambas cosas. Para la formulación de un requisito se requiere de un conocimiento detallado de la sensibilidad del suelo a condiciones de éstas, el contenido de agua es probablemente lo que más influye y el número de veces en el requisito de compactación se omite toda referencia al contenido de agua y entonces tal especificación puede cumplirse en un intervalo de contenidos de agua, ajustando al tiro de equipo de empleo. Pero en tal caso, el suelo que se compacte debe tener también una amplia variedad de comportamientos, independientemente de que se alcance al mismo peso volumétrico seco.

### PRUEBAS DE LA COMPACTACION

En la construcción de terracerías sería ideal poder medir la resistencia del suelo para determinar cuando se ha alcanzado la resistencia necesaria, pero el equipo para medir esta resistencia (especialmente esfuerzos de compresión y cortante) es difícil de manejar, es caro y no es aplicable a todos los suelos.

R. R. Proctor estableció que hay una correspondencia entre el peso volumétrico seco de un suelo compactado y su resistencia. El equipo para hacer pruebas de compactación en la obra es un equipo económico y sencillo. Proctor estándar es una prueba que consiste en:

- 1.- Se toma una muestra representativa del suelo a compactar, de humedad conocida.
- 2.- Se toma un cilindro de 4" de diámetro  $\times$  4" de altura, se llena en tres capas.
- 3.- Cada cara se compacta con 25 golpes de un martillo de 2.5 Kg. Con un área de contacto de  $20 \text{ cm}^2$ , el que se deja caer de 35 cms. de altura. Todo esto con el objeto de siempre dar al material la misma energía de compactación.

A continuación en la fig. 3 se esquematiza el martillo, el molde y la distancia entre ambos para aplicar la energía de compactación.

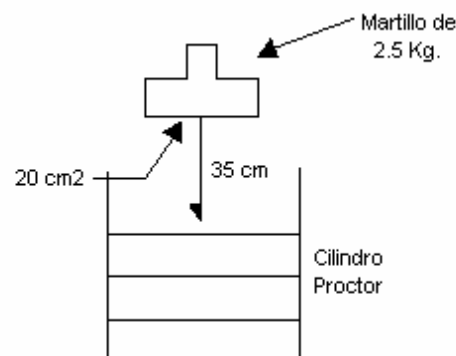
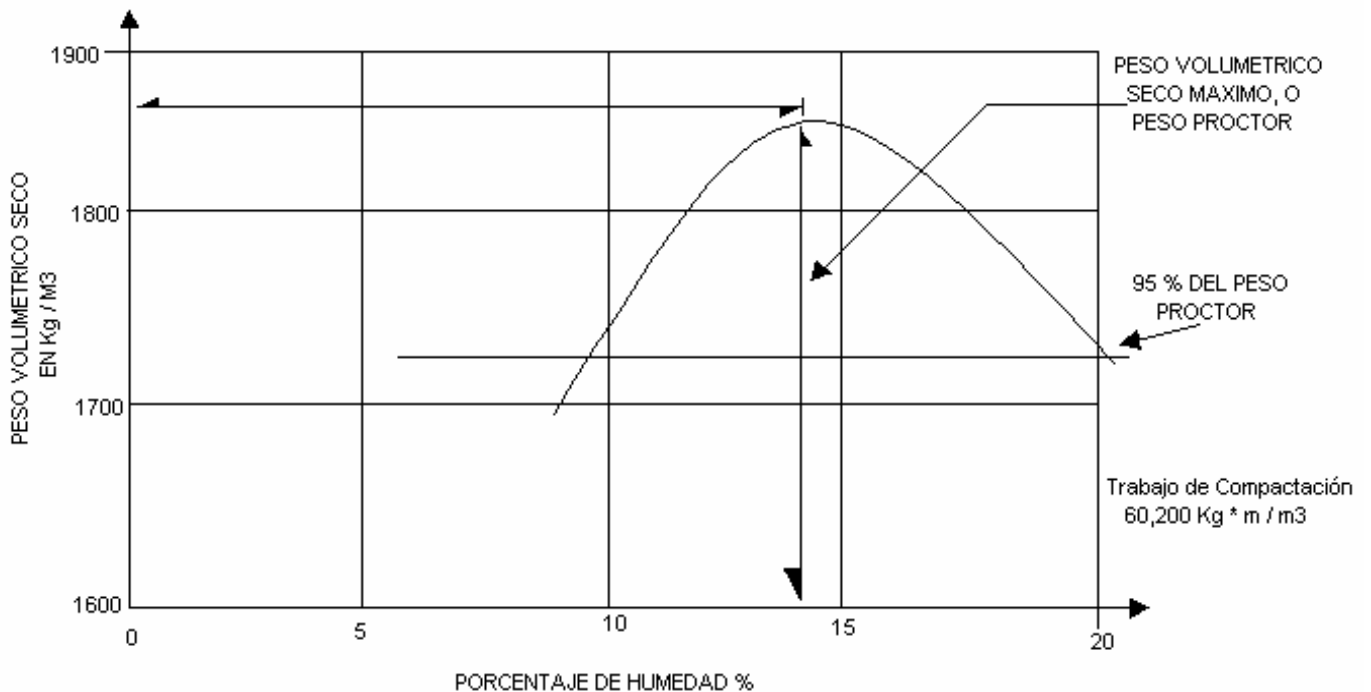


Fig. 3 Esquema de aplicación de energía de compactación en la muestra.

4.- Se pesa el material y como el volumen es conocido se calcula el peso volumétrico húmedo, simplemente dividiendo el peso del material entre su volumen. Como la humedad es conocida, se resta el peso del agua y se obtiene el peso volumétrico seco para esa humedad.

5.- Se repite la prueba varias veces, variando cada vez el grado de humedad, con lo que se obtienen pares de valores Humedad – Peso volumétrico seco.

Con estos pares de valores se dibuja una gráfica:



Puede observarse que hay un cierto contenido de humedad para el cual el peso volumétrico es máximo, este peso se conoce como: “Peso volumétrico seco máximo” (P.V.S.M.), ó peso Proctor, y el contenido de humedad como humedad óptima.

El diseñador entonces especifica el porcentaje del peso proctor que debe obtenerse en la construcción del terraplén y la humedad óptima.

Por ejemplo: si el proyectista especifica 95% Proctor en el caso de la gráfica, SE TIENE P.V.S.M. = 1820 Kg/M3





$$95\% \text{ de P.V.S.M.} = 0.95 \times 1820 = 1729 \text{ Kg/M}^3$$

Es decir el constructor debe obtener un peso volumétrico seco de 1729 Kg/M<sup>3</sup> en ese material.

Debe hacerse notar que con un trabajo de compactación de 60,200 Kg. M/m<sup>3</sup>, sería imposible obtener el 95% proctor si el contenido de humedad estuviera abajo del 10% o arriba del 21%.

La razón de la existencia de un peso volumétrico máximo es que en todos los suelos, al incrementarse su humedad, se les proporciona un medio lubricante entre sus partículas, que permiten un cierto acomodo de estas cuando se sujetan a un cierto trabajo de compactación. Si se sigue aumentando la humedad, con el mismo trabajo de compactación, se llega a obtener un mejor acomodo de sus partículas y en consecuencia un mayor peso volumétrico, si se aumenta la humedad todavía, el agua empieza a ocupar el espacio que debería ocupar las partículas del suelo y por lo tanto comienza a bajar el peso volumétrico del material, para el mismo trabajo de compactación.

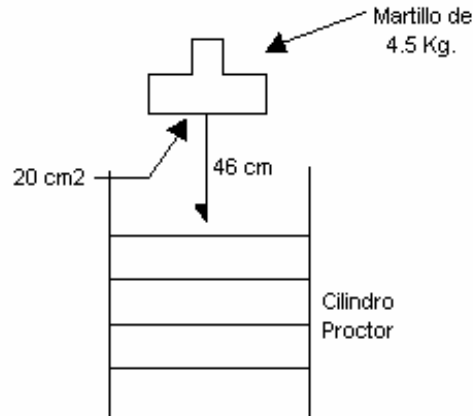
Por lo tanto, si se aumenta o disminuye la humedad será necesario aumentar el trabajo del equipo de compactación, lo que, en general no es económico. En caso de bajar la humedad el aumento del  $c$  puede provocar ruptura de partículas en suelos granulares, y en caso de aumentar la humedad el aumento de  $c$  puede dar  $d$ , superior al estándar con otras características distintas del supuesto por el proyecto.

### **PRUEBA PROCTOR MODIFICADA.**

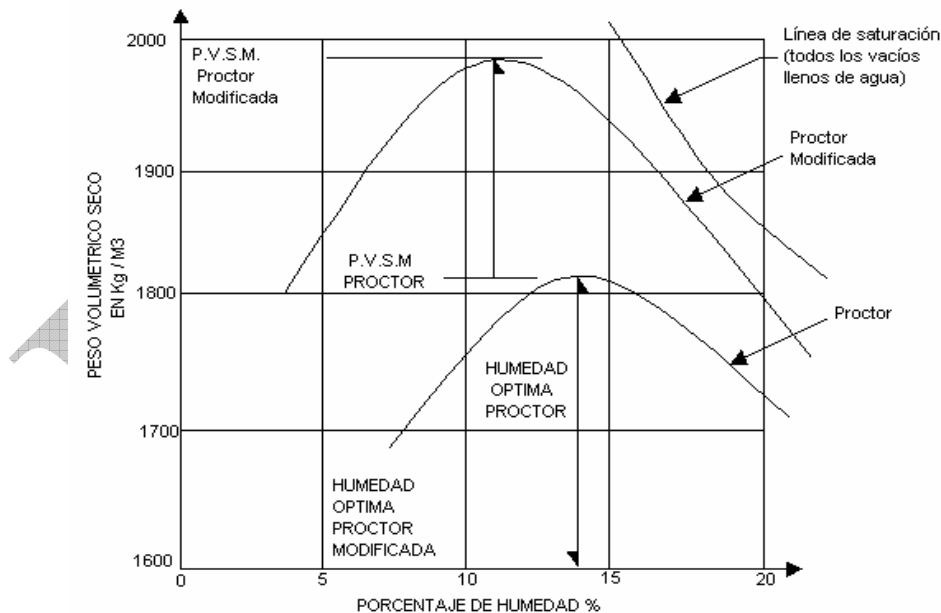
Conforme fueron aumentando las cargas sobre las terracerías por el uso de camiones y aeroplanos cada vez más pesados, se vio la necesidad de desarrollar mayores densidades y resistencias en muchos materiales usando mayor trabajo de compactación. Por esta razón se desarrolló la prueba Proctor modificada, en demanda de mejores densidades de materiales.

Para esta prueba se usa el mismo cilindro proctor, pero el material se compacta en 5 capas con un martillo de 4.5 Kg. Y cayendo de una altura de 46 cms. dando 25 golpes por capa, el trabajo de compactación se incrementa de 60.200 Kg.m/m<sup>3</sup> a 297,500 g.m/m<sup>3</sup>.

En todos los aspectos las dos pruebas son semejantes únicamente el trabajo de compactación se ha incrementado aproximadamente 4.5 veces.



La gráfica siguiente es un ejemplo de la prueba proctor y la prueba proctor modificada efectuadas en el mismo material.



Se infiere en esta gráfica, que aunque el trabajo de compactación se ha incrementado 4.5 veces, la densidad solamente se incrementó 9% y que la humedad óptima disminuyó 3%. Esto último es invariablemente cierto.



## PRUEBA PORTER

La prueba proctor modificada ha dado muy buen resultado en suelos cuyos tamaños máximos son de 10 mm. (3/8"); en suelos con partículas mayores, el golpe del martillo no resulta uniforme y por lo tanto la prueba puede variar de resultados en un mismo material.

Para obviar esta dificultad se ideó la prueba Porter que consiste en lo siguiente:

1. Se toma una muestra del material a probar y se seca.
2. Se pasa por la malla de 25 mm. (1") y se determina el porcentaje en peso retenido en la malla, si el porcentaje es menor del 15% se usará para la prueba el material que pasó la malla. Si el porcentaje retenido es mayor del 15% se prepara del material original una muestra que pase la malla de 1" y que sea retenida en la malla No. 4, de esta muestra se pesa un tanto igual el peso del retenido el que se agrega al material que pasó la malla de 1"; con este nuevo material se procede a la prueba.
- 3.- A 4 Kg. De la muestra así preparada se le incorpora una cantidad de agua conocida y se homogeniza con el material.
- 4.- Con este material se llena en tres capas, un molde metálico de 6" de diámetro por 8" de altura con el fondo perforado. Cada capa se pica 25 veces con una varilla de 5/8" (1-9 cms.) de diámetro por 30 cms. de longitud con punta de bala.
5. Sobre la última capa se coloca, una placa circular ligeramente menor que el diámetro interior del cilindro, y se mete el molde en una prensa de 30 tons.
6. Se aplica la carga gradualmente de tal manera que en 5 minutos se alcance una presión de 140.6 Kg/cm<sup>2</sup>, la cual debe mantenerse durante un minuto, e inmediatamente se descarga en forma gradual durante un minuto.

Si al llegar a la carga máxima no se humedece la base del molde, la humedad ensayada es inferior a la óptima.

7. Se prosigue por tanteos hasta que la base del molde se humedezca al alcanzar la carga máxima. La humedad de esta prueba es la humedad óptima. Se determina entonces el peso volumétrico seco de la muestra dentro del cilindro, a este peso se le conoce como el "Peso Volumétrico Seco máximo Porter", y que será el peso comparativo para el trabajo del campo.

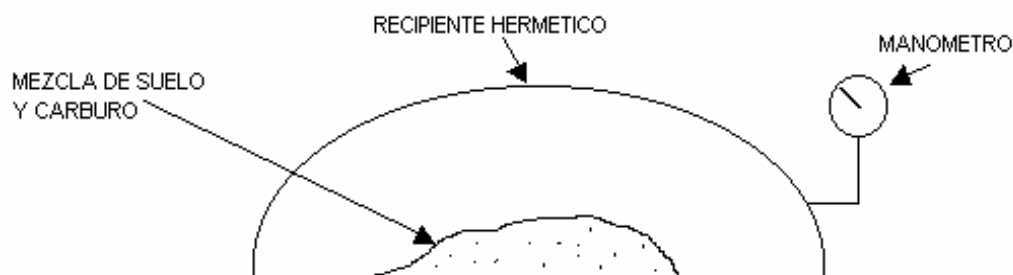
Por ejemplo si en la prueba Porter obtuvimos un “Peso de volumétrico Máximo” de 2.000 Kg/M<sup>3</sup> y el diseñador ha pedido el 95% Porter, en la cual se tiene que alcanzar un peso volumétrico seco de  $0.95 \times 2.000 = 1.900$ .

## METODOS DE CONTROL

Para medir en la obra si se ha alcanzado el peso volumétrico especificado hay dos métodos principales:

- a) Medida física de peso y volumen
- b) Mediciones nucleares.

En cualquiera de los métodos existentes el principal problema radica en la determinación de la humedad para poder calcular el peso volumétrico seco en función del peso volumétrico húmedo que es el que se obtiene en las pruebas de campo. Normalmente se calienta una parte del material hasta secarlo y por diferencia se obtiene la humedad, pero este método es lento y peligroso porque en algunos suelos se altera el peso volumétrico con el calentamiento, debido a la evaporación de partes orgánicas principalmente. Nunca debe llegarse a la calcinación que también puede alterar el peso volumétrico. Para evitar esto se han desarrollado últimamente algunos métodos entre los que destaca principalmente el denominado “Speedy”, que consiste en colocar un peso conocido de suelo mezclado con carburo de calcio dentro de un recipiente hermético provisto de un manómetro. El carburo reacciona con la humedad del suelo, produciendo acetileno y por lo tanto una presión que es registrada en el manómetro el que se puede inclusive graduar en gramos de agua, determinándose rápidamente de esta manera el porcentaje de humedad.



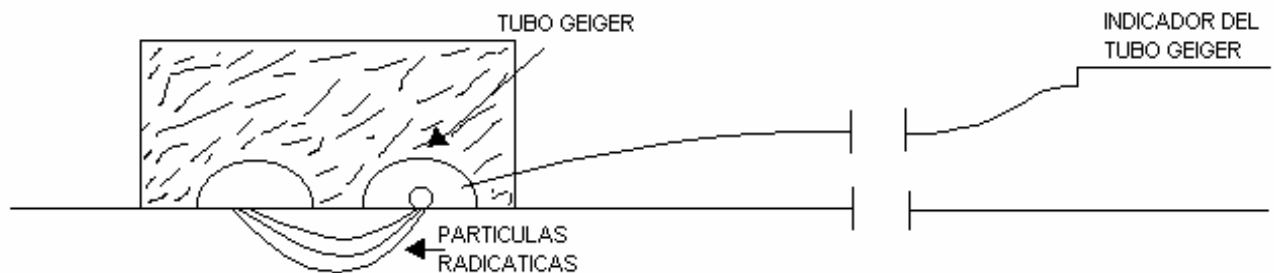
A continuación se exponen los dos métodos mencionados anteriormente para hacer las determinaciones.

La primera es la más exacta y consiste en:

- 1) Se excava un agujero de 10 a 15 cms. de diámetro a la misma profundidad de la capa por probar.
- 2) El material excavado es cuidadosamente recogido y pesado. Se seca para determinar la humedad y el peso volumétrico seco.
- 3) El volumen del agujero es medido. El método usado generalmente es llenándolo con una arena de peso volumétrico constante que se tiene en un recipiente graduado.
- 4) Conocidos el peso seco de la muestra y el volumen del agujero, se calcula el peso volumétrico de la muestra, que debe ser igual o mayor que el peso volumétrico seco especificado.

### PRUEBA DE MEDICION NUCLEAR

Para evitar el tiempo y costo que significa la prueba anterior se han ideado varios métodos, uno de ellos es el Método nuclear, que consiste en un bloque de plomo que contiene un isótopo radiactivo y un tubo geiger.



El bloque de plomo se coloca sobre la capa a probar, el número de partículas que llegan al tubo Geiger están en función de la masa del material que tienen que atravesar, es decir, es función del peso volumétrico, entonces las medidas del indicador debe compararse con otra medida hecha en una capa que tenga el peso volumétrico especificado.



Estos aparatos necesitan frecuentemente calibración, no siempre hay una indicación clara cuando el aparato no funciona bien y su exactitud varía con el tipo de suelo.

Estas desventajas sin embargo son despreciadas por los constructores en grandes trabajos de terracerías, pues el aparato le permite asegurar que una cierta capa ha sido compactada, prosiguiendo el trabajo de inmediato con la siguiente capa.

Tres o cuatro pasadas del equipo de compactación con frecuencia hacen llegar el material cerca del peso volumétrico especificado, tendiendo y compactando la siguiente capa se puede alcanzar la compactación especificada debido al esfuerzo de compactación que se transmite a través de la capa superior. Haciendo las pruebas en la segunda capa de arriba hacia abajo se pueden evitar pasadas innecesarias.

### **COMPACTACION Y COMPACTADORES.**

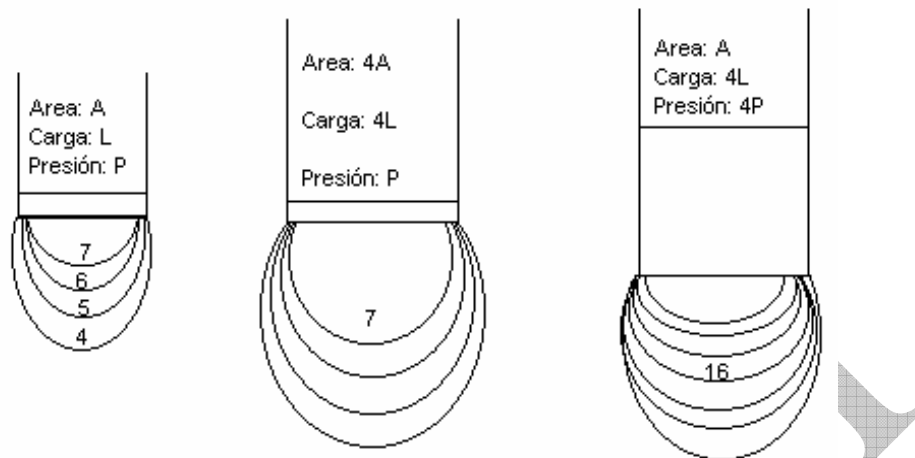
Los esfuerzos mecánicos empleados en la compactación, son una combinación de uno o más de los siguientes efectos:

- 1) Presión: La aplicación de una fuerza por unidad de área.
- 2) Impacto: Golpeo con una carga de corta duración, alta amplitud y baja frecuencia.
- 3) Vibración: Golpeo con una carga de corta duración, alta frecuencia y baja amplitud.
- 4) Manipulación: Acción de amasado, reorientación de partículas próximas, causando una reducción de vacíos.

De hecho, los cuatro son métodos de aplicar esfuerzos sobre un vacío.

Consideramos una placa rígida, circular de área "A", colocada sobre un suelo, a la que se aplica una carga L, dando una presión de contacto "P".

En el suelo se desarrollan presiones, si unimos los puntos de igual presión, se obtienen superficies llamadas bulbos de presión.



Se observa lo siguiente:

- 1) Si aumenta el tamaño de la placa pero la presión permanece constante incrementando la carga, la profundidad del bulbo de presión aumenta.
- 2) Si aumenta la presión y el área permanece constante: la profundidad del bulbo no aumenta significativamente, pero la presión y por tanto la energía de compactación, sí aumenta.

Si se considera un cierto equipo de compactación trabajando, capas de un determinado espesor.

De 1 y 2 se deduce que es necesario controlar el espesor de las capas para tener suficiente presión en el suelo para obtener la compactación deseada.

De 2 se deduce que no se puede aumentar significativamente el espesor de la capa de compactación simplemente lastrando excesivamente el equipo.

De 1 se deduce que para aumentar el espesor de la capa debemos cambiar el equipo por otro que tenga mayor superficie de contacto, aunque la presión permanezca constante.



La teoría de los bulbos de presión fue desarrollada por Boussinesq para un medio elástico. Para fines prácticos todos los suelos son plásticos y la teoría es razonablemente cierta aún para suelos granulares.

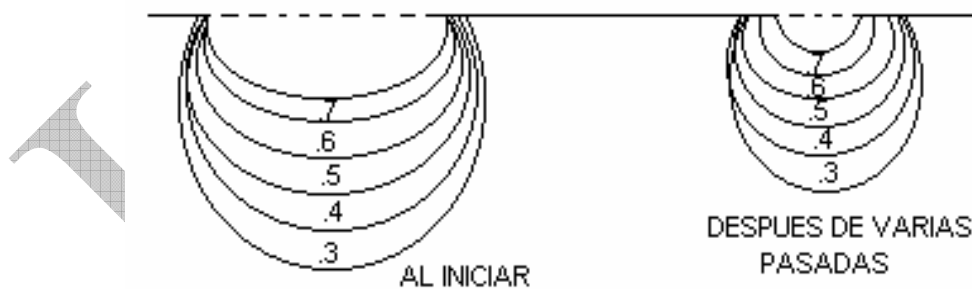
## TIPOS DE COMPACTADORES.

Hay una gran variedad de equipos de compactación, describiremos sus características básicas:

### 1) Rodillos Metálicos.

Un rodillo metálico utiliza solamente presión con un mínimo de manipulación en materiales plásticos.

Cuando estos rodillos inician la compactación de una capa el área de contacto es más o menos ancha y se forma un bulbo de presión de una cierta profundidad, conforme avanza la compactación, el ancho del área de contacto se reduce, y por lo tanto también se reduce la profundidad del bulbo de presión, aumentan los esfuerzos de compresión en la cercanía de la superficie. Estos son con frecuencia suficientes para triturar los agregados en materiales granulares, e invariablemente causan la formación de una costra en la superficie de la capa (encarpetamiento).



Bulbos de presión bajo un rodillo metálico.

Si a esto se agrega la costumbre de hacer riegos adicionales durante la compactación, para compensar la evaporación, en una capa donde la penetración del agua es difícil por la misma compacidad del material llegaremos a un estado





de estratificación de la humedad, en este momento la formación de la costra es inevitable.

También es costumbre más o menos generalizada, el sobre lastrar estos equipos, con un doble efecto negativo:

- a) El incremento de energía de compactación.
- b) La reducción del contenido de humedad.

De acuerdo con el comportamiento del suelo para estos cambios, deben esperarse altísimos pesos volumétricos que se aprecian como encarpetamientos con los defectos conocidos para esta condición.

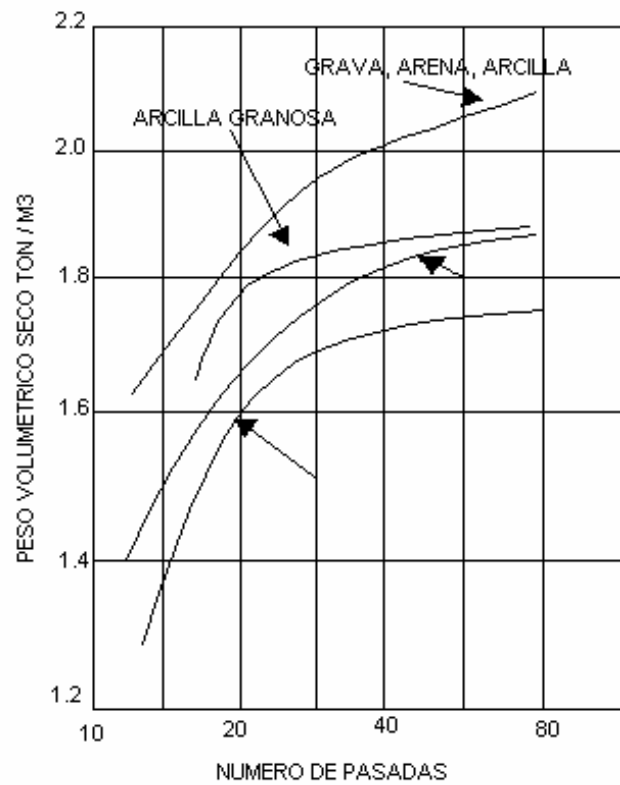
## 2) Rodillos de pata de Cabra.

Consiste en cilindros dentados con diferentes diseños de “pata”, fig. 4, trabajan en forma eficiente en materiales cohesivos y se dice que compactan de abajo hacia arriba, ya que al comenzar a transitar sobre el material suelto depositado, se hunden aplicando todo el peso en los niveles inferiores de la capa. Así al aplicar varias pasadas van aflorando porque el incremento de compactación permite que el equipo sea soportado por la capa, para el compactador de la última fracción de capa queda generalmente suelta y pasa a formar parte del espesor de la capa siguiente. Con lo anterior se consigue:

- a) Una compactación uniforme
- b) Una integración entre las capas compactadas, evitando estratificaciones indeseables.



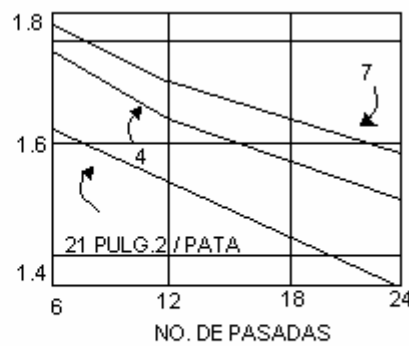
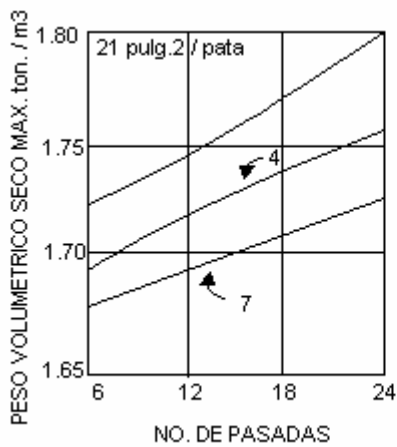
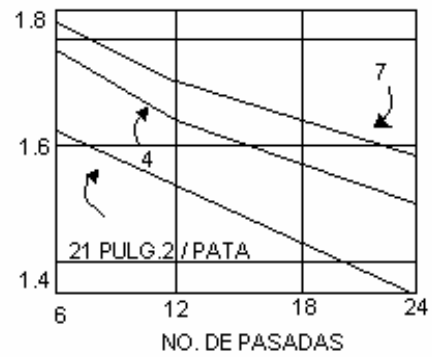
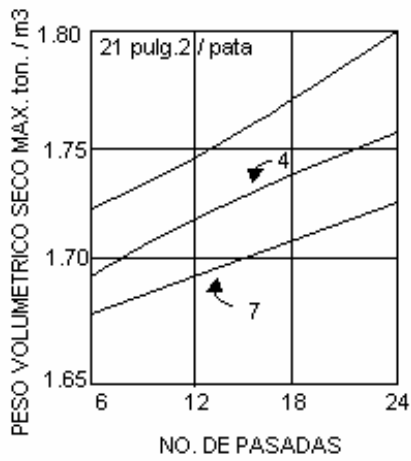
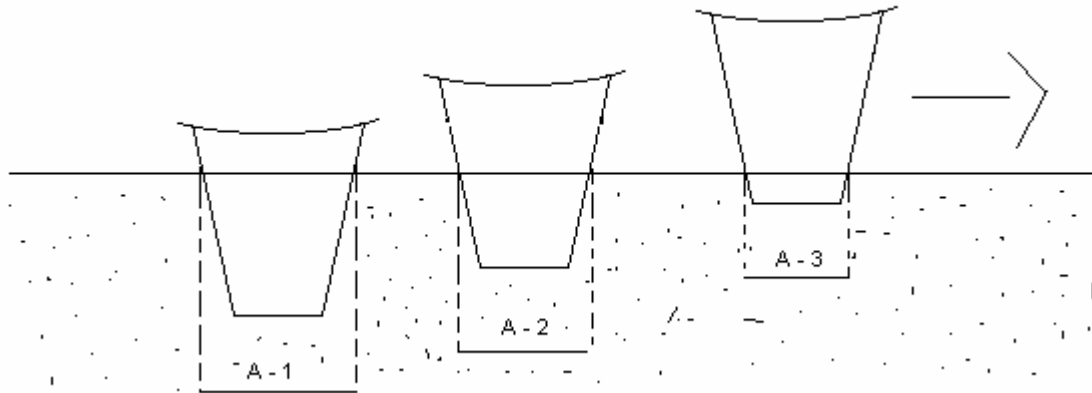
**fig. 4** Tipos usuales de patas de rodillos pata de cabra.



**Fig. 5** Compactación con rodillo pata de cabra del número de pasadas en el grado de compactación de diversos suelos. El número de pasadas, el tipo de material y el área de la pata, influye en el peso volumétrico obtenido así como en el contenido de humedad del material.



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.



**Fig. 6** Compactación con rodillo pata de cabra: efecto del área de contacto de las patas en el peso volumétrico seco y en el contenido de agua óptimo de campo.

### 3) Rodillos de Reja.

Este compactador fue desarrollado originalmente para disgregar y compactar rocas poco resistentes a la compresión, como rocas sedimentarias y algunas metamórficas, para hacer caminos de penetración transitables todo el año.

El rodillo transita sobre la roca suelta sobre el camino, rompiéndola y produciendo finos que llenan los vacíos formando una superficie suelta y estable. Como una guía la roca que se puede escarificar también se puede disgregar.

Al ser usado este equipo se encontró que era capaz de compactar a alta velocidad una gran variedad de suelos. Los puntos altos de la reja producen efectos de impacto, y cuando es remolcado a alta velocidad, produce efecto de vibración, efecto en materiales granulares. El perfil alternado alto y bajo de la rejilla produce efecto de manipulación por lo que este rodillo también es eficiente en materiales plásticos. Desafortunadamente, como los materiales plásticos suelen ser pegajosos, se atascan de material los huecos de la reja y se reduce la eficiencia.



Configuración de la reja.

Estos rodillos, debido a su misma configuración no pueden dejar una superficie tersa como ser una base de una carretera.

### 4) Rodillo de Impacto.

A causa de los problemas de limpieza del rodillo de reja, se diseñó un nuevo rodillo usando los mismos principios: el rodillo de impacto, este es un rodillo metálico, al que se han fijado uñas saliendo en forma aproximada de una pirámide rectangular truncada.



Sección de un rodillo de impacto, mostrando la distribución y forma de las pirámides.

Estas pirámides no son de la misma altura pues hay unas más altas que otras, siguiendo el modelo de puntos altos y bajos del rodillo de reja esto le da las mismas ventajas, pudiéndose limpiar fácilmente por medio de dientes sujetos al marco.

### **AJUSTE DEL ÁREA DE APOYO**

El diseño contempla una fácil entrada y salida de la capa, lo que disminuye la resistencia al rodamiento.

Estos rodillos han probado ser muy eficientes y eliminan estratificación en los terraplenes, esto es importante en corazones impermeables de presas.

Cuando un rodillo de impacto empieza una nueva capa, que no sea mayor de 30 cm. Los bulbos de presión y las ondas de impacto proveen suficiente manipulación con la capa inferior para eliminar la estratificación que ocurre en cualquier otro compactador excepto la pata de cabra.



El rodillo de impacto ha probado ser uno de los más versátiles y económicos compactadores en terracerías, capaz de compactar eficientemente la mayor parte de los suelos.

#### 5) Rodillos vibratorios.

Estos rodillos funcionan disminuyendo temporalmente la fricción interna del suelo. Como en los suelos granulares (gravas y arenas) su resistencia depende principalmente de la fricción interna (en los suelos plásticos depende de la cohesión), la eficiencia de estos rodillos está casi limitada a suelos granulares.

La vibración provoca un reacomodo de las partículas del suelo que resulta en un incremento del peso volumétrico, pudiendo alcanzar espesores grandes de la capa (0.80 m.).

Estos rodillos pueden producir un gran trabajo de compactación con relación a su peso estático ya que la principal fuente de trabajo es la fuerza dinámica de compactación.

Buscando extender estas ventajas a suelos cohesivos se han desarrollado rodillos de impacto (Tamping Roller) vibratorios, entre la fuerza y la amplitud de la vibración se han aumentado.

Con el mismo objeto se han acoplado dos rodillos vibratorios, "Fuera de fase" a un marco rígido para obtener efecto de manipulación.

Estos rodillos se clasifican por su tamaño, pequeños hasta 9.000 Kg. de fuerza dinámica y grandes de más de 9.000 pudiendo llegar hasta 20.000 Kg. o más. Los grandes pueden llegar a sobre esforzar suelos débiles por lo que haya que manejarlos con cuidado.

Todos los vibradores deben de manejarse a velocidades de 0.5 a 6 Km/h. Velocidades mayores no incrementan la producción, y con frecuencia no se obtiene la compactación.

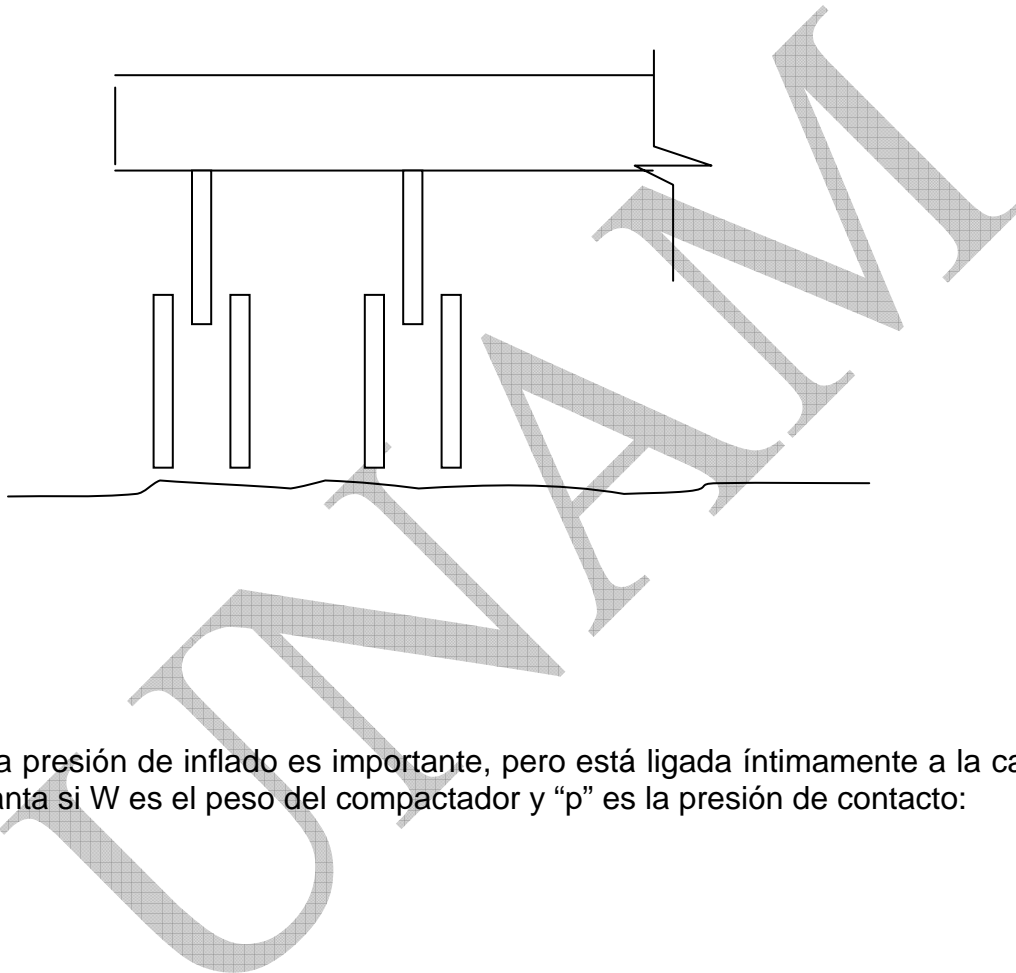
#### 6) Rodillos Neumáticos.





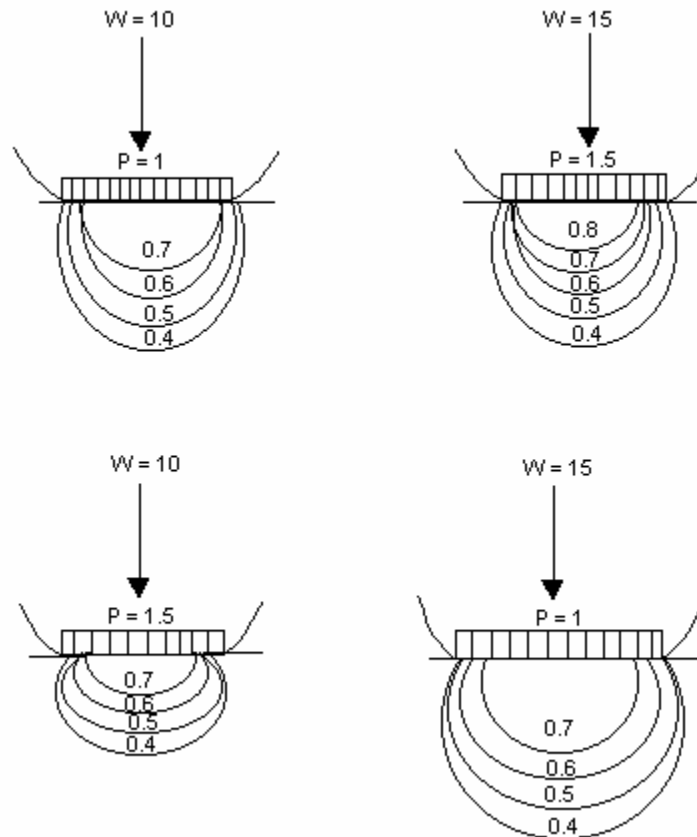
ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

Los rodillos neumáticos son muy eficientes y a menudo esenciales para la compactación de sub – bases, bases y carpetas, sus bulbos de presión son semejantes a los de los rodillos metálicos, pero el área de contacto permanece constante por lo que no se produce el efecto de reducción de bulbo. Por otra parte, el efecto de puenteo del rodillo metálico sobre superficies, se elimina con llantas de suspensión independiente.



La presión de inflado es importante, pero está ligada íntimamente a la carga de la llanta si  $W$  es el peso del compactador y “ $p$ ” es la presión de contacto:





Es posible el observar que si aumenta el peso sin aumentar la presión aumenta la profundidad del bulbo, pero no aumenta la presión esto nos permitirá trabajar capas relativamente mayores, pero el aumento de eficiencia en caso nulo, y las llantas durarán menos pues se esta aumentando el trabajo de deformación de la llanta.

Si aumenta la presión sin aumentar la carga disminuimos la profundidad del bulbo de presión, y puede llegar a encarpetar la capa, esto puede ser eficiente si la capa es delgada como suele serlo en bases y sub – bases.

Si se aumenta el peso y la presión, se esta aumentando la presión efectiva sobre la capa y por lo tanto el trabajo de compactación sobre la capa sin embargo esto nos puede disminuir la vida útil de las llantas y del equipo.



En el concepto moderno de un compactador neumático la carga sobre la llanta y la presión de inflado, deben ser las adecuadas para dar la presión de contacto suficiente para ejercer el esfuerzo requerido de compactación (es aconsejable no alejarse mucho de las recomendaciones del fabricante).

Las presiones de inflado usuales son del orden de 50 psi en compactadores grandes (de 0 a 60 tons.)

La presión de inflado no es igual a la de contacto ya que interviene (en mucho) la rigidez de la llanta inflada.

Los rodillos de neumáticos grandes proveen excelente manipulación en materiales cohesivos, con llantas grandes y cargas grandes son capaces de compactar capas gruesas (0.50 a 0.80 m.), sin embargo en materiales plásticos pueden causar excesivo desplazamiento del material superficial. Las llantas grandes tienen una cierta tendencia a rebotar con las desigualdades del terreno (desgaste).

El gran peso y la resistencia al rodamiento requieren grandes unidades tractoras, y sus velocidades de operación son bajas, resultando normalmente costos altos de compactación.

## **APLICACIONES.**

La selección del compactador más adecuado no siempre es sencilla, ya que depende de muchos factores: tipo de suelo, tipo de trabajo, método de movimiento de tierra, compatibilidad con equipo de otras actividades, compactadores disponibles, continuidad de trabajo, al final se da una tabla de selección que se intenta como guía únicamente pero en la selección final deben hacerse intervenir, cuando menos, los factores arriba mencionados. Es frecuente la combinación de varios equipos que combinen dos diferentes efectos de compactación.

### 1) Rodillos metálicos y neumáticos.

Físicamente se aplican en carpetas, sub-bases, bases y acabados de terracerías.

Se pueden usar en terraplenes a extensas de la economía. Se limitan a capas hasta de 0.15 m. Excepto los neumáticos grandes, de más de 10 ton. Por rueda que pueden compactar capas de más peralte.

### 2) Patas de Cabra.



Se usa solamente para compactación de suelos cohesivos, y en aquellos lugares en donde la estratificación no es permitida. Solo debe usarse si no hay un rodillo de impacto disponible.

3) Rodillo de Reja.

Tiene gran número de aplicaciones. Es particularmente efectivo en su los granulares, su limitación en suelos plásticos es el congestionamiento de la reja. Compacta económicamente capas hasta de 0.20 m., en gravas y arenas de 0.50 m., en rellenos rocosos. Es un excelente disgregador llenando los huecos con los finos que produce el disgregado.

4) Rodillo de impacto.

Pueden compactar casi todos los suelos. No son muy efectivos en materiales muy sueltos como arenas de duna. Normalmente la capa económica es de 0.20 m. Pero son capaces de compactar capas hasta de 0.30 m. Y excepcionalmente de 0.50 m.

5) Rodillos vibratorios.

Casi específicos en materiales granulares, donde son muy efectivos en capas de 0.20 a 0.60 m., dependiendo del material. Muy recomendables en bases, sub-bases y terracerías poco plásticas.

### **VELOCIDADES DE OPERACIÓN.**

1) Rodillos metálicos y patas de cabra.

Son lentos por naturaleza, entre más rápido mejor, limitado solo por la seguridad, 5 Km./hr.. Es buen máximo.

2) Rodillos de reja y de impacto.

Entre más rápido mejor, limitado solo por la seguridad, normalmente de 10 a 20 Km./Hr.

3) Rodillos neumáticos.



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

Entra más rápido mejor, excepto que haya rebotes, lo que puede ocasionar ondulaciones de la capa y una compactación dispareja. Su velocidad es normalmente de 4 a 8 Km./Hr.

4) Rodillos vibratorios.

La máxima eficiencia se obtiene entre 3 y 5 Km./Hr., a velocidades más altas la eficiencia baja rápidamente, y se puede llegar a no alcanzar la compactación.



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

Símbolo	Características de compatibilidad	Peso volumétrico seco max. Típico (proctor estándar ton/m <sup>3</sup> )	Compresibilidad y expansión	Permeabilidad y características de drenaje	Características como material de terraplén	Características como subrasante	Características como base	Características como pavimento provisional	
								C/resistencia ligera	C/tratamiento asfáltico
GW	Buenas. Rodillos lisos vibratorios, rodillos neumáticos. Respuesta perceptible al bandeado con tractor.	1.9 a 2.1	Prácticamente nula	Permeable. Muy buena.	Muy estable.	Excelente	Muy buena	Regular a mala	Excelente.
GP	Buenas. Rodillos lisos vibratorios, rodillos neumáticos. Respuesta perceptible al bandeado con tractor.	1.8 a 2.0	Prácticamente nula	Permeable. Muy buena.	Estable	Buena a excelente	Regular	Pobre	Regular



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

GM	Buenas. Rodillos neumáticos o pata de cabra ligeros	1.9 a 2.2	Ligera	Semipermeable. Drenaje.	Estable	Buena a excelente	Regular a mala	Pobre	Regular a pobre
GC	Buenas o regulares. Rodillos neumáticos o pata de cabra ligeros	1.8 a 2.1	Ligera	Impermeable. Mal drenaje	Estable	Buena	Regular a buena	Excelente	Excelente
SW	Buenas. Rodillos neumáticos o vibratorios.	1.7 a 2.0	Practica-mente nula	Permeable. Buen drenaje	Muy estable	Buena	Regular a mala	Regular a mala	Buena
SP	Buenas. Rodillos neumáticos o vibratorios.	1.6 a 1.9	Practica-mente nula	Permeable. Buen drenaje.	Razonablemente estable en estado compacto	Regular a buena	Mala	Mala	Regular a mala



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

SM	Buenas. Rodillos neumáticos o patas de cabra	1.7 a 2.0	Ligera	Impermeable mal drenaje	Razonablemente Estable en Estado compacto	Regular a buena	mala	mala	Regular a mala
SC	Buenas o regulares. Rodillos neumáticos o pata de cabra	1.6 a 2.0	Ligera a media	Impermeable. Mal drenaje	Razonablemente estable	Regular a buena	Regular a mala	Excelente	Excelente
ML	Buenas a malas. Rodillos neumáticos o pata de cabra	1.5 a 1.9	Ligera a media	Impermeable. Mal drenaje	Mala estabilidad si no está muy compacto	Regular a mala	No debe usarse	Mala	Mala



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

CL	Regulares a buenas. Rodillos pata de cabra o neumáticos	1.5 a 1.9	Media	Impermeable. No drena	Buena	Regular a mala	No debe usarse	Mala	Mala
OL	Regulares a malas. Rodillos pata de cabra	1.3 a 1.6	Media a alta	Impermeable. Mal drenaje	Inestable. Debe evitarse su uso	Mala	No debe usarse	No debe usarse	No debe usarse
MH	Regulares a malas. Rodillos pata de cabra o neumáticos	1.1 a 1.6	Alta	Impermeable mal drenaje	Inestable. Debe evitarse su uso.	Mala	No debe usarse	Muy Mala	Muy Mala
CH	Regulares a malas. Rodillos pata de cabra	1.3 a 1.7	Muy alta	Impermeable. No drena	Regular. Vigílese la expansión	Mala o muy mala.	No debe usarse	Muy mala	No debe usarse
OH	Regulares a malas. Rodillos pata de cabra.	1.0 a 1.6	Alta	Impermeable. No drena.	Inestable. Debe evitarse su uso	Muy mala	No debe usarse	No debe usarse	No debe usarse
Pt	No debe usarse	—	Muy alta	Regular o mal drenaje	No debe usarse	No debe usarse	No debe usarse	No debe usarse	No debe usarse





ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

Como ya se menciona en esta tesis, en un proyecto específico suelen fijarse los requerimientos de compactación estableciendo un cierto peso volumétrico seco que se debe alcanzar con el equipo que se utilice. A su vez, el valor de esta peso proviene por lo general de un estudio de laboratorio en el que se realizan pruebas de compactación al suelo que haya de manejarse; de entre todas las pruebas disponibles se elige aquella que mejor represente el proceso de compactación de campo y que garantice un nivel de compactación suficiente para poder asegurar el comportamiento deseado al material en el campo. Ha de comentarse, por cierto, que con frecuencia los ingenieros olvidan el aspecto de representatividad de la prueba de laboratorio que utilizan y les basta ampararse en una prueba suficientemente enérgica como para confiar en que se están estableciendo niveles de compactación lo bastante altos como para obtener en el campo un material de buen comportamiento, independientemente de que rara vez o casi nunca se investigan las características finales de ese material. Este es quizá el error más común o la deficiencia más grave en relación con el manejo práctico de las técnicas de compactación; para estar seguro de contar con un proyecto adecuado no basta con emplear un estándar de compactación “alto”, basado en un estudio de laboratorio que utilice una prueba de compactación de alta energía específica. La prueba pudiera no ser representativa del modo de compactación que se utilice en el campo, de manera que aun cuando los suelos compactados en el laboratorio con aquel procedimiento tuviesen las propiedades adecuadas pudiera ser que el equipo en el campo obtuviese un suelo con propiedades distintas y quizá poco adecuadas, para el mismo peso volumétrico.



## II CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

### TERRACERIAS

La terracería se define como la estructura formada por excavaciones, terraplenes o rellenos necesarios de una obra vial, con objeto de fijar los niveles y alineamientos de proyecto.

En aquellos casos en el que el material abajo del nivel de sub-razante tenga un índice Plástico superior a 20, se procederá a mejorarlo con material arenoso en un espesor mínimo de 10 cm. Y en la proporción que fije el laboratorio del departamento del D.F., a fin de abatir dicha plasticidad. Deberá considerarse un peso volumétrico seco máximo no menor de  $1300 \text{ Kg/m}^3$ , humedad óptima menor de 40%. En casos especiales se obtendrá la autorización correspondiente.

### EXCAVACIONES

#### A. Tipos de Excavación

1) *Para pavimentos de obras viales de superficie.* Cuando el nivel de sub-rasante sea inferior al del terreno natural existente, de acuerdo con el diseño de espesores y los niveles proyecto, se deberá de abrir caja para alojar la estructura de pavimento.

El ancho de dicha caja será de 50 cm. Más a cada lado del ancho del arroyo, con objeto de que la guarnición siempre se desplante sobre la sub-base o base hidráulica para evitar futuros asentamientos de dicho elemento.

Se deberán tomar en cuenta los resultados del laboratorio para que en caso necesario se haga el mejoramiento del terreno natural al nivel de sub-rasante.

2) *Para obras viales en rampas abatidas.*

a. Sin muros de contención.- Estas excavaciones se harán en cajas hasta nivel de sub-razante y tendrán un ancho igual al de obras viales de superficie.

b. Con muros de contención.- Estas excavaciones se harán en cajas hasta nivel de sub-razante y tendrán un ancho medio de 50 cm. Más respecto a los paños exteriores de las zapatas.



Para el desplante de los muros la excavación se hará en cepa a mano o por medios mecánicos, respetando los niveles y anchos de proyecto, permitiendo las maniobras de armado, cimbrado, etc.

c. Cajones.- Estas excavaciones de harán en caja hasta nivel de desplante de las estructuras con un ancho de 50 cm. Más con respecto de los paños exteriores de la misma, con objeto de permitir las maniobras de armado, cimbrado, etc.

3) *Para muros de contención y Estructuras aisladas.*- Estas excavaciones se harán en cepa a mano o por medios mecánicos hasta el nivel de desplante de la estructura con un ancho de 50 cm. Más de los paños exteriores de la misma (excepto en casos específicos indicados en el proyecto).

4) *Para instalaciones.*- Estas excavaciones serán en cepa a mano o por medios mecánicos, con anchos y niveles que marque el proyecto y a partir del nivel de la sub-rasante.

## **B. Recomendaciones.**

Para la ejecución de las excavaciones en general se deberán tomar en cuenta los estudios de mecánica de suelos y las condiciones de la zona en cuanto a instalaciones existentes y construcciones cercanas, con el objeto de no causar daños en éstas y así como los siguientes aspectos:

1)- Taludes y puentes de Ataque.- Es importante el determinar los taludes, la longitud de los frentes de ataque y el tiempo máximo que permanecerán abiertos, hasta la siguiente etapa constructiva.

2)- Excavaciones abajo del nivel de agua Freáticas.- Es necesario indicar la instalación de drenes y cárcamos provisionales para eliminar el agua excedente mediante bombeo controlado o algún otro sistema si fuese necesario.

3)- Construcciones cercanas.- En el caso de existir construcciones cercanas susceptibles de daños con el fin de deslindar responsabilidades es recomendable el solicitar de la dependencia correspondiente un dictamen por escrito de las condiciones existentes de las mismas y realizará revisiones periódicas que se llevarán en un registro durante el proceso de la obra. Al término de la misma se hará la inspección final y se indicará lo que procede.

4)- Instalaciones.- Es preponderante el solicitar a las dependencias correspondientes y entregar a el Ing. Responsable, planos de localización de las instalaciones existentes y de proyecto, coordinando la supervisión necesaria con el fin de evitar interferencias en el proceso de la obra.



## **CONFORMACION, AFINE Y COMPACTACION DE TERRACERIAS.**

Una vez abierta la excavación para alojar los espesores de pavimento o las estructuras, deberá conformarse y afinarse por medios mecánicos o en forma manual, dejándola libre de bordos y depresiones, conforme a los niveles y secciones de proyecto para plantillas, mejoramientos, sub-bases, etc. Según el caso correspondiente.

Inmediatamente después de afinada y conformada la excavación se procederá a su compactación en un espesor superficial de 20 cms. hasta alcanzar un grado mínimo de 90% de su paso volumétrico seco máximo verificado mediante pruebas de Laboratorio.

Si las características del terreno (pedregoso, muy arcilloso) no permiten cumplir con las especificaciones anteriores, se deberán tomar otras provisiones.

El equipo a emplearse para la compactación, dependiendo de las características del terreno, en términos generales deberá ser el siguiente:

Para Suelos Limosos: Compactador de rodillos lisos, Para Suelos Arcillosos: Compactadora pata de cabra, Para Suelos Arenosos: rodillos Vibratorios, Para Zonas de Trabajo Reducidas: Apisonadora de impactos (bailarina) Trineos o similares.

## **TERRAPLENES.**

Estos siempre estarán localizados sobre el terreno natural existente hasta nivel de sub-rasante y deberán ejecutarse en la forma siguiente:

A.- Para desplantar los terraplenes se deberá despallar, escarificar y/o picar, etc. De acuerdo con las condiciones del terreno existente para eliminar los materiales inadecuados o evitar el corrimiento o deslizamiento del mismo.

B.- En zonas despalmadas se compactará el terreno natural en un espesor superficial de 20 cms y a un grado mínimo del 90% de su peso volumétrico seco máximo.

C.- Los materiales a emplear en los terraplenes serán los previamente autorizados y correctamente muestreados y por tanto deberán cumplir con las especificaciones fijadas, los que se tenderán por capas no mayores de 25 cms sueltos con un grado de compactación del 90% de su P. V. S. Máx. certificado por pruebas del laboratorio.



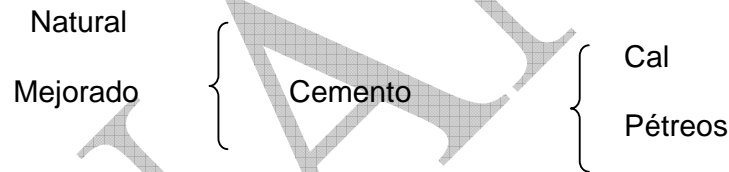
## RELLENOS

Estos siempre estarán localizados en zonas de excavación entre el fondo de la misma y la sub-razante.

### A.- Materiales.

Los materiales que se usen en estos rellenos deberán cumplir con las especificaciones correspondientes y se dividen en la forma siguiente:

- 1) Material Producto de Excavación.- Estos se usarán en lugares fuera de los arroyos, excepto en casos en que el proyecto indique lo contrario y se deberán tender en capas de 25 cms sueltos, compactados al 90% de su P. V. S. M.
- 2) Material Producto de Banco o Mina



a.- Natural.- Este material producto de banco o mina no llevará ningún tratamiento especial y podrá emplearse si cumple con las especificaciones, en rellenos de zonas de arroyos y en cualquier otro lugar que indique el proyecto. Se compactarán en capas de 25 cms de material suelto al 90% de su P. V. S. M.

b.- Mejorado.- Estos materiales llevarán un tratamiento especial mezclándose con cal, cemento o pétreos según el caso y en la proporción fijada, siempre cumpliendo con las especificaciones de los materiales y la que indique el proyecto.

La compactación será en capas de 20 cm de material suelto al 95% de su P. V. S. M. Respetando humedades y tiempos de colocación.

### B. Equipo.



El equipo empleado en los ensayos para determinar el porcentaje de compactación es:

Bolsas 20 – 30  
Arenas sílicas  
Báscula  
Barreta  
Flexómetro

#### C. Recomendaciones.

Para los materiales mejorados con el fin de garantizar su homogeneidad se empleará motoconformadora o mezcladora mecánica según volúmenes y condiciones de obra.

### **MUESTREO DE MATERIALES PARA PAVIMENTACION PROCEDENTES DE MINA.**

En virtud de que los materiales de mejoramiento, sub-base y base hidráulica deben cumplir con ciertos requisitos físicos para cada tipo y con objeto de garantizar su calidad, el laboratorio de inspección de materiales con sus correspondientes pruebas físicas.

Con el fin de que los resultados de las pruebas del laboratorio sean realmente representativos, será éste el encargado de hacer un muestreo los bancos o minas autorizadas, además en la obra estando el material tendido y listo para compactarse.

Es conveniente que los muestreos de los materiales mencionados se lleven a cabo en la siguiente forma:

A.- Al iniciarse su empleo en la obra y cada vez que sea cambiada su procedencia.

B.- Cuando en una obra se empleen materiales de una misma mina para cada capa del pavimento, (aprobados por el laboratorio) y la calidad aparentemente sea uniforme y buena, podrá dejar de hacer un muestreo hasta dos meses como máximo, transcurrido ese tiempo deberán actualizarse resultados de laboratorio para cada tipo de material.

C.- Cuando se observen cambios visuales en las características de los materiales, aún siendo de la misma mina, es recomendable se hagan los muestreos necesarios para garantizar la buena calidad de la obra en cualquier momento.



Aunque la calidad de los materiales procedentes de minas es responsabilidad directa del contratista, cuando se aprecie un defecto marcado en alguna de las propiedades físicas de los materiales y se advierta del riesgo de que dichos materiales no cumplan con la calidad estipulada.

## **MEJORAMIENTOS.**

### **DE TEPETATE.**

Definición.- Se entiende por mejoramiento al material limoso cuya calidad debe ser superior a la del material de sub-rasante existente en la zona, donde pretende emplearse.

Cuando el material de sub-rasante sea de mala calidad, con valores relativos de soporte menores del 5% ó un índice plástico superior a 20, será necesario colocar material de mejoramiento que integrará la capa sub-rasante, de acuerdo con el diseño del pavimento.

#### **A.- Especificaciones de Ejecución.**

Cuando la sub-rasante o terracería presenta contenidos de humedad superiores a la óptima (zonas de baches), deberá eliminarse este material y substituirse por material que cumpla con las especificaciones de MEJORAMIENTO compactado al 90% de su P. V. S. Máx. en todo el espesor substituido.

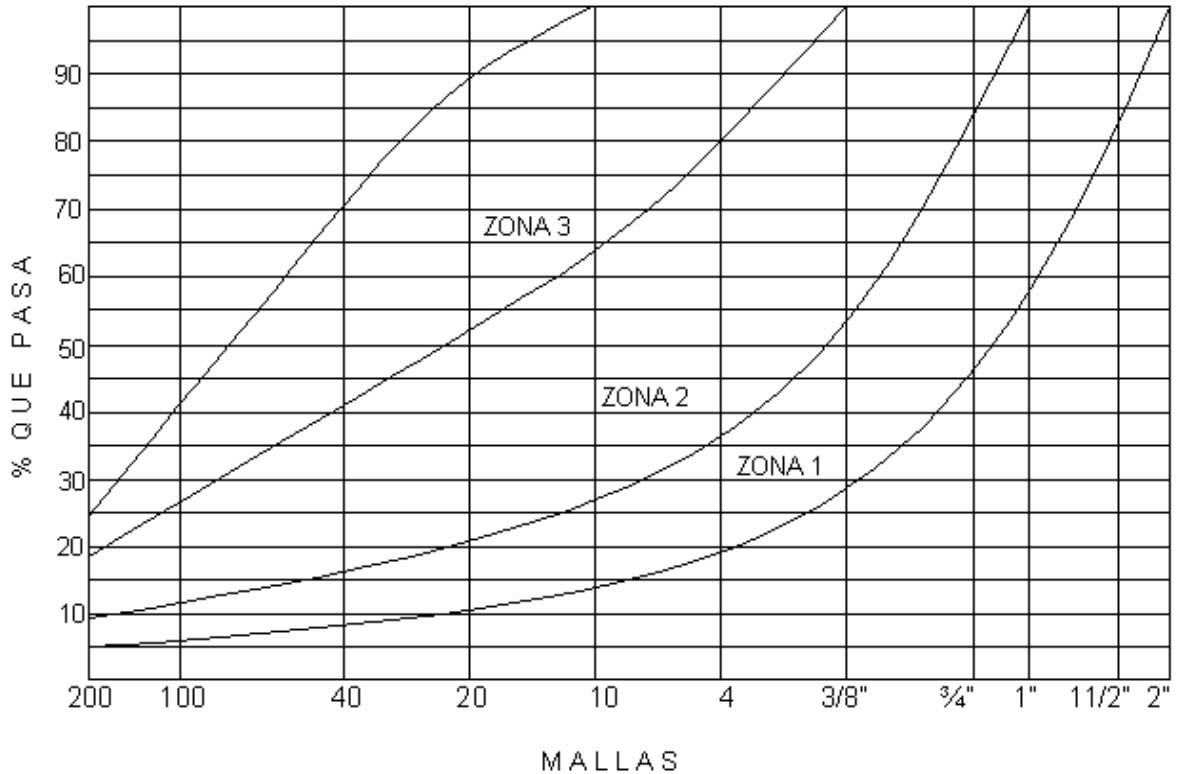
Habrán casos en que no pueda eliminarse todo el material inadecuado (con exceso de humedad) por la proximidad del nivel de aguas freáticas. Se debe indicar en cada caso específico el procedimiento a seguir ya sea incrustando grava en greña para estabilizar la sub-rasante, colocar filtros o mediante el empleo de cal o cemento.

#### **B.- Especificaciones de Materiales.**

Los materiales empleados como mejoramiento, deberán cumplir con los siguientes requisitos físicos:



### 1.- De Granulometría:



La curva granulométrica del material deberá quedar comprendida entre el límite interior de la zona 1 y el superior de la zona 3.

La curva granulométrica deberá adoptar una forma semejante a la de las curvas que limitan las zonas y no tener cambios de pendiente.

La relación del porcentaje en peso que pasa la malla No. 200 al que pasa al No. 40 no deberá ser superior a 0.65.

De contracción lineal, Valor Cementante, Valor Relativo de Soporte y Peso Volumétrico Seco Máximo, las siguientes:





PRUEBAS	ZONAS GRANULOMETRICAS DE MATERIAL		
	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
Contracción Lineal, %	6.0 Máx.	5.0 Máx	4.5 Máx.
Valor Cementante, Kg/cm <sup>2</sup> .	5.5 Min.	4.5 Min.	3.5 Min.
Valor Relativo de Soporte, %	10 Min.	10 Min.	10 Min.
Tamaño máximo del agregado pulg.	3" Máx.	3" Máx.	3" Máx.
Peso Volumétrico Seco Máximo Kg/m <sup>3</sup>	1450 Min. Salvo caso muy especial.	1450 Min.	1450 min.

### DE MATERIAL PETREO.

#### A. Especificaciones de ejecución.

Quando la pavimentación se va a efectuar en terracerías excesivamente arcillosas ó húmedas (zonas del tipo lacustre) en las cuales existe rebote elástico y es difícil que se logre el grado de compactación especificado del 90% de su P. V. S. Máx. será necesario colocar una capa de 20 cm de espesor de material pétreo o granular, cuya granulometría esté comprendida entre las mallas de 3" a No. 4; este agregado deberá ir perfectamente acomodado mediante varias pasadas del equipo de construcción o de compactación que de preferencia será de rodillos lisos de 3 ruedas con peso de 12 Ton.

El objeto de esta capa de material pétreo es proporcionar a la terracería mayor estabilidad ó soporte o cama de trabajo y evitar que el agua ascienda por capilaridad a las capas superiores del pavimento.



## SUB-BASE

Definición.- La sub-base es la capa de materiales seleccionados (grava cementada) que se construye sobre la sub-rasante o mejoramiento y cuya función es soportar las cargas rodantes y transmitir las a las terracerías, distribuyéndolas de tal forma que no se produzcan deformaciones permanentes en éstas.

### A.- Especificaciones de Ejecución.

Una vez que la terracería o mejoramiento se haya compactado y afinado, se procederá al tendido del material de sub-base en los espesores de acuerdo con el diseño de pavimento establecido para cada obra; debiendo tener este material características poco arcillosas.

Se calculará el volumen del material acamellonado de tal manera que no se tiendan capas mayores de 15 cm de espesor de material compacto.

Cuando se tenga la totalidad del material de sub-base para una capa, deberá mezclarse perfectamente con la motoconformadora hasta uniformizar la humedad que deberá ser lo más cercana a la óptima.

Una vez alcanzada dicha humedad, se procederá al tendido de la sub-base y al compactado de la capa por medio de planchas de rodillos lisos de 10 a 12 Tons. o Duo Pactor y se efectuará de la orilla hacia el centro, en fajas longitudinales a toda rueda con traslape de 10 centímetros.

La compactación se considerará satisfactoria cuando el material alcance un grado mínimo del 95% de su P. V. S. Máx. en todo el espesor y deberá verificarse mediante pruebas de laboratorio, las cuales se harán hasta que no haya huéllas de las ruedas de las compactadoras.

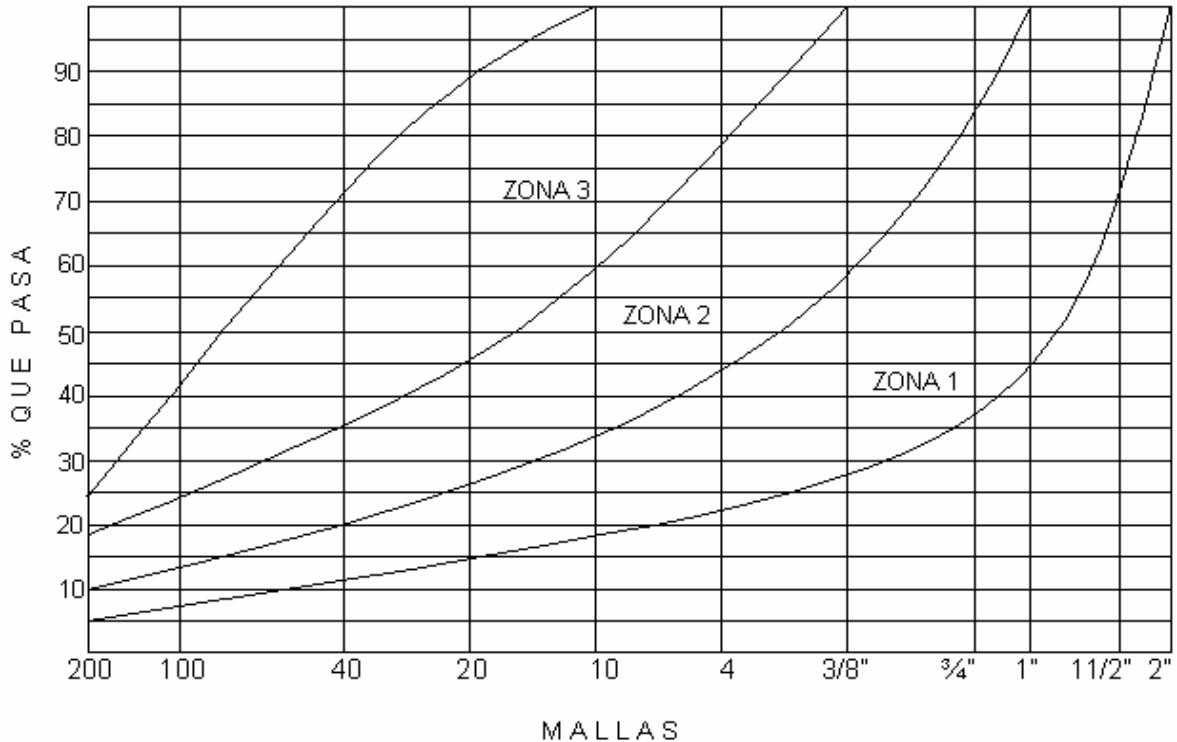
La superficie deberá quedar perfectamente afinada y nivelada de acuerdo con las pendientes longitudinales y transversales que fije el proyecto y excenta de baches; los cuales en caso de existir, deberán ser extraídos y repuestos con material adecuado (dándoles la compactación especificada), antes de proceder al tendido de la siguiente capa de sub-base o base.

### B.- Especificaciones de Materiales.

Los materiales empleados como sub-base deberán cumplir con los siguientes requisitos físicos:



### 1.- De granulometría.



La curva granulométrica del material deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 3.

La curva granulométrica deberá adoptar una forma semejante a la de las curvas que limitan las zonas y no tener cambios bruscos de pendiente.

La relación del porcentaje en peso que pasa de la malla No. 200 al que pasa la No. 40 no deberá ser superior a 0.650

De contracción lineal valor cementante, valor relativo de soporte tamaño máximo y peso volumétrico seco máximos las siguientes:



PRUEBAS	ZONAS GRANULOMETRICAS DEL MATERIAL		
	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
Contracción Lineal, %	4.5 Máx.	3.5 Máx	2.5 Máx.
Valor Cementante, Kg/cm <sup>2</sup> .	3.5 Min.	2.5 Min.	2.5 Min.
Valor Relativo de Soporte, %	50 Min.	50 Min.	50 Min.
Tamaño máximo del agregado pulg.	2 1/2" Máx.	2 1/2" Máx.	1 1/2" Máx
Peso Volumétrico Seco Máximo Kg/m <sup>3</sup>	1700 Min.	1700 Min.	1700 min.
	Salvo caso muy especial.		

### BASES HIDRAULICAS.

La base es la capa de materiales seleccionados (grava cementada controlada) que se construye sobre la sub-base o sub-rasante (cuando la calidad de ésta es igual a la de la sub-base) y cuya función es soportar las cargas rodantes y transmitir las a las capas inferiores del pavimento, distribuyéndolas de tal forma que no produzcan deformaciones perjudiciales en éstas.

#### A.- Especificaciones de Ejecución.

Cuando la sub-base haya sido recibida a completa satisfacción, se procederá al tendido de la capa de base en el espesor, de acuerdo con el tipo de la obra vial por ejecutar y tomando en cuenta lo siguiente:

1.- Cuando el diseño empleado sobre la base se coloque la carpeta asfáltica, el espesor mínimo de base será de cm. de material compacto.



2.- Cuando el diseño del pavimento marque base asfáltica sobre la base hidráulica, el espesor mínimo de esta capa deberá ser de 10 cm de material compacto.

El procedimiento de construcción para el tendido de la base hidráulica es igual al empleado en los materiales de sub-base, únicamente con las siguientes modificaciones:

a.- La compactación se considerará satisfactoria cuando el material alcance un grado mínimo del 98% de su Peso Volumétrico Seco máximo, verificado mediante pruebas de laboratorio, las cuales se efectuarán hasta que no se marquen las huellas de las ruedas.

b.- La superficie deberá quedar perfectamente afinada, con textura uniforme sin ondulaciones y estará de acuerdo con las pendientes longitudinales y transversales que fije el proyecto, tampoco deberán existir baches.

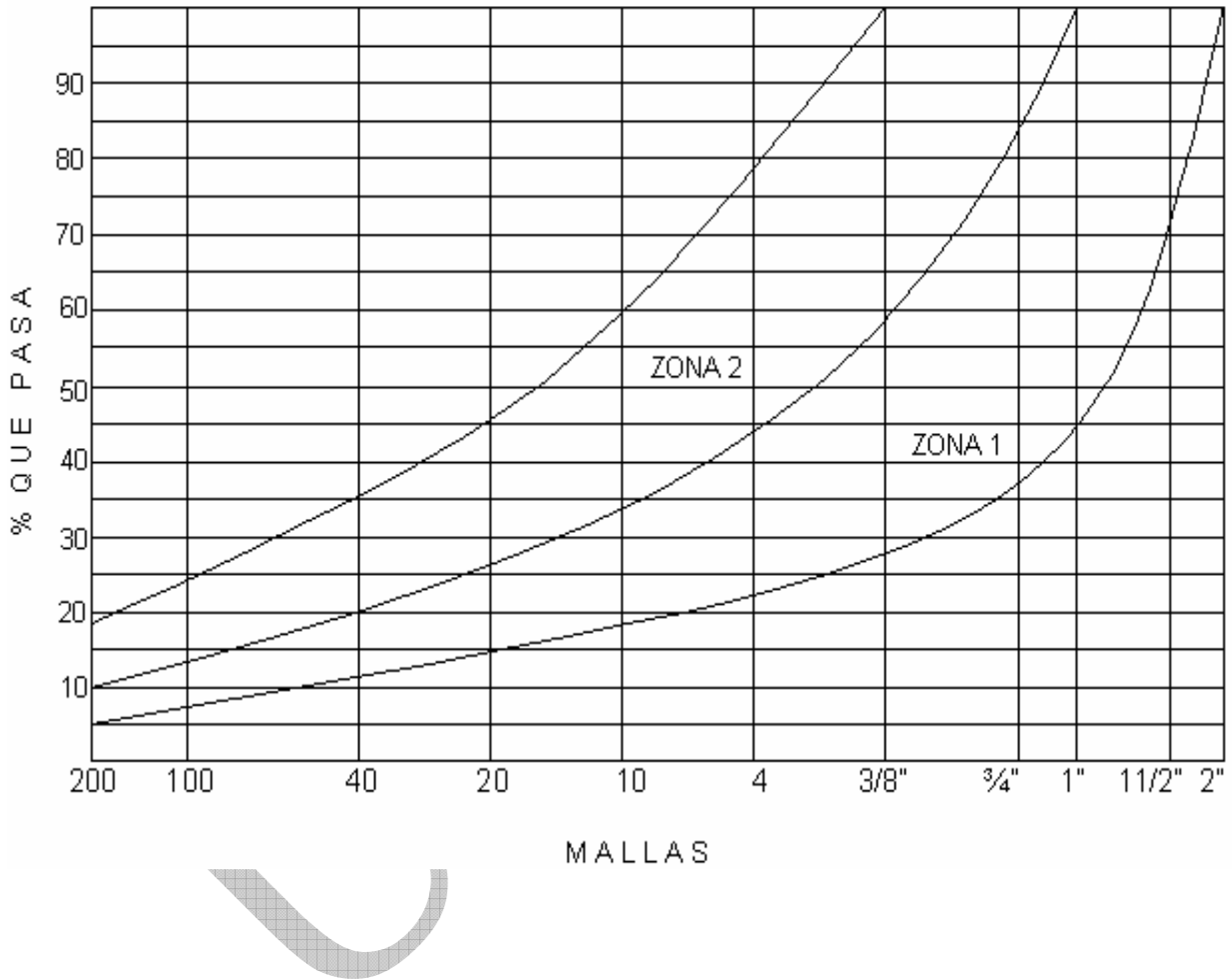
c.- Se recomienda que al terminar la compactación en la base y cuando ésta se encuentre seca superficialmente, se aplique el riego de impregnación con objeto de evitar desintegración a causa del tránsito o de las lluvias. No se deberá conservar esta superficie a base de riegos de agua o compactación, ya que se originan encarpetamientos y texturas cerradas que impedirían la correcta penetración del riego de impregnación. Cuando cualquiera de estas causas deteriore la superficie de la base y se tenga duda del grado de compactación de la misma, se deberá ordenar desde escarificar superficialmente esta capa hasta levantarla completamente y volverla a compactar, verificada por pruebas de laboratorio.



### B.- Especificaciones de Materiales:

Los materiales empleados como bases hidráulicas deberán cumplir con los siguientes requisitos físicos:

#### 1.- De Granulometría



La curva granulométrica del material deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior adopta de la zona 2.

La curva granulométrica deberá afectar una forma semejante a la de las curvas que limitan las zonas y no tener cambios bruscos de pendiente.



La relación del porcentaje en peso que pasa de la malla No. 200 al que pasa la No. 40 no deberá ser superior a 0.65.

2.- De contracción lineal, valor cementante, valor relativo de soporte, tamaño máximo y peso volumétrico saco máximo (tentativo) las siguientes:

PRUEBAS	ZONAS GRANULOMETRICAS DEL MATERIAL	
	ZONA 1	ZONA 2
Contracción Lineal, %	3.5 Máx.	2.0 Máx
Valor Cementante, Kg/cm <sup>2</sup> .	4.5 Min.	3.5 Min.
Valor Relativo de Soporte, %	80 Min.	80 Min.
Tamaño máximo del agregado, pulg.	1 1/2" Máx.	1 1/2" Máx.
Peso Volumétrico Seco Máximo Kg/m <sup>3</sup>	1800 Min.	1800 Min.



## **RIEGOS ASFALTICOS.**

### **RIEGO DE IMPREGNACIÓN.**

El riego de impregnación tiene por objeto aplicar un asfalto rebajado a la base terminada, para impermeabilizarla y formar una transición entre ella y las mezclas asfálticas.

Normalmente se aplica a las bases hidráulicas antes del tendido de la base negra y/o carpeta asfáltica, pero también cuando el diseño indique que la base asfáltica se construya sobre la sub-base, se aplica en esta capa.

Una vez recibida de la base (o sub-base) e inmediatamente antes del riego, deberá barrerse perfectamente, dejándola libre de impurezas y material suelto, posteriormente se aplicará un riego de producto asfáltico FM-0 ó FM-1 ó emulsión asfáltica mediante petrolizadora, debiendo tener un dispositivo adecuado que permita aplicar el riego en la cantidad especificada de 1.5 litros/m<sup>2</sup> se distribuirá el producto asfáltico uniformemente y a presión mayor de 1.5 Kg/cm y a una temperatura de 90° C, debiendo reposar cuando menos 2 días, con objeto de que se logre una penetración aceptable de 5mm. Mín. y que el asfalto haya perdido la totalidad de los solventes.

Cuando por causas de fuerza mayor deba transitarse por el tramo recién impregnado, se colocará arena seca a razón de 6 a 8 Lt/m<sup>2</sup> con objeto de protegerlo.

#### **B.- Especificaciones de Materiales.**

Los asfaltos Fm-0 y FM-1 empleados en los riegos de impregnación, deberán cumplir con los siguientes requisitos:





### ASFALTOS REBAJADOS DE FRAGUADO MEDIO (FM)

CONCEPTO	GRADO DEL PRODUCTO.				
	FM-0	FM-1	FM-2	FM-3	FM-4
<b>PRUEBAS EN EL PRODUCTO ORIGINAL</b>					
Punto de ignición (copa abierto de Cleveland) en °C	38 min.	38 min.	66 min.	66 min.	66 min.
Viscosidad Soybolt – Furol A 25 °C en seg. A 50 °C en seg. A 60 °C en seg. A 82 °C en seg.	75 - 150	75 - 150	100-200	250-500	125-250
Penetración del asfalto básico en grados	80-100	80-100	80-100	80-100	80-100
Destilación: Por ciento del total destilado a 360°C Hasta 225°C Hasta 260°C Hasta 315°C	25 max. 40-70 75-93	20 max. 25-65 70-90	10 max. 15-55 60-87	5 max. 5-40 55-85	0 30 max. 40-80
Residuo de la destilación a 360°C, % del volumen por diferencia.	50 min.	60 min.	67 min.	73 min.	78 min.
<b>PRUEBAS EN EL RESIDUO DE LA DESTILACION</b>					
Penetración en grados	120-300	120-300	120-300	120-300	120-300
Ductilidad en Centímetros	100 min.	100 min.	100 min.	100 min.	100 min.
Solubilidad en CCL4, en %	99.5 min.	99.5 min.	99.5 min.	99.5 min.	99.5 min.



## **RIEGO DE LIGA.**

El riego de liga tiene por objeto unir perfectamente la base con la mezcla asfáltica mediante la aplicación de un rebajado asfáltico en la superficie.

Normalmente se aplica a las bases o sub-bases impregnadas antes del tendido de base negra o carpeta asfáltica, dependiendo del diseño del pavimento, pero también se aplica entre base asfáltica y carpeta asfáltica cuando el tendido entre una y otra capa es mayor de 36 horas o entre pavimento existente (carpeta asfáltica o concreto hidráulico) y carpeta asfáltica cuando se trata de una sobre carpeta.

### **A.- Especificaciones de Ejecución.**

La superficie de la base o sub-base impregnada, de la base asfáltica o del pavimento existente, deberá estar seca y sin materias extrañas o sueltas, deberá barrerse perfectamente para después aplicarse el riego de liga con petrolizadora, (ver riego de impregnación) con producto asfáltico FR-3 a razón de  $0.5 \text{ Lt/m}^2$  aproximadamente y la temperatura de  $90^\circ\text{C}$ , dejándose reposar 2 horas cuando menos para que pierda parte de sus solventes.

No es conveniente que este riego este expuesto más de 10 horas sin tender la mezcla asfáltica, ya que puede adquirir impureza, tales como polvo, agua o materias extrañas. Si por causas de fuerza mayor, dicho lapso de exposición del riego fuese mayor, se repetirá la aplicación con bachador a razón de  $0.2 \text{ Lt/m}^2$ .

### **B.- Especificaciones de Materiales.**

Los asfaltos FR-3 empleados en los riegos de liga deberán cumplir con los siguientes requisitos:



### ASFALTOS REBAJADOS DE FRAGUADO RÁPIDO (FR)

CONCEPTO	GRADO DEL PRODUCTO.				
	FR-0	FR-1	FR-2	FR-3	FR-4
<b>PRUEBAS EN EL PRODUCTO ORIGINAL</b>					
Punto de ignición (copa abierto de Cleveland) en °C			35 min.	35 min.	35 min.
Viscosidad Soybolt – Furol A 25 °C en seg.	75 - 150				
A 50 °C en seg.		75 - 150			
A 60 °C en seg.			100-200		
A 82 °C en seg.				250-500	
					125-250
Penetración del asfalto básico en grados	80-100	80-100	80-100	80-100	80-100
Destilación: Por ciento del total destilado a 360°C					
Hasta 190°C	15 min.	10 min.	40 min.	25 min.	8 min.
Hasta 225°C	55 min.	50 min.	65 min.	55 min.	40 min.
Hasta 260°C	75 min.	70 min.	87 min.	83 min.	80 min.
Hasta 315°C	90 min.	80 min.			
Residuo de la destilación, % del volumen por diferencia.	50 min.	60 min.	67 min.	73 min.	78 min.
<b>PRUEBAS EN EL RESIDUO DE LA DESTILACION</b>					
Penetración en grados	80-120	80-120	80-120	80-120	80-120
Ductilidad en Centímetros	100 min.	100 min.	100 min.	100 min.	100 min.
Solubilidad en CCL4, en %	99.5 min.	99.5 min.	99.5 min.	99.5 min.	99.5 min.



## **MEMBRANAS IMPERMEABILIZANTES.**

Definición.- Las membranas impermeabilizantes se logran mediante riegos asfálticos que se han usado con éxito para disminuir los efectos de la humedad en los terraplenes de carreteras. Su empleo ha sido particularmente provechoso para evitar las fluctuaciones de humedad en los suelos provocándose pérdidas de resistencia a medida que se incrementa ésta y agrietamientos por contracción al venir una disminución en el contenido de agua.

Las membranas impermeabilizantes enterradas sirven como pantalla para evitar el ascenso capilar del agua y mediante su empleo se pueden obtener logros positivos en zonas de la Ciudad en la que el sub-suelo presenta altos contenidos de humedad.

### **A.- Especificaciones de Ejecución.**

Se coloca la membrana encima del mejoramiento compactado mediante un riego de asfalto rebajado del tipo FR-3 ó emulsión asfáltica a razón de 3 a 4 Lt/m<sup>2</sup> debiendo cubrirse inmediatamente con arena fina y seca, con el fin de evitar posibles rupturas de la misma por punzaduras o rayones con la cuchilla de la motoconformadora. Esta pantalla cubrirá la zona transitada del pavimento más 50 cm a cada lado del ancho del arroyo.

### **B.- Especificaciones de Materiales.**

Los asfaltos empleados en las membranas asfálticas deberán cumplir con los requisitos estipulados para los riegos de liga (FR-3).

## **BASE ASFALTICA. (NEGRA)**

Es la capa asfáltica del pavimento (con granulometría abierta) situada inmediatamente debajo de la capa de rodamiento, que transmite las cargas del tránsito a la base hidráulica, sub-base y sub-rasante. El espesor de esta capa deberá ser de 10 cm mínimo de material compacto.

Es lo ideal que se opte por incluir la base negra en todos los diseños de pavimentos en donde el tránsito es intenso y pesado, tales como Avenidas, Viaductos, Periféricos y actualmente en el Circuito Interior y sus radiales; en virtud de que se incrementa considerablemente la resistencia estructural del pavimento.



#### A.- Especificaciones de Ejecución.

Una vez aplicado el riego de liga y que haya transcurrido el tiempo necesario para la eliminación de los solventes del producto asfáltico, se procederá al tendido de la base negra.

Se deberán aplicar encima del riego de liga unas paladas de mezcla en la zona de tránsito necesario de construcción para evitar que se levante dicho riego. (no hacer manteo) Posteriormente se tenderá la mezcla con una máquina terminadora en un espesor de 13 cm sueltos para que una vez compactada se obtengan los 10 cm de proyecto con tolerancia de 5 mm: La temperatura recomendable para el tendido debe ser mayor de 70°C verificada con termómetro que deberá tenerse en la obra. Por causas especiales se puede utilizar el tendido con motoconformadora.

No se deberá tender mezcla para base negra cuando la temperatura ambiente sea menor de 10°C.

La mezcla asfáltica se deberá compactar a una temperatura comprendida entre 70 y 50°C (controlada con termómetro) con una compactadora de 3 rodillos lisos y un peso de 12 tons. efectuándose longitudinalmente, de la parte baja hacia la parte alta de la superficie. La velocidad de la compactadora no deberá exceder de 5 km/hora para evitar el levantamiento de la mezcla caliente. Se compactará hasta que no queden huellas del equipo de compactación y se obtenga un grado mínimo de 95% de su densidad teórica máxima, es decir se debe obtener su peso volumétrico en el lugar de 2375 Kg/m<sup>3</sup> mínimo, verificado mediante pruebas de laboratorio.

En caso de que se emplee base asfáltica elaborada con cemento asfáltico No. 6, se seguirán las mismas indicaciones que para carpetas asfálticas en cuanto a temperaturas.

En virtud de que la base por su granulometría abierta la mezcla resultante no es completamente impermeable y además cuando se elabora con un asfalto rebajad P. A. 5

No adquiere la estabilidad necesaria para que sea puesta de inmediato al tránsito, se hacen las siguientes recomendaciones antes de tender la carpeta asfáltica:

1.- Fuera de temporada de lluvias, es conveniente dejar reposar la base negra durante 10 días para que se evaporen los solventes y esta adquiera mayor estabilidad.



2.- En temporada de lluvias, será necesario además de la compactación con el rodillo liso de 3 ruedas, dar compactación con rodillos neumáticos con objeto de cerrar al máximo la textura superficial de esta capa y lograr mayor impermeabilidad, debiéndose tender lo más pronto posible la carpeta asfáltica.

#### B.- Especificaciones de Materiales.

La mezcla asfáltica que se utiliza para la base negra se elabora en planta con las siguientes especificaciones:

##### 1.- Granulometría.

MALLAS	% QUE PASA
1 ½ "	100 – 90
1"	80 – 50
¾"	67 – 42
½"	50 – 30
3/8"	42 – 36
No. 4	28 – 18
No. 10	23 – 14
No. 20	18 – 11
No. 40	14 – 7
No. 60	12 – 5
No. 100	9 – 3
No. 200	5 – 0

2.- Tamaño Máximo del agregado: 1 ½"

3.- Tipo y contenido de asfalto

Asfalto P. A. 5 contenido del cemento asfáltico: 4.5 a 5%

4.- Densidad Teórica Máxima 2,500 Kg / cm<sup>3</sup>



## CARPETAS ASFALTICAS.

La carpeta asfáltica es la última capa del pavimento que sirve como superficie de rodamiento en una obra vial. La mezcla se debe elaborar con agregado pétreo graduado y cemento asfáltico No. 6. Estas superficies deben estar acondicionadas de tal manera que el desplazamiento de los vehículos pueda realizarse con comodidad, seguridad y rapidez.

### A.- Especificaciones de Ejecución.

1.- **Tendido de la Mezcla Asfáltica.**- Deberán aplicarse encima del riego de liga unas paladas de mezcla, para evitar que el tránsito necesario de construcción levante dicho riego. Posteriormente y para evitar la segregación, se tenderá la mezcla con una máquina terminadora en un espesor tal que sea una vez compactado el espesor de proyecto. La velocidad de la máquina terminadora al colocar la mezcla deberá estar comprendida entre 2 y 4 Km/hora.

Para obtenerse los espesores de material compacto de proyecto deberán controlarse los espesores que va dejando la terminadora según la siguiente relación:

Esesor proyecto x 1.3 (abundamiento) = Esesor tendido por terminadora

La temperatura recomendable para el tendido debe estar comprendida entre 100°C y 130°C, debiendo evitarse éste, cuando la temperatura ambiente sea menor a los 10°C.

2.- **Compactación.**- La mezcla asfáltica deberá compactarse a una temperatura comprendida entre 90° y 110°C, siendo la óptima 100°C. La compactación se hará longitudinalmente traslapando a toda rueda, iniciando de la parte baja hacia la parte alta, avanzando de la guarnición al centro del arroyo, el equipo recomendado es el siguiente:

a.- Para la compactación inicial deberá emplearse una compactadora de rodillos lisos tipo Tandem de 6 a 8 Tons. con una velocidad que no debe exceder de 5 Km/hr para evitar el levantamiento de la mezcla caliente, se traslapará entre pasada y pasada media rueda, con el objeto de darle el acomodo inicial al material.

b.- Una vez que la compactadora Tandem deja huellas apenas perceptibles se procederá a compactar la capa con una compactadora de 3 rodillos lisos y un peso de 12 Tons. hasta que las huellas de ésta sean muy leves.





c.- La compactación final de la mezcla se dará con una compactadora neumática que borre las huellas que deja la máquina de 12 Toneladas, hasta dejar una superficie afinada y adecuada al tránsito de vehículos.

Para evitar la adherencia de la mezcla a las ruedas del equipo de compactación, éstas deberán ser humedecidas (sin que haya exceso de agua).

d.- La compactación obtenida deberá ser mayor del 90% de la Densidad Teórica Máxima de la mezcla según el proyecto. Aproximadamente el peso volumétrico compacto del lugar será de 2250 Kg/m<sup>3</sup> en promedio.

3.- **Juntas.-** Las juntas longitudinales y transversales de construcción deberán hacerse cuidadosamente a efecto de que queden bien ligadas y selladas.

Las aristas de las superficies colocadas con anterioridad, deberán cortarse verticalmente y en todo su espesor, aplicando una película con asfalto rebajado FR-3 (con temperatura aproximada de 90°C) para después colocar y compactar la mezcla caliente.

4.- **Acabado.-** La carpeta terminada deberá tener la sección y pendiente de proyecto y en ningún punto se aceptarán depresiones o crestas mayores de 5mm medidas con una regla de 3m. normal y paralela al eje de la vía.

5.- **Propiedades.-** Las carpetas asfálticas después de terminadas deben cumplir con las siguientes propiedades:

a.- **Estabilidad.-** La carpeta terminada debe 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 evitar filtraciones de agua a las capas inferiores del pavimento (ya que esto reduciría el soporte y provocaría fallas prematuras)

d.- **Antideslizante.-** La superficie de la carpeta terminada deberá presentar una textura tal que permita al conductor el control del vehículo en condiciones de seguridad, aún a la velocidad máxima permisible dada la naturaleza de la obra vial.





e.- **Durabilidad.**- La carpeta asfáltica debe ser suficientemente resistente a la acción del tránsito y a los agentes atmosféricos. Para que se cumpla esta propiedad debe existir buena dosificación entre el material pétreo y el aglutinante, es decir una mezcla de buena calidad.

B.- Especificaciones de Materiales.

Las mezclas asfálticas que se utilizan para la “CONSTRUCCION Y RECONSTRUCCION DE CARPETAS ASFALTICAS” se elaboran en planta y ambas deben apejarse a las siguientes especificaciones:

1.- CEMENTO ASFALTICO No. 6

- |   |          |
|---|----------|
| a) Penetración a 25°C 100g. 5seg.                                   | 85 a 100 |
| b) Viscosidad (Saybolt Furol) (seg)                                 | 85 min.  |
| c) Punto Inflamación (Cleveland)(°C)                                | 232 min. |
| d) Pérdida por calentamiento en película delgada : %                | 1.0 máx. |
| e) Penetración después prueba, a 25°C 100g. 5seg. (%) del original. | 50 min.  |
| f) Ductilidad: a 25°C (cm)  | 100 min  |
| g) Solubilidad en tetracloruro de carbono (%)                       | 99 min.  |
| h) Punto de reblandecimiento (°C)                                   | 45 a 52  |

2.- AGREGADO PETREO.

- |  |                     |
|--|---------------------|
| a) Tamaño máximo                               | ¾"                  |
| b) Clase Material                              | Triturado Basáltico |
| c) Peso Especifico                             | 2.69 min.           |
| d) Absorción (B seca) (%)                      | 3.00 máx.           |
| e) Equivalente de arena (%)                    | 60 min.             |
| f) Desgaste de vol (%)                         | 20 max.             |
| g) Intemperismo acelerado (%)                  | 12 max.             |
| h) Afinidad con el asfalto (desprendimiento %) | 25 max.             |
| i) Granulometría:                              |                     |

Malla	% Pasa
¾"	100
½"	100 – 75
3/8"	100 – 65



No. 4	70 – 47
No. 10	48 – 32
No. 20	33 – 22
No. 40	25 – 16
No. 60	20 – 12
No. 100	15 – 9
No. 200	10 – 5

### 3.- MEZCLA ELABORADA.

a) Estabilidad (marshall – 50 golpes por lado)(Kg)	450 min.
b) Fluencia (mm)	4 máx.
c) Vacíos en la 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 campo al terminar la compactación (Kg/m <sup>3</sup> )	2,250 min.
h) Temperatura de elaboración (°C)	135 a 150
i) Temperatura de tendido (°C)	100 a 130
j) Temperatura de compactación (°C)	90 min.
k) Índice de permeabilidad (%)	10 max.



## III MORFOLOGÍA DE LOS PAVIMENTOS

### ANTECEDENTES

Los asfaltos empleados en los primeros trabajos de pavimentación fueron desde luego asfaltos naturales, es decir, asfaltos que se muestran en la naturaleza en forma de yacimientos y que podían ser explotados sin dificultad y sin requerir complicadas operaciones industriales para su preparación.

#### 1.- TEORIAS EXISTENTES AL RESPECTO.

Hemos mencionado anteriormente que las fuentes de donde procede el asfalto son de depósitos naturales y el petróleo crudo. De éste se extrae después de obtener las fracciones volátiles sometiéndolo a refinación o destilación.

Puesto que los asfaltos naturales provienen de un proceso natural de destilación o transformación del petróleo, lo que realmente estaría en discusión es el origen del propio petróleo, por lo que se menciona a continuación su formación depósitos del petróleo.

#### FORMACION DEPOSITOS DE PETROLEO

A) Bajo la superficie terrestre existe carburos metálicos que en contacto con el agua se descomponen produciendo hidrocarburos, los que al considerarse en estratos más superficiales y fríos, dieron lugar al petróleo.

B) Los metales alcalinos que se encuentran en estado libre de la tierra reaccionan con el bióxido de carbono a altas temperaturas y estas reacciones, en contacto con el agua producen los hidrocarburos que constituyen el petróleo.

#### 2.- ASFALTOS NATURALES

Los asfaltos naturales se manifiestan de diversas formas entre las que destacan las siguientes:

A) Manantiales.- Se presentan en algunos lugares fuentes de las que fluye petróleo o asfalto líquido. Generalmente en pequeñas cantidades provienen generalmente de depósitos de cierta importancia de materiales de este tipo con salida al exterior por alguna grieta de la roca.



B) Lagos.- A veces, manantiales como los descritos, pero de gran caudal, situados en el fondo de depresiones profundas, pueden dar lugar a la formación de lagos de asfalto, como el muy conocido de TRINIDAD, cerca de las costas de Venezuela, que es uno de los mayores yacimientos de asfaltos nativo en el mundo.

C) Exudaciones.- Se presentan en rocas muy porosas saturadas de asfalto, de las que este fluye bajo los efectos del calor o de alguna presión interior.

D) Filones.- Son instrucciones de asfalto en una masa rocosa a través de grietas o falla en alguno de sus estratos o bien, simplemente la sedimentación alternada de capas de asfalto y otros materiales.

### **ASFALTOS DERIVADOS DEL PETROLEO**

Casi todo el asfalto que se produce y utiliza actualmente en el mundo procede de la refinación del petróleo. El petróleo se obtiene de yacimientos existentes en el subsuelo a diferentes profundidades, que pueden llegar a los 7000 mts. o más

No todos los petróleos crudos contienen asfalto y en los que lo contiene, las proporciones de éste son muy variables.

Los crudos de petróleo se dividen, fundamentalmente en 2 grupos: grupos parafínicos y crudos asfálticos. Los últimos son desde luego los más adecuados para la obtención del asfalto ya que la frontera entre los crudos asfálticos y parafínicos no puede ser rígida. Existen también crudos intermedios semiparafínicos.

La mayor parte del asfalto que se produce y se usa en América es refinado del petróleo. El asfalto tiene una variedad de tipos y calidades que varían desde los sólidos duros y quebradizos, hasta casi tan fluido como el agua.

La forma semi-sólida, conocida como cemento asfáltico, es el material básico y puede considerarse como una combinación de asfalto duro y aceites no volátiles del petróleo, siendo la destilación el proceso principal para obtener asfalto del petróleo, se muestra a continuación un cuadro de los productos y componentes obtenidos por la destilación.



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

<b>PRODUCTOS</b>	<b>DESTILACION DIRECTA</b>
PETROLEO CRUDO	ASFALTO DURO ACEITES NO VOLATILES ACEITE DE VOLUBILIDAD LENTA ACEITES VOLATILES
ACEITE RESIDUAL ASFALTICO	ASFALTO DURO ACEITE DE VOCALIZACION LENTA
CEMENTO ASFALTICO	ASFALTO DURO ACEITES NO VOLATILES.

### DESARROLLO DE LOS ASFALTOS.

Durante los siglos XVII y XVIII se empleo mucho el tipo de pavimento de madera suspendido, pero en dicha época.

El diseño de muchos pavimentos sobre todo para casas, fue tal que el pavimento se elevaba varios decímetros por encima del nivel del terreno quedando ahí un semisótano. Esto aseguraba que las maderas del piso quedasen bastante protegidas por la humedad.

Durante el siglo XIX, la revolución industrial crea el problema de alojamiento de muchos millones de trabajadores industriales en viviendas baratas, en nuevas casas rústicas construidas cerca de las fábricas, los alquileres eran bajos.

En consecuencia los propietarios reducían al mínimo las inversiones de capital lo que provocaba baja calidad en las construcciones. En cuanto a sus pavimentos se volvió a colocar la macera directamente en el suelo ocasionando el mismo problema.

Las condiciones ambientales y la mala calidad de construcción de principios del siglo XIX era un peligro para la salud.

En la Gran Bretaña, originó la legislación, relativa a la salud pública de 1848 y 1875.

Esto hizo que las autoridades redactarán reglas para la construcción de viviendas comprobando su ejecución mediante eventuales inspecciones.



Los nuevos pisos pavimentos constaban de losas de piedra colocadas con mortero de cal y soportada por una bovedilla aplanada de ladrillo, esta a su vez estaba sostenida por vigas de fierro fundido apoyadas en las columnas también de fundición.

Este tipo de pisos proporciona un grado mucho mayor de resistencia al fuego y era adecuado para la mayoría de los casos, aunque se dieron cuenta que presentaba graves limitaciones porque la función del fierro tenía una resistencia a la tracción relativamente escasa.

Al mismo tiempo que el pavimento rígido tiene su desarrollo en Inglaterra, surge un nuevo pavimento que tiene mejores características de resistencia flexible, el cual se conoce con el nombre de pavimento flexible y es el producto de la destilación del petróleo, su materia prima es el asfalto.

Este nuevo pavimento es por sus características el más empleado y por lo tanto el más estudiado en la actualidad, su auge lo tiene en la medida que la explotación del petróleo se hace masiva por todo el mundo.

Los pavimentos flexibles son los que están hechos de varias capas de suelo y una capa superficial asfáltica que distribuyen la carga recibida a través del espesor de esas capas hasta dejar a la sub-rasante una pequeña carga de acuerdo a su capacidad soportante.

Actualmente con el intenso tránsito y las fuertes cargas por eje, algunos pavimentos flexibles tienen gruesas capas de pavimento que dan un comportamiento muy rígido que no esta en concordancia con el criterio flexible original lo que trae como consecuencia que los pavimentos flexibles son realmente escasos.

## **COMPONENTES ESTRUCTURALES DEL PAVIMENTO FLEXIBLE**

La sub-rasante es la capa de 30cm de espesor mínimo que se encuentra en la capa superior de un terraplén o en corte generalmente formada del mismo suelo de la terracería.

La sub-base de pavimento flexible es una capa que sobreyace a la sub-rasante debajo de la base de mejor calidad que ella, tiene la misma función que la de la base, pero construida con material de menor calidad, con lo que se consigue abatir el costo del pavimento.

La base de los pavimentos flexibles se hace a través de una capa resistente formada de suelo granular o estabilizado, que recibirá la carga que le envíe de la



carpeta asfáltica y la distribuirá con menor intensidad a la capa de abajo que pueda ser la sub-base o sub-rasante.

La capa asfáltica tiene la función de proporcionar la óptima resistencia al desgaste de la base protegiéndola de las lluvias, heladas y ayudándole en algunos casos a absorber algo de la carga de los vehículos. Tiene un espesor relativamente delgado el cual dependerá del proyecto.

### **IMPORTANCIA DE LOS ASFALTOS**

Para el Ingeniero Civil es muy importante contar con el conocimiento y aplicación racional de los productos asfálticos, en virtud de los urgentes programas de trabajo que se tienen en la red carretera nacional, que comprende autopistas, carreteras federales y estatales, y caminos alimentadores y rurales.

En los que se presentan actualmente, tanto necesidades apremiantes de nuevas obras, como muy diversos requerimientos de refuerzo y reconstrucción de pavimentos o bien, de modernizaciones completas, en gran parte de la red mencionada.

Lo anterior hace indispensable contar con una mejor tecnología para los asfaltos y también desde luego, con carpetas asfálticas de más alta calidad, resistencia y duración sobre todo en las rutas principales de nuestro país, donde los aforos actuales arrojan intensidades de tránsito hasta de 40,000 vehículos diarios, con 40% de pesados, y arreglos de ejes más desfavorables y destructivos.

El conocimiento de las propiedades de los diferentes materiales asfálticos, así como de los cuidados que deben tenerse para su buena selección, manejo y aplicación, son conceptos de mucha utilidad para todas aquellas personas que directa o indirectamente intervienen en los estudios, proyectos, construcción, conservación y operación de este tipo de obras en que se emplean; también es de capital importancia para las que tienen a su cargo el control o verificación de calidad de los trabajos de pavimentación.





## **CEMENTO ASFALTICO**

### **ANTECEDENTES DEL CEMENTO ASFALTICO.**

Los cementos asfálticos pueden clasificarse tomando como base la penetración o bien, la viscosidad del producto, siendo esta última la que se emplea más en la actualidad, por representar mejor las condiciones reales de trabajo en el pavimento.

En el primer caso, se tienen los cementos asfálticos No.3, 6, 7 y 8 que fueron fabricados en un principio en nuestro país, para quedar poco después únicamente la producción del cemento asfáltico No.6, el cual fue utilizado durante más de 40 años para construir las carpetas por el sistema de mezcla en planta en caliente, de las carreteras más importantes, habiendo sido suspendida su producción apenas el año pasado.

A raíz de lo anterior, se empezaron a elaborar los cementos asfálticos AC-20 y AC-30 base de viscosidad, con clasificación de ASTM, tanto para consumo nacional, como para fines de exportación, los cuales es indispensable completar a la brevedad posible, con los tipos AC-10 (antiguo CA-6) y AC-5, siendo este último muy urgente para la fabricación de emulsiones asfálticas, puesto que estas juegan un papel importante al reemplazar con ventaja a los asfaltos rebajados FR-3 y FM-1, cuya producción fue suspendida en 1996, después de más de medio siglo de uso continuo.

### **REQUISITOS DE CALIDAD DEL CEMENTO ASFALTICO.**

Los requisitos de calidad y las pruebas correspondientes a los cementos asfálticos antes mencionados, se indican en las tablas que se presentan a continuación, además se dan a conocer los requisitos de ASTM para los cementos asfálticos AR, ensayados en el residuo de la prueba de película delgada rolada, caracterizados también por viscosidad.





## PRODUCTOS ASFALTICOS

Una mezcla asfáltica fundamentalmente es el producto obtenido mediante la incorporación y distribución uniforme de un material asfáltico en uno pétreo  
\*\*Normas S.C.T. 4.01.03 INCISO 011-D.01\*\*

<b><u>MATERIAL ASFALTICO</u></b>	<b><u>PARA CARRETERAS</u></b> TRANSITO DIARIO EN AMBOS SENTIDOS EN VEHICULOS PESADOS
* CEMENTO ASFALTICO	MAS DE 1000 VEHICULOS
*EMULSION ASFALTICA	1000 VEHICULOS COMO MAXIMO
* ASFALTOS MODIFICADOS	MAS DE 1000 VEHICULOS

En este cuadro observamos los diferentes tipos de materiales asfálticos que se emplean en la construcción de carpetas y sobrecarpetas para carreteras.

1. EMULSIONES: En las cuales el asfalto se encuentran emulsionado en un líquido, por medio de algún agente emulsificado, según sea la calidad de dicho agente se tiene emulsiones de fraguado lento, medio y rápido.

2. CEMENTO ASFALTICO: Son los asfaltos obtenidos por un proceso de destilación del petróleo para eliminar a este sus solventes volátiles y parte de los aceites.

\* Normas S.C.T. 4.01.03 inciso 011-B,02 a)\*

El material asfáltico que es soluble en bisulfuro de carbón se define como cemento asfáltico, el cual se aplica a sustancias naturales de color, dureza y volatilidad variables compuestas principalmente de hidrocarburos de origen pirómano o combinación de ambos.

Este material se clasifica como sólido, semisólido o líquido.

Los más fluidos son de consistencia líquida y pueden ser usados fríos a la temperatura ambiente mayor de 10°C.

En cambio los de mayor viscosidad requieren de temperatura para su aplicación y manipulación.

Los cementos asfálticos son materiales sólidos o semi-sólidos que no están pulverizados y que requieren calor para su manejabilidad.



El material asfáltico pulverizado sólido puede ser usado en frío, mediante la adición de aceite fluxante.

## LOS CEMENTOS ASFALTICOS FLUIDOS

Los aceites asfálticos para caminos que son obtenidos por la destilación directa de los aceites del petróleo contienen una mezcla de betumen asfáltico propiamente dicho con otros productos petroleros más ligeros, tales como tracto línea, petróleo, estos productos son siempre menos volátiles que la kerosína.

Los aceites, están compuestos de hidrocarburos saturados de alto peso molecular; a temperaturas ordinarias son líquidos viscosos o semi-líquidos, su color es café, son pocos aglutinantes.

\*Normas S.C.T. 3.01.03 inciso 076-F,08 c), b) y d)\*

## CARACTERÍSTICAS

**CONSISTENCIA.-** El control de la consistencia de un material asfalto es importante desde el punto de vista de su conveniencia como constituyente para el acabado de un camino o pavimento, y de su adaptabilidad para usarlo de acuerdo con un método dado de aplicación o manejo.

La consistencia de los materiales semi-sólidos se determina por la prueba de penetración.

La consistencia original de los productos asfálticos líquidos, se determina por la prueba de viscosidad.

Los residuos, que pueden esperarse por la volatilización de los componentes más ligeros de los productos líquidos, bajo las condiciones de uso, se determina por la prueba de penetración, si el residuo es semi-sólido o por la prueba de flotación si el residuo es líquido.

**VISCOSIDAD.-** Determina el grado de fluidez de los líquidos y en el caso de productos asfálticos líquidos es la medida de resistencia de los asfaltos a fluir. El resultado se expresa en segundos.

**FLOTACIÓN.-** Es una prueba de viscosidad modificada, para asfaltos demasiado densos para la viscosidad Furol y muy suave para la prueba de penetración. El resultado se expresa en segundos.



**PENETRACION.-** Se usa para determinar la dureza del cemento asfáltico original, se expresa en décimos de milímetros que se denominan grados.

**DESTILACION.-** Se usa para determinar la calidad y características del solvente, y de las cuales del residuo asfáltico que puede esperarse al volatizarse este, bajo condiciones de aplicación y uso, así como la velocidad relativa a la cual el tal residuo puede ser producido.

El destilado a diferentes temperaturas se expresa como por ciento del volumen de la muestra.

**DUCTIBILIDAD.-** Sirve para dar idea de la deformación que se puede sufrir sin agrietamiento el producto asfáltico en el camino al estar sujeto a las cargas y a los cambios de temperatura.

**SOLUBILIDAD.-** En Bisulfuro de Carbón, se efectúa para conocer la pureza de los cementos asfálticos.

**GRAVEDAD ESPECIFICA.-** No es un factor que permita conocer la calidad del producto, si no que es necesario conocer para deducir de los asfaltos la relación de volumen a peso o viceversa.

Es el peso de cualquier volumen de un material dividido por el peso de un volumen igual de agua. La determinación de la gravedad específica de los productos asfálticos es importante, como medio para hacer correcciones de volúmenes, cuando se miden éstos a temperaturas altas y también como uno de los factores en la determinación del porcentaje de vacíos en mezclas asfálticas comprimidas.

- \* Normas S.C.T. 6.01.03 inciso 011-C.03 y 011-D.03\*
- \* Normas S.C.T. 6.01.03 inciso 011-F,08-C.04\*
- \* Normas S.C.T. 6.01.03 inciso 011-DD.05\*
- \* Normas S.C.T. 6.01.03 inciso 011-C.05 y 011-D.09\*
- \* Normas S.C.T. 6.01.03 inciso 011-C,06 y 011-E.1 \*
- \* Normas S.C.T. 6.01.03 inciso 011-C,06 y 011-D.06\*



## PROPIEDADES DEL CEMENTO ASFALTICO

El asfalto es de particular interés al ingeniero porque es un material fuertemente cementante, altamente adhesivo, impermeable y durable, en términos generales estas propiedades se generan de la siguiente manera:

- Los asfaltenos son responsables de las características de dureza y resistencia de los asfaltos.
- Las resinas le proporcionan al asfalto sus propiedades cementantes o adhesivas.
- Los aceites le imprimen al asfalto la consistencia adecuada para hacerlos trabajables y además, protegen a los asfaltenos y a las resinas de la oxidación provocada por los agentes del intemperismo y también disminuyen los efectos perjudiciales que sufre el asfalto en los procesos de calentamiento que se emplean en las plantas de producción de mezcla asfáltica.

## CLASIFICACION DE LOS CEMENTOS ASFALTICOS.

### CEMENTOS ASFALTICOS CARACTERIZADOS POR PENETRACIÓN

CARACTERISTICAS	CEMENTOS ASFALTICOS			
	NUM. 3	NUM. 6	NUM. 7	NUM. 8
Punto de Inflamación (C.A.C.)	220	232	232	232
Penetración a 25°C	180/200	80/100	60/70	40/50
Punto de Fusión Esfera y anillo °C	37/43	45/52	48/56	52/60
Solubilidad en S2C.	99.5	99.5	99.5	99.5
Ductilidad a 25°C, mínimo	60	100	100	100
Pérdida por calent. Max. %	1.4	1.0	0.8	0.8

En este cuadro se puede observar las diferentes características que rigen a los cementos asfálticos tales como; punto de inflamación, penetración a 25°C y pérdida por calentamiento máximo %. \* Norma S.C.T. 4.01.03 inciso 011-B,04 a)\*



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

### CEMENTOS ASFALTICOS CARACTERIZADOS POR VISCOSIDAD EN EL PRODUCTO ORIGINAL A 60°C (140 °F)

CARACTERISTICAS	CEMENTO ASFALTICO					
	AC-2.5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30	AC-40
VISCOSIDAD, 60°C POISES	250	500	1000	2000	3000	4000
VISCOSIDAD, 135°C (250°F) CENTISTOKES, MINIMO.	125	175	250	300	350	400
PENETRACIÓN, 25°C (77°F) 100 Gr., 5 Seg. MINIMO	220	140	80	60	50	40
PUNTO DE INFLAMACION, COPA ABIERTA DE CLEVELAND °C (°F)	163 (325)	175 (350)	219 (425)	232 (450)	232 (450)	232 (450)
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO, % MINIMO	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5
PERDIDA POR CALENTAMIENTO, %MÁXIMO	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5
VISCOSIDAD, 60°C (140°F) POISES, MAXIMO	1000	2000	4000	8000	12000	16000
PENETRACION RETENIDA, % MINIMO.	40	40	50	54	58	62

En este cuadro se pueden observar las diferentes características que rigen los cementos asfálticos por su:

\* Punto de inflamación, penetración a %, mínimo y pérdida por calentamiento %, máximo.

\*Norma S.C.T. 4.01.03 inciso 011-B,02 B)



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

### CEMENTOS ASFALTICOS CARACTERIZADOS POR VISCOSIDAD 60°C (140°F) PRUEBAS EFECTUADAS EN EL RESIDUO DE LA PELICULA DELGADA ROLADA.

CARACTERISTICAS	CEMENTO ASFALTICO				
	AR-10	AR-20	AR-40	AR-80	AR-160
VISCOSIDAD, 60°C (140°F) POISES	1000	2000	4000	8000	16000
VISCOSIDAD, 135°C (275°F) CENTISTOKES.	140	200	275	400	550
PENETRACIÓN, 25°C (77°F) 100 Gr., 5 Seg. MINIMO	65	40	25	20	20
% DE LA PENETRACION, ORIGINAL, 25°C (77°F) 5 CM POR MIN, CM MINIMO		40	45	50	52
DUCTIBILIDAD, 25°C (77°F) 4 CM POR MINUTO CM MINIMO	100	100	75	75	75
PRUEBAS EFECTUADAS EN EL ASFALTO ORIGINAL					
PUNTO DE INFLAMACION, COPA ABIERTA DE CLEVELAND °C (°F)	205 (400)	219 (425)	227 (440)	232 (450)	238 (460)
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO, % MINIMO.	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0

En este cuadro se pueden observar las diferentes características que rigen los cementos asfálticos por su:

Viscosidad 60 °C, penetración.

Norma S.C.T. 6.01.03 inciso 011 C, 11



### ANALISIS DE ASFALTO AC-20

PRUEBAS	UNIDAD	METODO ASTM	ANALISIS
Viscosidad a 60°C	POISES	D-2171	2000+-400
Viscosidad a 135°C	cSt	D-170	300 Min.
Penetración a 100g/5 Seg/25°C		D5	60 Min.
Tiempo. Inflamación Coc.	°C	D-92	232 Min.
Solubilidad en Tricloroetileno	%	D-2042	99 Min.
Pruebas al Residuo de la prueba de película delgada			
Viscosidad a 60°C	POISES	D-2171	10000 MAX.
Ductibilidad a 25°C	CMS	D-113	50 MIN.

### APLICACIÓN DE CEMENTO ASFALTICO

La aplicación de los asfaltos en los trabajos de pavimentación es consecuencia directa de los requerimientos particulares de cada obra, que incluyen desde las autopistas hasta los caminos rurales.

Estos requerimientos deben tomar en cuenta principalmente las condiciones climáticas, volúmenes y tipo de tránsito, materiales pétreos disponibles y procedimientos constructivos.

Por otra parte, la disponibilidad en nuestro país a la fecha comprende solo el cemento asfáltico AC-20, aunque también se espera contar en un lapso razonable, con los cementos asfálticos AC-10 y AC-05, que son ya indispensables. Así mismo, se tiene en la república más de 50 plantas productoras de emulsiones cationicas, que todavía no encausan debidamente la buena calidad de sus productos, en virtud de falta de materias primas apropiadas, especialmente del cemento asiático, de procesos adecuados de fabricación y control y finalmente, por no disponer de normas actualizadas e idóneas para nuestro medio.

Esto último es muy importante ya que es urgente contar con emulsiones asiáticas de óptima calidad que aseguren el correcto funcionamiento de los





pavimentos en que se emplean y además, porque presentan ventajas indiscutibles en los procesos de producción, manejo y aplicación de ellas.

En las mezclas asfálticas elaboradas en planta, en frío, así como también, para carpetas asiáticas de riesgos superficiales, morteros asiáticos, riegos de sello normalmente o pre-mezclados y riegos de impregnación de bases hidráulicas.

### APLICACIÓN DE LOS CEMENTOS ASFALTICOS

CEMENTOS ASFALTICO O  
RECOMIENDAN  
EMULSION

TRABAJOS QUE SE  
EN FORMA GENERAL

AC-5, AC-10, AC-20 Y AC-30  
regiones  
carreteras de alta

Para concretos asfálticos en las  
Antes señaladas y para  
circulación.

Emulsiones asfálticas  
Cationicas:

Fraguado lento o  
de bases  
Superestable

Para riegos de impregnación  
hidráulicas.

Fraguado rápido  
asfálticas

Para riegos de liga, carpetas  
de riegos superficiales y  
convencionales.

riegos de sellos

Fraguado Medio o  
mezcla en  
Lento  
con

Para carpetas asfálticas de  
planta, en frío y para carreteras  
Tránsito máximo de 2000  
y 20% de pesados, incluyendo  
de conservación como  
velaciones y sobrecarpetas.

vehículos

trabajos

baches, reni-





### 3.5.2.- USO DE CEMENTOS ASFALTICOS EN LA REPUBLICA MEXICANA

ASFALTO	Región que se recomienda para su uso ( <u>Tentativo</u> )
AC-5	Para la elaboración de emulsiones asfálticas en general y para concretos asfálticos que se utilicen en algunas partes de sierra madre occidental, comprendidas en los estados de Durango y Chihuahua.
AC-10	Para la región central y altiplano de la República.
Ac-20	Para el sureste de la República de las regiones costeras del golfo del pacífico.
AC-30	Para la región norte y nordeste del país, excluido el estado de Tamaulipas.

\* La distribución anterior se basa principalmente en condiciones climatológicas de la zona.

### RIEGOS

#### SUS FUNCIONES SON:

1. Impermeabilizar la superficie de la calzada, protegiéndola contra la penetración del agua de lluvia que podría comprometer la estabilidad de la capa.
2. Aumenta la resistencia del camino a la erosión.

El riego asfáltico permite la aplicación de una capa de piedra cuyo pequeño volumen hace posible seleccionarlas entre las de mayor resistencia al desgaste. El empleo de asfalto como ligante, unido al pequeño tamaño de la gravilla, hacen a esta capa resistente a las erosiones y esfuerzos tangenciales del tránsito.

3. Proporcionar una superficie rodadura suave con excelentes coeficientes de rozamiento, pero sin irregularidades molestas para los conductores y perjudiciales para los vehículos, sin polvo en tiempo seco y sin charcos en lluvias.



4. Alargar la vida de los pavimentos asfálticos de cualquier tipo, que empiezan a mostrar señales de deterioro debido a envejecimiento y escasa dosificación de la ligante.

### **RIEGOS MULTICAPAS**

Los riegos multicapa permite obtener pavimentos de espesor mayor utilizando el mismo equipo que el manocapa, sus fines son los mismos de los riegos superficiales monocapa.

Pero los riegos multicapa los cumple con mayor seguridad, su vida es mucho más larga y refuerzan notablemente la resistencia mecánica del pavimento.

La preparación necesaria en el pavimento es la misma que para los riegos monocapa: La gravilla empleada en cada capa es de tamaño inferior al de la empleada en la capa extendida anteriormente para un revestimiento tricapa, puede usarse gravilla de 15 - 25 mm en la primera capa de 10 – 15 mm en la segunda de 3 – 8 mm en la tercera apisonando ligeramente haciéndose a fondo después de extender la última capa de gravilla.

Es preferible el empleo de emulsiones de rotura rápida, este tipo de riego puede emplearse a veces para corregir las irregularidades del pavimento.

### **TRATAMIENTOS SUPERFICIALES**

Este tipo de construcción en un pavimento puede servir de impregnación de liga o sello.

Dentro de los tratamientos superficiales de sello están los riegos negros o taponamiento, tratamientos de un riego de gravilla o varios riegos o el de "Slurryseal" o mortero asfáltico. Los tratamientos de uno o varios riegos de gravilla o el de mortero, requieren explicación de sus respectivos diseños y pruebas.

### **RIEGO DE IMPREGNACION**

El riego de impregnación es la aplicación de una emulsión de asfalto a una superficie determinada, con objeto de impermeabilizarla o estabilizarla para favorecer la adherencia entre ella y la carpeta asfáltica (norma S.C.T. 3.0.1 inciso 078-B.01)



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

Se realizan sobre superficies envejecidas, oxidadas, agrietadas o poco falladas, cuando se requiere alargar la vida de superficie mientras se hace la reparación apropiada.

El ligante que emplea en este caso es una emulsión de cemento asfáltico de rompimiento medio para que se logre su disolución cercana al 20% de residuo, sin problemas de estabilidad. Con la rápida puede haber problemas y puede romper en el momento de hacer disolución.

$$(\text{Cemento asfáltico})\%r = 0.625/3.00 * 100 = 20\%$$

En ocasiones se busca que el residuo sea más blando o que contenga algún tipo de látex que ayude a mejorar su adherencia y mejore su plasticidad.

- \* Norma S.C.T. 3.01.03 inciso 078-F, 03
- \* Norma S.C.T. 4.01.03 inciso 009-C, 04 e)

#### RIEGO DE LIGA

Es un tratamiento superficial para unir capas; sea de base hidráulica con una capa asfáltica, o una capa asfáltica con otra del mismo tipo.

Las cantidades de emulsión que se emplean son las mínimas necesarias, mientras más porosas, mayor será la cantidad que se debe emplear, generalmente el riego de liga se hace casi en el momento de realizar el tendido de la capa asfáltica.

Cuando hay superficies muy secas y polvosas, es necesario barrer correctamente y dar un ligero riego de agua para romper la tensión superficial.

El ligamento que se emplea en una emulsión de rompimiento rápido cationica RR-C de 3 a 5 % del solvente del mismo tipo al empleado en los rebajados de fraguado rápido. Esto dará el riego de liga a un mayor tiempo con propiedades plásticas y adherentes, a pesar de que la emulsión haya roto.

En algunas ocasiones y muy especialmente cuando se trata de calizas este riego puede hacerse con una emulsión de rompimiento rápido aniónico (RR-A). Puede sub- dividirse por una cationica diseñándola para que contenga ácido naftánico o algún TALL-OIL que mejore su adherencia activa con los materiales alcalinos.

El aplacador debe pedir al productor, el diseño de la emulsión adecuada, ya que no se trata de una emulsión comercial, se tiene la idea que la modificación a



la emulsión no es necesaria, sin embargo se ha visto que esta practica es adecuada y asegura los resultados.

Las cantidades de ligante que se recomiendan varían entre 0.8 a 1.0 L/m<sup>2</sup> siempre en relación con el tipo de superficie sobre la cual se va a aplicar las superficies porosas de granulometría abierta pueden tener una mayor absorción que las cerradas y ricas en asfalto.

### **RIEGO DE SELLO**

El riego de sello consiste en la aplicación de un material asfáltico, cubierto con una capa de materiales pétreos, para impermeabilizar la carpeta, protegerla del desgaste y proporcionar una superficie antiderrapante.

\* Norma S.C.T. 3.01.03 inciso 0.82-B

### **MATERIALES**

Los materiales asfálticos que se emplean en la construcción de riego de sello, serán cementos asfálticos, y emulsiones de rompimiento rápido.

Cuando se requiere un aditivo para los materiales asfálticos, será fijado en el proyecto y/o ordenado por la secretaría.

\* Norma S.C.T. 3.01.03 inciso 0.82-D.02 y D.03

### **EJECUCION**

Antes de aplicar el riego de sello, la superficie por tratar deberá estar seca y ser barrida para dejarla exenta de materiales extraños y polvo.

Para la ejecución de un riego de sello, en términos generales se procederá de acuerdo a las etapas siguientes:

- A) Se barre la superficie por tratar
- B) Se dará el riego de material asfáltico, del tipo y en la cantidad fijada en el proyecto ido ordenados por la S.C.T.
- C) Se cubrirá el riego de material asfáltico con una capa del material pétreo que fije el proyecto u ordene la S.C.T. y en la cantidad también así fijada
- D) Se rastreará y planchará el material pétreo.
- E) Se recolectará mediante barrido y removerá el material pétreo excedente que no se adhiere al material asfáltico, depositándolo en el lugar que señale la secretaría. \* Norma S.C.T. 3.01.03 inciso 0.82-F.09



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

Cuando se ordene que se hagan dos aplicaciones de material pétreo, se dejarán transcurrir algunos días después de aplicado el primer riego y cuando lo ordene la secretaría, se hará la siguiente aplicación; la secretaría fijará la cantidad en litros por metro cuadrado, que se aplicará en cada caso. \* Norma S.C.T. 3.01.03 inciso 0.82-F.10

El tendido del material pétreo se hará con espaciadores mecánicos inmediatamente después de tendido el material pétreo, para tener una mejor distribución del mismo, se pasará una rastra de cepillos de fibra o de raíz dejando así la superficie exenta de ondulaciones, bordes y depresiones. \* Norma S.C.T. 3.01.03 inciso 0.82-F.11

Los materiales pétreos tendido y rastreados, como se indica anteriormente, se plancharán inmediatamente con rodillo liso ligero únicamente para acomodar; las partículas del material tendrán un especial cuidado para no fracturarse por exceso de planchado. \* Norma S.C.T. 3.01.03 inciso 0.82-F.12

#### LIGANTES.

Como ligante para el riego \*\* de sello\*\* pueden emplearse cementos asfálticos y emulsiones asfálticas.

El cemento asfáltico es el ligante que con mayor frecuencia se ha venido empleando para este fin, presenta el inconveniente de que al aumentar rápidamente su viscosidad por enfriamiento por contacto con el material pétreo, obstruye los huecos y no alcanza la profundidad que se supone en el espesor de la capa.

Dando lugar a que el borde interior de ésta quede totalmente desprovisto de ligante mientras que unos pocos centímetros en su parte superficial resultan con un extraordinario exceso de ligante que pueden dar lugar a inestabilidades o exudaciones.

Las emulsiones a emplearse deben ser emulsiones de alta viscosidad que se calientan ligeramente para aplicarlas, Al aplicar la emulsión, ésta rompe al contacto con los fragmentos de roca en la superficie.

El empleo de emulsiones del tipo adecuado presenta además la ventaja de que es posible trabajar con mayor independencia de las condiciones atmosféricas, ya que las emulsiones no son perjudicadas por una ligera cantidad de humedad en los fragmentos de roca.



Si se trabaja con cemento asfáltico es absolutamente necesario que el material pétreo esta seco a menos que se activen los ligantes de forma que una pequeña cantidad de lluvia caída durante la ejecución de la obra cuando está extendida la capa principal de material pétreo puede exigir la detención de los trabajos durante algún tiempo bastante largo hasta que los agregados pétreos se hallan secado.

## FALLAS Y RECOMENDACIONES PRÁCTICAS EN LA COLOCACIÓN DE RIEGOS

Es indispensable que los materiales pétreos que se emplean en la construcción de tratamientos superficiales con gravilla, cumplan con los requisitos de las pruebas de desgaste, granulometría y afinidad con el asfalto, descrito en las especificaciones generales de construcción de carreteras de cada país. Los problemas más frecuentes durante la construcción son:

- a) Desprendimiento
- b) Manchas de la superficie
- c) Esgurrimiento del producto por fuerte pendiente
- d) El trazo del camino

El desprendimiento de la gravilla en un tratamiento superficial obedece a varias causas, pero la más importante es la que ocurre por falta de afinidad del material pétreo con el asfalto.

La escasez del ligante es una causa directa del desprendimiento del material pétreo por falta de la colocación correcta del mismo, por lo que se debe tener en cuenta la dosificación correcta del ligante que resulte del diseño para el tratamiento superficial que se va a ejecutar.

El desprendimiento también ocurre al abrir el camino prematuramente al tránsito de vehículos, esto es más notable en los caminos localizados en terreno montañoso, principalmente en las curvas, por los constantes frenados y el esfuerzo cortante ejercido por las llantas.

Las carpetas asfálticas en climas cálidos y en época de verano alcanzan temperaturas de 58°C a 60°C; esta temperatura es superior al punto de reblandecimiento de los cementos asfálticos que produce PEMEX.

Este problema se ha combatido cerrando el camino al tránsito cuando menos 48 horas, tiempo en que se desarrolla la acción pasiva del ligante asfáltico.





ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

El manchado de las superficies se debe principalmente a un exceso de ligante, por lo que se debe tener mucho cuidado en su dosificación; siendo el tratamiento superficial la última etapa de la construcción de un camino. Se debe procurar hacer un trabajo limpio.

Una sobre dosis de ligante puede dar como resultado una superficie resbalosa, cuya peligrosidad se manifiesta mayormente con humedad.

\*Los riegos de sello pueden mancharse cuando el material pétreo se encuentra muy húmedo. Para evitar esto, antes de cubrir con gravilla el riego de emulsión, se deja que empiece a romper, y esto ocurre cuando la emulsión cambia superficialmente de color café oscuro a negro brillante.

\* Para contener los escurrimientos de la emulsión por pendiente de un camino, se ha recomendado en algunas ocasiones hacer un pre-riego con el mismo material pétreo que se va a emplear para el sello, tratando directamente sobre la carpeta de 10 a 15 % de cantidad total por metro cuadrado, enseguida se hace el riego de la emulsión y se procede a cubrir éste con la gravilla faltante.

Después se prosigue con la compactación en forma acostumbrada obteniendo buenos resultados, pero se debe ayudar al trabajo empleando emulsiones más viscosas.

## MORTERO ASFALTICO

Los morteros asfálticos son los que se elaboran con material pétreo de determinada granulometría, agua y emulsión asfáltica, para ser aplicados sobre una base impregnada o una carpeta asfáltica, con el objeto de impermeabilizarlas y protegerlas del desgaste.

\* Norma S.C.T. 3.01.03 inciso 0.83-B

Este tipo de tratamiento superficial, es empleado como una capa de desgaste o sello. No se le puede considerar como parte estructural del pavimento.

El mortero asfáltico esta compuesto por gravilla, arena, finos de cemento, hidráulica o cal pagada, agua y emulsión que mezclados forman una masa típica con magníficas propiedades físicas.

Los métodos de diseño son muy variados y las pruebas hechas en cada uno son puramente empíricas, hasta el momento cada laboratorio tiene su propia interpretación.



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

Por lo que se refiere al método de diseño, como en todos los proyectos de mezclas asfálticas, en general lo primero que se tiene que realizar es identificar el material pétreo con el objeto de conocer todas sus características físicas mediante las pruebas correspondientes.

- Identificación petrográfica
- Granulometría
- Peso volumétrico
- Equivalente de arena
- V.S Florida

La granulometría y equivalente de arena son valores que influyen en los resultados del diseño. Si el mismo material tiene una variación ligera en su equivalente de arena, su comportamiento es diferente.

Los materiales asfálticos que se emplean en la elaboración de mezclas asfálticas serán emulsiones aniónicas o catiónicas. Cuando se van a emplear emulsiones catiónicas, el equivalente de arena puede hacer variar el tipo de emulsión que deberá emplearse.

Un material con 10% de finos que pasan la malla No. 200 y un equivalente de 80% de arena, es totalmente diferente si contiene el mismo porcentaje de finos, pero su equivalente de arena es de 50% cuando se requiere un material fino para dar al material pétreo la granulometría especificada, se podrá utilizar cemento Pórtland.

Norma S.C.T. 4.01.10 inciso C-03

Norma S.C.T. 3.01.03 inciso 0.83-D.02

El cemento o la cal apagada se deben escoger entre aquellas marcas que se conozcan de origen, y éste garantiza su calidad sobre todo el cemento debe ser fraguado normal, ya que los de fraguado rápido no son compatibles con los morteros.

Estos finos tienen dos funciones principales: El rompimiento o fraguado del mortero se puede acelerar o retardar según el tipo de emulsión que se emplee.

En el caso de las aniónicas, el fraguado se acelera ligeramente ganando tiempo para poner en servicio el tratamiento aplicado; este mismo cemento, si se agrega a las mezclas con emulsión catiónica está, sufrirá un retaso en su rompimiento, lo que provoca como consecuencia que el fraguado de mortero sea más lento.





ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

Estas emulsiones deberán cumplir con las especificaciones respectivas para cada tipo de emulsión y los subgrupos incluidos en los dos básicos.

SS-A YSS-C (SS- SUPERESTABILIZADO).

En la tabla se muestra el tipo de emulsión para mortero clasificando la que se va a usar para diferentes tipos de tiempo de rompimiento de la emulsión.

<i>EXPULSIONES PARA MORTERO</i>	<b>ANIONICAS</b> <b>SS-A</b>	<b>ROMPIMIENTO MEDIO</b> <b>ROMPIMIENTO LENTO</b>
	<b>CATIONICAS</b> <b>SS-C</b>	<b>ROMPIMIENTO RAPIDO</b> <b>ROMPIMIENTO MEDIO</b> <b>ROMPIMIENTO LENTO</b>

Se tiene que hacer notar que el tipo súper estabilizado (SS) es el indicado para trabajar morteros asfálticos.

Después de haber analizado las pruebas que se realizan con los componentes de un mortero, se procederá a estudiar el diseño de una mezcla aceptable de acuerdo con su posible comportamiento.

El primer paso, es determinar el máximo contenido teórico admisible de residuo asfáltico, a partir de este valor se determina la cantidad de agua óptima para el mezclado y el tendido.

Cantidad que se mantendrá constante cuando a su vez se determine prácticamente el porcentaje óptimo de residuo, de modo que el resultado sea la mezcla más resistente a la abrasión.

Esta comprobación de resistencia se hará mediante variaciones del contenido de asfalto y su evaluación para descubrir cual combinación muestra menor tendencia a la abrasión.



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

COMPONENTES	PROPORCIONES EN PORCIENTO CON RESPECTO AL PESO SECO DEL MATERIAL PETREO.
EMULSION ASFALTICA	18 – 25 % EN PESO CON RESPECTO AL MATERIAL PETREO
AGUA PARA DAR LA CONSISTENCIA NECESARIA A LA MEZCLA	10 – 15 %% CON RESPECTO AL MATERIAL PETREO

En la tabla se pueden observar los porcentajes de asfalto y de agua que están comprendidos dentro de los límites que indican la norma S.C.T. 3.01.03 inciso 083-F.02 para la elaboración de mortero asfáltico.

Para la aplicación del mortero asfáltico, en términos generales, se procederá de acuerdo a las etapas siguientes.

Se limpiará la superficie por tratar para eliminar el polvo y materias extrañas.

Se limpiará las grietas en la forma que indique la secretaría en cada caso, se rellenarán estas y las depresiones que existan.

Se humedecerá la superficie por tratar, inmediatamente antes de la aplicación del mortero.

Se aplicará el mortero ajustando la compuerta de salida del mezclador y la altura del distribuidor, para dar el espesor que fije el proyecto y/o que indique la secretaría.

Entre los aparatos para medir el desgaste de los morteros son los siguientes:

- Raspado de cuchillas
- Ciado de bolas por vibración
- Desgaste por abrasión en inmersión.

Norma S.C.T. 3.01.03 inciso 083-F.07



## MORTERO ASFALTICO O SLURRY

Un mortero asfáltico consiste en una capa delgada formada por arena, emulsión asfáltica y finos de relleno mineral y que forman una mezcla tixotrópica con magnificas propiedades de dureza y a la vez elásticas.

Esta capa también es un tratamiento superficial pero de una cálida óptima, entre sus propiedades SE TIENE:

- Rellena las grietas existentes en un pavimento
- Sella totalmente una superficie porosa y desgastada
- Tiene una superficie rugosa y con magnifica propiedades antideslizantes
- No permite la entrada de agua de lluvia en la superficie protegida con este tratamiento
- Resiste el paso de los vehículos y su desgaste es a largo plazo, su periodo de vida varia de 5 a 10 años

Esta combinación de elementos es mezclada y aplicada en frío, permitiendo su penetración en todas las grietas sin peligro de endurecimiento prematuro.

Los materiales componentes son seleccionados para conseguir una mezcla que tenga buena estabilidad e impermeable. Después de fraguado que se tenga, es decir que depende de la urgencia que hay para abrir la vía al tránsito.

### SELECCIÓN DE LA ARENA

La arena que se seleccione debe de cumplir con las características que se señalan en las normas ASTM.

- Debe de cumplir con la prueba de desgaste de los ángeles con máximo de 45%
- Equivalente de arena mínimo 50%
- Granulometría de los tipos I, II o III de la especificación ASTM D-3910

### SELECCIÓN DEL TIPO DE EMULSION

El tipo de emulsión dependerá sobre todo del tiempo de fraguado que se quiera tener, por lo que en épocas modernas únicamente se utilizan las emulsiones cationicas para poder controlar el tiempo de rompimiento.



Las emulsiones deben ser de asfalto puro con un residuo mínimo del 60%, el asfalto preferido en todos casos es el AC-20 (60-70 de penetración)

### DISEÑO DE LA MEZCLA DEL MORTERO

Ya elegidos los elementos que componen un mortero asfáltico, queda únicamente por hacer el diseño para determinar la cantidad óptima de asfalto en la mezcla para obtener las características óptimas de la mezcla.

Hay una serie de ensayos que recomienda el método Americano A.S.T.M. D-3910 que ha sido adoptado prácticamente en todo el mundo.

El principal de ellos es la prueba de Abrasión en húmedo denominada TWIT, esta prueba determina la resistencia de la mezcla después de fraguada y seca, a la abrasión en un medio húmedo con diferentes cantidades de asfalto residual en la mezcla.

Esta prueba nos determina la cantidad de emulsión que deberá emplear para ejecutar el trabajo.

### COLOCACION DEL MORTERO ASFÁLTICO.

La ejecución del trabajo de colocación se hace empleando un camino que esta adaptado con varios aditamentos que facilitan la operación de tendido.

- Una o dos tolvas de arena, con una banda dosificadora en el fondo de esta para permitir la alimentación correcta de los materiales.
- Dos tanques, uno para emulsión y otro para agua
- Cajón mezclador, con un sistema de mezclado de paletas moviéndose a alta velocidad
- Rastra con hules que hace el extendido en espesores controlados entre 5 a 20 milímetros.
- La cantidad aplicada dependerá del espesor que se quiera colocar en la superficie por cubrir.



## EMULSIONES ASFALTICAS

Son los materiales asfálticos líquidos estables armados por dos fases no miscibles, la que la fase continua de la emulsión esta formada por agua y la fase discontinua por pequeños glóbulos de asfalto. Dependiendo del asfalto emulsificante, las emulsiones pueden ser Aniónicas, si los glóbulos del asfalto tienen carga electronegativa o Catiónicas, si los glóbulos asfálticos tienen carga electropositiva.

Las emulsiones asfálticas pueden ser de rompimiento rápido, medio o lento.  
Norma s.c.t. 4.01.03 INCISO 011-B.02E

En el caso de las emulsiones asfálticas se define como líquido de color café oscuro, casi tan fluidos como el agua, de la cual contiene un 40% a un 50%, este al parecer elevado porcentaje de una sustancia que no se aprovecha como aglutinante, tiene un papel en realidad muy importante pues permite la aplicación del asfalto en frío, permite cubrir el material pétreo de los pavimentos con partículas más delgadas que las obtenidas con los asfaltos calientes, facilita la penetración del asfalto, porque las emulsiones no se coagulan en contacto con el material pétreo, humedad y en tiempo frío.

Cuando las emulsiones asfálticas se aplican al material pétreo, el agua se elimina por absorción y por evaporación.

Todos los conocimientos científicos actuales que en alguna forma pudieran contribuir a la manufactura de las emulsiones más uniformes y estables, han sido aprovechadas y se ha llegado prácticamente a las emulsiones mecánicas con cantidades insignificantes de estabilizadores.

Para que la repulsión electrostática ayude a la estabilidad, se procura aumentar la carga de las partículas de asfalto añadiendo al agua un electrolito que aumente la diferencia de potencia entre las dos fases.

Como la mayoría de los casos, las emulsiones se aplican lejos del lugar de producción y serán transportadas, en camiones o ferrocarril usando distintos envases, fácilmente se comprende que la elasticidad de la misma, es un requisito indispensable, es decir, su resistencia a la coagulación o sedimentación que traería serios trastornos para su uso.

Norma S.C.T. 3.01.03 inciso 076-F.02



Hasta la fecha no se conoce remedio para el fenómeno de coagulación y el utilizar una emulsión semi – coagulada, además de la dificultad de regarla, representa el inconveniente de la falta de uniformidad en el espesor de la película que deben cubrir los materiales pétreos.

## CARACTERISTICAS DE LAS EMULSIONES

**VISCOSIDAD.-** No todos los líquidos pueden pasar a través de un orificio con la misma facilidad, y si con la misma bomba se pretende bombear a la misma altura y en las mismas condiciones, sucesivamente agua y petróleo crudo por ejemplo, se verá que la energía requerida para moverla no es la misma en ambos casos.

**PORCENTAJE DE ASFALTO.-** Es un factor de importancia para el ingeniero al juzgar la calidad de una emulsión, ninguna buena emulsión deberá tener menos del 50% y en la generalidad de los casos 55% que es un límite muy razonable, en el que la riqueza se obtiene sin sacrificar la fluidez, la que principia a disminuir muy rápidamente en las emulsiones que tienen mayor contenido de asfalto.

**CANTIDADES DE SUSTANCIAS SAPONIFICABLES.-** Es conveniente que no pase del 1%, en virtud de que casi siempre un exceso de esta sustancia perjudica las propiedades del asfalto y el límite puesto a estas sustancias, es precisamente fundado en la necesidad de conservar todas las buenas cualidades de los asfaltos, para que una vez eliminada el agua de la emulsión, quede un asfalto tan puro como sea posible.

**PORCENTAJE DE COAGULACION.-** Cuando se riega o se mezcla una emulsión, al contacto con el material pétreo y con el aire, se elimina una parte del agua y al romperse el equilibrio electromecánico de la emulsión se coagula el asfalto, con tanto mayor rapidez cuanto menos sustancias saponificaste se utilizan en su manufactura.

Una vez coagulado el asfalto, aun cuando se ponga en contacto con el agua no vuelve a emulsionarse y se queda adherido el material pétreo, lo que tienen gran importancia sobretodo en las emulsiones de fraguado rápido.

Por esta circunstancia es importante el conocer con la mayor exactitud la mayor o menor rapidez con que la emulsión ya aplicada podrá soportar sin perjuicio el contacto con el agua.





Por otra parte, hasta que la coagulación total ha terminado, las emulsiones carecen por completo de adherencia y se desprenden del material pétreo con la menor fricción.

## **CALIDAD Y CANTIDAD DE LOS ASFALTOS**

La calidad del asfalto, tiene tanta importancia si se aplica en forma de emulsión, como si se usa en asfaltos fluxados, pero independientemente para la fabricación de las emulsiones se tiene que hacer una cuidadosa selección de los asfaltos.

Que posean todas las características indispensables para producir un buen pavimento, además de llenar ciertos requisitos que los hagan propios para emulsificarse pues no todos los asfaltos son susceptibles de efectuarlo.

La penetración del asfalto usado en las emulsiones es de 180 a 200, con tendencias en mayores penetraciones en pavimentos para los climas fríos o cuando se utiliza material pétreo con más de 5% del polvo, en cuyo caso es conveniente el usar asfalto de penetración de 250 a 300.

Para los calores excesivos de las regiones tropicales, el reblandecimiento del asfalto de alta penetración contribuye a que el tránsito ayudado por la alta temperatura lo elimine de la superficie del pavimento. Estos climas y especialmente para pavimentos delgados se usan de 80 a 120 de penetración.

## **FRAGUADO DE LAS EMULSIONES**

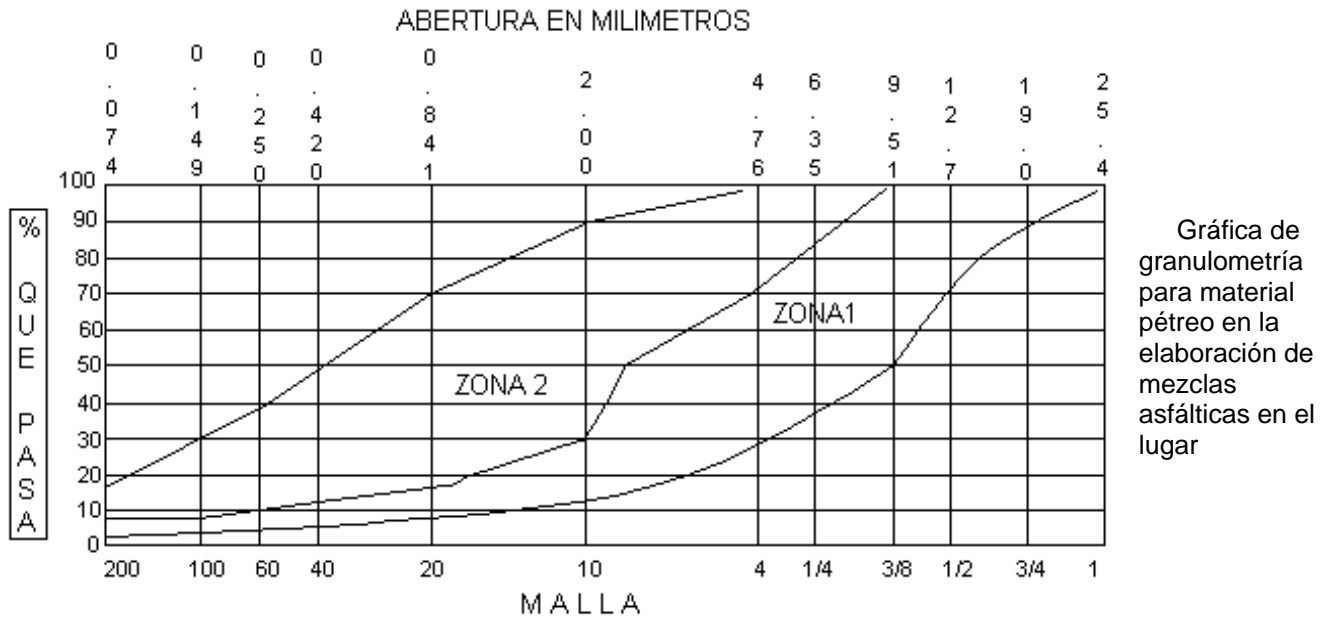
La mayor o menor rapidez con que se efectúa el fenómeno de separación de las dos fases de una emulsión asfáltica y que se verifica al distribuirla, depende de los factores que intervienen en la evaporación tales como la temperatura ambiente y del material pétreo, la humedad del aire y la velocidad del viento.

Es también afectada por la mayor o menor porosidad del material pétreo y primordialmente de la calidad y cantidad del agente emulsificador usado.



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

## ZONAS DE ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS PARA MATERIALES PÉTREOS QUE SE EMPLEEN EN MEZCLAS ASFALTICAS EN EL LUGAR



Aun regando en condiciones similares, dos emulsiones diferentes, el asfalto contenido en las mismas no se coagula con la misma rapidez en algunas emulsiones al cabo de 30 minutos de regadas se han coagulado el 80% del asfalto y en otras solo del 2 al 5 %.

Se llama velocidad de fraguado de una emulsión asfáltica, a la mayor o menor rapidez con que se separa el agua de la misma dejando al contacto del material pétreo una capa de asfalto que no puede emulsionarse de nuevo con el agua.

Las emulsiones de fraguado rápido, deberán usarse para riegos superficiales y profundos. Las emulsiones de medio y lento para mezclas y estabilizaciones.





ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

	<b>FRAGUADO RAPIDO</b>	<b>FRAGUADO MEDIO</b>	<b>FRAGUADO LENTO</b>
CONTENIDO DE AGUA	42 A 43 %	40 A 42 %	40 A 42 %
CONTENIDO DE ASFALTO 180 PENETRACION	57 A 58 %	58 A 60 %	58 A 60 %
AGENTE EMUSIFICADOR MAXIMO	1 %	2 %	3 %
CENIZAS MAXIMO	0.5	0.5	0.5
VISCOSIDAD 25°C	100"	100"	100"
GRAVEDAD ESPECIFICA RETENCION MALLA No.20	1.02 0.1 %	1.03 0.1 %	1.03 0.1 %
DEMULSIBILIDAD	NO MENOR 30 %	NO MAS 30 %	
MISCIBILIDAD CON CEMENTO	NO PASA	NO PASA	NO PASA
SEDIMENTO 5 DIAS	NO MAS 3 %	3 %	3 %
MISCIBILIDAD CON AGUA		PASA	PASA

\* En este cuadro observamos las diferentes especificaciones a las que deberán ajustarse las emulsiones de fraguado rápido, medio y lento.

### ELABORACION DE LAS EMULSIONES

Para formar una emulsión se agitan violentamente dos líquidos que no se mezclen. Al agitar los líquidos uno de ellos se subdivide en gotas muy pequeñas que tienden luego a la separación.

Si se toma un pequeño porcentaje de aceite y se agita junto con agua, se formará una emulsión muy diluida de aceite, que no se separará fácilmente si la subdivisión del aceite se reduce a gotas suficientemente pequeñas.



Pero a medida que se pretenda hacer las emulsiones más ricas se ve que tienden a separarse con mayor rapidez.

Esta separación se efectúa por la diferencia de densidad de los líquidos, por la tensión interfacial de los mismos y por movimiento de partículas muy pequeñas que reciben el nombre de movimientos Brownianos.

### MOVIMIENTOS BROWNIANOS.

Al observar al microscopio cualquier emulsión se notará que las pequeñas gotas de la fase interna están en constante movimiento dentro del líquido de la otra fase, siendo este movimiento más intenso, mientras más pequeñas son las gotas mencionadas.

Este mismo fenómeno se presenta en cualquier sustancia que se encuentra en suspensión en un líquido.

Observando una suspensión de estas partículas animadas de estos movimientos, se nota que son provocadas por choques de las mismas con otros elementos, que las golpean en todas direcciones.

Trasmitiéndoles siempre velocidades inversamente proporcionales a la masa y por lo tanto al tamaño de las partículas de la fase dispersada.

Lógicamente se supuso que estos choques son contra las moléculas de la fase continua, lo que se llegó a verificar posteriormente con el cálculo.

Este fenómeno influye en las emulsiones ya que puede considerarse que les imparte una estabilidad mecánica que por lo mismo no altera para nada la naturaleza de las sustancias que forman la emulsión.

De aquí, es muy importante aprovechar este fenómeno para la fabricación de emulsiones hasta su máximo, para lograr la estabilidad mecánico – eléctrica.

No pueden lograrse emulsiones estabilizadas al 100 % a base de estos movimientos porque los mismos son a causa de numerosos choques entre los glóbulos de fase interna y sobreviene una nueva fuerza que tiende a coagular la emulsión, siendo esta la tensión superficial de los líquidos.

Esta nueva fuerza, provoca la reunión de los glóbulos, aumentando paulatinamente su tamaño hasta que su aceleración disminuye lo suficiente para que la gravedad provoque la sedimentación.



## CARGAS ELECTROSTICAS DE LAS EMULSIONES

Como cada una de las partículas del aceite posee carga igual, la repulsión eléctrica creada viene a evitar parcialmente al menos los, choques citados anteriormente.

Como por otra parte tiende a mantener las partículas igualmente separadas, esta repulsión por sí misma contribuye a la estabilidad de las emulsiones y puede producirla permanentemente.

En emulsiones en general se utiliza un 4 a 5 % de concentración si la carga, de la fase dispersa es de 70 milivolts por partícula desapareciendo prácticamente la influencia de las cargas eléctricas si estas bajan a 30 milivolts.

La comprobación de la carga eléctrica de las partículas, se verifica haciendo pasar una corriente eléctrica continua a través de la emulsión, si esta es del tipo aceite en agua como las partículas tendrán una carga negativa, se notará que se mueve hacia el electrodo positivo, con la velocidad que da la formula de STOKES correspondiente al movimiento de esferas dentro de un medio fluido y bajo la influencia de una fuerza determinada.

$$V = \frac{2/g * r^2 ( D - D_s ) F}{n}$$

V= Velocidad de las esferas

r= Radio de las mismas

D= Densidad del medio en que se mueve la esfera

Ds= Densidad de la sustancia que forma la esfera

F= Intensidad de la fuerza motora

n= Viscosidad del medio

Este fenómeno de repulsión aumenta añadiendo un electrolito al líquido dispersado.

Añadiendo otros electrolitos a las emulsiones se puede modificar las cargas electrostáticas de las partículas, provocando la coagulación.



## RECOMENDACIONES PARA MANEJAR CORRECTAMENTE LAS EMULSIONES

Para tener un correcto manejo de las emulsiones asfálticas, deben de tenerse las precauciones normales pero necesarias como las que a continuación se recomiendan:

\* Los Tanques o fosas de almacenamiento deberán de tener un sistema de recirculación, con el objeto de evitar la sedimentación del asfalto contenido en la emulsión.

\* Una emulsión que cumple con las especificaciones de calidad, puede estar almacenada durante más de un año si se recircula sistemáticamente para mantener su estado líquido homogéneo.

En todos los casos la emulsión es la primera que se introduce en el tanque de dilución y el agua se va añadiendo poco a poco.

\* Antes de recibir una emulsión en la obra, se recomienda comprobar su calidad y el tipo de emulsión que se trata haciendo algunas pruebas de identificación que se recomienda para cada caso.

Cada entrega de emulsión debe incluir un certificado de calidad que incluye los parámetros de la producción.

### EMULSIONES ANIONICAS

Son aquellas en que las partículas de asfalto están cargadas negativamente, por lo que presentan afinidad por las superficies cargadas positivamente.

Los emulgentes empleados normalmente en la fabricación de emulsiones aniónicas de asfalto son de resinato de sosa o de potasio u otros jabones de tipo similar.

Los jabones más convenientes si se desea obtener emulsiones del tipo asfalto en agua (O/W).

Estos jabones se componen de una cadena hidrocarbonada, que representamos por "R", unida al grupo COOX, donde X representa un metal monovalente.



Los jabones de metales bivalentes suelen producir emulsiones de agua en asfalto, lo que puede explicarse por análogas consideraciones geométricas.

R - .C00 } Ca  
R – C00 } Ca

### TIPO DE EMULSIONES ANIONICAS

Estas se clasifican en distintos tipos, según su estabilidad, es decir su resistencia a la tortura, que se determina en general por la cantidad de asfalto que coagula al mezclar la emulsión con una solución de cloruro de calcio.

Se emplean normalmente en la construcción de carreteras tres tipos, llamados de rotura lenta, media y rápida. Se designan estos tres tipos por las letras SS, MS, RS iniciales de las expresiones inglesa slow setting, medium setting y rapid setting.



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

## EMULSIONES ASFALTICAS ANIONICAS

CARACTERISTICA	GRADO					
	EAR-55	EAR-60	EAM-60	EAM-65	EAL-55	EAL-60
Viscosidad Saybolt- furol 25°C. Seg.	0-50				20-100	20-100
Viscosidad Saybolt-furol 50°C. Seg.		100-400	50-400	50-400		
Contenido de cemento asfáltico, % en peso, min.	55	60	60	65	55	60
Asentamiento en 5 días diferencia en %, Max.	5	5	5	5	5	5
Retenido en malla No. 20, %, max.	0.1	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1
Retenido en malla No.60 pasa No. 20. Max.	0.15	0.28	0.25	0.25	0.25	0.25
Cubrimiento del agregado húmedo, %, min.	--	--	90	90	90	90
Miscibilidad con cemento portland	--	--	75	75	75	75
Carga de Partícula	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Punto de ruptura, seg.	<100	<100	80-140	80-140	>120	>120
Pruebas al residuo de la destilación						
Penetración a 25°C, 100 gr. 5 seg. Grados	100-250		100-200	80-200	100-200	50-120
Solubilidad en tricloroetileno, %, min.	97.5		97.5	97.5	97.5	97.5
Ductilidad, 25°C, cm min	40		40	40	40	40
Flotación a 60°C, seg, min.	--		1.200	1.200	--	--

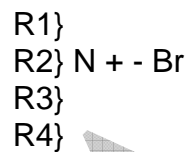


- EAR.- Emulsión anionica de rompimiento rápido
- EAM.- Emulsión anionica de rompimiento medio
- EAL.- Emulsión anionica de rompimiento lento

## EMULSIONES CATIONICAS

Son aquellas en que las partículas de asfalto están cargadas positivamente, por lo que presentan afinidad por los cuerpos cargados negativamente.

Los emulgentes más frecuentes usados en la fabricación de emulsiones catiónicas son las sales cuaternarias de amoniaco del tipo:



En este caso, los radicales R1, R2, R3, y R4 que son oleofílicos, quedan sumergidos en el asfalto, mientras que el nitrógeno (N) queda sumergido en el agua donde se disocia el Bromo (Br).

## FABRICACION DE LAS EMULSIONES CATIONICAS.

Para fabricar emulsiones asfálticas basta con mezclar en circunstancias adecuadas asfalto, agua y emulgente.

El agua con los emulgentes o álcalis se mezclan energéticamente con el asfalto, para lo cual puede recurrirse simplemente a agitadores de paleta o emplear molinos coloidales.

Naturalmente los molinos coloidales tienen paredes dobles por cuyo interior circula vapor u otro fluido caliente para mantener el conjunto a temperaturas adecuadas.





## CONTENIDO DE ASFALTO

La emulsión asfáltica se compone de diminutas esferas de asfalto que flotan en agua.

En la práctica naturalmente las esferas son de diámetros diversos, pero sin embargo los valores que se encuentran en la práctica, no difieren mucho.

Si se aumenta en una emulsión el contenido de fase dispersa por encima del máximo posible, se produce la rotura o la inversión de la emulsión.

El máximo contenido de asfalto que se emplea normalmente en emulsiones comerciales es el 69%.

## APLICACION DE EMULSIONES ASFALTICAS CATIONICAS

Para riegos de impregnación

Emulsiones tipo ECI-50

Para carpetas de riegos superficiales,  
riegos de sello y riegos de liga

Emulsiones tipo ECR-60  
O ECR-65

Para carpetas de mezcla asfáltica  
elaborada en planta, morteros asfálticos  
y riegos de sello premezclado.

Emulsiones tipo ECM-60, ECM-65,  
ECL-55, ECL-60, ECC-55, ECL-60,  
según el caso.

No deberán aplicarse las emulsiones asfálticas cuando la temperatura ambiente sea menor a 5°C.

## EMULSIONES NO IONICAS

En lugar de emplear para la estabilización de las emulsiones agentes ionicos, pueden emplearse determinados sólidos reducidos al estado de polvo muy fino, entre estos sólidos figuran sales básicas de ciertos materiales, negro de humo, silice pulverizado y diversos tipos de arcilla, principalmente Bentonita.





### EMULSIONES ASFALTICAS CATIONICAS

<b>CARACTERISTICA</b>	<b>GRADO</b>								
	ECR-60	ECR-65	ECM-60	ECM-65	ECL-55	EC-L-60	ECI-50	ECC-55	ECC-60
Viscosidad Saybolt-furol 25°C. Seg.	0-50				20-100	20-100	20-100	20-100	
Viscosidad Saybolt-furol 50°C. Seg.	20-100	100-400	50-400	50-400					100-400
Contenido de cemento asfáltico, % en peso, min.	60	65	60	65	55	60	50	55	60
Asentamiento en 5 días diferencia en %, Max.	5	5	5	5	5	5	10	5	5
Retenido en malla No. 20, %, max.	0.1	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Pasa malla No.20 y se ret. en No. 60, % Max.	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Cubrimiento del agregado seco, %, min.	--	--	90	90	90	90	--	90	90
Carga de Partícula	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
Disolvente en volumen, %, max.	--	3	10	12	--	--	12	--	--
Punto de ruptura, seg.	<100	<.100	80-140	80-140	>120	>120	>140	>140	>140
Pruebas al residuo de la destilación									
Penetración a 25°C, 100 gr. 5 seg. Grados	100-250	80-200	100-250	80-200	80-200	50-120	150-300	100-250	80-200
Solubilidad en tricloroetileno, %, min.	97.5		97.5	97.5	97.5	97.5	97.5	97.5	97.5
Ductilidad, 25°C, cm min	40		40	40	40	40	40	40	40
Flotación a 60°C, seg. min.	--	--	1,200	1,200	--	--	1,200	1,400	1,400

- ECR.- Emulsión Cationica de rompimiento rápido



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

- ECM.- Emulsión cationica de rompimiento medio
- ECL.- Emulsión cationica de rompimiento lento
- ECI.- Emulsión cationica para impregnación

**EMULSIONES ASFALTICAS CATIONICAS DE REOLOGIA MODIFICADA**

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>GRADO</b>											
	C R- 605	C R- 655	CM -605	CM -655	C L- 555	C L- 605	CR -60RL	CR- 65RL	C M- 60R L	CM -65RL	C L- 55R L	C L- 60R L
Viscosidad Saybolt-furol 25°C. Seg.	10 -50				20 -100	20 -100	10- 50				20 -100	20 -100
Viscosidad Saybolt-furol 50°C. Seg.	20 -100	10 0 - 40 0	50- 400	50- 400			20- 100	100 -400	50 -400	50- 400		
Contenido de cemento asfáltico, % en peso, min.	60	65	60	65	55	60	60	65	60	65	55	60
% de modificador utilizado	2- 3	2- 3	2-3	2-3	2- 3	2- 3	3-5	3-5	3- 5	3-5	3- 5	3- 5
Modificador utilizado	S BS	S BS	SB S	SB S	S BS	S BR/ L ATE X	SB R/ LA TEX	SB R/ LA TEX	S BR/ L ATE X	SB R/ LA TEX	S BR/ L ATE X	S BR/ L ATE X
Asentamiento en 5 días dif. en %, Max.	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Retenido en malla # 20, %, max.	0. 2	0. 2	0.2	0.2	0. 2	0. 2	0.1	0.1	0. 1	0.1	0. 1	0. 1
Cubrimiento del agregado seco, %, min.	--	--	90	90	90	90	--	--	90	90	90	90
Cubrimiento												



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

del agregado húmedo, %, min.	--	--	75	75	75	75	--	--	75	75	75	75
Carga de Partícula	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
Disolvente, %, max.	--	30	100	120	--	--	--	3.0	10.0	12.0	--	--
Punto de ruptura, seg.	<100	<100	80-140	80-140	>140	>140	<100	<100	80-140	80-140	>140	>140
Pruebas al residuo de la destilación												
Penetración a 25°C, 100 gr. 5 seg. Grados	80-200	60-120	80-200	60-120	60-120	40-90	80-200	60-120	80-200	60-120	60-120	60-120
Solubilidad en tricloroetileno, %, min.	97.0	97.0	97.0	97.0	97.0	97.0	97.0	97.0	97.0	97.0	97.0	97.0
Ductilidad, 25°C, cm min	20	20	20	20	20	20	40	30	40	30	30	20
Solvencia 25°C, %, min.							25	25	25	25	25	25
Recuperación elástica 25°C, % min	45	45	45	45	45	50						
Estabilidad por diferencia en prueba de anillo y espera °C max.	50	50	50	50	50	50						



## CONCRETO ASFALTICO

### DEFINICION Y DESCRIPCION DEL CONCRETO ASFALTICO

El concreto se define como un conjunto de agregados pétreos graduados cementados, formando una masa sólida.

Los diversos tipos de concreto se identifican claramente por la disgregación, por el tipo de aglomerante empleado en la fabricación del mismo.

Los concretos asfálticos, en los cuales se emplea el cemento asfáltico (RESIDUO PESADO DE LA DESTILACION DEL PETROLEO) y el alquitrán como aglomerantes y los hidráulicos forman dos grandes grupos dentro de los concretos en general.

El concreto asfáltico en caliente es una mezcla de agregados secados por calentamiento a una temperatura relativamente elevada y mezclados en caliente con cemento asfáltico.

El material asfáltico en caliente se transporta a la obra, donde se deposita en una máquina extendidora, que lo coloca en capas uniformes, estas se compactan con apisonadora mientras la mezcla conserva temperatura suficiente para alcanzar la densidad adecuada.

### PROPIEDADES DEL CONCRETO ASFALTICO

**ESTABLE.-** No deben formarse surcos longitudinalmente y ondulaciones transversales, o que se deformen bajo los neumáticos de un vehículo parado; deberán resistir la deformación producida por las cargas que indican sobre él.

**DURADERO.-** No debe desintegrarse bajo la acción del tránsito y de los agentes atmosféricos.

**ANTIDERRAPANTE.-** La textura de la superficie debe ser tal que el coeficiente de fricción con los neumáticos sea elevado incluso con el pavimento mojado.

**ECONOMICO.-** Empleando los materiales menos caros, capaz de producir un pavimento estable duradero.



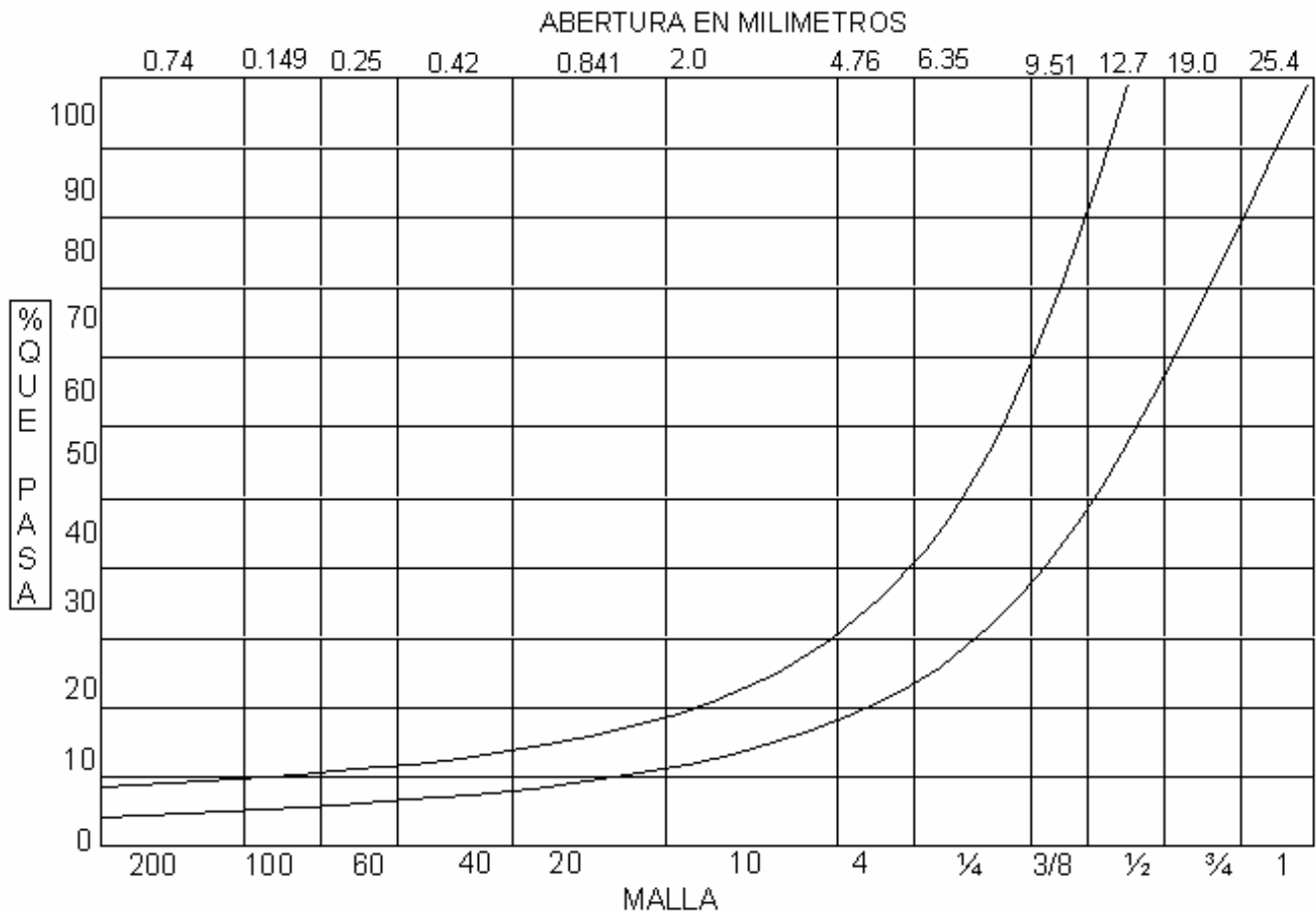
ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

Para poder cumplir con estas exigencias se deberá tomar muy en cuenta el proyecto de la mezcla, tomando en cuenta los factores siguientes.

- Norma S.C.T. 4.01.03 inciso 011-B,02
- Norma S.C.T. 4.01.03 inciso 010-C.01

GRANULOMETRÍA.- En la actualidad todos los concretos se emplean agregados pétreos de granulometría densa para materiales pétreos de una naturaleza determinada, la estabilidad aumenta con su tamaño máximo.

ZONA DE ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS PARA  
MATERIALES QUE SE EMPLEEN CON CONCRETOS  
ASFALTICOS





Gráfica de granulometría para materiales pétreos en la elaboración de concreto asfáltico.

Norma S.C.T. 4.01.01 inciso 03.010-C.02

**TIPO DE AGREGADO PETREO.-** La gravilla silica sin partir y las arenas redondeadas producen mezclas de baja estabilidad y los agregados calizos triturados y las arenas angulosas originan mezclas de alta estabilidad.

**CALIDAD DE LOS AGREGADOS PETREOS.-** Las partículas de los materiales pétreos blandos se rompen bajo las cargas de tránsito, produciendo irregularidades. Las partículas inestables se reblandecen cuando se mojan y se rompen en partículas más pequeñas como resultado de la congelación o de las cargas de tránsito.

Los materiales pétreos sucios pueden ocasionar así mismo la desintegración de la superficie, especialmente si contiene fragmentos de roca envueltas en arcilla.

**CONTENIDO DE ASFALTO.-** Un bajo contenido de asfalto produce la desintegración, si es demasiado alto, produce inestabilidad.

**CONSISTENCIA DEL ASFALTO.-** El uso de un asfalto muy duro puede dar lugar a un pavimento quebradizo, como consecuencia la desintegración y agrietamiento.

### **CONSIDERACIONES FUNDAMENTALES**

En un concreto asfáltico proyectado adecuadamente la carga del neumático es soportada por el esqueleto de piedra, el cual queda inmovilizada por la acción ligante del cemento asfáltico.

Los vacíos huecos entre las partículas de materiales pétreos solo se llenan de asfalto parcialmente, dejando burbujas de aire, los cuales deben cumplir el 2% al 6% del volumen total de pavimento.

En una mezcla de material pétreo triturado bien graduado, compactado para producir un esqueleto de fragmentos de roca en el que las partículas de los materiales pétreos están en contacto unas con otras, tienen considerable

resistencia a moverse bajo el efecto de cargas verticales si está limitado lateralmente.



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

Si los fragmentos de roca tienen superficies demasiado lisas la resistencia producida por la fricción es muy pequeña y la masa no presenta prácticamente ninguna resistencia al movimiento.

La combinación del entrecruzamiento y la resistencia por fricción de los fragmentos de roca se denomina generalmente fricción interna.

En una mezcla de asfalto y agregado pétreo en la que el primero está presente en tal cantidad que los agregados pétreos se hallan flotando en él, el esqueleto de roca ha sido destruido y el pavimento ya no es capaz de soportar cargas apreciables lo que da lugar a pavimentos que sufren liberamiento de material en el que se producen surcos u ondulaciones por lo que es preciso evitar cuidadosamente que esto suceda, para ello, el pavimento debe contener al menos un 2% de huecos.

Otro caso extremo es la adición de la cantidad de asfalto estrictamente suficiente para cumplir sus funciones como ligante, dejando un elevado volumen de huecos, el pavimento debe conservar una buena resistencia al movimiento.

El volumen de huecos se expresa en porcentaje de densidad. Esta expresión da el volumen de sólidos, ejemplo un pavimento cuya densidad es de 96% contiene un 4% de huecos, por consiguiente las densidades deseables en los concretos varían entre el 94 y 98%.

La calidad de asfalto depende del tamaño de las partículas a esto se debe que el contenido óptimo de asfalto sea mayor para mezclas con un pequeño tamaño máximo de material pétreo que para las que tienen tamaños máximos de material pétreo mayores.

Norma S.C.T. 3.01.03 inciso 082-F.13





## DIFERENTES TIPOS DE CARPETAS ASFÁLTICAS.

Las carpetas asfálticas usadas en pavimentos flexibles se pueden clasificar de la siguiente manera:

- |                             |   |
|-----------------------------|---|
| a) Carpetas por penetración | Simple o de un riego<br>Doble o dos riegos<br>Triple o tres riegos  |
| b) Mezcla en el lugar       | Elaborada con motoconformadora  |
| c) Concreto asfáltico       | Dosificado por peso en planta, y<br>empleando cemento asfáltico y<br>agregados pétreos. Mezclados y<br>tendidos en caliente |

## CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS DE CONCRETO ASFALTICO

El concreto asfáltico se fabrica en instalación fija y se transporta en camiones basculantes aislados. Se vierte en una pavimentadora que extiende el material caliente, se comprime mediante apisonadoras para formar la carpeta.

## 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 o de producción continua.

a).- Planta de producción tipo continuo de mezcla asfáltica: En este tipo de planta, los materiales, en las proporciones aproximadas requeridas, se impulsan de lugar de almacenamiento mediante una banda que los conduce al elevador frío.

Este entrega el agregado combinado al secador, en el cual el agregado cae rápidamente a través de gases calientes hasta que toda la humedad se expulsa y el agregado alcanza una temperatura máxima (149 a 163 °C).

Los agregados calientes combinados, a continuación suben por el elevador caliente a la parte superior de la planta mezcladora, en donde separa en varios tamaños mediante tamices.





El almacenamiento temporal en caliente se dispone en tolvas colocadas directamente por debajo de los tamices.

Para la mezcla asfáltica la cantidad descrita de cada uno de los agregados calientes se extrae sucesivamente de las tolvas y se lleva hacia una “caja pesadora” colocada exactamente debajo de las tolvas de “almacenamiento caliente”.

Los agregados en su debida proporción caen de la caja pesadora hacia el mezclador, que se conoce como “amasadora”. En este lugar se mezcla perfectamente los agregados con el cemento asfáltico hasta quedar perfectamente revestidos.

Finalmente los materiales mezclados salen a través de una compuerta de descarga en el fondo del mezclador al camino de volteo que espera, o hacia una tolva que permita almacenar el material para continuar el proceso del mezclador aún cuando no haya camión inmediatamente para recibir la carga.

Las plantas de producción continua de cementos asfálticos, cuentan con sistemas de control modernos por sistemas de computadora para la elaboración de la mezcla asfáltica.

En estas plantas los agregados que son depositados en las tolvas de material, deben ser del tamaño adecuado para la elaboración del concreto asfáltico.

Una vez llenas las tolvas pasan por medio de bandas transportadoras al secador, antes de entrar a este comportamiento, son pasados en la última banda y los datos pasan a la computadora que regula la velocidad de las bandas para dosificar correctamente el material.

Ya que han pasado por el secador, en la etapa final, se agrega el asfalto y la mezcla pasa posteriormente a silos de almacenamiento para finalmente descargar a camiones de volteo.



## PLANTAS PARA MEZCLAS EN CALIENTE

Hay dos tipos principales de plantas para mezclas en caliente:

**PLANTA DE TIPO DISCONTINUO:** El material procedente de cada tolva se pesa en una nueva tolva y se coloca a continuación en el mezclador, después de lo cual se añade el asfalto. Entonces se mezcla esta amasada, después de lo cual se repite el ciclo.

La capacidad del recipiente del mezclador en la mayoría de las plantas de este tipo suele variar de 1000 a 3000 Kg.

**PLANTA DE TIPO CONTINUO.-** En esta planta el material procedente de las tolvas de almacenaje en caliente se dosifica por medio de compuertas regulables que descargan sobre los alimentadores de material caliente.

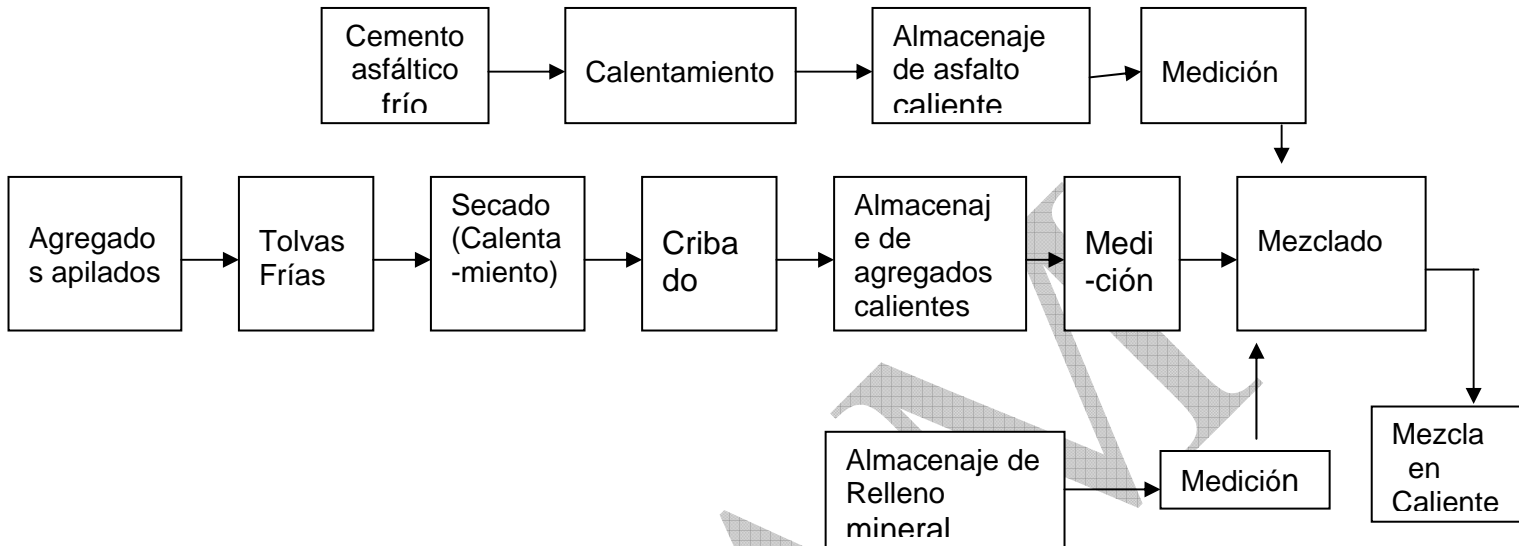
Todos los materiales son transportados por el mezclador de forma continua, el asfalto fluye continuamente, y se regula con bomba conectada con el mecanismo de dosificación.

De tal forma que se obtiene una relación constante entre la cantidad total del material pétreo y de asfalto, independientemente de la velocidad de producción.

La cantidad de cemento asfáltico podrá variar en relación con la del proyecto en más o menos 5% en peso.



A. El proceso básico se muestra en la figura siguiente:



Operaciones básicas de una planta de Dosificación en (A) Diagrama de Flujo

## MATERIALES USADOS EN LA FABRICACION DE CARPETAS DE CONCRETO ASFALTICO

Los agregados más usados en la fabricación del concreto asfáltico son: la caliza, basalto, grava, escoria y arena.

La calidad del concreto asfáltico depende principalmente de las características de sus agregados.

Ya que estos representan aproximadamente un 90% en peso de la mezcla por consiguiente en la construcción de pavimentos asfálticos el control de las propiedades de agregados es tan importante como el de los asfaltos.

\* Los requisitos que deben cumplir los materiales pétreos para carpeta asfáltica son los siguientes:

\* No deben usarse materiales pétreos con tendencia a romperse en forma de laja cuando se le triture



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

\* No debe emplearse materiales pétreos contaminados con arcilla o materia orgánica.

\* Los agregados pétreos no deben tener más del 20% de fragmentos suaves

\* Se debe emplear materiales secos o cuando mucho con una humedad igual a la de absorción de ese material.

\* Tener resistencia suficiente para soportar el peso del equipo de compactación sin romperse

### **MATERIALES PÉTREOS**

Los materiales pétreos seleccionados que se emplean en la construcción de carpetas y mezclas asfálticas que requieran o no lavado deberán ser de los tipos a continuación:

- \* Materiales que requieren ser cribados
  - \* Materiales que requieren ser triturados parcialmente y cribados
  - \* Materiales que requieren ser triturados totalmente y cribados
- Norma S.C.T 3.01.03 inciso 075-D

Los materiales que requieren ser cribados deberán ser extraídos del banco, triturados y cribados por las mallas fijadas, utilizando medios mecánicos que aseguren la separación y la eliminación del desperdicio y la separación, en su caso en los tamaños especificados.

Los materiales que requieren ser triturados parcialmente y cribados deberán ser extraídos del banco, triturados y cribados por las mallas fijadas, utilizando medios mecánicos que aseguren la trituración y separación, en su caso en los tamaños especificados.

El material deberá hacerse pasar, totalmente por el equipo, aunque solo una parte de él se triture, determinando previamente el porcentaje por trituración.

Norma S.C.T. 3.01.03 inciso 075-F.02

Los materiales que requieren ser triturados totalmente y cribados deberán ser extraídos pepenados u obtenidos del deposito natural o desperdicio, triturados y cribados por las mallas fijadas, con equipo mecánico adecuado para satisfacer la composición granulométrica requerida o la separación, en su caso en los tamaños estipulados.

Norma S.C.T 3.01.03 inciso 075-F.03



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

Los materiales aprovechables para la construcción de mezclas y carpetas asfálticas, después de extraídos y de haberles dado el tratamiento que requieren, se transportarán al lugar de su utilización o se almacenarán en los sitios que ordene la S.C.T.

Norma S.C.T 3.01.03 inciso 075-F.06

Los materiales pétreos que se empleen en la construcción de carpetas asfálticas por el sistema de riegos se denominan como lo indica la tabla siguiente:

Norma S.C.T 3.01.03 inciso 079-D.01

DENOMINACIÓN DEL MATERIAL PÉTREO	QUE PASA POR MALLA DE	Y SE RETENGA EN LA MALLA DE
1	1"	1/2"
2	1/2"	1/4"
3-A	3/8"	NUM. 8
3-B	1/4"	NUM. 8
3-E	3/8"	NUM. 4

### MATERIALES ASFÁLTICOS

Los tipos de materiales asfálticos que pueden emplearse son los siguientes:

- \* Cementos Asfálticos
- \* Emulsiones Asfálticas

\* Norma S.C.T 3.01.03 inciso 076-D.01

Cuando se requiere mejorar la condición de adherencia de los materiales asfálticos con los materiales pétreos se emplearán aditivos, del tipo y características fijadas en el proyecto u ordenados por la secretaría.

Norma S.C.T 3.01.03 inciso 079-D.02

Los depósitos que se utilizan para almacenar materiales asfálticos reunirán los requisitos necesarios para evitar la contaminación de los productos que se almacenen en ellos.

Estarán protegidos contra incendios, fugas y pérdida excesiva de disolventes.



Contarán con las instalaciones adecuadas para calentar el producto cuando así se requiera, y tendrán los elementos necesarios para su carga, descarga y limpieza. Los depósitos se limpiarán cada vez que sea necesario evitar una contaminación.

Norma S.C.T 3.01.03 inciso 076-F.04

### **CARPETA ASFALTICA DE GRANULOMETRIA ABIERTA (OPEN GRADED – DRENANTE)**

La capa superficial de textura abierta consiste de una capa compuesta por agregados pétreos. Concreto asfáltico AC-20 modificado con polímero o hule molido producto de reciclado de neumáticos y Filler mineral mezclados en una plata central, esta capa se colocará con las dimensiones mostradas en proyecto.

Esta capa servirá como una capa de desgaste antiderrapante con características drenantes para evitar el acuaplaneo de los vehículos

#### **MATERIALES**

En la elaboración de la mezcla y en la construcción de la capa superficial premezclada de textura abierta, se emplearán materiales que en lo general cumplan con lo establecido en el capítulo 4.01.03.010 de la norma de la calidad de los materiales editadas por la S.C.T. debiendo cumplir con los requisitos de calidad que a continuación se señalan.

#### **1.- MATERIALES PÉTREOS**

Los materiales pétreos deberán ser producto de trituración total y cribado y deberán provenir de mantos de roca sana y limpia con características de dureza y durabilidad adecuadas de acuerdo a la siguiente tabla:



## MATERIALES PÉTREOS

PRUEBA	ESPECIFICACIÓN
Desgaste de los Ángeles	30 % máx.
Equivalente de Arena	65 % min.
Índice plástico	0 – 4 %
Partículas alargadas y lajeadas retenidas en malla 9.5 mm	15 % máx.
Intemperismo acelerado en sulfato de sodio, 5 ciclos (15% máx., si se usa sulfato de magnesio).	12 % máx.
Partículas retenidas en la malla 4.75 mm. (No. 4) deberá tener por lo menos Una cara facturada Dos caras Facturadas	90 % min. 75 % min.
Absorción	2 % máx.
Índice de durabilidad del grueso y fino AASHTO T 210	40 % mín.

Mezclas con agregados con carbonato relativamente puro y agregados con pulimento no deben usarse.

### 2.- FILLER MINERAL

Consiste de un mineral finamente dividido de roca basáltica, caliza, dolomita o cal hidratada que deberá cumplir con los siguientes requisitos de la norma ASTM D 242 (AASHTO M17).

Al momento de usarse deberá estar suficientemente seco para una adecuada circulación y libre de aglomeraciones.

El FILLER debe estar libre de impurezas orgánicas y tener un índice plástico no mayor de 4.

No se permite ninguna compensación adicional al contratista por suministrar y usar FILLER mineral que sea requerido por esta especificación

### 3.- ASFALTO MODIFICADO

Consistirá de cemento asfáltico AC-20 modificado con polímero o hule molido producto de reciclado de neumáticos, el polímero y los procedimientos de





ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

incorporación deben estar aprobados por la secretaría, el asfalto modificado deberá cumplir con los siguientes requerimientos:

A) PRUEBAS REQUERIDAS AL CEMENTO ASFALTICO MODIFICADO.

CARACTERÍSTICAS	AC-20 Y HULE NEUM.	AC-20 Y POLIMERO
Viscosidad absoluta 60 °C poises mínimo		5,000
Viscosidad cinemática 135°C centístokes. Máximo		2,000
Viscosidad Brookfield, tipo kaake, poises (ASTOM-D 4402)	15 – 60	
Penetración 25°C. 100Gr., 5 seg., 0.1 mm	25 – 65	40 – 75
Penetración 4°C. 200Gr., 60 seg., 0.1 mm	10 – 30	25 – 50
Punto de inflamación, °C, mínimo		240
Propiedades después del tratamiento de la película delgada		
Pérdida por calentamiento, % máximo	1.0	1.0
Penetración 4°C. 200Gr., 60 seg., 0.1 mm		13
Penetración, 4°C, mínimo (ASTM-D- 1754)	75	
Penetración, 4°C, mínimo (ASTM-D- 113)	50	

B) AGENTE MODIFICADOR

La proporción en peso de los agentes modificadores del asfalto deberán ser los siguientes:

Polímeros	2.5% a 4.5%
Hule Molido	15 % a 25 %



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

En caso de utilizar hule molido como agente modificador de asfalto, este deberá estar libre de partículas metálicas, durante el proceso de molienda se deberán utilizar aceites que impregnen el hule.

El hule molido debería tener un proceso de cribado para obtener un tamaño de partículas menores a la malla No. 20 debiendo cumplir con la siguiente granulometría.

MALLA	% QUE PASA
16	100
20	95 – 100
40	35 – 70
200	0 – 5

#### C) ADITIVOS

En caso necesario, el laboratorio hará pruebas para determinar la necesidad del uso y tipos de aditivos para la mezcla, una estabilidad térmica y controlar el escurrimiento del producto asfáltico de la mezcla. Comúnmente se usan en una proporción de 0.5% respecto al cemento asfáltico.

Para proporcionar mejor trabajabilidad de la mezcla y para evitar que esta se adhiera a los equipos de transporte podría requerir el empleo de silicón en una proporción de 30 mililitros por cada 19 m<sup>3</sup> de mezcla asfáltica.

#### D) CERTIFICACION

El producto de asfalto modificado con polímero deberá proporcionar un certificado que contenga los resultados de las pruebas especificadas, antes y después de la modificación, cada semana durante la producción.



## COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA

### 1.- MEZCLAS DE DISEÑO

El diseño de la mezcla, utilizando los agregados provenientes de los bancos ya tratados, quedará a cargo del contratista y será propuesto a la secretaría, cuya aprobación no liberará al contratista de la obligación de obtener en obra todas las características para la mezcla asfáltica de textura abierta, así como los acabados en la obra.

#### METODO A.

Un método para determinar el contenido de asfalto adecuado es elaborar la mezcla de prueba en el laboratorio con diferentes contenidos de asfalto y almacenarlas en el transcurso de una noche a 60°C.

El contenido de asfalto adecuado se obtiene visualmente seleccionando la mezcla de prueba de la que drene hacia el fondo del recipiente una pequeña cantidad de asfalto y la mezcla aún luzca brillante.

#### METODO B

El contenido de asfalto también se puede estimar de la fórmula:

$$2(Kc) + 4.0$$

Donde Kc es la constante de superficie para aquella parte del total del agregado seco que se retiene en la malla No. 4. El procedimiento para determinar Kc se explica en el capítulo IV del manual de instituto de asfalto No2(MS-2), Marzo 1979.

Se puede utilizar la siguiente correlación para determinar Kc

$$Kc = (\% \text{ De aceite retenido corregido}) / 2.435 + 0.0749$$

El porcentaje de aceite retenido corregido se estima:

$$\% \text{ de aceite Retenido Corr.} = (\% \text{ de aceite Retenido}) * (\text{peso específico del agregado grueso}) / 2.65$$



El contenido óptimo de asfalto se determina como:

$$\text{Contenido asfáltico} = 2.0 (Kc) + 4.0$$

% en peso agregado

## 2.- GRANULOMETRIA

Los agregados combinados deberán ajustarse a la granulometría de la siguiente tabla:

MALLA	% QUE PASA
12.7 mm (1/2")	100
9.5 mm (3/8")	80 – 100
4.75 mm (No.4)	20 – 40
2.36 mm (No.8")	10 – 20
0.60 mm (No.30)	5 – 12
0.075 mm (No.200)	3 – 5

## 3.- PARAMETROS DE DISEÑO

La mezcla deberá cumplir con los siguientes parámetros de diseño

PARAMETRO	ESPECIFICACION
Vacios, en la mezcla %	16 mínimo
Vacios en el agregado mineral %	24 mínimo
Contenido de asfalto. (% en peso de la mezcla)	5.0 – 7.0
Estabilidad (75 golpes por cara en pastilla "Marshall")	150 Kgs mín.
Flujo	2 – 4



El contenido de asfalto deberá estar expresado como porcentaje del total de la mezcla en peso y deberá ser estimado en base a pruebas de laboratorio de los agregados propuestos por el contratista y al asfalto modificado especificado.

#### 4.- SECCIONES DE PRUEBA

Antes de comenzar las operaciones de producción el contratista deberá preparar una cantidad de mezcla de acuerdo de diseño suficiente para construir una sección de prueba de 15 m de largo por 6 m de ancho como mínimo.

La mezcla deberá colocarse en dos secciones y deberá ser del mismo espesor especificado en el proyecto.

El pavimento sobre el cual se construirá la sección de prueba deberá ser de las mismas características que el del resto del proyecto.

Si se observa que la sección de prueba no da resultado satisfactorio, será necesario ajustar la mezcla de diseño, la operación de la planta y/o los procedimientos de compactación.

Se deberán construir tantas secciones de prueba adicionales como se requieran y evaluar de conformidad a las especificaciones. Cuando las secciones de prueba no queden dentro de las especificaciones se deberán remover y reemplazar con cargo al contratista.

El proponente deberá contemplar, dentro de su precio la construcción de las secciones de prueba, por lo que no se pagará ningún monto adicional por este concepto, la producción no podrá comenzar sin aprobación de la secretaría.

#### **EJECUCION**

En general los procedimientos de ejecución se llevarán a cabo de acuerdo a los lineamientos indicados en el inciso 3.01.01.81 de las normas SCT, con el espesor compactado, forma y dimensiones indicadas en el proyecto y de acuerdo a lo siguiente:



## 1.- PLANTA DE MEZCLADO

### A) PREPARACION DEL MATERIAL PETREO

El material pétreo para mezcla deberá ser secado y calentado en la planta antes de entrar al tambor mezclador, cuando se introduzca al tambor mezclador, el contenido de humedad de la combinación de agregados deberá ser menor a 0.25% para agregados con absorción menor de 2.5% o menor a 0.50% para agregados con absorción mayor.

La absorción para la mezcla de agregados deberá terminarse como el promedio pesado de los valores de absorción del agregado grueso retenido en la malla No.4 y del agregado fino que pasa la malla No.4.

En ningún caso se permitirá un contenido tal que ocasione espuma en la mezcla asfáltica antes de la colocación.

El agregado deberá dividirse en los tamaños especificados y manejado en contenedores separados listos para mezclar.

El FILLER mineral almacenado deberá mantenerse seco y se deberá incorporar directamente al tambor mezclador de manera uniforme.

### B) PREPARACION DE LA MEZCLA

El material pétreo deberá combinarse en la planta en las cantidades proporcionales de cada tamaño requerido para obtener la granulometría especificada.

Se deberá medir y transportar al tambor mezclador la cantidad de material pétreo determinada.

La cantidad de material asfáltico para cada proceso de mezclado o la cantidad calibrada para mezcladoras continuas deberá medirse en peso e introducirse al mezclador dentro de los rangos de temperatura especificados.

Para mezcladoras de tambor, los agregados deberán estar en el tambor mezclador antes de que se adicione el material asfáltico.

Dependiendo del tipo de cemento asfáltico a utilizar, la mezcla deberá realizarse dentro de los siguientes rangos de temperatura:



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

AC-20	140°C – 165°C
AC-20 Modificado con hule molido	177°C – 205°C
AC-20 Modificado con polímero	De acuerdo a la recomendación del fabricante.

La temperatura del agregado no deberá estar por arriba de 4°C de la temperatura del material asfáltico en ningún caso.

La temperatura máxima y la velocidad de calentamiento deberá ser tal que no dañe los agregados.

Se deberá tener particular cuidado en no dañar por sobrecalentamiento agregados con contenido alto de calcio o magnesio.

La mezcla deberá continuar hasta que todas las partículas estén uniformemente cubiertas. No se permitirá el almacenaje de la mezcla por ninguna circunstancia.

### C) INSPECCION DE LA PLANTA

Es recomendable el tener acceso, en todo el momento a todas las partes de la planta para inspeccionar el equipo la operación de la planta así como verificar el peso, proporciones, características de los materiales y temperaturas mantenidas durante la preparación de la mezcla.

### D) LABORATORIO

El contratista deberá proveer un laboratorio para el control y aceptación de la producción, el laboratorio deberá contar con el equipo adecuado, espacio e instalaciones que se requieran para la ejecución de las pruebas especificadas.





## 2.- TRANSPORTACIÓN

Los camiones utilizados para el transporte de la mezcla deberá tener cajas metálicas herméticas, limpias y lisas. Para prever que la mezcla no se adhiera a la caja de los camiones, estas se podrán cubrir ligeramente con una solución concentrada de cal hidratada y agua.

Las cajas de los camiones deberán ser levantadas para drenar cualquier exceso de solución antes de cargar la mezcla. Cada camión deberá tener una cubierta adecuada para mantener la temperatura de la mezcla.

## 3.- TENDIDO

La colocación de la mezcla deberá realizarse en una superficie limpia cuando la temperatura ambiente sea mayor de 15°C y no haya indicios de lluvia o neblina.

La mezcla al momento de colocarla en la pavimentadora deberá tener una temperatura no menor a 135°C. La temperatura se medirá en el camión antes de descargar en la pavimentadora.

Las máquinas pavimentadoras deberán ser del tipo usado en la colocación de las mezclas asfálticas normales, equipadas con sensores electrónicos.

Las pavimentadoras deberán tener la capacidad de esparcir y tender la capa de la mezcla asfáltica con el espesor, pendiente y uniformidad de perfil especificados, además deberán tener la capacidad de operar a velocidades constantes con un tendido satisfactorio de la mezcla.

No se permitirá la circulación sobre la mezcla previamente tendida hasta que el material haya sido compactado al grado especificado y haya tenido un período de al menos 12 horas para desarrollar su estabilidad.

En zonas con altas temperaturas la circulación de vehículos no deberá permitirse sino hasta el siguiente día. La circulación deberá discontinuarse si se observa cualquier indicio de cerramiento de la mezcla.



#### 4.- PLANCHADO

El planchado se efectúa inmediatamente después de tendida la mezcla y antes de que su temperatura baje a menos de 130°C. Se aplicarán las pasadas necesarias del rodillo para densificar la mezcla y asentar las partículas de los agregados de modo que se genere un contacto firme entre ellas.

El número adecuado de pasadas así como, el peso óptimo del rodillo metálico deberán determinarse en las secciones de prueba.

El aplicar un número excesivo de pasadas puede causar que se rompa la adhesión entre el asfalto y los agregados. Generalmente se requiere de una a dos pasadas de un rodillo liso metálico para asentar la mezcla.

Se deberá contar con un mínimo de dos rodillos lisos metálicos los cuales deberán estar en buenas condiciones y tener la capacidad de operar a bajas velocidades para evitar desplazamientos de la mezcla.

Las ruedas deberán estar equipadas con dispositivos para evitar que la mezcla se adhiera a las mismas. El peso de cada rodillo deberá ser de 8 a 10 toneladas. No se deberá usar equipo con peso excesivo que fracture los agregados.

La secuencia de planchado de la franja pavimentada deberá ser compactar primero el borde inferior “con respecto a la pendiente transversal” de la franja y después compactar el borde superior.

El interior de la franja deberá plancharse traslapando las franjas. En franjas adyacentes de pavimentación, el planchado deberá comenzar traslapando la junta en 15 y 25 cm y después compactar el borde de la nueva franja.

El planchado deberá continuar hasta que se eliminan todas las marcas dejadas por los rodillos y la superficie tenga una textura uniforme.

En áreas no accesibles los rodillos, la mezcla deberá compactarse con pisonos calientes de mano.

Cualquier mezcla suelta, inestable, mezclada con polvo o defectuosa se deberá remover y remplazarse con nueva mezcla y compactarse inmediatamente.

Este trabajo se deberá hacer con cargo al contratista. No se permitirán trabajos de bacheo o trabajo manual con la mezcla.



## 5.- JUNTAS Y BORDES

La formación de las juntas deberá ser de tal manera que se asegure una adherencia continua entre las secciones nuevas y las previamente colocadas de la capa asfáltica.

Todas las juntas deberán presentar la misma textura, densidad y uniformidad. Las juntas longitudinales deberán formarse a no menos de 30 cm de la junta longitudinal de la capa inferior.

El rodillo deberá pasar sobre el final de la mezcla excepto cuando se requiera formar una junta transversal.

Para formar la junta se deberá cortar el borde en línea recta en todo el ancho y espesor de modo que se cree una cara vertical.

Antes de continuar con la pavimentación después de la junta, se deberá aplicar un riego de liga a las superficies de contacto.

Mientras la superficie esta siendo planchada y terminada el contratista deberá dar un acabado vertical a los bordes longitudinales de esta capa.

Cuando se tenga una transición entre esta capa y el pavimento existente, las orillas transversales deberán construirse con una granulometría más fina de la mezcla.

## 6.- OPERACIÓN CONTINUA

La producción de la planta, el transporte de la mezcla y las operaciones de tendido deberán coordinarse de tal manera que se mantenga una continuidad de los trabajos, si las operaciones de tendido son interrumpidas, la secretaría podrá requerir la construcción de una junta transversal en cualquier momento que la mezcla colocada inmediatamente detrás de la pavimentadora se enfríe debajo de los 120°C.



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

## 7.- PROTECCION DEL PAVIMENTO.

Después del planchado final, no se permitirá la circulación de ninguna clase de vehículos hasta que transcurran al menos 12 horas.

La apertura al tránsito de vehículos no deberá hacerse antes de 24 horas.

No se permitirá el paso de vehículos hasta que el pavimento tenga una temperatura de 60°C o menor.

UNAM



## IV DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS

### ANTECEDENTES.

En la relación al diseño de mezcla asfáltica es indispensable considerar el proyecto con ciertos criterios límites de las propiedades de las mezclas con un contenido óptimo de asfalto.

El U.S ARMY CORPS OF ENGINEERS como norma sugiere elegir la mezcla de mayor estabilidad, tomando en cuenta su economía para que la mezcla sea admitida, rentable y satisfactoria para el uso propuesto.

### PROYECTO

El proyecto seleccionado es siempre el más económico de entre los que cumplen satisfactoriamente todos criterios establecidos.

Es frecuente que las mezclas con valores de estabilidad Marshall demasiado altos y valores de flujo normalmente bajos son poco deseables, porque estos pavimentos tienden a ser rígidos o quebradizos y son fácilmente dañados presentando grietas por efectos del tráfico pesado.

También estas grietas, deformaciones o fallas suelen presentarse debido al mal comportamiento estructural de la base y sub – base.

Lo estipulado en el proyecto como requisito, puede tener una tolerancia de 1% de huecos en la mezcla total y 5% de huecos de materiales pétreos rellenos con asfalto. Estas variaciones solo deben permitirse en condiciones extremas, es decir, cuando las condiciones de la mezcla no son satisfactorias.

Sin embargo, en ningún caso puede excederse el valor permisible de fluencia, ni admitirse valores de la estabilidad inferior a los indicados.

### PROCESO DE PROYECTO

Las diversas etapas de un proyecto racional son:

**SELECCIÓN DE GRANULOMETRIA.-** En la construcción de nuevos caminos se utiliza usualmente una capa de base que emplea agregados pétreos con tamaño máximo mayor que la capa de superficie, lo cual da una mayor



estabilidad. Esta es una consideración muy importante cuando se emplean agregados pétreos de fricción limitado.

Cuando su precio es aproximadamente el mismo, sea cual fuere su tamaño, es deseable recurrir a una mezcla que contenga material pétreo exigirá menor cantidad de asfalto, y la mezcla resultará más económica.

En las capas de base, llamadas a veces capas intermedias, se emplean de ordinarios tamaños máximos que varían de 2.5 cm a 5 cm. En las mezclas utilizadas con mayor frecuencia en capas de superficie, se emplean materiales pétreos de tamaños máximos comprendidos entre 12 mm y 18 mm.

**SELECCIÓN DE LOS MATERIALES PETREOS.-** Deben elegirse los materiales más económicos capaces de proporcionar resultados satisfactorios, además de ser aceptables desde el punto de vista de calidad, los diversos materiales pétreos deben poseer granulometrías tales que puedan combinarse entre sí para producir la deseada por el ingeniero.

Para facilidad de control, es deseable que se utilice en conjunto el menor número posible de tipos de materiales pétreos; sin embargo, puede ser preciso emplear de dos a cinco tipos diferentes.

**PESOS ESPECIFICOS.-** El peso específico del cemento asfáltico es generalmente proporcionado por el propio fabricante o por el laboratorio de asfaltos; el peso específico de los materiales pétreos combinados se determina casi siempre en el laboratorio de pavimentos.

Se emplean tres tipos de pesos específicos para los materiales pétreos:

1.- **PESO APARENTE POR UNIDAD DE VOLUMEN.-** Comprende el volumen total de las partículas de los materiales pétreos, incluyendo sus cavidades. Siempre será menor que el peso específico aparente si los materiales pétreos presentan alguna absorción, y es menor que el peso específico.

2.- **PESO ESPECÍFICO APARENTE.-** Se refiere exclusivamente a la porción impermeable de la piedra, prescindiendo del volumen de los capilares que se llenan de agua en una inmersión de 24 horas.

3.- **PESO ESPECIFICO DE MATERIAL.-** Se refiere al volumen del material pétreo permeable y al volumen de los capilares que no se llenan de asfalto en la carpeta. No es muy preciso, su valor se sitúa entre el peso aparente por unidad de volumen y el del peso específico aparente.



## **PROPORCIONES DE LOS DIVERSOS TIPOS DE MATERIALES PÉTREOS NECESARIAS PARA PRODUCIR LA GRANULOMETRIA NECESARIA.**

Las proporciones en que deben mezclarse los materiales pétreos para producir una granulometría determinada pueden obtenerse matemáticamente o mediante una serie de tanteos realizados mezclándolos en el laboratorio hasta obtener una granulometría satisfactoria.

### **PREPARACION DE PROBETAS COMPACTADAS**

Todos los métodos racionales de proyecto exigen que se determine en el laboratorio la estabilidad de las probetas compactadas, preparando cierto número de mezclas con contenidos crecientes de asfaltos. El método exacto de preparar y compactar las muestras depende del método de ensayo empleado, los más usados frecuentemente son:

EL METODO DE MARSHALL  
EL METODO DE HUBBARD – FIELD  
EL METODO DE HVEEM  
EL METODO TRIAXAL DE SMITH

### **ESTABILIDAD DE LAS PROBETAS COMPACTADAS.**

Se determina de acuerdo con el método de proyecto empleado.

### **SELECCIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO.**

Se determina de acuerdo con el método de proyecto empleado, cuando no se dispone de un laboratorio bien equipado, puede estimarse mediante el uso exclusivo del ensayo CKE, el cual solo resulta aceptable en obras muy pequeñas. Además el proyectista debe estar razonablemente seguro de que los materiales tienen una fricción interna suficiente para producir la estabilidad adecuada.





## OBSERVACIONES GENERALES SOBRE UN PROYECTO DE MEZCLAS

**TOMA DE MUESTRAS.-** Es sumamente importante la estricta observancia de un buen sistema de toma de muestras, tal como el descrito en la norma ASSHO T-2-46 y en la Norma S.C.T. 6.01.03 inciso 010-B.03

El caso más frecuente de toma de muestras defectuosas es la segregación de los materiales pétreos graduados, especialmente materiales procedentes de trituración con un tamaño máximo de 6 mm o mayor.

Incluso en el mejor de los casos, la obtención de muestras representativas de tales materiales es una tarea difícil de manera que debe ponerse en ello cuidado extremo.

### ANALISIS GRANULOMETRICO.

Cuando el proyecto de granulometría de laboratorio se define por vía húmeda, la granulometría obtenida después del tratamiento con disolventes del material producido por la planta da mucho menos material que pasa por los tamices 80 y 200 que el prescrito en la fórmula para mezcla en planta.

Esto se debe a que los disolventes empleados en la extracción del asfalto de la mezcla, con el fin de obtener los materiales pétreos para análisis mecánico, no ejercen prácticamente ningún efecto sobre los aglomerados de arena muy fina, que se hicieron por completo en el laboratorio lavándolos con agua.

Sin embargo, estos aglomerados se rompen en cierta proporción en el secador, de forma que las proporciones del material procedente de la planta que pasan por los tamices 80 y 200 son, de ordinario, ligeramente mayores que las previstas en el proyecto sobre la base de un análisis granulométrico por vía seca.

Por regla general, el análisis del material procedente de la planta se aproxima mucho más al proyecto realizado basándose en el análisis granulométrico por vía seca que al fundado en el análisis granulométrico por vía húmeda.

Para obtener la granulometría que debe usarse en el proyecto, muchas organizaciones recurren exclusivamente a los análisis granulométricos por vía seca y húmeda.

No debe emplearse nunca un análisis granulométrico por vía húmeda si el análisis de los productos de extracción se realiza lavándolos con agua.



## PRUEBA MARSHALL

Esta prueba se utiliza para proyecto y control de mezclas elaboradas utilizando materiales pétreos con tamaño máximo de 25 mm y cemento asfáltico caliente, y emulsiones asfálticas que cumplen los requisitos establecidos de la norma SCT 401.010 y 011.

La prueba consiste en elaborar especímenes cilíndricos a los cuales se les determinará su peso volumétrico, porcentajes de vacíos, estabilidad en sentido diametral y deformaciones al alcanzarse la máxima resistencia, estas determinaciones se podrán hacer bajo condiciones favorables de humedad y de temperatura.

Esta prueba, mediante su análisis nos permite conocer y controlar las condiciones más favorables en impermeabilidad y durabilidad de la mezcla, así como también fijar márgenes para evitar exceso o escasez de aglutinante.

El valor de estabilidad es un índice de la resistencia estructural de la mezcla asfáltica compactada y el flujo es un indicador de su flexibilidad y pérdida de resistencia a la deformación, por otra parte las propiedades de estabilidad y flujo ayudan a juzgar las características de forma y superficie del material pétreo.

### DESCRIPCION DEL DISEÑO

El procedimiento se inicia con la preparación de la muestra por ensayar (Prueba Marshall)

- \* Los materiales deberán cumplir con las condiciones fijadas por las especificaciones propuestas.
- \* Las mezclas de materiales pétreos deberán satisfacer las normas fijadas por las especificaciones en cuanto a granulometría.
- \* Se deberá disponer de suficientes materiales pétreo secos y divididos por grupos, según su tamaño.
- \* Se determinará el peso específico aparente de todos los materiales pétreos empleados en la mezcla y el peso específico del cemento asfáltico, con objeto de utilizarlos en los análisis de huecos y en la determinación de la densidad de la mezcla.

Para la prueba Marshall se emplean probetas de 2.5 pulgadas (6.35 cm) de altura y 4 pulgadas (10.16 cm) de diámetro.



Se preparan empleando un procedimiento especificado para calentar, mezclar y compactar la carpeta y materiales pétreos y de esta forma se obtiene un análisis de las relaciones entre densidad y volumen de huecos y un ensayo para la determinación de la estabilidad y fluencia de las probetas compactadas.

### **PREPARACION DE LAS PROBETAS.**

Se prepara una serie de probetas con diferentes contenidos de asfalto, de forma que las curvas en las que se presentan los resultados de los ensayos muestren un valor óptimo, esto con el fin de determinar el contenido óptimo de asfalto correspondiente a una mezcla o granulometría de materiales pétreos.

#### **LOS MATERIALES NECESARIOS PARA LA PREPARACION DE PROBETAS SON LOS SIQUIENTES:**

- Bandejas metálicas de 30 x 45 cm en planta y 10 cm de profundidad para calentar los materiales pétreos
- Bandejas metálicas circulares de unos 4 litros de capacidad para mezclar asfalto y materiales pétreos
- Placa de calentamiento eléctrica, superficie plana de al menos 45 x 60 cm para calentar materiales pétreos, asfalto y materiales
- Charola de uno o dos litros, para manejar los materiales pétreos calientes
- Recipiente con vertedero de unos 4 litros de capacidad, para calentar y distribuir cemento asfáltico
- Termómetro protegido, para temperatura comprendida entre 10° y 232° C
- Balanza con capacidad de 20 Kg. y sensibilidad de 1 gr. Para pesar materiales pétreos y de asfalto
- Cuchara grande para mezclar



- Espátula grande
- Mezclador mecánico (no indispensable); mezclador comercial con capacidad de un litro o mayor, provisto de dos recipientes para mezcla y dos agitadores de alambre
  - Baño de agua hirviendo, compuesto de placa de calentamiento y recipiente para agua, para calentar el martillo compactador y el molde
  - Pedestal de compactación, compuesto de una base de madera (sección transversal mínima de  $15 \times 15 \text{ cm}^2$ ) cubierto con una placa metálica de 2.5 cm y apoyado en una losa rígida sobre el suelo
  - Molde de compactación, compuesto de una placa de base, molde y extensión, el molde propiamente dicho tiene un diámetro interior de 4 pulgadas (10.16 cm) y una altura de 3 pulgadas (7.62 cm) aproximadamente; la placa de base y la extensión están provistas de forma que puedan colocarse en cualquier extremo del molde propiamente dicho.
  - Martillo de compactación, compuesto de una cara de compactación circular de 3 7/8 pulgadas (9.84 cm) de diámetro y un peso de 10 lb (4.54 Kg.) preparado para obtener una altura de caída de 18 pulgadas
  - Dispositivo de fijación del molde, compuesto de un dispositivo de tensión con muelle para retener el molde de compactación en su sitio sobre pedestal de compactación
  - Gato de expulsión, compuesto de un gato hidráulico y un pistón impulsor para hacer salir las muestras compactadas, antes de extraerlas del molde (no es necesario cuando se dispone de pila de agua corriente)
  - Guantes de soldador, para manejar los productos calientes
  - Marcador para identificar las probetas.

### **PESOS POR AMASADA.**

Se calculan los pesos por amasada necesarias para obtener la granulometría deseada de los materiales pétreos. Inicialmente se emplean 1300 g, para el peso total de la amasada de las probetas individuales; más tarde, los pesos por amasada y por probeta pueden reducirse para obtener la cantidad adecuada de material para una muestra compactada de 2.5 pulgadas de altura y 4 pulgadas de diámetro.

### **PREPARACION DE LAS MEZCLAS**

1.- Se colocan el cemento asfáltico y las diversas fracciones de los materiales pétreos en bandejas separadas, que se calientan sobre la placa de calentamiento a una temperatura de 175 a 190 °C



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

2.- Se calienta el cemento asfáltico en un recipiente o bandeja sobre la placa de calentamiento, a una temperatura de 120 a 137 °C<sup>2</sup>. El asfalto no debe mantenerse a esta temperatura durante más de una hora antes de su empleo; además, no es recomendable emplear asfalto que haya sido recalentado, también ha de agitarse frecuentemente para evitar sobrecalentamientos locales

3.- Se coloca sobre la balanza una bandeja de base circular para recibir la mezcla. Se pesan en ella las diversas fracciones de materiales pétreos y Filler, de acuerdo con los pesos acumulativos

4.- Se mezclan perfectamente los materiales pétreos y se forma un cráter en la mezcla; se vuelve a colocar la bandeja sobre la balanza y se pesa asfalto sobre ella, de acuerdo con los pesos acumulativos por amasada

5.- Se mezclan los materiales pétreos y el asfalto con paleta o mezclador mecánico, tan rápida y perfectamente como sea posible, hasta obtener una mezcla con distribución uniforme de asfalto

6.- La temperatura de la mezcla preparada, dispuesta para compactación, no debe ser inferior a 107°C (procedimiento que se describe en el subpárrafo B1) párrafo b) en el inciso 012-C.04 de la norma S.C.T. 6.01.03); en caso contrario, se abandona y se prepara una nueva mezcla; la mezcla no debe recalentarse en ningún caso.

Norma S.C.T. 6.01.3 inciso 010-F.02

## COMPACTACION

1.- Antes de preparar una mezcla, el molde de compactación y la carga de percusión del martillo compactador, deben limpiarse perfectamente y calentarse a una temperatura entre 95° y 150°C, es recomendable como método adecuado el empleo de agua hirviendo para su calentamiento.

2.- Se coloca el molde caliente sobre una mesa y se sitúa en su fondo un disco de papel filtro de 4 pulgadas (10.16 cm ) de diámetro y se alisa la superficie de ésta hasta obtener una forma ligeramente redondeada.

3.- Se coloca el molde de la mezcla sobre el pedestal de compactación y se aplica el número necesario de los golpes del martillo compactador; durante la aplicación de los golpes de compactación, la cara del martillo se mantiene lo más paralela posible a la base del molde.



4.- Se quita al molde el collar de extensión, se invierte el molde y la probeta sobre la placa de la base; se vuelve a colocar la extensión y se aplica el número necesario de golpes adicionales en el lado contrario de la probeta.

5.- Para la compactación de la mezcla, proyectada para un tránsito cuya presión de inflado sea de 100 LB/PULG al cuadrado ( $7.03\text{Kg./cm}^2$ )

6.- Para presiones de inflado de 200 lb/pulg cuadrado ( $14.06\text{Kg./cm}^4$ ) se emplean 75 golpes

7.- Se quita la extensión y la placa base, se sumerge en agua fría el molde que contiene la muestra compactada durante un tiempo mínimo de 2 minutos

8.- Se saca la muestra del molde por medio del gato de expulsión u otro aparato de comprensión, posteriormente se coloca cuidadosamente la probeta sobre una superficie lisa y suave hasta que este dispuesta para el ensayo. Se numeran las probetas para su identificación.

9.- Se dejan enfriar las probetas a temperatura ambiente antes de ensayarlas, normalmente una noche.

10.- Las probetas compactadas deben tener una altura de 2.5 pulg. más menos  $1/8$  de pulgada ( $6.35 \pm 0.32$ ). Si la altura de la probeta fuera de estos límites, la cantidad de mezcla en caliente empleada en la fabricación de la probeta debe corregirse por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{peso corregido de la mezcla} = \frac{2.5 * \text{peso de la mezcla empleada}}{\text{altura de la probeta obtenida}}$$

## PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Generalidades: El método Marshall somete cada probeta compactada a los siguientes ensayos y análisis en el orden citado:

- 1.- Determinación del peso específico
- 2.- Ensayo de estabilidad y Fluencia
- 3.- Determinación de la densidad y análisis de huecos

MATERIALES.- El material necesario para el ensayo de las probetas de 4 pulgadas de diámetro por 2.5 pulgadas de altura es el siguiente.





1.- Aparato MARSHALL.- Dispositivo de ensayo accionado eléctricamente y proyectado para aplicar cargas a las probetas a través de mordazas semicirculares con una velocidad de deformación constante de 2 pulgadas por minuto (5.08 cm)

2.- La máquina comprende un anillo de carga calibrado para determinar la carga a la probeta y un medidor de fluencia Marshall. Para determinar la deformación en el momento en que se produce la carga máxima.

3.- En lugar del dispositivo Marshall cabe emplear una prensa universal equipada con los adecuados sistemas indicadores de cargas y deformaciones.

4.- Baño de agua Caliente.- Es controlado manual o por medio de un termostato a una temperatura de  $60^{\circ} \pm 0.5^{\circ} \text{C}$  de dimensiones interiores aproximadas de 32 x 42 x 12 cm

### **DETERMINACIÓN DE PESO ESPECÍFICO.**

Se realiza después de que las probetas recién compactadas se hayan enfriado a la temperatura ambiente.

### **ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUENCIA**

Una vez determinado el peso específico de la probeta se realizan los ensayos de estabilidad y fluencia en la forma que se indica a continuación:

1.- Se fija en cero la lectura del medidor de deformaciones tomando entre las mordazas de carga un cilindro metálico de 4 pulgadas de diámetro; se coloca el medidor de deformaciones sobre la varilla de guía y se pone en cero el indicador de deformaciones.

2.- Se sumerge la muestra en el baño de agua a  $60^{\circ}$  más menos 0.5 grados C durante un tiempo no menor a 20 min. ni mayor de 30 min antes del ensayo

3.- Se limpian perfectamente las superficies interiores de las mordazas y se lubrican las varillas de guía con una película delgada de aceite, de tal forma que la mordaza superior deslice fácilmente sin pegarse si se emplea un anillo de carga para determinar la intensidad de esta. Se comprueba que su indicador este fijo en el acero, en la posición previa a la carga.

4.- Una vez dispuesto el aparato, se saca la muestra del baño de agua y se seca su superficie cuidadosamente, se coloca y se centra la probeta en la





mordaza inferior, posteriormente se pone en el aparato de carga. El medidor de flujo se coloca sobre la varilla de guía marcada, según se indica en a)

5.- Se aplica a la probeta la carga de manera que se produzca una deformación a velocidad constante de 2 pulg. (5.08 cm) por minuto hasta que se produzca la rotura. El punto de rotura se define por la carga máxima obtenida. El número total de Kg necesario para producir la rotura de la muestra a 60 grados F (15°C) se anota como valor de su estabilidad Marshall.

6.- Mientras se realiza el ensayo de estabilidad, se mantiene firmemente el medidor de deformaciones en posición sobre la varilla de guía, y se quita cuando se obtiene la carga máxima; se lee y anota esta lectura, que es el valor de la fluencia de la probeta.

7.- El proceso completo de determinación de la estabilidad y fluencia a partir del momento en que se saca la probeta del baño de agua debe completarse en un período de 30 seg.

## DETERMINACION DE LA DENSIDAD Y ANALISIS DE HUECOS

Una vez determinados los ensayos de estabilidad y flujo debe hacerse la determinación de la densidad y el análisis de huecos para cada serie como se indica a continuación:

1.- Se obtiene la medida de los valores del peso específico para todas las probetas con un contenido de asfalto determinado. No debe incluirse en esta medida los valores erróneos

2.- Se determina el peso unitario medio para cada contenido de asfalto

3.- Se representan en una gráfica los valores correspondientes de contenido de asfalto y peso unitario, cuyos puntos se unen a continuación con una curva uniforme que se ajuste lo mejor posible a todos los valores representados



4.- Se determina directamente, a partir de la curva representada, los valores unitarios por cada contenido de asfalto ensayado. Los valores así obtenidos se emplearán posteriormente en el cálculo de análisis de huecos

5.- Empleando el peso específico aparente de los materiales pétreos y el peso específico de los restantes materiales que intervienen en la mezcla, se calcula el porcentaje de huecos de la mezcla total.

6.- Utilizando los pesos específicos indicados anteriormente en él. Se calcula el porcentaje de huecos de los materiales pétreos rellenos de asfalto

### INTERPRETACION DE LOS ENSAYOS

La interpretación de los ensayos es mediante los resultados obtenidos de la estabilidad, flujo y los correspondientes a los huecos.

Se prepara como se indica a continuación:

Los valores medios para la estabilidad de las probetas cuya altura sea distinta de 2.5 pulg. (6.35 cm), deben convertirse al valor correspondiente a probetas de 2.5 pulg. empleando un factor de conversión; se indican los factores de corrección aplicables, obsérvese que la corrección puede hacerse sobre espesores o sobre volúmenes.

1.- Se obtiene la medida de los valores de flujo y las estabilidades de todas las probetas con un contenido de asfalto determinado. Los valores evidentemente erróneos no se incluirán en la medida.

2.- Se preparan gráficas separadas, tal como se indica en la figura para las siguientes relaciones.

Estabilidad – Contenido de asfalto

Fluencia – Contenido de asfalto

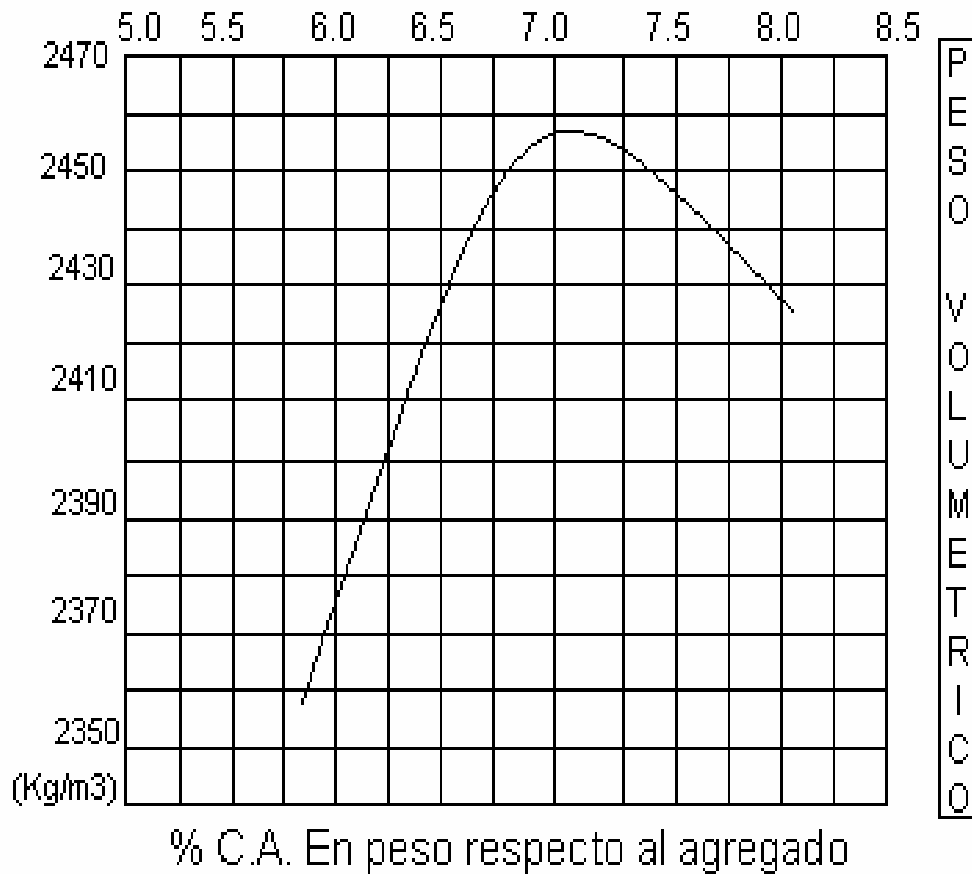
Porcentaje de Huecos, mezcla total – contenido de asfalto

Porcentaje de huecos de los materiales pétreos rellenos de asfalto -  
contenido de asfalto

### GRAFICA DE PESO VOLUMETRICO – CONTENIDO DE ASFALTO



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

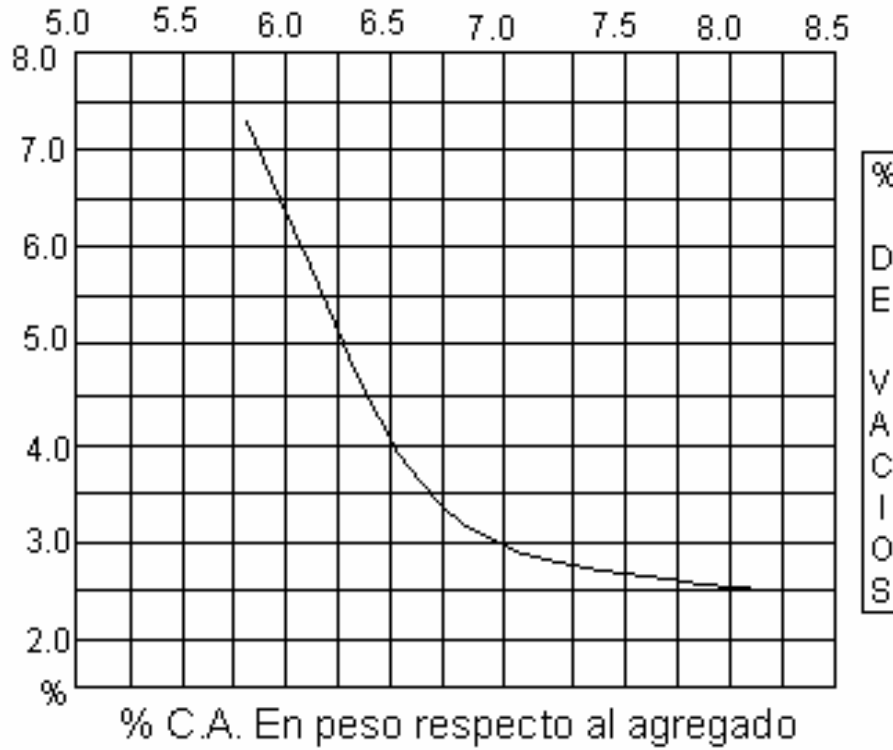


Gráfica y Resultados de la prueba Marshall . Normas S.C.T. 6.01.03 inciso 012-D.05

### GRAFICA PORCENTAJE DE HUECOS, MEZCLA TOTAL – CONTENIDO DE ASFALTO



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

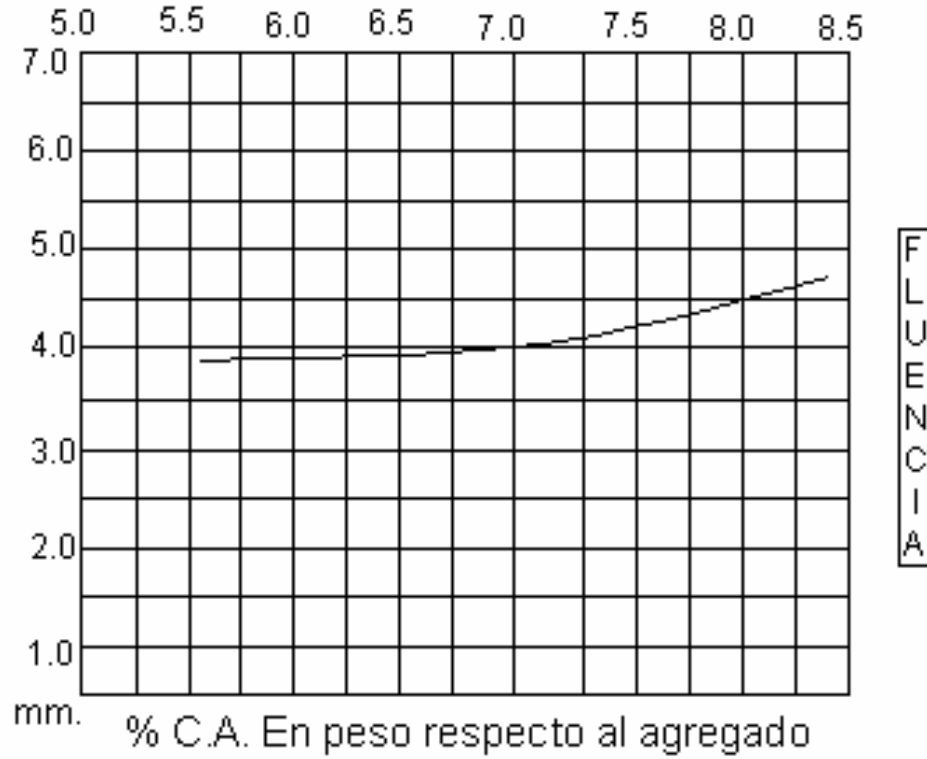


Gráfica y resultados de la prueba Marshall  
Norma S.C.T. 6.01.03 inciso 012-D.05

**GRAFICA FLUENCIA – CONTENIDO DE ASFALTO**



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

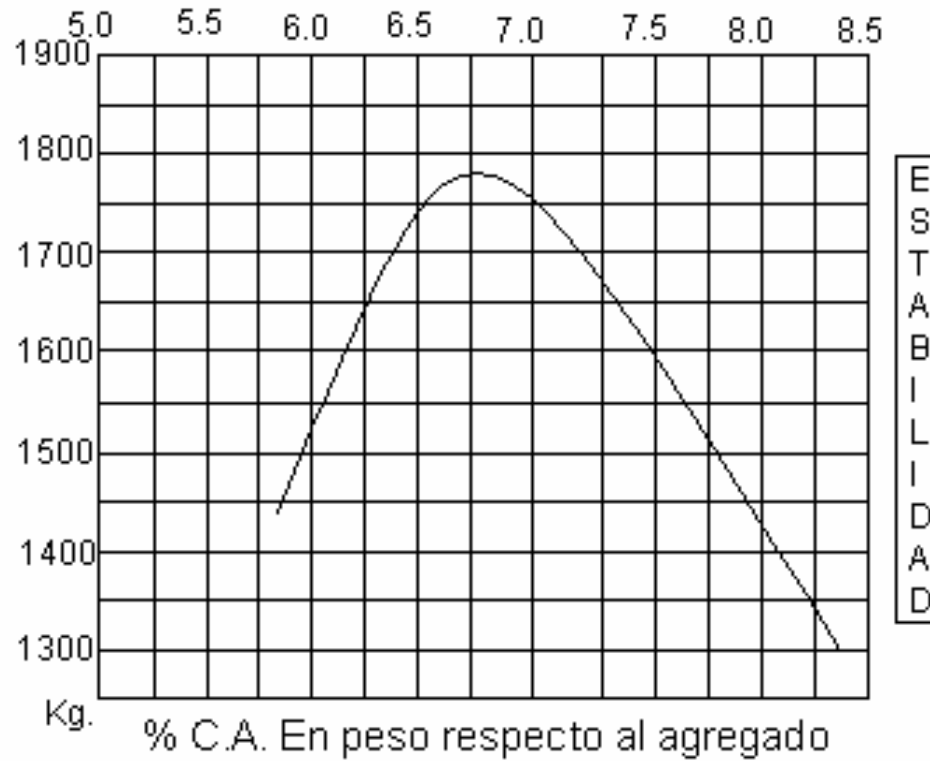


GRAFICA Y RESULTADOS DE LA PRUEBA MARSHALL  
NORMA S.C.T. 6.01.03 INCISO 012-D.05



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

### GRAFICA ESTABILIDAD – CONTENIDO DE ASFALTO

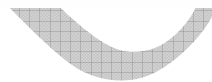
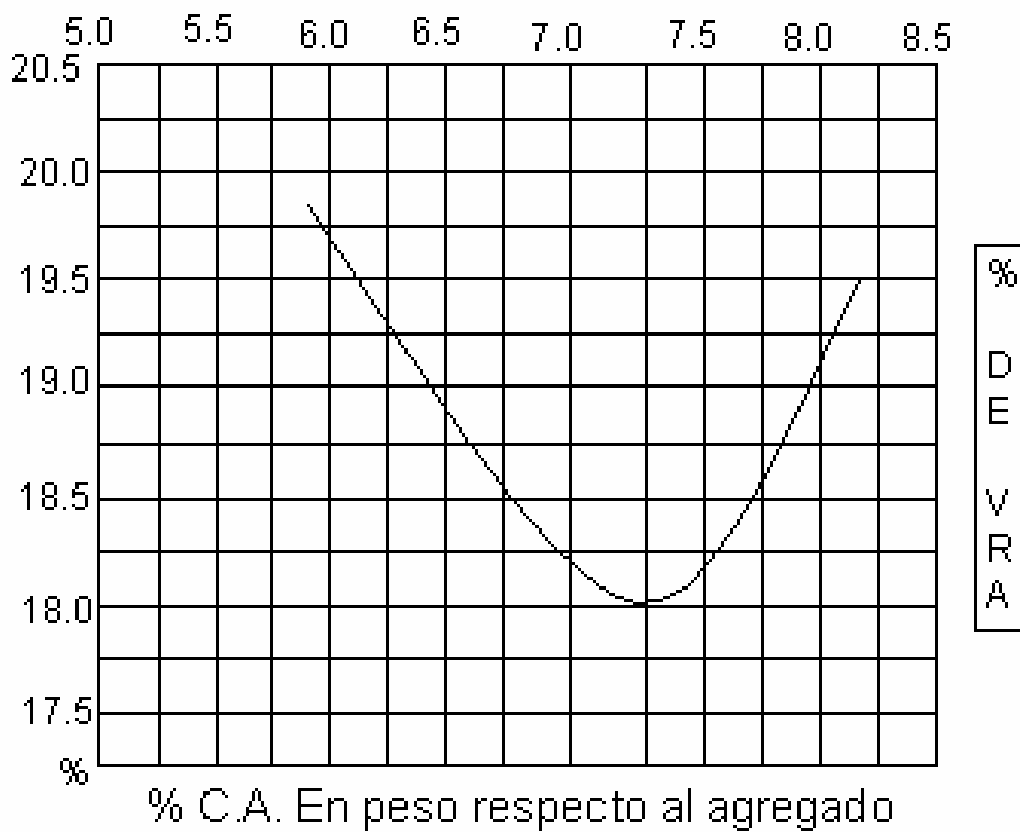


GRAFICA Y RESULTADOS DE LA PRUEBA MARSHALL  
NORMA S.C.T. 6.01.03 INCISO 012-D.05



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

### GRAFICA PORCENTAJE DE HUECOS DE LOS MATERIALES PÉTREOS RELLENO DE ASFALTO – CONTENIDO DE ASFALTO



GRAFICA Y RESULTADOS DE LA PRUEBA MARSHALL  
NORMA S.C.T. 6.01.03 INCISO 012-D.05





## TENDENCIAS Y RELACIONES DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Se ha encontrado que las curvas que representan las propiedades de los aglomerados asfálticos de granulometría cerrada son semejantes unas a otras.

1.- Las características que se estudian normalmente son las siguientes:

La estabilidad crece con el contenido de asfalto hasta un máximo, posteriormente tiende a disminuir

2.- El flujo aumenta con crecientes contenidos de asfalto

3.- La curva correspondiente al peso unitario de la mezcla total es análoga a la curva de estabilidad, salvo que en general (no siempre) el contenido de asfalto correspondiente al peso unitario máximo es ligeramente superior al correspondiente a la estabilidad máxima.

4.- El porcentaje de los huecos en la mezcla total disminuye con contenidos crecientes de asfaltos, aproximándose finalmente a un mínimo.

5.- El porcentaje de los huecos de los materiales pétreos rellenos de asfalto aumenta con contenidos crecientes de asfalto, aproximándose a un máximo.

### DETERMINACION DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO

El contenido óptimo de asfalto en la mezcla asfáltica se determina a partir de los datos obtenidos como se indica anteriormente. Para realizar esta determinación se tiene en cuenta cuatro de las curvas representadas, a partir de estas se obtienen los contenidos de asfalto que corresponden a las propiedades siguientes:

- Máxima estabilidad
- Máximo peso unitario
- Valor medio de los límites dados para el porcentaje de huecos de la muestra total

Valor medio de los límites dados en dicho párrafo para el porcentaje de huecos de los materiales pétreos rellenos de asfalto. El contenido óptimo de asfalto de la mezcla es el valor medio de los obtenidos, como se acaba de indicar.

VOLUMEN DE LA PROBETA EN CM <sup>2</sup>	ESPEJOR APROXIMADO DE LA	FACTOR DE CORRECCION
---	-----------------------------	-------------------------



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES.

	PROBETA EN CM	
200-213	2.54	5.56
214-225	2.70	5.00
226-237	2.86	4.55
238-250	3.02	4.17
251-264	3.17	3.85
265-276	3.33	3.57
277-289	3.49	3.33
290-301	3.65	3.03
302-316	3.81	2.78
317-328	3.97	2.50
329-340	4.13	2.27
341-353	4.29	2.08
354-367	4.44	1.92
368-379	4.60	1.79
380-392	4.76	1.67
393-405	4.92	1.56
406-420	5.08	1.47
421-431	5.24	1.39
432-443	5.40	1.32
444-456	5.56	1.25
457-470	5.71	1.19
471-482	5.87	1.14
483-495	6.03	1.09
496-508	6.19	1.04
509-522	6.35	1.00
523-535	6.51	0.96
536-546	6.67	0.93
547-559	6.82	0.89
560-573	6.98	0.86
574-585	7.14	0.83
586-598	7.30	0.81
599-610	7.46	0.78

Notas: Multiplicando la estabilidad media en una probeta por el factor de corrección correspondiente se obtiene la estabilidad corregida para probetas 2.5 pulgadas (6.35 cm)

- Origen: U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS (Cuerpo de ingenieros de la armada de E.U.A)



### CORRECCIONES DE VALORES DE ESTABILIDAD

PROPIEDAD	TIPO DE MEZCLA	CRITERIOS	
		Presión de inflado, 100 lb/pulg. <sup>2</sup> (17 Kg/cm <sup>2</sup> )	Presión de inflado 200 lb/pulg. <sup>2</sup> (14 Kg/cm <sup>2</sup> )
Estabilidad	Todos*	Mín: 500 lb	Mín: 1000 Lb
Peso unitario fluencia	Todos*	No se usa Máx. 20	No se usa Máx. 16
Huecos, mezcla Total, %	Concreto asfáltico	3-5	3-5
	Mezcla con arena	5-7	6-8
	Binders	4-6	5-7
Huecos de los materiales pétreos rellenos de asfalto. %	Concreto asfáltico	75-85	75-82
	Mezclas con arena	65-75	65-72
	Binders	65-75	65-72

Nota: Los criterios antes indicados para presiones de inflado de 100 Lb./pulg<sup>2</sup> se emplean frecuentemente en el proyecto de pavimentos de carretera, pero están sujetos a modificación cuando una experiencia satisfactoria indica la necesidad del cambio.



## **V INNOVACIONES DEL PAVIMENTO FLEXIBLE.**

### **GENERALIDADES**

Un gran énfasis se da a la resistencia y reducción de ruidos en el pavimento, estas juegan un papel destacado para decidir cuando y como se hace el trabajo de re encarpetao.

Las carpetas de fricción de grado abierto, bajo el nombre de Asfalto drenante y asfaltos porosos (PA), se utilizan en varios países principalmente a causa de las propiedades contra el ruido y la resistencia al deslizamiento.

Los avances tecnológicos ocurridos en los últimos tiempos han alcanzado también a los caminos tanto en los materiales empleados como en los procedimientos constructivos.

En los últimos años estos cambios han llegado a México de manera gradual, pero debido a que no se cuenta con una normatividad completa por parte de las dependencias correspondientes respecto a sus procedimientos de elaboración y contracción, contamos con el apoyo de las normas expedidas por la AASHTO "ASOCIACION AMERICANA DE NORMAS OFICIALES DE CAMINOS ESTATALES", las cuales cubren por completo las especificaciones y requerimientos necesarios para la correcta elaboración de los productos asfálticos y construcción de las carpetas.

### **ASFALTO MODIFICADO**

#### **ANTECEDENTES**

La baja durabilidad que han tenido las mezclas asfálticas en los pavimentos de las carreteras principales de nuestro país, motivada especialmente por el alto volumen del tránsito y el porcentaje de vehículos pesados, aunado a las condiciones climáticas adversas de ciertas regiones, aspectos que inciden notablemente en los costos de mantenimiento, han obligado a impulsar la aplicación de nuevas tecnologías que ya se emplean con éxito en otros países, en los que se ha logrado mejorar el comportamiento de estos pavimentos, con incrementos en su vida útil.

Dentro de estas tecnologías de vanguardia, se encuentra la de los asfaltos modificados, que ayuda a mejorar sus propiedades físicas, químicas y geológicas, mediante la adición a un cemento asfáltico convencional de refinería, de productos



como polímeros del tipo SB, SBS, SBR, SBRS, LATEX, SINTETICO Y NATURAL, POLIESTIRANO, ASFALTENOS NATURALES, HULE MOLIDO DE NEUMATICOS USADOS, ACEITES, RESINAS Y CATALIZADORES, lo que redundará en una mejor adherencia con los materiales pétreos, mayor resistencia al envejecimiento y agentes climáticos, incremento en las propiedades de soporte, elasticidad, flexibilidad, cohesión y viscosidad, lográndose incrementar el buen comportamiento al esfuerzo cortante a la deformación y a la fatiga.

### **INCORPORACION, ELABORACION DE MEZCLA Y CONSTRUCCION.**

Los sistemas de incorporación de los modificadores, son muy variables y van desde muy simples, como es el caso de aceites, asfáltenos y catalizadores, hasta los complejos, con sistemas de calentamiento para el asfalto a alta temperatura, molinos trigonales, tanques de reacción y bombas de mayor potencia, que se utilizan para incorporar polímeros y hule molido de neumáticos.

En cuanto a los procesos de elaboración de la mezcla y procedimientos constructivos, no se tiene cambios importantes y básicamente el equipo empleado es el tradicional, salvo algunas recomendaciones particulares, como es el compactar a temperaturas más elevadas en las mezclas con polímeros y en el caso de los catalizadores no colocar la mezcla hasta una hora después de elaborada, para permitir que se efectúe la reacción en el asfalto.

### **PRUEBAS DE LABORATORIO.**

Las pruebas de laboratorio se destacan por su importancia las de viscosidad absoluta, cinemática y Brookfield, punto de reblandecimiento, ductilidad, penetración, ensayos de envejecimiento a corto y largo plazo, de película delgada

En las tablas No. 6, 7, 8, 9, 10 se indican las normas y pruebas de laboratorio que se presentan, para los asfaltos modificados con diferentes aditivos, tomando en cuenta los estudios efectuados hasta la actualidad



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES

TABLA NUM – 6

CARACTERISTICAS	CEMENTO ASFALTICO					
	AC-25 (No.2)	AC-5 (No.4)	AC-10 (No.6)	AC-20 (No.7)	AC-30 (No.7.5)	AC-40 (No.8)
Viscosidad 60°C (140°F), poises	250 +-50	500 +-100	1,000 +-200	2,000 +-400	3,000 +-600	4,000 +-800
Viscosidad 135°C (275°F), centístokes mínimo	125	175	250	300	350	400
Viscosidad, Saybolt-Furol, 135°C, seg., mínimo	45	70	90	100	130	180
Viscosidad, Brookfield, 135°C, poises, mínimo	30	30	30	30	30	30
Penetración, 25°C (77°F), 100gr. 5 seg. Mínimo	220	140	80	60	50	40
Punto de inflamación, copa abierta de Cleveland °C (°F), mínimo	163 (325)	177 (350)	219 (425)	232 (450)	232 (450)	232 (450)
Solubilidad en tricloroetileno %, mínimo	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0
Punto de reblandecimiento, °C	32 - 38	37 - 43	45 - 52	48 - 56	50 - 58	52 - 60
Prueba de la película delgada, 50cm <sup>3</sup> , 5h, 163°C (325°F)						
Pérdida por calentamiento, %, máximo	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5
Viscosidad, 60°C						



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES

(140°F), máximo	poises	1,000	2,000	4,000	8,000	12,000	16,000
Ductilidad, (77°F), 5 cm por minuto, cn, mínimo	25°C	100	100	75	50	40	25
Penetración retenida, %, mínimo		40	40	50	54	58	62

TABLA NUM – 7

**ASFALTOS MODIFICADOS CON POLIMERO SBS**

CARACTERISTICAS	TIPO DE ASFALTO Y MODIFICADOR			
	AC-5 SBS	AC-10 SBS	AC-20 SBS	AC-30 SBS
Penetración, 25°C, 100gr., 5seg. 0.1m	75 – 100	50 – 75	40 – 70	30 – 60
Penetración, 4°C, 200gr., 60seg. 0.1m	40 mínimo	30 mínimo	25 mínimo	20 mínimo
Punto de reblandecimiento, anillo y esfera. °C, mínimo	45	49	54	60
Punto de inflamación, copa abierta de Cleveland, °C, mínimo	225	230	235	240
Solubilidad en Tricloroetileno, %, mínimo	99	99	99	99
Penetración, diferencia de anillo y esfera, °C, máximo	2.2	2.2	2.2	2.2
Viscosidad absoluta 60°C, poises	1250	2500	5000	7500
Viscosidad saybolt-furol, 135°C, seg., máximo	800	800	1000	1000
Viscosidad cinemática 135°C, centístokes, máximo	2000	2000		
Viscosidad cinemática 150°C, centístokes, máximo			2000	2000
Viscosidad Brookfield 135°C, centipoises, máximo	3000	3000		
Viscosidad Brookfield 150°C, centipoises, máximo			3000	3000





ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES

Prueba de película delgada, (3.2mm), 163°C, 5 horas, 50 gr.				
Perdida por calentamiento, %, mínimo	1.0	1.0	1.0	1.0
Penetración, 4°C, 200gr., 60 seg., 0.1mm, mínimo	20	15	13	10
Viscosidad, 4°C, 5cm por minuto, cm, mínimo	20	20	15	15
Recuperación elástica, 25°C, %, mínimo	45	45	50	50
Incremento en tensión directa, %, mínimo	60	60	60	60
PRUEBAS SHRP (TENTATIVO)		TEMPERATURAS DE ENSAYE °C		
Asfalto original G* /sen δ. Kpa, 1.0 mínimo	64	70	76	82
Después de TFOT ó RTFOT G*/sen δ. Kpa, 2.2 mínimo	64	70	76	82
Después del PAV G*/sen δ. Kpa, 5,000 máximo	16	19	22	28
Penetración a la rigidez, TP1 “BBR”, S, máximo 300 Mpa				



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES

TABLA NUM. – 8

**ASFALTOS MODIFICADOS CON POLIMERO SBR**

CARACTERISTICAS	TIPO DE ASFALTO Y MODIFICADOR			
	AC-5 SBR	AC-10 SBR	AC-20 SBR	AC-30 SBR
Penetración, 25°C, 100gr.,5seg.0.1mm	100 mínimo	80 mínimo	70 mínimo	60 mínimo
Punto de reblandecimiento, anillo y esfera.°C, mínimo	40	45	50	55
Ductilidad, 4°C, 5 cm por minuto, cm mínimo	60.0	50.0	40.0	25.0
Punto de inflamación, copa abierta de Cleveland, °C, mínimo	225	230	240	240
Solubilidad en Tricloroetileno, %, mínimo	99	99	99	99
Viscosidad absoluta 60°C, poises	800	1500	2400	3200
Viscosidad saybolt-furol, 135°C, seg. , máximo	800	800	1000	1000
Viscosidad cinemática 135°C, centístokes, máximo	2000	2000		
Viscosidad cinemática 150°C, centístokes, máximo			2000	2000
Viscosidad Brookfield 135°C, centipoises, máximo	3000	3000		
Viscosidad Brookfield 150°C, centipoises, máximo			3000	3000
Prueba de película delgada, (3.2mm), 163°C, 5 horas, 50 gr.				
Perdida por calentamiento, %, mínimo	1.0	1.0	1.0	1.0
Ductilidad, 4cm, 5cm por minuto, cm mínimo	25	25	25	25
Viscosidad absoluta 60°C, poises	2000	4000	8000	12000
Recuperación elástica, 25°C, %, mínimo	50	50	50	50
Incremento en tensión directa, %, mínimo	50	50	50	50
<b>PRUEBAS SHRP (TENTATIVO)</b>	<b>TEMPERATURAS DE ENSAYE °C</b>			
Asfalto original G*/sen δ. Kpa, 1.0 mínimo	64	70	76	82
Después de TFOT ó RTFOT G*/sen δ. Kpa, 2.2 mínimo	64	70	76	82
Después del PAV G*/sen δ. Kpa, 5,000 máximo	16	19	22	28
Deformación a la rigidez, TP1 "BBR" ,				



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES

S, máximo 300 Mpa, valor de m, mínimo 0.300. Temperatura de ensayo a 60 seg °C	-30	-30	-24	-18
Tipo de asfalto SHRP	PG 58 – 40	PG 64 – 40	PG 70 – 34	PG 76 – 28

TABLA NUM. 10

**ASFALTO MODIFICADO CON HULE DE NEUMATICOS**

CARACTERISTICAS	TIPO DE ASFALTO Y MODIFICADOR			
	AC-5 Hule Neum.	AC-10 Hule Neum.	AC-20 Hule Neum.	AC-30 Hule Neum.
Penetración, 25°C, 100gr.,5seg.0.1mm	30 – 90	25 – 75	20 – 60	15 – 50
Penetración, 4°C, 200gr, 50 seg, 0.1 mm	20 – 45	15 – 35	10 – 30	10 – 25
Punto de reblandecimiento, anillo y esfera.°C, mínimo	45	50	55	60
Solubilidad en Tricloroetileno, %, mínimo	99	99	99	99
Separación, diferencia anillo y esfera, °C, máximo				
Resistencia, 25°C, %, mínimo	20	20	20	20
Recuperación elástica, 25°C, %, mínimo	50	50	50	50
Viscosidad Brookfield tipo kaake 177°C, poises	12 – 48	15 – 60	15 – 70	20 – 80
Prueba de película delgada, (3.2mm), 163°C, 5 horas, 50 gr.				
Perdida por calentamiento, %, máximo	1.0	1.0	1.0	1.0
Penetración retenida, 4°C, %, mínimo	60	70	75	80
Ductilidad retenida, 4°C, %, mínimo	50	50	50	50
Incremento en tensión directa, %, mínimo	60	60	60	60
<b>PRUEBAS SHRP (TENTATIVO)</b>				
Asfalto original G*/sen δ. Kpa, 1.0 mínimo	64	70	76	82
Después de TFOT ó RTFOT G*/sen δ. Kpa, 2.2 mínimo	64	70	76	82
Después del PAV G*/sen δ. Kpa, 5,000 máximo	16	22	28	34
Deformación a la rigidez, TP1 “BBR” ,S, máximo 300 Mpa, valor de m, mínimo 0.300. Temperatura de ensayo a 60 seg				



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES

°C	-30	-24	-18	-12
Tipo de asfalto SHRP	PG 54 -	PG 70 -	PG 76 -	PG 82 -
	40	34	28	22

## TENDENCIAS EN LOS ASFALTOS

Tomando en cuenta que las reservas más importantes de nuestro país se encuentran en el crudo maya, se han iniciado estudios tendientes a conocer mejor el asfalto proveniente de este crudo, especialmente en lo que se refiere a su susceptibilidad a la temperatura y comportamiento en el campo, medido en términos de pruebas recomendadas, de las actuales normas SHRP.

Hasta el momento, los resultados obtenidos son alentadores en estos primeros intentos, ya que el asfalto maya de penetración 85/100, ha presentado propiedades favorables de módulo dinámico ( $G^*/\text{sen } \delta$ ) a temperaturas bajas, medias y altas, lo cual permite esperar que se puede construir en el futuro un súper asfalto de tipo multigrado, con ventajas obvias para la construcción de pavimentos asfálticos, y con gran demanda en el ámbito nacional e internacional, después de que se confirmen las bondades de este producto.

## APLICACIÓN DE ASFALTOS MODIFICADOS

Se usan en carpetas asfálticas de carreteras o autopistas con gran intensidad de tránsito, alto porcentaje de vehículos pesados y fuerte concentración de cargas por eje.

También se utilizan en la construcción de tratamientos superficiales de tipo "Open - Gradé" para aumentar la seguridad contra derrapamientos en carreteras de alta velocidad y zonas lluviosas.

Finalmente, los asfaltos modificados pueden representar la solución a problemas de caminos localizados en regiones con gran escasez de materiales pétreos adecuados para pavimentación o bien, con condiciones climáticas muy difíciles.



## ASFALTO AHULADO

La primera aplicación del asfalto ahulado fue en 1964 en la CD. De Phoenix, Arizona, se experimentó cerca de 140 secciones de prueba.

El proceso consistió en la aplicación del asfalto ahulado caliente, seguido de una capa de cierto espesor de agregados.

Los resultados de las secciones de prueba fueron muy alentadores y mostraron ventajas significativas en la prevención de grietas de reflexión.

El tipo de tratamiento de membrana Geo – Textil se aplicó entre dos capas sucesivas, la primera corresponde al tratamiento superficial y la segunda fue un concreto asfáltico ahulado con agregados de 1 ½ a 2”

La aplicación de asfalto ahulado ha permitido a las ciudades rehabilitar pavimentos que habían sido evaluados como estructuralmente inadecuados, esto dio por resultado un ahorro substancial para la ciudad.

### MEZCLA DE ASFALTO AHULADO DE GRADUACION MEDIA UNA ALTERNATIVA DEL RIEGO DE SELLO

Debido a la presión creciente del usuario, el consejo del Cd. De Phoenix ordenó al departamento de transporte en 1988 dejar de usar el sello.

La mezcla fue diseñada con una graduación media, (tabla 1) para incorporar en gran cantidad a los agregados gruesos (75 – 85 %) retenidos en la malla No.8 y un alto porcentaje de asfalto ahulado.

Los agregados proveen un incremento del valor del soporte estructural de la mezcla y más resistencia, comparado con las mezclas calientes convencionales.



**TABLA 1: ESPECIFICACIONES DE GRANULOMETRIA EN MEZCLAS  
DE TEXTURA MEDIA 3/8"**

TIPO DE MALLA	% QUE PASA
1/2"	100
3/8"	78 – 92
No. 4	28 – 42
No. 8	15 – 25
No. 30	5 – 15
No. 200	3 – 7

El contenido de alto aglutinante provee una mezcla de graduación media de la película aglutinante de espesor significativamente mayor que aquella graduación densa de concreto asfáltico convencional que resultan las mezclas más durables y flexibles.

La prueba mecánica de agrietamiento de una graduación media, muestra que esta mezcla tiene mayor capacidad de absorción de energía causa del agrietamiento; comparada con las mezclas convencionales de graduación densa.

La estrategia básica de la guía del diseño es una reducción del 50% en el espesor de la sobre carpeta cuando se usa un concreto asfáltico ahulado de graduación media comparado con la mezcla convencional.

Los resultados de las secciones de prueba mostraron tanto para la estructura como para las facturas, que es viable la reducción en el 50% del espesor sobre carpeta de media y cuando se usa además, la membrana entre capas, la sobre carpeta puede reducirse aún más.

El procedimiento "Marshall" pueden ser utilizados para el diseño y colocación de las mezclas de asfalto ahulado, para la colocación se utiliza el equipo convencional de pavimentación, para la compactación solo deben usarse rodillos de acero ya que la mezcla de graduación media tiende a dañar las llantas de hule.

### **CONCRETO ASFALTICO AHULADO DE GRADUACION ABIERTO**

Este fue utilizado antes del desarrollo de la graduación media, es un concreto asfáltico estándar de graduación abierta, excepto que el aglutinante utilizado es de asfalto ahulado.

Los contenidos de aglutinante son substancialmente mayores que en las graduaciones abiertas convencionales (9 – 10 % del peso total de la mezcla)



El resultado es una superficie más durable y friccionante, con una resistencia mayor al agrietamiento, a la oxidación y al desgranamiento.

El incremento de durabilidad del ARC de graduación abierta viene del alto contenido de aglutinante de asfalto ahulado. El incremento de viscosidad del aglutinante asfalto ahulado permite incorporar arriba del 10 % de aglutinante sin una excesiva migración del asfalto a la superficie.

El contenido más alto de aglutinante da por resultado un mayor espesor de la película sobre los agregados, lo que incrementa la durabilidad de la mezcla debido a un incremento de la resistencia a la oxidación.

La combinación del aglutinante de asfalto ahulado a altas temperaturas aunado a los contactos agregado – agregado de la matriz de la mezcla, da por resultado una mezcla altamente resistente a las deformaciones permanentes o a los baches.

En la tabla 2 se presentan las especificaciones de graduaciones típicas para las mezclas calientes asfálticas ahuladas de graduación abierta para 3/8”

**TABLA 2: ESPECIFICACIONES DE OPEN GRADED EN MEZCLAS DE TEXTURA MEDIA 3/8”**

TIPO DE MALLA	% QUE PASA
1/2”	100
3/8”	85 – 100
No. 4	22 – 55
No. 8	5 – 15
No. 30	0 – 10
No. 200	0 – 5

Los pavimentos de graduación abierta son diseñados para drenar el agua, para su colocación se utiliza equipo convencional y se utilizan rodillos de acero para la compactación.

## **HULE MOLIDO PARA FABRICAR ASFALTOS AHULADOS**

El hule molido para uso de asfaltos mejorados se obtiene del reciclado de las llantas de desecho, el cual consiste básicamente en separar y pulverizar el hule, acero y fibras sintéticas que tiene la llanta.





Las llantas para los vehículos al término de su vida útil, se convierte en un desecho no biodegradable; además su forma física y su dispersión geográfica plantean un reto para su manejo y disposición final.

Actualmente la mayoría de las llantas de desecho son aplicadas o usadas como relleno en grandes extensiones de terreno, y otras son quemadas sin ningún control, creando serias amenazas sanitarias y ambientales.

Dentro de los procesos que se utilizan para asfaltos modificados, existe el asfalto ahulado, actualmente en nuestro país, solo se utiliza asfalto ahulado en capas superficiales.

Consideramos que esto es debido a que no existían recicladores en México de este producto con la capacidad suficiente.

Sin embargo, se espera que con la presencia de productores de hule molido ya en operación, se pueda ampliar este campo y usar el asfalto ahulado en la fabricación de mezclas asfálticas para carpetas, como se hace en otros países.

Donde es posible tener ahorros hasta de 50% en su fabricación al reducir el espesor de la carpeta, utilizando el asfalto ahulado en lugar de la carpeta asfáltica convencional.

Existen dos procesos para la obtención de hule molido del reciclado de las llantas de desecho; uno es el proceso mecánico (100% ecológico) y el otro sistema criogénico; en ambos casos se obtiene el hule molido por los consumidores de asfaltos ahulados.

El proceso mecánico (Ambiental) consiste en una trituración previa de una llanta y después de la molienda, de pulveriza el hule, separando por sistema magnético el acero y a base de vacío se separa la fibra que contiene la llanta, después se criba para obtener el hule molido con diferentes granulometrías.

El sistema Criogénico consiste en hacer pasar las llantas enteras a un depósito, donde por medio de nitrógeno líquido se congela, pulverizando el hule, y ayudado por un sistema magnético se separa el metal existente y mediante un sistema de vacío se separa la fibra que tiene la llanta y a través de cribas se obtiene el polvo de hule en varias medidas.

## **VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE AMBOS SISTEMAS**



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES

En el proceso mecánico, no se utiliza maquinaria que pueda contaminar el ambiente, para obtener la granulometría más fina, es necesario procesar el producto.

La diferencia principal en los procesos, es el impacto ambiental que se genera y el costo de proceso, donde el sistema criogénico es mucho más elevado por el uso de nitrógeno y generadores de vapor para su secado.

En una publicación de la American Society for Testing Material, sobre el uso de materiales de desecho en mezclas en caliente para asfaltos, menciona que el hule molido por el sistema mecánico ambiental tiene una superficie de apariencia esponjosa, que permite cubrir una superficie mayor y reaccionar con el cemento asfáltico razonablemente rápido.

El hule molido por el sistema criogénico, también da una recuperación muy baja en elasticidad comparada con el hule molido obtenido por medios mecánicos.

### **VENTAJAS AMBIENTALES DE LAS MEZCLAS CALIENTES DE ASFALTO AHULADO**

De acuerdo con los datos mundiales, una llanta de desecho de automóvil tiene un peso aproximado de 9.1 Kg. con un contenido del 75% de hule, 15% de acero y 10% de fibras; sin embargo en México, la llanta de desecho en promedio es de 7.8 Kg. y tiene un contenido de 65% de hule, 30% de metal y 5% de fibras.

En 1997, se estima que la importación de llantas nuevas y usadas llegue a 3,000,000 de unidades y la exportación sea de aproximadamente de 4,500,000 esto nos da como resultado que el consumo nacional en 1997 sea de 14,000,000 de llantas.

El problema asociado con el almacenaje de estas llantas de desecho, ha forzado la necesidad de desarrollar usos y mercados para las llantas usadas, uno de estos mercados es el Asfalto Ahulado.

Aproximadamente se utilizan 1500 llantas para el asfalto ahulado de un carril de una milla de longitud con 3.81 cm de espesor; las mezclas de asfalto también reducen los niveles de ruido en las carreteras.

### **RECICLADORES EN MEXICO**

En México existen recicladores tanto en proceso criogénico como proceso mecánico:



A).- Dos plantas con proceso Criogénico:  
GOODDRUBBER DE MEXICO instalada en Guadalajara y yacen de México.  
Ubicada en el estado de Hidalgo.

Estas empresas producen hule en las siguientes medidas: 10-20 MESH; 20-30 MESH; 40-30 MESH y superiores.

B).- Un reciclador de proceso mecánico ambiental:  
MEXICO RECYCLING TECHNOLOGY, es una empresa ubicada en Coyoacán, Estado de México, que recicla llantas de desechos de todos los usos, medidas y tamaños, buscando ayudar a resolver en forma integral el problema ambiental con la más alta tecnología que existe en la actualidad a nivel mundial.

### **CONSTRUCCION DE CARPETAS DRENAJES AHULADAS**

Hace unos años se tuvo la necesidad de tener una carpeta drenante ahulada, especificada como parte del mantenimiento de una de las autopistas más importantes que llegan a la Cd. de México.

En ese momento, la experiencia al respecto era poca y no siempre exitosa, motivo por el cual se recabo toda la información disponible, ya sea que se hubiese obtenido en nuestro país o en el extranjero.

Durante la búsqueda de información necesaria para iniciar un trabajo que nunca se había ejecutado, empezaron a aparecer muchos aspectos que parecían incómodos, e inclusive se recibieron comentarios, en el sentido de lo difícil que sería llevar a cabo esta misión.

Para construir carpetas ahuladas, la costumbre era la de comprar el asfalto ya integrado con el hule, en plantas procesadoras existentes para tal fin, que generalmente se encontraban muy lejos de los sitios de tendido, para después ser transportados y utilizados en las plantas de asfalto de los contratistas.

Los problemas que se identificaron cuando se construía bajo este sistema eran entre otros los siguientes:

A).- Falta de control sobre la integración del hule molido al asfalto

B).- Falta de control sobre el contenido en porciento del hule en el asfalto

C).- Traslados a grandes distancias, que provocaban en numerosas ocasiones que el asfalto se recibiera en la obra a bajas temperaturas ocasionando



problemas graves para recalentarlo y homogenizarlo de nueva cuenta y en consecuencia para utilizarlo.

Este problema se podía subsanar transportando el asfalto ahulado en pipas equipadas con serpentines calentados con aceites térmicos y calderas de un costo elevado de adquisición y operación, que desde luego afectaba el costo final de producción de la carpeta.

D).- Tener que comprar el asfalto ahulado en dichas plantas, también ocasionaba, que no siempre se encontrara con este producto en el momento necesario, era en realidad algo que se quedaba fuera de control de la empresa y afectaba los programas de construcción de la obra, con las consecuencias graves que esto implica.

Ahora bien, en el caso de contar con el asfalto ahulado a una temperatura correcta en la obra, no terminaría el problema pues entonces habría que pensar que hacer con 30 o 40 mil litros de preparado que no siempre se podía utilizar en forma continua.

### **EQUIPOS Y ADECUACIONES NECESARIAS EN LA PLANTA DE ASFALTOS PARA LA INTEGRACION DEL HULE**

Afortunadamente, en México existe, quién con su gran experiencia, fabrican el primer exitoso modulo para la integración de hule, con las dimensiones y características requeridas; este equipo diseñó, para cubrir las necesidades de producción de un día de trabajo.

De nada sirve tener una planta de asfalto de 200 o 300 toneladas por hora si al día únicamente se puede tender una producción de un par de horas de ella.

Una vez que se contaba con el módulo para la integración de hule al asfalto virgen (AC-20) era necesario hacer varias modificaciones importantes a ciertos componentes de la planta de asfalto, a fin de que se tuviera una operación exitosa.

El primero, la caldera, en esta se revisó el aceite térmico, empacar fugas, verificar termostato, ajustar flamas, cambiar aceites, todo esto para asegurar que se contaría con un asfalto a 180°C mínimo, dado que con temperaturas menores a esta, la integración u homogenización del hule al asfalto es prácticamente imposible.

En segundo término, se eligió un tanque térmico de dimensiones más reducidas que las normales, es decir, con una capacidad de 25,000 litros a fin de



graduar en este tanque el asfalto ahulado producido para dejarlo en reposo dinámico.

Como tercer punto importante a revisar, esta la bomba de inyección de asfalto, una bomba cansada, con empaques desajustados, sin presión, no servirá; es necesario recordar que el asfalto virgen, tiene una mayor viscosidad lo que dificulta un poco más su manejo.

En este punto del problema, ya se tenía el asfalto virgen a la temperatura deseada, un tanque preparado para recibir el asfalto ahulado y una bomba que sea capaz de inyectarlo al tambor mezclador, solo faltaba iniciar la operación de mezclado y esta tenía que hacerse con mucho cuidado.

La preparación del asfalto se hace por batchas, en este caso son de 1800 litros y se requiere de aproximadamente 20 minutos para lograr una incorporación al asfalto.

### **PRODUCCION Y TENDIDO DEL CONCRETO ASFALTICO AHULADO**

Para su tendido hay que tomar las siguientes precauciones:

La Primera, usar una tendedora con una placa rasadora en perfectas condiciones de acabado superficial y que tiene que estar antes de iniciar el tendido del concreto asfáltico ahulado, debidamente calentada para no provocar arrastres del material que provoca un terminado defectuoso en el trabajo.

Segunda, iniciar el proceso de acomodo o compactación de la capa en forma inmediata al tendido, teniendo mucho cuidado que los compactadores sean dos Tandem lisos de doble rodillo sin vibrar, que tenga un sistema ideal de Aspersores y Recado de sus tambores.

La tercera, quizá la más importante de las tres, es la temperatura de tendido siendo un concreto asfáltico normal, la temperatura ideal de tendido es de alrededor de 120°C, con el concreto asfáltico ahulado, motivo de este estudio es y deberá ser de 180°C, no se intente hacerlo a más baja temperatura, seguramente tendrá desprendimientos y arrastre que habrá de subsanar a costos muy elevados.

Tampoco es recomendable iniciar el tendido de la mezcla cuando la temperatura ambiente sea de 12°C, esta quizá sea la razón de algunos pequeños pero importantes defectos en el terminado superficial.



El asfalto ahulado mejora el nivel de servicio que proporcionan los pavimentos de asfalto convencionales, que se deterioran que sufren de agrietamiento tipo de piel de cocodrilo por bloques.

La vida del pavimento se prolonga varias veces al tener menor cantidad de agua que entra a la BASE, SUB – BASE, y SUB – RASANTE, al proporcionar una membrana a prueba de agua obteniendo una estabilidad máxima de la estructura; sin embargo se reporta que en términos de espesores relativamente delgados en que se colocan, lo que reduce la cantidad de materiales necesarios, además de un comportamiento libre de mantenimiento, lo que hace menos costoso.

### **COMENTARIOS ACERCA DEL HULE MOLIDO**

La utilización del hule molido de neumáticos usados, es generalmente confundido con el proceso de modificación con los polímeros.

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.

Las partículas suspendidas del hule molido se comportan más como agregado fino o Filler, que como un ligante modificado, el hule molido generalmente se incorpora en alguna de las dos siguientes formas:

Utilizando el proceso húmedo, el hule se adiciona al asfalto líquido antes de realizar la mezcla con los agregados.

Utilizando el proceso en seco este contempla la incorporación del hule directamente en el agregado pétreo; existen tecnologías que combinan hule molido con polímeros, en un proceso húmedo, para mantener suspendidas las partículas de hule y ganar algunos de los beneficios de los asfaltos modificados con los polímeros.

### **LIGANTES MODIFICADOS**

La característica de los ligantes hidrocarbonados son suficientes para fabricar mezclas asfálticas capaces de resistir la acción conjunta del tráfico y de los agentes ambientales, pero en aquellos casos en que las mezclas asfálticas están sometidas a fuertes solicitaciones, es necesario recurrir al empleo de ligantes modificados con mejores propiedades mecánicas y geológicas, con una mayor adhesividad a los materiales pétreos y con una menor susceptibilidad a la temperatura así como una mayor resistencia al envejecimiento.





ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES

En función del tipo de la mezcla bituminosa y de la aplicación concreta a que se destine, existen una serie de aditivos o agentes modificadores, como activantes, asfalto de trinidad, asfáltenos, compuestos orgánicos de manganeso, antioxidantes, azufre, fibras, polímeros, etc. Que permiten mejorar las propiedades de los ligantes hidrocarbonados.

De todos los aditivos que se incorporan a los ligantes hidrocarbonados para mejorar sus características mecánicas y reológicas, los que mejores posibilidades ofrecen por sus características visco-elásticas, son los polímeros, siendo los aditivos de uso más generalizado por lo que únicamente nos referiremos a los ligantes hidrocarbonados modificados con polímeros.

Los polímeros son sustancias macromoleculares, formados por asociaciones de gran cantidad de moléculas sencillas, siendo su característica especial su elevado peso molecular.

La gran diversidad de materiales poliméricos hace que su dosificación y sistematización sea difícil, pero atendiendo a su estructura y propiedades se clasifican en 3 grandes grupos:

Termoplásticos  
Termoendurecibles  
Elastómeros

Dado la gran variedad de polímeros comerciales existentes; con composición química y propiedades diferentes, cabe pensar que las posibilidades de modificación de los ligantes bituminosos con polímeros son muy grandes, pero el campo se reduce porque no todos los polímeros son compatibles con los ligantes hidrocarbonados.

En general, se puede establecer la compatibilidad de acuerdo a una serie de parámetros para los polímeros y para los componentes genéricos de los asfálticos.

En general los cementos asfálticos de uso en carreteras son compatibles con los polímeros con parámetros de solubilidad comprendidos entre  $16.6 \text{ y } 17.6 \cdot 10^3 \text{ (J/m}^3\text{)}$  0.5.

Los alquitranes de naturaleza más aromática y por lo tanto con mayor parámetro de solubilidad son compatibles con los polímeros con un parámetro superior a  $17.6 \cdot 10^3 \text{ (J/m}^3\text{)}$ .





Los polímeros empleados de forma más generalizada, para modificar los cementos asfálticos son el caucho natural (NR), los copolímeros de etileno-acetato de vinilo (EVA) y los elastómeros termoplásticos de butadienoestireno telebloque (SBS); mientras que para modificar los alquitranes, los polímeros más utilizados son los poli cloruro de vinilo (PVC) y las resinas epoxico.

En definitiva las propiedades de un ligante modificado dependerán de los siguientes factores:

Composición y estructura molecular del polímero  
Composición química y estructura coloidal del ligante  
Proporción relativa de ligante y polímero  
Proceso de incorporación.

## ASFALTOS FLUIDIFICADOS

Los cementos asfálticos fluidificados se definen como las ligantes hidrocarbonados resultantes de la incorporación a un cemento asfáltico de fracciones ligeras, más o menos volátiles, procedentes de la destilación del petróleo.

El empleo de estos materiales en obra de carreteras se ha reducido considerablemente, debido a razones fundamentales económicas y ecológicas y se han sustituido en gran parte por las emulsiones.

Especificaciones:

El ensaye de viscosidad SAYBOLT – FUROL sirve para clasificar el tipo de producto y permite evaluar la facilidad de aplicación.

Mediante el ensayo de destilación se determina el contenido y la volubilidad de fluidifican empleado, lo que nos permite diferenciar si es de curado rápido o medio, así como detectar irregularidad en estos dos parámetros.

Los ensayos de penetración, ductilidad y solubilidad del residuo de destilación tienen por objeto comprobar la calidad del cemento asfáltico empleado en su fabricación.

El punto de inflamación se exige por motivos de seguridad, y el contenido de agua para detectar el empleo de fluidifisantes con humedad o contaminación durante su manipulación.

Aplicación:



Aunque, como se ha dicho anteriormente, la utilización de los cementos asfálticos fluidificados es muy reducida, pueden emplearse las siguientes unidades de obra:

- Mezclas Bituminosas
- Tratamientos superficiales

### **MEZCLAS POROSAS**

Las mezclas porosas pueden definirse como aquellas mezclas asfálticas cuyo contenido de huecos es suficientemente alto para permitir que el agua de lluvia se filtre a través con rapidez y puede ser evacuada hacia depósitos, cuencas u otros elementos de drenaje evitando su permanencia en la superficie de la capa de rodamiento, incluso bajo precipitaciones intensas y prolongadas.

Habitualmente se admite que para que una mezcla pueda considerarse porosa debe tener un contenido inicial de huecos del 16%.

Una consideración a tener en cuenta es que las mezclas porosas pueden ejecutarse tanto en caliente como en frío, empleando como ligantes los cementos asfálticos puros o las emulsiones asfálticas modificadas o no.

Las mezclas en frío fabricadas tradicionalmente, con un contenido de asfalto nulo o casi nulo, son porosas en sentido estricto, con contenido de huecos del orden de 25%. Sin embargo, la técnica de las mezclas porosas han tenido un auge espectacular en los últimos años debido a su puesta en obra como mezclas asfálticas en caliente.

La consecuencia de una mezcla porosa implica el empleo de una composición granulométrica muy diferente a la de las mezclas tradicionales, tipo concreto asfáltico. En estas el contenido de arena suele ser muy elevado, generalmente comprendido entre un 35% y 60%.

Como consecuencia de ello, la resistencia de la mezcla esta basada principalmente en la cohesión proporcionada por el mortero asfáltico, la fricción interna de la mezcla únicamente se inmoviliza frente a los altos cambios de temperatura mantenidos.

En las mezclas porosas para poder obtener un contenido de huecos elevado, es necesario modificar la proporción de agregado pétreo grueso, agregado pétreo fino de tal forma que, en general el contenido de arena suele ser



inferior al 20% debido a ello, la capacidad de resistencia de la mezcla no puede basarse en la cohesión, puesto que falta mortero, sino en la fricción interna.

## COMPONENTES

Como el resto de las mezclas asfálticas, los componentes básicos de las mezclas porosas son los materiales pétreos y el ligante asfáltico. En ocasiones, a estos componentes básicos se añade otro tipo de productos, denominados aditivos, con los que se pretende mejorar alguna de las características de la mezcla, adhesividad, superficie específica, etc.

En particular, determinadas empresas suelen emplear fibras para permitir aumentar el contenido y calidad de la mezcla porosa.

## ASFALTOS OXIDADOS

Una característica del asfalto obtenido de la destilación del petróleo, que tiene gran importancia por ser un grave inconveniente para determinadas aplicaciones, es la fluencia en frío.

Esta propiedad consiste en que si dejamos sobre una superficie plana un paralelepípedo de asfalto durante un cierto periodo de tiempo, a temperatura ambiente, por duro que sea el asfalto, al cabo de un tiempo más o menos largo, el trazo de asfalto, originalmente de forma regular, se habrá deformado, fluyendo sobre la superficie como un líquido, aunque a velocidad mucho más lenta.

## FABRICACION

La fabricación del asfalto oxidado se empieza por someter una masa de asfalto residual pesado a una temperatura de 275 a 300 °C, haciendo pasar a través de ella aire a razón de 1.00 a 1.5 litros por minuto/ Tonelada de asfalto durante un periodo de 5 a 12 horas.

Las propiedades del asfalto oxidado obtenido dependen de varios factores entre los cuales los principales son:

- Naturaleza del producto original. Tiene una importancia fundamental el empleo de las proporciones adecuadas de materiales parafínicos y asfálticos.
- Tipo de catalizadores empleados
- Temperatura a la que se verifica la oxidación
- Otras características del proceso de oxidación.



## COMPOSICIÓN DE LOS ASFALTOS OXIDADOS

Tomando una muestra de asfalto y lo tratamos por oxidación, procediendo después a la determinación del contenido de asfáltenos, resinas y aceites del asfalto original y el oxidado.

Las principales diferencias que se observan son las siguientes: La oxidación hace aumentar el contenido de asfáltenos, manteniendo aproximadamente constante el contenido de resinas y hace disminuir el contenido de aceites.

La explicación de esto es que, por oxidación los aceites tienden a transformarse en resinas y las resinas en asfáltenos, lo que explica perfectamente por que tienden a producirse ambos fenómenos a ritmos aproximadamente iguales, y que se conserva la cantidad de resinas y la cantidad de aceites disminuye, mientras que la de asfáltenos aumenta.

## PROPIEDADES DE LOS ASFALTOS OXIDADOS

**Ductilidad:** La mayor parte de las veces, la ductilidad de los asfaltos decrece con bastante rapidez al oxidarlos. Esta es una de las grandes desventajas del asfalto oxidado. Al comenzar el proceso de soplado, la ductilidad decrece muy rápidamente, estabilizándose ligeramente después.

**Resistencia al envejecimiento:** Es opinión general, al hablar de asfaltos oxidados, que la oxidación mejora la resistencia al envejecimiento de los asfaltos en general. Los asfaltos oxidados que se emplean normalmente tienen mayor resistencia al envejecimiento que los asfaltos no oxidados.

## ASFALTOS MODIFICADOS POR POLIMEROS

El término polímero se refiere a una molécula larga creada por la reacción química de muchas. (Poli) pequeñas moléculas (monómeros) que una con otra forman largas cadenas.

Las propiedades físicas de un polímero se determinan por la secuencia y la estructura química de los monómeros que lo conforman.

Dichos polímeros añaden poca resistencia al asfalto hasta que se encuentran estirados, en cuyo caso se vuelven más fuertes recuperando totalmente su forma inicial cuando se liberan los esfuerzos aplicados.



Los “Plastómeros” forman una red rígida tridimensional, estos polímeros dan mucha fuerza a temprana edad para resistir cargas pesadas, pero pueden fracturarse cuando son deformadas. Ya que son muy rígidos, los plastómeros más comunes son: el etil, vinilo, acetato, poli estireno, polipropileno y poli olefinas.

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.

La modificación con polímeros causa cambios significativos en la relación esfuerzo y deformación, en la respuesta a la deformación plástica en los parámetros de flujo tipo no – newtoniano, se han desarrollado nuevas pruebas para medir estas propiedades; los métodos de prueba de ligantes son más adecuados que los métodos convencionales, que se caracterizan las propiedades físicas de los asfaltos modificados con polímeros a altas y bajas temperaturas, como un ejemplo el AC-20

La compatibilidad del asfalto y las propiedades del polímero son claves para su desempeño.

Las dos primeras presentan una red continua de polímero, teniendo una estructura estable que no se separará.

Las dos siguientes no están en red separadas durante el almacenaje y por lo tanto no tendrán el mismo incremento benéfico sobre las distintas propiedades; algunos productores de asfalto utilizan procesos especiales para lograr la compatibilidad entre el polímero y el asfalto.

### **MANEJO Y ALMACENAJE Y PRACTICAS DE CONSTRUCCIÓN VARIAN CON EL SISTEMA DE POLIMERIZACIÓN**

Las prácticas convencionales aplicadas, pueden ser o no modificadas, dependiendo del sistema de polímero utilizado. Los polímeros se mezclan con el asfalto en instalaciones fijas o en la misma planta de asfalto con equipo proporcionado por el proveedor del polímero algunos otros sistemas requieren que se añada el polímero en fragmentos triturados (Pellets) directamente a la planta de asfaltos por bachas y en otros sistemas es necesaria una continua agitación para evitar la segregación.

Algunos asfaltos polimerizados requieren de temperaturas elevadas para su manejo y elaboración de la mezcla en caliente, con otros sistemas se pueden realizar a temperaturas convencionales.



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES

Si el polímero es añadido en forma separada al asfalto, se requerirá más tiempo de mezclado, la dureza de la mezcla en campo durante la construcción dependerá de la concentración de polímero y el grado de asfalto; la compactación de la mezcla será el último indicador para determinar la temperatura óptima de compactación y mezclado.

Al mejorar la resistencia de las roderas el agrietamiento térmico, el daño por fatiga, la fluencia y la susceptibilidad térmica se permite que los asfaltos modificados con los polímeros sustituyan a los asfaltos convencionales virtualmente en todas las aplicaciones de pavimentación.

Los asfaltos modificados con polímeros permiten el uso de prácticas que anteriormente no se utilizaban como es la microcarpeta o el uso de riegos de sello en carpetas de alto tráfico.

Por otro lado se ha encontrado que para lograr muchos de los distintos grados de asfaltos especificados en el sistema superpave, se requiere un proceso de modificación con los polímeros para así cumplir con los requerimientos de resistencia a altas temperaturas para evitar roderas y bajas temperaturas para mayor flexibilidad.





## VI METODOS DE PRUEBAS ESPECIALES PARA ASFALTOS MODIFICADOS

En este capítulo trataremos de hablar de las pruebas que se efectúan y que son aplicables a los asfaltos modificados con distintos tipos de modificadores.

Pruebas que no son aplicables a asfaltos sin modificar, ni asfaltos que se modifiquen durante el proceso de elaboración de la mezcla asfáltica “Mezclas asfálticas modificadas”.

Además algunas de estas pruebas son de carácter específico para un tipo de modificador, por lo cual el método de prueba mencionará a que tipo de asfalto modificado es aplicable.

Por otra parte haciendo un poco de historia, los asfaltos modificados se utilizaron primero en las fábricas de emulsiones para impermeabilizantes, y después se empezaron a utilizar en pavimentación.

Tanto en riegos como en tratamientos superficiales en frío, 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.

### 1.- SEPARACION POR ANILLO Y ESFERA

Este ensaye es aplicable a asfaltos modificados con polímeros del tipo SB, SBS de estireno butadieno en blocks de una o de varias planificaciones. El método consiste en observar la separación de un polímero en el asfalto mediante una muestra que se sujeta a alta temperatura durante un tiempo y después se coloca en un congelador. Posteriormente la muestra se separa entres parte y a las partes extremas se les hace la prueba de punto de reblandecimiento en anillo y esfera debiendo ser la temperatura en ambas con un diferencial no mayor de “X” número de grados centígrados. El objeto de esta prueba es verificar si el polímero esta bien incorporado al asfalto y no existe separación al sujetarlo a altas y bajas temperaturas.





## 2.- RECUPERACION ELASTICA POR EL DUCTILOMETRO

Esta prueba consiste en medir la recuperación elástica en un porcentaje de la deformación, después de un alargamiento en un ensaye de ductilidad a 25°C con un molde y una elongación determinada así como el tiempo de recuperación.

Los asfaltos con polímeros del tipo SBS o SB, así como los asfaltos con hule de neumáticos tiende a vender a su posición original una vez que se retira el esfuerzo de tensión al que había sido sujetado.

Considerando que la elasticidad es una energía almacenada al disiparse esta tiende a su posición original y únicamente se pierde la energía de la viscosidad.

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%, no así los asfaltos polimerizados con SBS o ahulados que tienen una recuperación elástica de 50 a 90% los primeros y de 60 a 95% los segundos, dependiendo del contenido de modificador

## 3.- RECUPERACION ELASTICA POR TORSION

Este método es aplicable a asfaltos modificados con polímeros de los SB, SBS, SBR o neoprenolates.

El método consiste en aplicar a una muestra de asfalto contenida en una cápsula de dimensiones dadas a una temperatura de 25°C y se le aplica un esfuerzo de torsión en un eje haciendo un giro de 180°.

Después de 30 minutos se determina el ángulo recuperado por el cilindro al soltarse el esfuerzo aplicado, esta prueba es similar al comportamiento con la del ductilometro.

Aún cuando no ha sido homologada y de acuerdo a las verificaciones que se han hecho, será difícil encontrar una correlación.



#### 4.- PENETRACION A 4°C

Esta prueba sirve para determinar la penetración a 4°C, antes y después de la prueba de película delgada (TFOT) y con los datos obtenidos, determinar la relación de la penetración, así como comparar con las penetraciones mínimas que deben tener un asfalto modificado con polímeros del tipo eva o con polietileno.

El método de prueba es similar al método normal a 25°C únicamente la salvedad es que esta se hace a 4°C con un periodo de tiempo de 60 seg.

#### 5.- SEPARACION POR CALENTAMIENTO

Los polímeros de tipo EVA o polietileno tienden a separarse por los efectos del calor cuando no están bien incorporados, por lo que esta prueba determina esta condición.

Este ensaye determina una buena homogeneización del polímero, así como, si no es susceptible a separarse del asfalto durante la etapa de su aplicación en un pavimento.

#### 6.- HOMOGENEIDAD DE LA INCORPORACION

Este método consiste en determinar la distribución de los polímeros en el asfalto mediante la utilización de un microscopio fluorescente, en el cual la toma de la muestra y la colocación en el porta objetos es muy importante por lo que se deben seguir las instrucciones al respecto.

Este método de prueba es útil cuando se usa cualquier tipo de polímeros del tipo SB, SBS, SBR, EVA, LATEX DE NEOPRENO, POLIETILENO, etc.

Para poder determinar la distribución y la homogeneidad del polímero en el asfalto, además que por comparación se pueda determinar el contenido de este en el asfalto.



## 7.- PRUEBA DE TENSION

Este método consiste en estirar una probeta de dimensiones dadas en un dinamómetro a una velocidad y temperatura determinadas y obtener los esfuerzos y deformaciones resultantes.

Los asfaltos modificados con polímeros o hule molido de neumáticos al tener propiedades mecánicas superiores a los convencionales presentan esfuerzos mayores así como mayor alargamiento a la falla

## 8.- RESILENCIA

Este método de prueba consistente en el fenómeno de recuperación que sufre un asfalto, en una prueba de penetración en la cual en lugar de aguja se coloca una esfera con un peso total de 75 gr. y un diámetro de 1.7 cm, la cual se le fuerza a penetrar después se le permite recuperarse mediante el retiro del esfuerzo de penetración que se le aplico, en temperatura, tiempos y penetración determinada.

Los asfaltos modificados con hules de neumáticos o con alto contenido de polímeros tienen un poder de recuperación a los esfuerzos del orden de 4 a 5 veces mas del asfalto normal, por lo que con este ensaye se puede determinar la presencia del modificador.

## 9.- VARIACIONES DE METODOS DE PRUEBA

En ocasiones para verificar algún comportamiento de un asfalto en particular se pueden variar los métodos de prueba ya sea en tiempo, temperatura, así como las condiciones de la misma, esto no significa que los resultados obtenidos deberán variar la clasificación de un asfalto en particular sino únicamente el comportamiento de esa muestra en especial, las variaciones más importantes que pueden hacerse y pudieran tener un significado, serian los siguientes:

A).- Variación en las temperaturas de prueba en la penetración, esto consiste variar en la temperatura en múltiplos de 5 o 10° C por lo que es frecuente ver cortes de penetración donde se tienen temperaturas de ensaye de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, etc., o de 5, 15, 25, 35, etc., y su objeto es determinar las variaciones que se obtienen con los cambios de temperatura, en ocasiones es frecuente también variar el peso de la prueba en lugar de 100 gr., poseer 50, 150 o 200, pero los resultados obtenidos en esta variación no tienen ningún significado.

B).- Variaciones en la temperatura de prueba en la viscosidad cinemática. En esta prueba su significado más importante es el factor que gobierna la aplicación



del asfalto y es evidente la importancia de la temperatura que debe reducirse o incrementarse para que la viscosidad sea la adecuada para una operación determinada, por lo que en asfaltos más blandos o más duros podría variarse la temperatura de aplicación.

### **EVALUACION Y CRITERIO DE COMPORTAMIENTO DE LOS METODOS DE ENSAYE DE LOS CEMENTOS ASFALTICOS NORMALES Y MODIFICADOS.**

Para poder interpretar la calidad de un asfalto y el comportamiento real que va a tener en el campo debemos considerar las siguientes premisas.

Los métodos convencionales empleados actualmente tanto por ASTM, AASTHO, SCT, etc., para la evaluación de productos asfálticos, conducen a resultados de poco valor calificativo y de una importancia dudosa, para su comportamiento en el campo no tienen sensibilidad para diferenciar los cementos asfálticos, dado que dichos resultados se dan en unidades incorrectas y a temperaturas no adecuadas, lo que dificulta cualquier comparación y aplicación de los asfaltos.

Estos métodos convencionales al tratar de enfriarlos en los asfaltos modificados, se complican mas, en virtud de que constituyen estos, un nuevo material, cuyas propiedades son notablemente distintas a los asfaltos originales.

Se utilizan los métodos de ensaye especiales para asfaltos modificados como serían las pruebas de separación por diferencia de anillo y esfera, resistencia, viscosidad Brookfield a altas temperaturas y recuperación elástica de diferentes métodos.

Se hace un análisis de los criterios y métodos de prueba y la elegibilidad de estos para ser utilizadas en nuestro país, de acuerdo a las condiciones climáticas del mismo.



## **PRUEBAS APLICADAS A CEMENTOS ASFALTICOS NORMALES UTILIZADAS POR LA SCT DE ACUERDO A LAS NORMAS ACTUALMENTE EN VIGOR**

### **1.- PESO ESPECÍFICO**

Esta nos sirve para efectuar correlaciones de peso volumen cuando así se requieren, así como los cambios que este pueda sufrir al incrementarse la temperatura sobre todo en lo que relaciona.

Transporte y medidas en volumen, para alguna base de pago o ajustes al mismo, para lo cual hay que tomar en cuenta las variaciones que sufre un asfalto puro al ser modificado con algún polímero, asfalteno o hule molido de neumáticos, que dan diferente peso específico y se comporta de otra manera al incrementar las temperaturas.

### **2.- SOLUBILIDAD**

Esta prueba se hace con tricloroetileno (dado que el tetracloruro de carbón desapareció del mercado por su alta toxicidad) es un método que nos sirve para detectar impurezas o alguna materia que no sea soluble en el solvente tomando en cuenta que los hidrocarburos son solubles en el tricloroetileno.

### **3.-PENETRACIÓN**

Este es un ensaye que se basa en lo que penetra una aguja de ciertas dimensiones con unas condiciones de carga, temperatura y tiempo en una muestra de asfalto.

Esta prueba se pensó que podría servir como una tensión al corte ocasionado por una carga, la cual dividida entre la superficie de la punta de la aguja, que va incrementándose, al penetrar esta en el asfalto disminuyendo la velocidad de penetración, por otra parte los materiales que se comportan como un líquido Newtoniano puede tener una relación entre la penetración y la viscosidad, dado que la tensión al corte esta relacionada de acuerdo a las variaciones de esfuerzo.

Desgraciadamente los asfaltos en su mayoría no son líquidos Newtonianos, en que su logaritmo de viscosidad sigue una variación lineal, sino que a las temperaturas de ensaye de la penetración su comportamiento es de un material visco - elástico y la viscosidad aparente cambia constantemente y no se puede llevar a cabo dicha relación, y por lo tanto, no tiene relación con la viscosidad a la misma temperatura.



#### **4.- ENSAYE DEL PUNTO DE REBLANDECIMIENTO**

Este ensaye pretendía utilizarlo para determinar un punto de fusión que relacionado a la temperatura en que pasa de los estados de pseudo – sólido a plástico y de ahí a la fusión que presento el paso a comportamiento del asfalto como un líquido Newtoniano.

Sin embargo estudios posteriores han demostrado que el punto de reblandecimiento no presenta este cambio sino que depende de otros factores, pero existe una cierta relatividad entre la temperatura de reblandecimiento y el comportamiento reológico del asfalto, dado que a mayor temperatura de reblandecimiento es probable que tenga un mejor comportamiento a temperatura mayor que uno con menor punto de reblandecimiento.

#### **5.- VISCOSIDAD SAYBOLT – FUROL**

En esta prueba su objetivo era obtener una temperatura de fácil manejo del asfalto durante su aplicación, ya sea en riegos a través de un distribuidor (petrolizadora) o en la bomba de asfaltos para la elaboración de la mezcla.

Pero en la normatividad se fijaron valores mínimos de la viscosidad, no así valores máximos y por otra parte se encasillaron en una sola temperatura, que era la considerada de los cementos asfálticos y eso desvirtuó en cierta manera el objetivo primario de la prueba.

La relación viscosidad – temperatura es el factor que gobierna la aplicación de un cemento asfáltico en caliente y lo importante resulta en determinar una temperatura en que se reduzca la viscosidad, al valor requerido para una aplicación dada, así un asfalto de mayor viscosidad requerirá de una temperatura mayor y viceversa.

Por lo anteriormente expuesto, se considera que es una prueba de control de temperatura de trabajo en la aplicación, pero no tiene relación con el comportamiento en el campo ni con el envejecimiento, quizás si se hicieran pruebas después de la película delgada y el envejecimiento prematuro en el laboratorio se tendría un mejor análisis de comportamiento.

Por otra parte la prueba esta basada en pasar el asfalto por un orificio semicapilar “Orificio Furol” y no es una prueba aplicable a asfaltos modificados.





## 6.- ENSAYE DE DUCTILIDAD

Este ensaye mide el alargamiento de un asfalto en una probeta de dimensiones, temperatura y velocidad determinados que normalmente se realiza a 25°C a una velocidad de alargamiento de 5cm/min.

En el aspecto de resultados de esta prueba, se ha demostrado que los asfaltos tienen un comportamiento Newtoniano o se aproximan a este; tienen mayor ductilidad que los asfaltos que tienen un comportamiento reológico complejo (Viscoelasticidad) por lo que es difícil predecir un buen comportamiento del asfalto, basándose en una ductilidad a una temperatura determinada a 25°C.

Se ha ejecutado esta misma prueba a otra temperatura, 4°C, en la cual se pueden observar los cambios de la prueba a menor temperatura, cuando se pueden presentar bajas temperaturas en el pavimento correlacionando las dos ductilidades, se puede tener una variación de la misma a los cambios de temperatura.

En los asfaltos modificados esta prueba es difícil de efectuar sobre todo los que contienen hule molido de neumáticos, por lo que en estos casos será difícil que sirva para caracterizar el material.

Por otra parte la ductilidad aun en diferentes etapas del ensaye del asfalto, ya sea virgen; después de la película delgada o aun después de una prueba de envejecimiento a largo plazo, nos determina la pérdida de ductilidad más no así el comportamiento que va a tener durante la etapa de utilización.

## 7.- ENSAYE DE PÉRDIDA POR CALENTAMIENTO

En este ensaye que originalmente se planeo con la idea de determinar la presencia de solventes o de aceites ligeros mediante un porcentaje determinado como máximo, así como la pérdida de penetración de acuerdo a un porcentaje resultante del cociente de dividir la penetración después de esta prueba entre el valor inicial de penetración.

Adicionalmente se puede determinar los porcentajes que se tienen de pérdida en esta prueba antes y después del ensaye; en penetración, ductilidad y viscosidades a diferentes temperaturas, así como el incremento en el punto de reblandecimiento por la prueba de anillo y esfera.

Una relación aproximada de esta prueba, es que se determinan los cambios que sufre el asfalto durante los procesos de transporte, almacenaje,





calentamiento, elaboración, transportación y tendido de la mezcla asfáltica, comparando ensayos antes y después de la misma.

## **EVALUACION DE LOS METODOS PROPUESTOS POR “SHRP” PROGRAMA ESTRATEGICO DE DESARROLLO DE CARRETERAS**

Desde hace tiempo se ha tenido el problema de definir y tener una buena selección de métodos de ensaye que aseguren la calidad de un ligante asfáltico para un pavimento que garantice durabilidad y resistencia a las cargas, temperaturas, tránsito y envejecimiento.

El método que evalúa las características internas del asfalto era el de la ductilidad, el cual tiene limitaciones, varía de un ensayo a otro, su valor es dudoso y no tiene relación con el comportamiento de una mezcla asfáltica a corto y largo plazo.

No existe una prueba que nos indicará el comportamiento a largo plazo del asfalto, sino únicamente en su inicial, las únicas opciones para medir la susceptibilidad térmica de los asfaltos es mediante el índice de penetración o el coeficiente logarítmico de temperatura, pero no determinan el comportamiento a largo plazo.

Por lo anterior expuesto y dado que los asfaltos cada vez tienen menor durabilidad como las mezclas asfálticas, se implementa el programa “SHRP” para seleccionar en el caso que nos ocupa, asfaltos idóneos para cada lugar de acuerdo a las condiciones y disponibilidad de los mismos ya sea natural o modificadas y la estrategia que usaron fue la siguiente:

1.1.- Identificar las propiedades fundamentales de los asfaltos y las causas de falla de estos y de las mezclas

1.2.- Identificar por regiones las temperaturas máximas y mínimas de diseño a las que estarán sujetos los pavimentos

1.3.- Identificar la inter – relación entre las fallas de los pavimentos y las propiedades de los asfaltos

1.4.- Determinar las cargas en peso, intensidad, así como los tiempos en que estas actúan en los pavimentos

1.5.- Seleccionar los métodos de ensaye adecuados que midan realmente las propiedades del asfalto, así como su comportamiento en el campo



1.6.- Determinar que las nuevas especificaciones, pueden ser correlacionadas con las fallas de los pavimentos flexibles, medidos bajo las condiciones de tránsito y de lugar donde son colocados

2.- Cual es el concepto de las especificaciones para cementos asfálticos de "SHRP"

2.1.- Determinar un estudio en el que se consideran todas las fallas de los pavimentos y su relación con las propiedades físicas de los asfaltos para poder tener un parámetro y con este determinar que valores límite pueden ser fijados a dichas propiedades.

2.2.- Los mecanismos de falla que preocupan en las mezclas asfálticas estan referidas a lo siguiente:

- Grietas o fisuras por contracciones de baja temperatura
- Grietas por fatiga debido a las cargas dinámicas en intensidad y tipo de carga
- Deformación plástica en las capas asfálticas "roderas" por falta de capacidad estructural o altas temperaturas de pavimento
- Envejecimiento prematuro del asfalto debido a la acción de los agentes atmosféricos junto con la calidad propia del asfalto

2.3.- Características del clima

Las condiciones climatológicas, ambientales y del lugar donde se coloca un pavimento, tiene una gran influencia en la temperatura a que van a trabajar los pavimentos asfálticos y esto redundando en la resistencia que ofrecen durante su vida de servicio, y se considera que es necesario incorporarlo dentro de las normas "SHRP"

3.- Reología

La mayoría de las pruebas aceptadas y normadas por SHRP, están basadas en la reología por lo que daremos una breve explicación de la misma.

Se denomina Reología como la ciencia de la deformación y el fluir de la materia, por lo que cualquier material sometido a un esfuerzo cortante suficiente es capaz de deformarse y fluir.



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES

La mecánica racional considera los cuerpos como indeformables y la mecánica elástica los asimila a sólidos elásticos, de acuerdo a la ley de Hooke.

La reología trata el caso de que, las deformaciones producidas por un agente exterior están íntimamente ligadas al factor del tiempo.

Los asfaltos por ser sistemas coloidales tienen propiedades reológicas especiales, por lo que se adaptan a una gran variedad de usos; al conocer dichas propiedades, es posible una correcta clasificación, así como poder elegir el material más adecuado.

El comportamiento reológico de un material está sujeto a las variables: temperatura, presión, tiempo, esfuerzo cortante y velocidad de deformación.

Al determinar los índices reológicos, se pueden determinar las tres primeras como constantes y obtener unos diagramas denominados "curvas de consistencia", que representan el gradiente de velocidad en función del esfuerzo cortante, que hace fluir el material a la velocidad del gradiente.

Cuando un fluido se somete a la acción de una fuerza se deforma y fluye una parte de la energía y se transforma en energía cinemática "almacenada", y otra parte más o menos se disipa en forma de energía calorífica y está determinada la velocidad, la cual varía de acuerdo a la energía disipada.

Los fluidos donde existe una relación proporcional entre el esfuerzo constante y el gradiente de velocidad "D", se les denomina líquidos Newtonianos, y se representa por una recta en el diagrama.

Por lo general, la mayoría de los asfaltos son líquidos no Newtonianos que por ser fluidos muestran variaciones en la viscosidad, y su comportamiento es entre un líquido y un sólido, y se requiere un esfuerzo cortante crítico para que empiece a fluir llamado de fluencia, por lo que debajo de este valor se comporta como un sólido, y arriba como un líquido.

Por lo que un material plástico tiene dos constantes independientes, la viscosidad que da propiedades newtonianas de líquidos y el límite de fluencia que nos determina la carga máxima que puede soportar sin que se produzcan deformaciones con velocidad constante y se denominan plásticos o binghamianos.

Existen otros tipos de fluidos denominados pseudo plásticos al cual pertenecen los asfaltos modificados los cuales tienen un límite de fluencia no medible y su gradiente de velocidad no es directamente proporcional a la tensión aplicada, sino que crece más rápidamente y sus variables están regidas por una

ecuación más compleja y dentro de este comportamiento se encuentran los asfaltos soplados, modificados, recuperados y algunos asfaltos después de la prueba de envejecimiento en la película delgada, transformándose los comportamientos newtonianos en pseudo plásticos.

La realidad es que los materiales seudo plásticos ocupan una posición intermedia entre los newtonianos y los plásticos.

A= Líquido Newtoniano  
B= Fluido Pseudoplástico  
C= Fluido Plástico

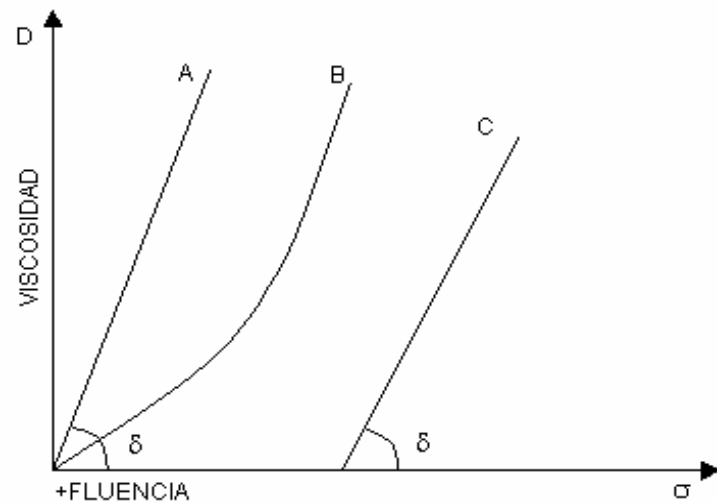


DIAGRAMA REOLOGICO

Gráfica

#### 4.- Ensayes seleccionados por SHRP para cementos asfálticos

Los ensayes seleccionados miden las propiedades reológicas a altas temperaturas como son las de elaboración de la mezcla asfáltica en las etapas de calentamiento, bombeo, mezclado, tendido y compactación, a altas temperaturas de servicio en la obra, como temperaturas intermedias y bajas temperaturas de servicio en la obra para que puedan ser homologados a los requerimientos necesarios.



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES

Estos ensayos y su designación y característica de norma se indican en la siguiente tabla:

Prueba	Determinación	Norma	
Punto de encendido	Temperatura de riego	ASTM D-9290	AASHTO T-48
Viscosidad Rotacional R Brookfield V.B.	Viscosidad a altas temperaturas	ASTM D-4402	
Areómetro de corte dinámico DSR	G* a altas y medias temperaturas	SHRP B-003	AASHTO TP-5
Envejecimiento en película delgada rolada RTFOT	Envejecimiento a corto plazo	ASTM D-2872	AASHTO T-240
Envejecimiento en molde de presión PAV	Envejecimiento a largo plazo		AASHTO
Ensayo de tensión directa DDT	Deformación a la ruptura por tensión a baja temperatura	SHRP B-006	AASHTO TP-7
Reómetro de flexión por viga de apoyo BBR	S (T) y M a baja temperatura	SHRP B-002	AASHTO TP-1

### Ensayos convencionales "ASTM o AASHTO"

#### A.- Viscosidad absoluta

La viscosidad absoluta a 60°C: esta prueba es para determinar la viscosidad de los asfaltos mediante el procedimiento de hacerlo pasar hacia arriba a través de un tubo capilar, bajo condiciones controladas de vacío y temperatura.

De tal manera que la viscosidad se calcula de acuerdo al tiempo que tarda en pasar el asfalto a través del tubo, multiplicado por un factor de calibración del viscosímetro.

Normalmente la temperatura de ensayo es de 60°C, que se consideraba la temperatura normal de trabajo de las mezclas asfálticas en la época de calor, lo cual después se comprobó que no era correcta sino variable.



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES

El resultado de esta viscosidad sirvió para clasificar los asfaltos de acuerdo a su viscosidad y su unidad de clasificación es el Hecto – Poise, así para un AC-10 se tiene una viscosidad de 1,000 poises +- 20% etc.

La prueba no es aplicable a asfaltos recuperados por reciclado o asfaltos envejecidos en laboratorio, dado que se obtendrán valores muy altos en los tubos capilares y no se tendría confiabilidad del resultado, o no se pudiera efectuar la prueba.

B.- Viscosidad a alta temperatura por el viscosímetro rotacional tipo KAAKE “Brookfield” de acuerdo a la norma ASTM D4402-87

Este método puede ser utilizado en rangos de temperatura de 100 a 260 °C

Esta prueba de viscosidad aparente es el rango entre el esfuerzo cortante y la resistencia al mismo para un líquido newtoniano.

El método de prueba es ideal para determinar la viscosidad de un asfalto modificado, sobre todo en el caso de asfaltos ahulados, dado que las partículas de hule impiden que el asfalto pueda fluir en un viscosímetro capilar o semicapilar.

C.- Reómetro de corte dinámico

Este equipo permite medir el modulo complejo de corte ( $G^*$ ) y el ángulo de fase a diferentes temperaturas y tiempos de esfuerzo, expresado este último en radianes por segundo como los esfuerzos responsables de la deformación plástica del asfalto son los de corte, la reología en corte simple es la técnica más adecuada para prevenir deformaciones permanentes del ligante.

D.- Viscosidad Rotacional

Se utiliza para dos fines: asegurar que el ligante asfáltico sea lo suficientemente fluido para ser transportado, bombeado y mezclado, y para construir la curva de viscosidad – Temperatura.

Se ha especificado el viscosímetro rotacional Bookfield con sistema Thermosel de acuerdo con la norma se mide la viscosidad a temperaturas entre 80 y 180 °C dependiente del tipo de asfalto.

E.- Reómetro de Flexión

Este es un ensayo de deformación por flujo plástico a bajas temperaturas, que muestra como el asfalto se deforma permitiendo medir la rigidez del mismo y el valor de la pendiente a los 60 segundos de carga.





Esta rigidez en la deformación por flujo plástico a flexión permitirá determinar si el asfalto puede resistir fisuramiento térmico a bajas temperaturas y esta relacionado con el concepto de “límite de rigidez por temperatura”, que es la temperatura del pavimento para la cual un valor dado de la rigidez, es alcanzada por el asfalto a un tiempo de carga especificado.

#### F.- Ensaye de tensión directa

Este ensaye mide la deformación de temperaturas bajo cero donde el asfalto exhibe comportamiento frágil. El ensayo se realiza sobre muestras de asfalto que han sido sometidas a envejecimiento de corto y largo plazo.

Este ensayo fue desarrollado como complemento BBR dado que en algunos casos, particularmente con asfaltos modificados con polímeros, a pesar de tener un alto valor de rigidez el ligante puede aún ser estirado o deformado sin rotura.

#### G.- Envejecimiento a largo plazo a presión y temperatura.

El envejecimiento que sufre el asfalto durante su vida útil en el camino es tomado en cuenta por primera vez en una especificación de asfaltos.

Este equipo utiliza aire comprimido a alta presión (2070 Kpa) y altas temperaturas (90, 100 o 110 °C) de manera de poder simular el envejecimiento a largo plazo en tan solo 20 horas de ensayo.

La temperatura de ensayo varía según el clima de la región, la mayoría de las cuales admite 100°C el ensayo simula entre 5 y 10 años de envejecimiento en el campo

#### 5.- Parámetros Elegido y límites establecidos en la especificación SHRP para cementos asfálticos.

La primera diferencia importante entre las nuevas especificaciones SHRP y las actuales, es que las propiedades de los asfaltos se miden a distintas temperaturas de acuerdo con el clima de la región considerada, mientras los valores límites permanecen constantes.

Para asegurar una adecuada trabajabilidad del ligante la especificación fija como máximo una viscosidad de 3 pasa 135°C en el ligante original y para todos los grados este requerimiento puede ser eliminado si el fabricante del ligante





asegura que el mismo puede ser bombeado y mezclado a temperaturas adecuadas.

Se han seleccionado parámetros que miden la viscosidad del asfalto, el módulo dinámico, corte y el ángulo de fase, la rigidez de la pendiente de la curva, rigidez VS, tiempo a las características de fractura y bajas temperaturas.

#### A.- Deformaciones permanentes.

Este tipo de falla del pavimento es crítica a altas temperaturas de servicio y es causada por la acumulación de deformaciones plásticas en la mezcla que resulta de la aplicación repetidas de cargas de tránsito.

Las propiedades del ligante asfáltico junto con los agregados y las características de las mezclas juegan un rol importante en la resistencia a las roderas.

Se determinó un parámetro cuyo valor es el módulo complejo  $G^*$  y el denominador es el seno del ángulo de fase esto es  $G^* \sin$  que es la inversa del componente perdido de la deformación ( $1/G^*$ )

#### B.- Fisuramiento por fatiga de las capas asfálticas

El parámetro elegido en este caso es el componente del  $G^*$  conocida como energía perdida  $G$  viscosidad. Que no es otra cosa que la energía disipada por ciclo de deformación.

Esta energía está directamente vinculada con la vida útil de una mezcla asfáltica sometida a fatiga y ha sido demostrado que en concreto asfáltico es válido tanto para condiciones de tensión como en deformación controlada.

#### C.- Fisuramiento térmico por contracción a bajas temperaturas

Este fenómeno que se manifiesta generalmente con la aparición de fisuras transversales en la superficie del pavimento es evaluado mediante el reómetro de flexión de viga de tres apoyos y el ensaye de tensión directa.

Las propiedades fractura - mecánica del asfalto se miden en términos de la rigidez en función del tiempo, la pendiente de la curva (M-value), y la deformación a la falla "Failure Strain", el asfalto a utilizar es sometido previamente al RTOF y al PAV.



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES

La temperatura de ensayo a la cual se mide la rigidez o temperatura crítica, surgió de la siguiente consideración, se ha comprobado del análisis de los resultados reológicos que todos los asfaltos aún los modificados, muestran igual dependencia con la temperatura debajo de la temperatura vítrea de transición.

Por lo tanto en lugar de medir la rigidez a dos horas a la temperatura mínima del pavimento, se pueden obtener los mismos resultados a 60 segundos y a la temperatura mínima  $-10^{\circ}\text{C}$ .

La rigidez a dos horas y a la temperatura mínima es lo que se conoce como "Límite de rigidez por temperatura" para predecir el fisuramiento térmico.

Este valor es simplemente la temperatura a la cual un cierto valor de la rigidez es alcanzado después de un cierto tiempo especificado, a temperaturas más bajas de este límite, el pavimento experimenta fractura.

En esta parte de la especificación también se controla la velocidad a la cual la rigidez cambia con la carga del deslizamiento al flujo plástico a la temperatura de ensayo.

Esto se logra estableciendo un valor mínimo de la pendiente  $m$  de la curva  $s$  (T) BS., tiempo a los 60 segundos.

Un valor alto de  $M$  es deseable, dado que, significa que mientras que la temperatura cambiará relativamente rápido, el ligante será capaz de aliviar tensiones; se especifica un valor máximo de  $M$ , mayor o igual que 0.30

Las investigaciones llevadas a cabo por el SHRP y otras instituciones han demostrado que si el asfalto se puede estirar más del 1% de su longitud original, durante la contracción, es menos probable que las fisuras se produzcan.

De esta manera surgió la necesidad de establecer el ensayo de tensión directa y limitar la deformación por rotura a un valor mínimo del 1% a la misma temperatura que el BBR y a la velocidad de deformación de 1 mm/minuto.

Con ello se asegura que el pavimento no entrará en la región de rotura frágil dentro de sus temperaturas de servicio.



Por lo tanto se concluye que, deben considerarse tanto la rigidez como la deformación a la rotura con respecto a la resistencia a fisuramiento térmico de un ligante.

## ANÁLISIS QUÍMICO DE LA ESTRUCTURA MOLECULAR DEL ASFALTO

Tradicionalmente, la estructura química del asfalto ha sido descrita en base a la proporción del mismo en fracciones utilizando solventes como pentano, Heptano, butano o hexano, así como ácido sulfúrico.

Diferentes concentraciones y los métodos más conocidos de este sistema, son el de precipitación química desarrollado por Rostler y Sternberg, y que separa el asfalto en 5 fracciones (asfalteno, acidafenos primarios y secundarios, parafina y base de nitrógeno)-

El de Corbett, a base de columna cromatográfica, al separar el asfalto en 4 fracciones (asfaltenos saturados y aromáticos, naftenicos y polares) con separación a base de heptano, trilueno, tricloroetileno y el de traxler que aplica butano y acetona para obtener 3 fracciones.

### Análisis elemental de 4 cementos asfálticos

Cementos asfálticos	A	B	C	D
Carbón	83.7	85.78	82.90	86.77
Hidrógeno	9.91	10.19	10.45	10.93
Nitrógeno	0.28	0.26	0.78	1.10
Azufre	5.25	3.41	5.43	0.99
Oxígeno	0.77	.036	0.29	0.20
Vanadio	180	7	1380	4
Níquel	220	0.40	109	6

Gracias al esfuerzo de numerosos investigadores de diversas instituciones, un nuevo modelo de la estructura molecular del asfalto ha sido desarrollado. Este modelo permite explicar las propiedades físico - químicas del asfalto y su relación con el comportamiento en servicio.

El nuevo modelo establece que el asfalto esta formado por un sistema de una sola fase, mezcla homogénea de muy diferentes moléculas que pueden ser diferenciadas en dos clases principales polares y no polares.



Las moléculas no polares sirven de matriz o solvente para las polares, las cuales forman a su vez una débil red de asociaciones polar – polar que da al asfalto sus características elásticas.

Los componentes polares están distribuidos en todo el asfalto y cuando son calentados sus asociaciones débiles son rotas, dando como resultado un flujo tipo newtoniano, o cuando son perturbadas por la aplicación de esfuerzos o el uso de solventes, estas interacciones también se rompen para producir nuevas combinaciones.

### **CUADRO FINAL DEL MODELO MICROESTRUCTURAL**

El método divide al asfalto en dos partes principales, las moléculas polares interactúan entre sí a través de interacciones polar – polar o de uniones hidrógeno.

Formando asociaciones que crean una especie de estructura reticular dentro de las moléculas no – polares o “solventes”.

El comportamiento del asfalto en servicio dependerá de un adecuado balance entre las moléculas polares y las no polares, que también juegan un rol importante en el asfalto, particularmente a bajas temperaturas.

Asfaltos que contienen demasiados componentes polares serán más susceptibles a la fractura térmica, fragilidad y fisuramiento por fatiga en capas asfálticas delgadas.

Asfaltos que contengan demasiado material no polar o que tienen no – polar con pesos moleculares demasiado bajos sufrirán deformaciones permanentes, sensibilidad al agua y fisuramiento por fatiga en capas asfálticas gruesas.

### **PRUEBA DE LA PELÍCULA DELGADA**

Norma S.C.T. 6.01.03.01C.11

En este inciso se describe la prueba de la película delgada, que sirve para estimar el endurecimiento que sufren los cementos asfálticos que en películas de pequeño espesor se someten a los efectos del calor y del aire; evaluando dicho endurecimiento mediante la viscosidad, la ductilidad y los cambios de viscosidad, penetración y pérdida de peso que experimenta después de someterse a un proceso de calentamiento.



#### A).- EL EQUIPO PARA EFECTUAR ESTA PRUEBA ES EL SIGUIENTE:

Horno eléctrico de doble pared, con control termostático que permite mantener una temperatura hasta de 180°C como mínimo, y con aproximación de 1°C, con interior de forma cúbica de 30 cm por lado, provisto de una puerta con cierre hermético que permite descubrir todo el espacio interior.

Dicha puerta tendrá una ventana de doble pared de vidrio con dimensiones de 10 cm por lado, a través de la cual se puede leer un termómetro situado verticalmente en el interior, tendrá una plataforma metálica circular, suspendida en posición horizontal en el centro del horno y tendrá un dispositivo que le permita girar de 5 a 6 revoluciones por minuto.

Termómetro con escala que abarque de 155 a 170 °C de inmersión total, con aproximación de 1°C.

Balanza con capacidad mínima de 150 gr., y aproximación de un miligramo.

Charolas redondas de fondo plano de aluminio o acero inoxidable, de 0.76 milímetros de espesor, las dimensiones de las charolas serán de 14 centímetros de diámetro interior y 9.6 milímetros de altura.

Placas de asbesto cemento

Cápsulas metálicas de capacidad y dimensiones aproximadas para efectuar la prueba de penetración (011-C.0)

#### B).- PREPARACIONES DE LA MUESTRA

B1).- Una muestra de cemento asfáltico se calienta cuidadosamente para facilitar su vaciado, agitándola en forma continua, para homogeneizar su temperatura, procurando que en esta operación no se formen burbujas de aire, que la temperatura alcanzada no exceda de 130°.

B2).- Tomando como base el peso específico relativo del material asfáltico, determinado a 25 °C, se calcula el peso del material equivalente a 50 cm<sup>3</sup> y se pesa esta cantidad con aproximación de mas menos 0.5 gr. en cada una de dos charolas previamente tratadas, para efectuar la prueba (011-C.0).



B3).- Inmediatamente después se vacía otra porción de la muestra en una cápsula de las utilizadas para efectuar las pruebas de las propiedades del asfalto original.

### C) LA PRUEBA SE EFECTUA DE LA FORMA SIGUIENTE:

C1).- Se dejan enfriar las muestras colocadas en las charolas, hasta la temperatura ambiente y se pesan por separado con aproximación de un miligramo, anotando cada uno de estos pesos como  $W_i$ .

C2).- Se nivela el horno con objeto de que la plataforma gire en un plano sensiblemente horizontal y se sujeta el termómetro al eje vertical de la plataforma, colocándolo paralelamente a dicho eje, equidistante del centro y del borde de aquella y cuidando que el bulbo quede a seis milímetros arriba de la plataforma.

C3).- El momento en que el horno alcanza la temperatura de  $163^{\circ}\text{C}$ , rápidamente se colocan sobre la plataforma las dos charolas que contienen las muestras, se cierra el horno y se hace girar la plataforma a una velocidad de cinco a seis revoluciones por minuto.

La temperatura dentro del horno se mantendrá a  $163 \pm 1^{\circ}\text{C}$ , durante un período de cinco horas contadas a partir del momento en que la temperatura, que debe haber descendido al introducir los especímenes, alcance nuevamente los  $163^{\circ}\text{C}$  en ningún caso el tiempo que permanezcan las muestras en el horno será mayor de 5 horas y 15 minutos.

C4).- Al finalizar el período de calentamiento se secan las dos muestras del horno, se enfrían hasta la temperatura ambiente, se pesan por separado con aproximación de un miligramo y se registra cada uno de estos pesos como  $W_f$ .

C5).- A continuación se colocan ambas charolas sobre una placa de asbesto cemento, se pone el conjunto sobre la plataforma circular dentro del horno, cuya temperatura será de  $163^{\circ}\text{C}$  y se hace girar la plataforma a una velocidad de 5 a 6 revoluciones por minuto, durante 15 minutos.

C6).- A continuación se sacan las charolas del horno y se vierte el contenido de ambas con ayuda de una espátula, en una cápsula de las utilizadas para efectuar la prueba de penetración, durante la operación de vaciado en la cápsula deberá mezclarse perfectamente en esta el material que contenían ambas charolas, para la cual la muestra estará suficientemente fluida, calentándola sobre una parrilla eléctrica en caso de ser necesario. (011-C.0)





C7).- Se determina la penetración del residuo así obtenido y de la muestra original, siguiendo el procedimiento descrito en el inciso (011-C.0) de este capítulo y se anota como Pf y Pi, respectivamente.

C8).- Se determina la viscosidad cinemática del residuo así obtenido y la de la muestra original, siguiendo el procedimiento descrito en el inciso (011-C.0) de este capítulo y se anota como Vcr y Vci respectivamente. (011-C.0)

C9).- Se determina la ductilidad del material original, siguiendo el procedimiento descrito en el inciso (011-C.0) de este capítulo y se anota como la longitud en centímetros que se deslaza la mordaza para lograr la ruptura de la briqueta. (011-C.0)

D) En esta prueba se calcula y reporta lo siguiente:

D1).- La penetración retenida, expresada como por ciento de la penetración original; mediante la fórmula siguiente:

$$Pr = \frac{Pf}{Pi} \cdot 100$$

En donde:

Pr = Es la penetración de la muestra de cemento asfáltico, en por ciento.

Pi = Es la penetración de la muestra original, en décimos de milímetros

Pf = Es la penetración de la muestra después de haber sido sometida al proceso de calentamiento, en décimos de milímetro

D2).- La pérdida de material por calentamiento, determinando la de cada una de las dos muestras con la siguiente fórmula:

$$Wc = \frac{Wi - Wf}{Wi} \cdot 100$$

En donde:

Wc = Es la pérdida por calentamiento del cemento asfáltico, en por ciento

Wi = Es el peso inicial de la muestra en gramos

Wf = Es el peso final de la muestra, en gramos





D3).- La viscosidad cinemática, determinada en el material original según lo descrito en C8

D4).- El cambio de viscosidad, expresada como la relación de la viscosidad residual con respecto a la viscosidad del asfalto original, mediante la fórmula siguiente:

$$V_{cf} = \frac{V_{ci}}{V_{cr}} \cdot 100$$

En donde

$V_{cr}$  = Es la viscosidad cinemática residual, en por ciento

$V_{ci}$  = Es la viscosidad cinemática de la muestra original, en centístokes

$V_{cf}$  = Es la viscosidad cinemática de la muestra después de ser sometida al proceso de calentamiento, en centístokes.

D5).- La ductilidad, determinada en el material original, según lo descrito en C9

### **PRUEBA DE LA PELÍCULA DELGADA ROLADA**

Norma S.C.T. 6.01.03.012 011-C.12

En este inciso se describe la prueba de la película delgada rolada, que sirve para estimar el endurecimiento que sufren los cementos asfálticos que en películas de pequeño espesor se someten a los efectos del calor y del aire, evaluando dicho endurecimiento mediante la viscosidad y la ductilidad que experimenta después de someterse a un proceso de calentamiento.

A).- El equipo para efectuar esta prueba es el siguiente:

Horno eléctrico de doble pared, con control termostático que permite mantener una temperatura hasta de 180°C como mínimo, y con aproximación de 1°C; con interior de forma rectangular de 38 cm de altura, 48 cm de ancho y 44.5 cm de profundidad, con puerta cerrada, provista de una puerta con cierre hermético que permita descubrir todo el espacio interior.



Dicha puerta tendrá una ventana de doble pared de vidrio con dimensiones mínimas de 30 cm de ancho por 20.5 cm de altura a través de la cual se puede leer un termómetro situado verticalmente en el interior o bien estará provisto de una puerta interior adicional de vidrio para el mismo fin.

El horno estará ventilado y para ello tendrá aberturas en el fondo y en la cubierta o en la parte inferior de las paredes laterales, además estará provisto de un carro circular metálico suspendido en posición vertical en el centro del horno y tendrá un dispositivo que le permita girar a razón de 15 a 10 y 6 revoluciones por minuto.

El horno estará equipado con un posicionador de chorro de aire caliente

Medidor de flujo con capacidad de medición de flujo de aire a velocidades de 400 ml/min. a la salida.

Termómetro con escala que abarque de 155 a 170 °C de inmersión total, con aproximación de 1°C

Balanza con capacidad mínima de 150 gramos y aproximación de un miligramo.

Contenedores cilíndricos de vidrio refractario tipo Pyrex, de 1.5 mas menos 0.8 milímetros de espesor, las dimensiones de los contenedores serán de 6.4 cm de diámetro exterior y 14 cm de altura.

Placas de asbesto cemento

Cápsulas metálicas de capacidad y dimensiones aproximadas para efectuar las pruebas subsecuentes.

#### B).- Preparación de la muestra

B1).- A una muestra de cemento asfáltico obtenida (011-B.01) se calienta cuidadosamente para facilitar su vaciado, agitándola en forma continua, para homogeneizar su temperatura, procurando que en esta operación no se formen burbujas de aire, que la temperatura alcanzada no exceda de 130°C y que no se produzcan sobrecalentamientos locales.



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES

B2).- Tomando como base el peso específico relativo del material asfáltico, determinado a 25°C como se indica en el método de prueba descrito (011-C.02), se calcula el peso del material equivalente a 35 gramos y se pesa esta cantidad con aproximación de más o menos 0.5 gramos, en cada uno de los 8 contenedores previamente tratados, para efectuar la prueba y así obtener suficiente material para las pruebas en el residuo.

B3).- Inmediatamente después se vacía la muestra en una cápsula de las utilizadas para efectuar las pruebas de las propiedades del asfalto original.

C).- La prueba se efectúa de la forma siguiente:

C1).- Se dejan enfriar las muestras colocadas en los contenedores, hasta la temperatura ambiente y se pesan por separado con aproximación de un miligramo, anotando cada uno de estos pesos como  $W_i$ .

C2).- Se nivela el horno con objeto de que el carro gire en un plano sensiblemente vertical y se sujeta el termómetro al eje vertical del carro, colocándolo paralelamente a dicho eje, equidistante del centro y del borde de aquel, y cuidando que el bulbo quede a 5 cm de distancia de la pared del horno y sensiblemente abajo del eje horizontal del centro del carro.

C3).- El momento en que el horno alcanza la temperatura de 163°C, rápidamente se colocan en el carro los 8 contenedores que contienen las muestras, se cierra el horno y se hace girar el carro a una velocidad de 15 revoluciones por minuto, iniciando en este instante el flujo de aire dentro de los contenedores a una velocidad de 4000 + - 200 mililitros por minuto, corrigiendo la presión barométrica especificada.

La rotación y temperatura dentro del horno se mantendrá a 163 más o menos .5 °C durante un período de 85 minutos, contados a partir del momento en que la temperatura, que debe haber descendido al introducir los contenedores alcance nuevamente 163°C, en ningún caso el tiempo que transcurra para que el horno alcance la temperatura de prueba será mayor de 10 minutos.

C4).- Al finalizar el período de calentamiento se sacan las ocho muestras del horno, se enfrían hasta la temperatura ambiente, se pesan por separado con aproximación de un miligramo y se registra cada uno de estos como  $W_f$ .

C5).- A continuación se vaciará todo el residuo de cada contenedor con ayuda de un rascador en un contenedor suficientemente grande, cuidando de no sobrepasar el 75% de su capacidad durante la operación de vaciado, en el contenedor deberá mezclarse perfectamente en este el material que contenían



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES

cada uno de los contenedores, para lo cual la muestra estará suficientemente fluida, calentándola sobre una parrilla eléctrica en caso de ser necesario.

C6).- Se determina la viscosidad cinemática del residuo así obtenido y la de la muestra original, siguiendo el procedimiento en el inciso (011-C.0) de este capítulo y se anotan como  $V_{cr}$  y  $V_{ci}$  respectivamente.

C7).- Se determina la ductilidad del material original, siguiendo el procedimiento descrito en el inciso (011-C.05) de este capítulo y se anotan como la longitud en centímetros que se desplaza la mordaza para lograr la ruptura de la briqueta.

D).- En esta prueba se calcula y reporta lo siguiente:

D1).- La pérdida promedio de material por calentamiento, determinándola de cada una de las ocho muestras con la siguiente fórmula:

$$W_c = \frac{W_i - W_f}{W_i} \cdot 100$$

En donde:

$W_c$  = Es la pérdida por calentamiento del cemento asfáltico, en por ciento

$W_i$  = Es el peso inicial de la muestra en gramos

$W_f$  = Es el peso final de la muestra, en gramos

C6 D2).- La viscosidad cinemática, determinada en el original según descrito en

C7. D3).- La ductilidad, determinada en el material original, según lo descrito en



## PRUEBA VISCOSIDAD ABSOLUTA

Norma S.C.T. 6.01.03.011

011-C.0

En este inciso se describe el método para la viscosidad absoluta en los cementos asfálticos por el viscosímetro capilar de vacío, la cual permite conocer sus características de flujo a la temperatura de 60°C y con viscosidades comprendidas entre 0.036 y 200,000.

Pudiéndose realizar esta prueba a otras temperaturas, con objeto de conocer la susceptibilidad de los cementos asfálticos y determinar la viscosidad apropiada para su utilización

La prueba fundamentalmente consiste en determinar el tiempo que tardan en pasar 20 mililitros de cemento asfáltico entre dos marcas a través de un tubo capilar por medio de vacío, calibrado bajo condiciones especificadas de vacío y temperatura.

A).- El equipo y material necesario para efectuar esta prueba es el siguiente:

Viscosímetro tipo capilar de vidrio de borosilicato templado, el que dependiendo del tipo de material a ensayar será elegido entre los siguientes:

Viscosímetro Cannon - Manning  
Viscosímetro de vacío del instituto del asfalto  
Viscosímetro de vacío Koppers modificado

Baño de aceite adaptado para mantener el tubo de viscosidad en posición vertical, equipado con un agitador y ventana que permita la visibilidad del viscosímetro y del termómetro, un sistema de control de la temperatura hasta 235°C, con aproximación de 0.2°C y una fuente de calor, acondicionada para mantener el líquido del baño a 2 cm, arriba del nivel del viscosímetro.

Termómetro de inmersión total, con escala que abarque de 0 – 100 °C, con aproximación de 0.2 °C.

Parrilla eléctrica de 20 cm de diámetro, con capacidad de 1200 vatios y provista de control termostático



## Cronómetro

Aceite de grado 40 SAE, cuando se efectúa la prueba a 120 y 150 °C.

### B).- Preparación de la muestra

La preparación de la muestra consiste en colocar en un recipiente de 20 mililitros de cemento asfáltico y calentarlo a  $135 \pm 5.5$  °C para fluidificarlo, agitándola de vez en cuando, el tiempo de calentamiento no será mayor de 2 horas y la muestra solamente se calentará una vez.

### C).- La prueba se efectúa de la forma siguiente

Se llena el baño del viscosímetro con el aceite adecuado para la temperatura a la cual se efectuará la prueba

Seleccionando el tubo de viscosidad el cual se deberá limpiar con xilol o petróleo diafano, posteriormente se lavará con agua destilada y se secará con aire comprimido limpio a fin de garantizar que el tubo este seco antes de utilizarse; deberá evitarse el uso de soluciones alcalinas para la limpieza del tubo ya que cambia la calibración de este.

Se precalentará el baño del viscosímetro a  $135 \pm 5.5$  °C, a continuación se vierte la muestra dentro del viscosímetro seleccionado.

Se permitirá que la carga viscométrica de la muestra preparada varíe  $\pm 2$  milímetros de la línea de llenado E y permanezca en el baño lo suficiente hasta alcanzar la temperatura de prueba.

Cuando la temperatura de la muestra juzgada a partir de la temperatura del baño permanezca constante durante un minuto de agitado continuo, con una discrepancia no mayor de 0.3°C con respecto a la temperatura de prueba.

Inmediatamente después, dependiendo del tipo de viscosímetro elegido, se establecerá una variación de  $300 \pm 0.5$  mm Hg debajo de la presión atmosférica en el sistema de vacío y se conectará al Viscosímetro con la válvula Toggie o con una llave de fuente cerrada en la línea guiando el sistema de vacío.

Se indicará el flujo libre a través del tubo capilar y simultáneamente se pone en marcha el cronómetro cuando el menisco de la prueba alcance la marca especificada.





#### D).- Reporte de resultados

Se reportará como viscosidad absoluta de la muestra, el producto de la constante de calibración del viscosímetro seleccionado, por el tiempo en segundos que tarda el menisco de pasar entre las marcas de lectura, es decir:

$$V_a = K * T$$

$V_a$  = Es la viscosidad absoluta de la muestra en poises

$K$  = Es la constante de calibración del viscosímetro en poises/ segundos

$T$  = Es el tiempo en segundos

#### E).- Al efectuar esta prueba deberán tenerse las siguientes precauciones:

Llevar a cabo la prueba en lugares que no tengan corrientes de aire ni cambios bruscos de temperatura

Evitar la formación de espuma o burbujas de aire

Limpiar el equipo de prueba antes y después de utilizarlo, empleando xilol o petróleo diafano, enjuagando con agua destilada y aire limpio comprimido, periódicamente se deberán lavar los instrumentos con ácido crómico a fin de remover los depósitos orgánicos.

Evitar el uso de soluciones alcalinas para la limpieza de los viscosímetros ya que estas modifican la calibración del mismo.

### **PRUEBA VISCOSIDAD CINEMATICA**

Norma S.C.T. 6.01.03.011-C.0

En este inciso se describe el método para la viscosidad cinemática en los asfaltos líquidos y residuos de destilación de asfaltos líquidos, la cual permite conocer sus características de flujo a la temperatura de 60°C y de cemento asfáltico a 135°C y con viscosidades comprendidas entre 6 y 100,000 centístokes.

Pudiéndose realizar esta prueba a otras temperaturas, con objeto de conocer la susceptibilidad de los cementos asfálticos y determinar las viscosidades apropiadas para su utilización.

La prueba fundamentalmente consiste en determinar el tiempo que tardan en pasar 20 mililitros de cemento asfáltico en dos marcas a través de un tubo capilar calibrado bajo condiciones específicas.





A).- El equipo y material necesario para efectuar esta prueba es el siguiente:

Viscosímetro tipo capilar de vidrio de borosilicato templado, el que dependiendo del tipo de material a ensayar será elegido entre los siguientes tipos mencionados:

Viscosímetro Cannon – Frenske para líquidos opacos  
Viscosímetro Lantz - Zeitfuchs  
Viscosímetro BS U. Con tubo modificado de flujo inverso

Baño de aceite adaptado para mantener el tubo de viscosidad en posición vertical, equipado con un agitador y ventana que permita la visibilidad del viscosímetro y del termómetro, un sistema de control de la temperatura hasta 235°C, con aproximación de 0.2°C y una fuente de calor, acondicionada para mantener el líquido del baño a 2 cm, arriba del nivel del viscosímetro.

Termómetro de inmersión total, con escala que abarque de 0 – 100 °C, con aproximación de 0.2 °C.

Parrilla eléctrica de 20 cm de diámetro, con capacidad de 1200 vatios y provista de control termostático

Cronómetro

Aceite de grado 40 SAE, cuando se efectúa la prueba a 120 y 150 °C.

B).- Preparación de la muestra

La preparación de la muestra consiste en colocar en un recipiente de 30 mililitros de cemento asfáltico y calentarlo a  $135 \pm 5.5$  °C para fluidificarlo, agitándola de vez en cuando, el tiempo de calentamiento no será mayor de 2 horas y la muestra solamente se calentará una vez.

C).- La prueba se efectúa de la forma siguiente

Se llena el baño del viscosímetro con el aceite adecuado para la temperatura a la cual se efectuará

Seleccionado el tubo de viscosidad, se deberá limpiar con xilol o petróleo diafano, posteriormente se lavará con agua destilada y se secará con aire comprimido limpio a fin de garantizar que el tubo este seco antes de utilizarse;



deberá evitarse el uso de soluciones alcalinas para la limpieza del tubo ya que cambia la calibración de este.

Se calienta el baño del viscosímetro a una temperatura ligeramente inferior a la seleccionada para efectuar la prueba, a continuación se vierte la muestra dentro del viscosímetro seleccionado.

Se permitirá que la carga viscométrica permanezca en el baño lo suficiente hasta alcanzar la temperatura de prueba.

Cuando la temperatura de la muestra juzgada a partir de la temperatura del baño permanezca constante durante un minuto de agitado continuo, con una discrepancia no mayor de 0.3°C con respecto a la temperatura de prueba.

Inmediatamente después, dependiendo del tipo de viscosímetro elegido, se indicará el flujo libre a través del tubo capilar y simultáneamente se pone en marcha el cronómetro el cual deberá detenerse en el momento de que el menisco de la prueba alcance la marca especificada.

#### D).- Reporte de resultados

Se reportará como viscosidad absoluta de la muestra, el producto de la constante de calibración del viscosímetro seleccionado, por el tiempo en segundos que tarda el menisco de pasar entre las marcas de lectura, es decir:

$$V_a = K * T$$

$V_a$  = Es la viscosidad absoluta de la muestra en poises

$K$  = Es la constante de calibración del viscosímetro en poises/ segundos

$T$  = Es el tiempo en segundos

#### E).- Al efectuar esta prueba deberán tenerse las siguientes precauciones:

Llevar a cabo la prueba en lugares que no tengan corrientes de aire ni cambios bruscos de temperatura



ASPECTOS GENERALES PARA SUPERVISIÓN DE ASFALTOS Y TERRACERÍAS CON VARIANTES  
E INNOVACIONES EN LAS ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES Y SUS APLICACIONES

Evitar la formación de espuma o burbujas de aire

Limpiar el equipo de prueba antes y después de utilizarlo, empleando xilol o petróleo diafano, enjugando con agua destilada y aire limpio comprimido, periódicamente se deberán lavar los instrumentos con ácido crómico a fin de remover los depósitos orgánicos.

Evitar el uso de soluciones alcalinas para la limpieza de los viscosímetros ya que estas modifican la calibración del mismo.

## CONCLUSIONES

En la construcción del pavimento flexible de una carretera o vialidad es importante establecer un medio de control de calidad suficiente y satisfactorio, con el que se logra verificar que los materiales y procedimientos constructivos cumplan con las normas establecidas, de tal forma que se garantice la calidad del pavimento.

Debido a esto, las personas que estén involucradas en dicha actividad, desde las dependencias hasta los constructores mismos debemos estar convencidos de que cuando la mezcla asfáltica ha sido aplicada sobre la superficie de la base, está deberá ser capaz de detener la pérdida de la estabilidad del pavimento, sellar las grietas, renivelar pequeñas ondulaciones, hacer la superficie impermeable y proporcionar una superficie antiderrapante, al mismo tiempo que ayudar a reducir la degradación del asfalto y prolongar la vida útil del pavimento.

Establecer claramente que la carretera es vital en la generación de recursos, es preciso recordar que los medios empleados en su construcción son verdaderas inversiones, para ello es necesario añadir que desde el momento en que se inaugura una carretera, comienzan los problemas de mantenimiento y conservación para garantizar el servicio de la vía de comunicación.

Desafortunadamente es muy común el abandono de estas operaciones, lo que produce una utilización de las vías pese a sus malas condiciones de circulación y lo que es aún más lamentable la pérdida parcial o total de los recursos invertidos en su construcción.

Estudios realizados en distintos países demuestran que es mas barato establecer un programa de mantenimiento y conservación de carreteras oportuno que no establecerlo y al cabo de los años tener que reconstruir la vía, cosa que en nuestro país no aplica y por eso tenemos vialidades en pésimas condiciones y se gasta mucho mas de lo que se debería con un programa de mantenimiento.

La búsqueda de soluciones que eviten los inconvenientes que se presentan en la construcción, mantenimiento y conservación de las vías de comunicación, son métodos de pavimentación en sitio y elaboración en planta.

Precisamente esta búsqueda de soluciones ha impulsado de manera definitiva al avance tecnológico de los últimos años en el diseño, fabricación y empleo del pavimento asfáltico como tratamiento superficial para el mantenimiento y conservación de todo tipo de vías de comunicación desde aeropistas, hasta autopistas y grandes vías urbanas.

## **BILBIOGRAFIA**

Normas de la secretaría de Comunicaciones y transportes

3.01.03 Normas para construcción e instalaciones carreteras y autopistas  
Pavimentos

4.01.01 Normas de calidad de los materiales carreteras y aeropistas  
Materiales para terracerías

6.01 Tomo y normas para muestreo y pruebas de materiales  
Equipos y sistemas  
Carreteras y aeropistas Pavimentos

6.01 Tomo I normas para muestreo y pruebas de materiales  
Equipos y sistemas  
Carreteras y aeropistas Pavimentos II

6.01 Tomo II normas para muestreo y pruebas de materiales  
Equipos y sistemas  
Carreteras y aeropistas Pavimentos II

\* Pavimentos  
Gordon Hale  
Editorial: Blume. Barcelona España

\* La ingeniería de suelos en las vías terrestres tomo II  
carreteras, ferrocarriles y aeropistas  
Alfonso Rico Rodríguez Y Hermilo del Castillo  
Editorial Limusa

\* Emulsiones Asfálticas  
Gustavo E. Rivera  
Prestaciones y servicios de ingeniería, S.A. México  
Primera edición

\* El asfalto "Su composición, propiedades y usos"  
Ralph N Tlaxler  
Compañía editorial continental, S.A.

\* Manual de pavimentos  
Jesús Monocayo V.

\* Carreteras, calles y aeropistas  
Raúl Valle Rodas

Editorial el Ateneo  
Sexta edición 1982

\* Estudios de asfalto

Laboratorio de suelos y cálculo

Atención: Ing. Elias Baca Rey

\* Ingeniería de vías terrestres

A. Rico R. Y H. Del castillo

\* Dirección general de control, departamento  
de supervisión de laboratorios oficina técnica

\* Instructivo para la rehabilitación de pavimentos  
Flexibles y rígidos de carreteras.