

CAPITULO 4

Pruebas de desempeño para mezclas asfáltica

4. Pruebas de desempeño para mezclas asfálticas.

El proceso de diseño estructural de los pavimentos por métodos mecánicos – empíricos, el igual que para otras estructuras de la ingeniería civil, se basa en la determinación en distintos puntos del pavimento de los esfuerzos críticos que, introducidos en diferentes leyes de falla, que permitan establecer si para el periodo del proyecto, los deterioros del pavimento se mantendrán dentro de ciertos límites de aceptabilidad que no afecten el nivel de servicio ofrecido al usuario. Si esta condición no se verifica, deberá modificarse adecuadamente los espesores o materiales empleados en una o más capas componentes. En general los criterios de falla empleados son:

- La figuración por fatiga de las capas asfálticas, limitando la deformación de tracción en la parte inferior de las mismas.
- La acumulación de deformaciones permanentes que afectan a todas las capas componentes y al suelo de cimentación.

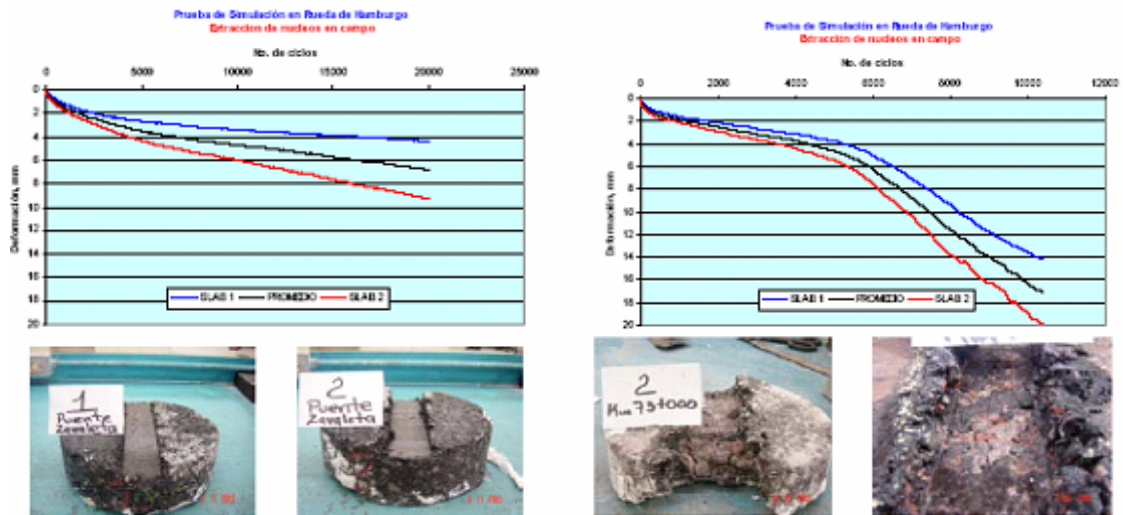
Este último modo de falla conduce a la formación de “ahuellamientos” que comprometen el confort y la seguridad, y en consecuencia, la calidad de la circulación de los usuarios especialmente en días de lluvia donde la acumulación de agua, hace altamente riesgosa la conducción de los vehículos. Si bien este fenómeno afecta a todas las capas de la estructura, su influencia puede ser minimizada en las capas superiores mediante una adecuada dosificación, formulación y construcción de las mismas.

Un aspecto de suma importancia y que normalmente no toman en cuenta los métodos de diseño de pavimentos, es el daño por humedad de las capas asfálticas, que no necesariamente es causado por la acumulación de esfuerzos en las capas asfálticas, si no por la mala interacción química de los agregados con el asfalto durante condiciones de humedad, este tipo de daño es el de mayor incidencia en México, sobretodo podemos observar que después de la temporada de lluvias aparecen los “Baches” sobre los pavimentos asfálticos contruidos con mezclas susceptibles a la humedad.

Por lo anterior en el presente trabajo se dedica este capítulo cuatro para proponer dentro del proceso de diseño de mezclas la consideración de este fenómeno como uno de los principales indicadores de la calidad de la mezcla, así mismo se anexan dos especificaciones particulares, que corresponden al diseño de mezcla Superpave para México y a la especificación particular que se propone seguir para el diseño y control de calidad de las mezclas colocadas, mediante una prueba de simulación de Hamburgo.

Cabe mencionar que la prueba de simulación de Hamburgo además de considerar las fallas por Humedad de las mezclas asfálticas también ayuda a predecir cuando una mezcla es susceptible a las deformaciones permanentes, en México la falla por deformación permanente también se ha hecho muy común en los pavimentos, sobretodo por el incremento del tráfico y las cargas fuera de norma que circulan en nuestra red carretera, donde los camiones que normalmente circulaban con presiones de inflado de 80 psi actualmente pueden ser de más de 120 psi, junto con una velocidad muy lenta, que originan una mayor incidencia de la falla de la deformación permanente.

A manera de ejemplo se presenta los resultados siguientes, donde se realizó el análisis de dos mezclas asfálticas tendidas y compactadas en campo. Donde se utilizaron materiales pétreos que cumplen con la normativa Mexicana de calidad de materiales, sin embargo una de las muestras no cumple con las pruebas complementarias propuestas en el presente trabajo, como son las pruebas de "Boiling Test", Azul de Metileno, TSR y Hamburgo.



Grafica 4.1 Resultados de pruebas de Hamburgo

Las ilustraciones anteriores ejemplifican claramente la importancia de considerar las pruebas que en este trabajo se proponen, debido a que las mezclas asfálticas mal diseñadas o susceptibles a la humedad tendrán un pésimo comportamiento incluso antes de que alcancen el 50% de los ejes equivalentes del proyecto.

Para el caso del ejemplo No.2 la carretera presento fallas por desprendimiento y microfisuramiento en los primeros 6 meses de servicio siendo necesario después colocar un tratamiento superficial para evitar la degradación total de la carpeta.

Esto lo podemos observar en las fotografías (Figura 4.2):



Figura 4.2 Comportamiento del tramo con problemas de adherencia

Como parte importante de este trabajo se describe en este capítulo la importancia de realizar pruebas de desempeño como parte final del proceso de diseño de la mezcla asfáltica. A continuación se definen y se describen las pruebas de desempeño más importantes que deben ser consideradas.

Comportamiento de la mezcla asfáltica ante solicitaciones de carga

Todas estas mezclas presentan distintas propiedades reológicas, dependiendo de las propiedades del ligante en sí, la proporción de los diferentes componentes, la distribución de tamaño de partículas, la angularidad de los agregados y la densidad. Las propiedades de estas mezclas asfálticas también varían con el tiempo debido al envejecimiento del ligante.

Desde el punto de vista mecanicista, existen dos principales criterios de falla para los materiales bituminosos: deformaciones permanentes y agrietamientos por fatiga.

Deformaciones permanentes

El asfalto es un material que puede ser considerado elástico lineal a temperaturas bajas y frecuencias de carga altas, pero muestra propiedades viscosas y plásticas a temperaturas mayores. Debido a este comportamiento, las cargas repetidas del tránsito generan deformaciones permanentes en las capas asfálticas, especialmente durante el periodo de verano.

El comportamiento de las mezclas asfálticas con respecto a las deformaciones permanentes depende fuertemente del tipo de ligante utilizado, así como de la composición de la mezcla, forma y tamaño de las partículas, calidad de los agregados y aditivos, cuando estos son empleados.

La temperatura del asfalto es un factor que afecta fuertemente a la deformación permanente. No solo las temperaturas máximas, sino también los gradientes de temperatura pueden tener una influencia sobre la deformación permanente.

Después de la fase de consolidación al comienzo de la vida de servicio del pavimento, el índice de deformaciones permanentes normalmente decrece con un incremento en las repeticiones de carga, hasta que se vuelve razonablemente constante. Finalmente, el índice de deformación permanente puede comenzar a incrementarse con un aumento en las repeticiones de cargas. Esta última fase ocurre sobre el camino sólo en situaciones extremas, e indican deterioro total.

La deformación permanente es el deterioro representado por la existencia de una sección transversal de la superficie que ya no ocupa su posición original. Se llama deformación permanente pues representa la acumulación de pequeñas deformaciones producidas con cada aplicación de carga, esta deformación es irrecuperable. Si bien el ahuellamiento (roderas) puede tener varias causas por ejemplo: Debilidad de la mezcla por daño de humedad, abrasión y densificación del tránsito; existiendo dos principales.

El ahuellamiento (roderas) es causado por muchas aplicaciones repetidas de carga al suelo natural, es decir, a la sub-rasante o la base. Aunque la utilización de materiales viales más rígidos reduce parcialmente este tipo de deformación, el fenómeno es normalmente considerado más un problema estructural que un problema de los materiales. Frecuentemente, es el resultado de una sección de pavimento demasiado delgada, sin la suficiente profundidad para reducir, a niveles tolerables, las tensiones sobre la sub-rasante cuando las cargas son aplicadas.

Podría ser también el resultado de una sub-rasante debilitada por el ingreso inesperado de humedad. La acumulación de la deformación permanente ocurre más en la sub-rasante que en las capas de la estructura del pavimento.

El otro tipo principal de ahuellamiento se debe a la acumulación de deformaciones en las capas asfálticas. Este tipo de deformación es causado por una mezcla asfáltica cuya resistencia al corte está demasiado baja para soportar las cargas pesadas repetidas a las cuales está sometida. A veces el ahuellamiento (roderas) ocurre en una capa superficial débil. En otros casos, la

capa superficial no es en si misma propensa al ahuellamiento, pero acompaña la deformación de una capa inferior más débil.

Cuando una mezcla asfáltica se deforma, es evidente que tiene una resistencia al corte. Cada vez que un vehículo aplica una carga, una deformación pequeña, pero permanente se ocasiona. La deformación por corte se caracteriza por un movimiento de la mezcla hacia abajo y lateralmente. Con un número dado de repeticiones de carga aparecerán las roderas. Los pavimentos asfálticos deformados tienen una seguridad deficiente porque los surcos que se forman retienen suficiente agua para provocar hidroplaneo o acumulación de hielo.

Debido a que el ahullamiento es una acumulación de muy pequeñas deformaciones permanentes, una forma de asegurar que el cemento asfáltico aporte una aceptable resistencia al corte es usar un cemento asfáltico no sólo duro sino de comportamiento lo más próximo posible a un sólido elástico a altas temperaturas del pavimento. Así, cuando una carga es aplicada al cemento asfáltico en la mezcla, este tiende a operar como una banda de goma y a recuperar su posición original en lugar de permanecer deformado.

Agrietamiento por fatiga

Aunque generalmente una carga simple no genera grietas en el pavimento, las repeticiones de cargas pueden inducir agrietamientos en las capas confinadas. Los esfuerzos cortante y de tensión, así como las deformaciones en las capas confinadas, causan la deformación de microgrietas. Estas microgrietas acumuladas con la repetición de cargas pueden generar macrogrietas visibles. Este proceso es llamado fatiga.

El rompimiento por fatiga es causado por numerosos factores que ocurren en forma simultánea. Entre ellos, las cargas pesadas repetidas; deflexiones delgadas bajo ruedas pesadas de carga; deflexiones altas aunadas a la tensión horizontal en la superficie de la capa de asfalto y mal drenaje, generado por una construcción pobre y un mal diseño del pavimento.

Frecuentemente, el rompimiento por fatiga es meramente un signo de que el pavimento ha sobrepasado el número de aplicaciones de carga para el cual fue diseñado y en este caso el pavimento sólo necesitará una rehabilitación planificada. Consecuentemente, los mejores consejos para prevenir el rompimiento por fatiga son: un diseño adecuado de la cantidad de cargas pesadas, mantener la subrasante seca, utilizar pavimentos más gruesos utilizar materiales de pavimentación no susceptibles a la humedad, y utilizar mezclas asfálticas elásticas que soporten las deflexiones normales.

El agrietamiento también puede ocurrir como resultado de una combinación de los siguientes mecanismos:

- Agrietamiento inducido por el tránsito
- Agrietamiento por temperatura
- Agrietamiento por reflexión

Agrietamiento inducido por el tránsito

Las cargas del tránsito inducen esfuerzos y deformaciones en las capas del pavimento. Dependiendo de la estructura del pavimento y las propiedades de las capas, los esfuerzos de tensión y cortantes y las deformaciones son inducidas en lugares específicos de las capas confinadas. La aplicación repetida de esos esfuerzos y deformaciones, con el paso repetido del tránsito, inducirá agrietamientos por fatiga en esos puntos.

Agrietamiento por temperatura

Cuando se presentan temperaturas muy bajas en la superficie del pavimento, se provocaran esfuerzos de tensión y deformaciones en el pavimento, debido a la contracción térmica.

Las grietas pueden ocurrir en la capa base confinada de cemento de un camino compuesto como resultado de los gradientes térmicos. Cuando la superficie de un camino está más caliente que la base, el gradiente térmico causara alabeo el cual será restringido por la capa estabilizada con cemento. Esto provocara un esfuerzo de tensión en la parte inferior de la capa estabilizada con cemento, lo que puede llevar al agrietamiento cuando se combina con los esfuerzos de tensión inducidos por el tránsito.

Agrietamiento por reflexión

Los agrietamientos por reflexión ocurren si una capa de asfalto yace sobre una capa con grietas o juntas, lo cual muestra movimientos horizontales muy grandes debido a variaciones en la temperatura, o cuando no existe o existe muy poca transferencia de carga a través de las grietas o juntas.

Los agrietamientos por reflexión pueden ser causados por deformaciones horizontales controladas por la temperatura de los materiales suyacentes. Estas deformaciones provocarán esfuerzos de tensión en la capa superior, llevando a grietas de reflexión, con y sin la presencia del tránsito.

4.1 Estabilidad y flujo

La estabilidad de un asfalto es su capacidad para resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas; un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos, ondulaciones y otras señas que indican cambios en la mezcla.

Los requisitos de estabilidad solo pueden establecerse después de un análisis completo del tránsito, debido a que las especificaciones de estabilidad para un pavimento dependen del tránsito esperado. Las especificaciones de estabilidad deben ser lo suficientemente altas para acomodar adecuadamente el tránsito esperado, pero no más altas de lo que exijan las condiciones de transito. Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y por lo tanto, menos durable que lo deseado.

La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de agregado está relacionada con características del agregado tales como forma y textura superficial. La cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto. Un grado propio de fricción y cohesión interna, en la mezcla, previene que las partículas de agregado se desplacen unas respecto a otras debido a las fuerzas ejercidas por el tráfico. En términos generales, entre más angular sea la forma de las partículas de agregado y más áspera sea su textura superficial, más alta será la estabilidad de la mezcla.

El flujo propiamente es medido en centésimas de pulgada, lo cual representa la deformación de la briqueta. La deformación esta indicada por la disminución en el diámetro vertical de briqueta.

Las mezclas que contienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo las cargas del tránsito.

Para la medición de la estabilidad como el flujo se requiere de la prueba Marshall la cual como ya se menciono anteriormente en este capitulo nos ayudara a medir la resistencia a la deformación de la mezcla (estabilidad) y la deformación, bajo carga, que ocurre en la mezcla.

A continuación se hace una breve reseña en la cual se explica brevemente el procedimiento del ensayo Marshall para su mejor comprensión de dicha prueba pasar al capitulo uno.

1. Las probetas son calentadas en un baño de agua a 60°C. Esta temperatura representa, normalmente, la temperatura más caliente que un pavimento en servicio va a experimentar.

2. La probeta es removida del baño, secada y colocada rápidamente en el aparato Marshall. El aparato consiste de un dispositivo que aplica una carga sobre la probeta y de unos medidores de cara y deformación (flujo).
3. La carga del ensayo es aplicada a la probeta a una velocidad constante de 51mm por minuto hasta que la muestra falle. La falla esta definida como la carga máxima que la briqueta puede resistir.
4. La carga de falla se registra como el valor de estabilidad Marshall y la lectura del medidor de flujo se registra como flujo.

A su vez la prueba Marshall puede ser considerada una prueba empírica en el siguiente cuadro se muestran las ventajas y desventajas del uso de la prueba.

Método de prueba	Dimensión de la probeta	Ventajas	Desventajas
Marshall	10 cm de diámetro x 6.25 cm de altura ó 15 cm de diámetro x 9.375 cm de altura	<ul style="list-style-type: none"> • Amplia difusión, bien conocido, estandarizado para diseño de mezclas • Procedimiento de prueba estandarizado • Mas fácil de implementar y tiempo de prueba corto • El equipo disponible en todos los laboratorios 	<ul style="list-style-type: none"> • No es posible clasificar correctamente las mezclas para deformación permanente • Poca información para indicar si está relacionado con el comportamiento

4.2 TSR

El ensayo de tracción indirecta implica la aplicación de una carga de compresión a lo largo de los ejes diametrales del espécimen cilíndrico. La mecánica del ensayo es tal que un estado de tensiones de tracción casi uniformes se desarrolla a lo largo del plano diametral.

El ensayo de tracción indirecta reproduce el estado de tensiones en la fibra inferior de la capa asfáltica o zona de tracción. Es un método práctico y sencillo para caracterizar las propiedades de las mezclas bituminosas o evaluar el fallo provocado por tensiones de tracción.

Dicho ensayo consiste en cargar una probeta cilíndrica con una carga de compresión diametral (inciso a))a lo largo de dos generatrices opuestas como

se puede ver en la figura 4.2.1. Este tipo de carga provoca un esfuerzo de tracción relativamente uniforme en todo el diámetro del plano de carga vertical y esta tracción es la que agota la probeta y desencadena la rotura en el plano diametral figura 4.2.1 inciso b).

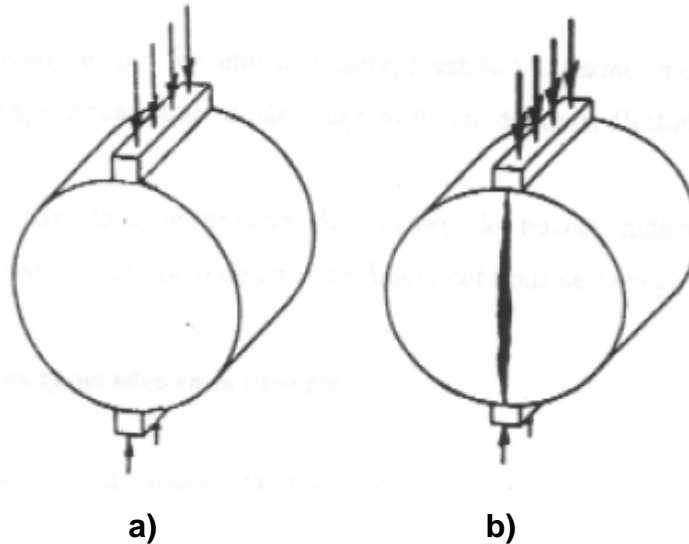


Figura 4.2.1 Configuración de la carga así como la rotura del ensayo TSR

La reacción de los especímenes a la carga puede ser captada por medio de un registrador de multicanales o un dispositivo de adquisición de datos analógico digital.

A continuación se muestran los resultados de la prueba TSR aplicada al diseño de la Autopista México-Querétaro. Iniciando con una prueba de susceptibilidad a la humedad.

El ensayo de susceptibilidad a la humedad empleado para evaluar una mezcla al desprendimiento es la norma AASHTO T 283. Este ensayo que no se basa en el desempeño sirve a dos propósitos. Primero identificar si una combinación de ligante asfáltico y agregado es susceptible a la acción del agua. Segundo mide la efectividad de los aditivos antidesprendimiento o mejoradores de adherencia.

Tabla 4.2.1 Resultados ensayo susceptibilidad a la humedad

Original Volumetrics		Conditioned Subset			Unconditioned Subset		
		1	2	3	4	5	6
Diameter	D	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Thickness	t	63.5	63.5	64.9	63.7	63.5	63.5
Dry mass in air	A	1024.9	1002.0	1026.8	1018.6	1027.4	1003.2
SSD mass	B	1038.1	1009.6	1040.2	1033.4	1039.5	1017.4
Mass in Water	C	584.5	566.4	587.7	583.1	584.9	573.2
Volume (B-C)	E	453.6	443.2	452.5	450.3	454.6	444.2
Bulk Sp Gravity (A/E)	F	2.259	2.261	2.269	2.262	2.260	2.258
Max Sp Gravity	G	2.456	2.456	2.456	2.456	2.456	2.456
% Air Voids (100(G-F)/G)	H	8.00	7.95	7.61	7.90	7.98	8.04
Vol Air Voids (HE/100)	I	36.30	35.22	34.42	35.56	36.28	35.73
Load - N	P				6450	7562	6005

SSD Volumetrics		1	2	3
SSD Mass	B'	1045.0	1020.0	1045.3
Mass in Water	C'	590.0	575.1	592.1
Volume (B'-C')	E'	455.0	444.9	453.2
Vol Abs Water (B'-A)	J'	20.1	18.0	18.5
% Saturation (100J'/I)		55.38	51.11	53.74
% Swell (100(E'-E)/E)		0.31	0.38	0.15

SSD Conditioned		1	2	3
Thickness	t''	63.5	63.5	64.9
SSD mass	B''	1056.2	1024.2	1051.6
Mass in Water	C''	595.2	578.1	596.9
Volume (B''-C'')	E''	461.0	446.1	454.7
Vol Abs Water (B''-A)	J''	31.3	22.2	24.8
% Saturation (100J''/I)		86.2	63.0	72.0
% Swell (100(E''-E)/E)		1.6	0.7	0.5
Load - N	P''	5782	4448	5560

Calculated Strengths		1	2	3	4	5	6
Dry Strength 2P/(tDPi)	Std				645	758	602
Wet Strength 2P''/(t''DPi)	Stm	580	446	545			

Tensile Strength Ratio	
Average Dry Strength (kPa)	668
Average Wet Strength (kPa)	524
% TSR	78.4%

Formulario para la determinación del esfuerzo de tensión

$$Esfuerzodetension = \frac{2000P}{\pi D} \dots\dots\dots (4.43)$$

St= Esfuerzo de Tensión, kPa

P = máxima carga, N

T= altura del espécimen, mm

D= diámetro del espécimen, mm

$$TensionStrengthRatio = \frac{S_2}{S_1} \dots\dots\dots(4.44)$$

S₁= promedio del esfuerzo de tensión del set de especímenes en seco

S₂= promedio del esfuerzo de tensión del set de especímenes acondicionados

4.3 Hamburgo Wheel Tracking.

La prueba de Hamburgo tiene el objetivo de medir la resistencia a las roderas y a los desgranamientos de una mezcla asfáltica compactada en laboratorio o de corazones de 10 pulgadas extraídos directamente del pavimento. Sirve para identificar problemas de adherencia de los materiales pétreos con el cemento asfáltico y para identificar una mezcla con estructura mineral deficiente.

El interés y uso de equipos para pruebas de roderas, también llamados “rut testers”, ha crecido en los últimos años en diferentes países del mundo. Este interés ha sido generado por varios factores, incluyendo la utilización de equipos por la Ciudad de Hamburgo (Alemania), FHWA, Georgia DOT, Colorado DOT, Texas DOT y por otros Departamentos de Transporte.

El Método Hamburgo, conocido también como Sperbildungsgerat en Alemania, ha sido utilizado como una herramienta de especificación desde los años 70's en Hamburgo, Alemania.



Figura 4.3.1 Máquina de Hamburgo

La prueba consiste en dos ruedas de acero de 47 mm que se mueven axialmente sobre un muestra producida en el laboratorio de 32 X 26 cm o en un corazón extraído del campo de 250 mm (10"). La carga en cada rueda es de 0.71kN (158 lb) con una presión de contacto de 217 psi. Los especímenes son probados típicamente a 50 0C y sumergidos completamente en un baño de agua. El baño, así como se mantiene a temperatura de prueba, también determina la susceptibilidad de la mezcla al agua. Adicional se realiza un análisis volumétrico de la mezcla compactada.

La velocidad de la rueda es de 30 cm por segundo. La prueba se corre a 20,000 ciclos o a una deformación límite de 20 mm. El criterio de falla en la especificación definida por la Ciudad de Hamburgo es de 4 mm de deformación máxima en autopistas y 2.5 mm en zonas industriales.

El criterio de falla en la especificación definida en Alemania (país de origen de la prueba) es de 4 mm de deformación máxima en autopistas y 2.5 mm en zonas industriales. En Estados Unidos de Norteamérica el Departamento de Transporte de Colorado utiliza el criterio de falla de 10 mm máximo para considerar una mezcla de buena calidad.

Además de aplicar esta prueba para el diseño de las mezclas, su aplicación se extiende hacia el control de calidad en campo ya que mediante la extracción y

prueba de núcleos en el laboratorio mediante la prueba de Hamburgo, se puede conocer de manera indirecta las propiedades que muestra la figura 4.3.2:

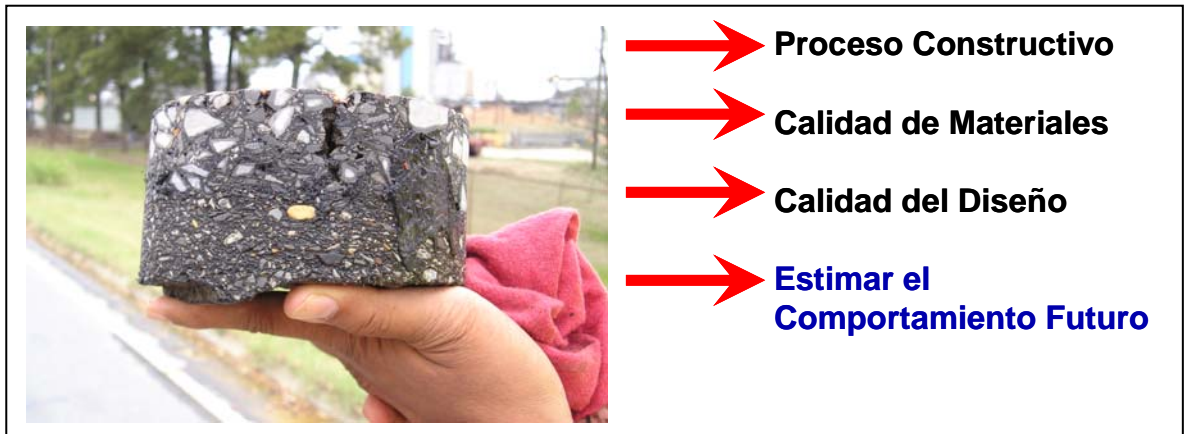
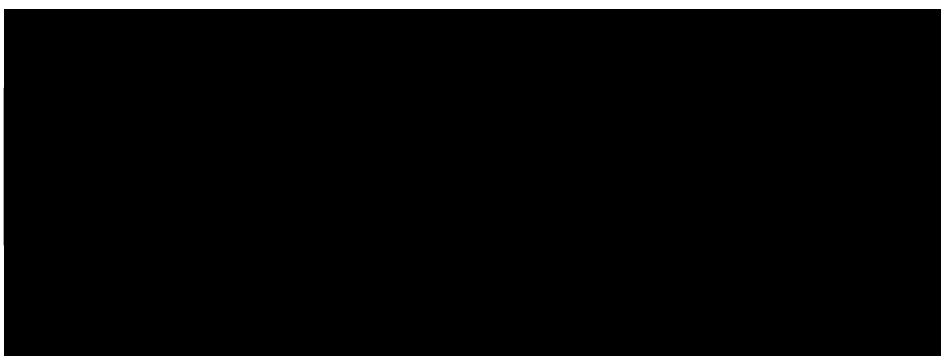


Figura 4.3.2 Información que se puede obtener de un corazón de campo mediante la prueba de simulación de Hamburgo.

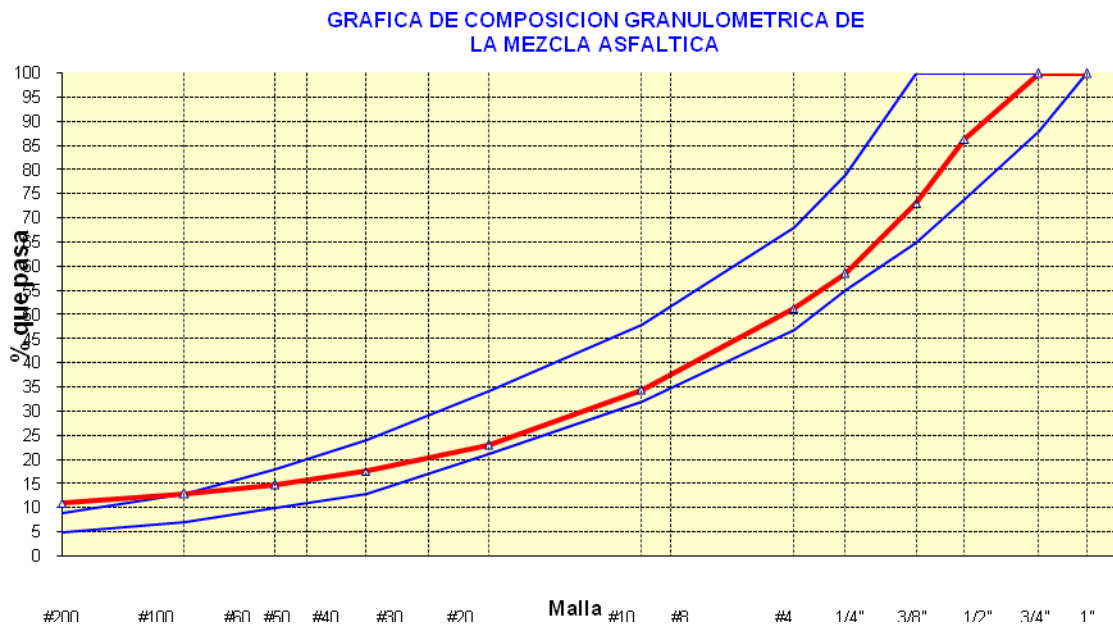
Proceso Constructivo, al realizar el análisis volumétrico de los corazones extraídos en campo, es posible estimar sus propiedades volumétricas, esta estimación nos puede dar una idea clara si la mezcla fue compactada adecuadamente y a la temperatura correcta y si los corazones tienen o no el contenido de asfalto óptimo de acuerdo al proyecto.

Tabla 4.3.3 Propiedades volumétricas de los corazones de campo



Calidad de Materiales, la prueba de simulación permite identificar materiales con problemas de adherencia de asfalto en presencia de agua, así como

estructuras minerales deficientes y materiales blandos que con la acción del tráfico pueden ocasionar desgranamientos y/o deformaciones permanentes.



Grafica 4.3.4 Granulometría de la mezcla asfáltica obtenida después del proceso de extracción de asfalto de uno de los corazones de campo.

Calidad del Diseño, si las propiedades de la mezcla asfáltica no son adecuadas en la prueba de simulación y estas propiedades coinciden con el diseño realizados, es decir si la granulometría, el contenido de asfalto y todas las demás propiedades coinciden con las presentadas en el diseño, quiere decir que durante el diseño no se tomó en cuenta el problema de la deformación permanente y la susceptibilidad a la humedad de la mezcla y será necesario cambiar los materiales o proponer algún aditivo de adherencia.



Figura 4.3.5 Proceso de Extracción y Prueba de Núcleos para prueba de Hamburgo

Estimar el comportamiento futuro, dependiendo de los resultados obtenidos en la prueba de simulación, es posible estimar si la mezcla es susceptible a las deformaciones permanentes y/o a la humedad, si la mezcla presenta desprendimiento de material durante la prueba, muy probablemente tendrá desprendimientos y microfisuramiento en el corto plazo, y que el pavimento no cumpla con la expectativa de servicio.

En el anexo 3 del presente trabajo se muestra un reporte de la prueba de Hamburgo donde se observan los datos comentados en la sección anterior.

Uno de los propósitos principales de este trabajo, además de mostrar detalladamente el proceso de diseño Superpave, es el de proponer una

especificación particular para implementar la prueba de simulación de Hamburgo en México, la especificación particular se incluye en el anexo No.2.

La propuesta de esta especificación particular está sustentada en la experiencia internacional sobre el uso de la prueba de Hamburgo, así como en la experiencia nacional de la cual se hace un resumen a continuación:

- Desde el año 2000 se han realizado alrededor de 500 ensayos con mezclas asfálticas procedentes de toda la República Mexicana
- Se han evaluado más de 150 proyectos carreteros con muestras extraídas en campo.
- Hay disponible información para correlacionar el resultado de la prueba en laboratorio con el desempeño en campo.
- En el 80% de los casos cuando la mezcla “no cumple el criterio de falla durante la prueba” tiene problemas de desempeño a corto plazo la carpeta asfáltica, sobretodo si el proyecto se ubica en zonas de alta precipitación pluvial.
- Se ha comenzado a entender la relación del desempeño de la mezcla con las propiedades de los materiales nacionales y con las prácticas constructivas de las empresas mexicanas.

A continuación se presenta una ilustración en la cual se pueden apreciar las partes esenciales que integran el equipo así como sus características y las graficas de resultados aplicando esta prueba a nuestras muestras extraídas en campo.

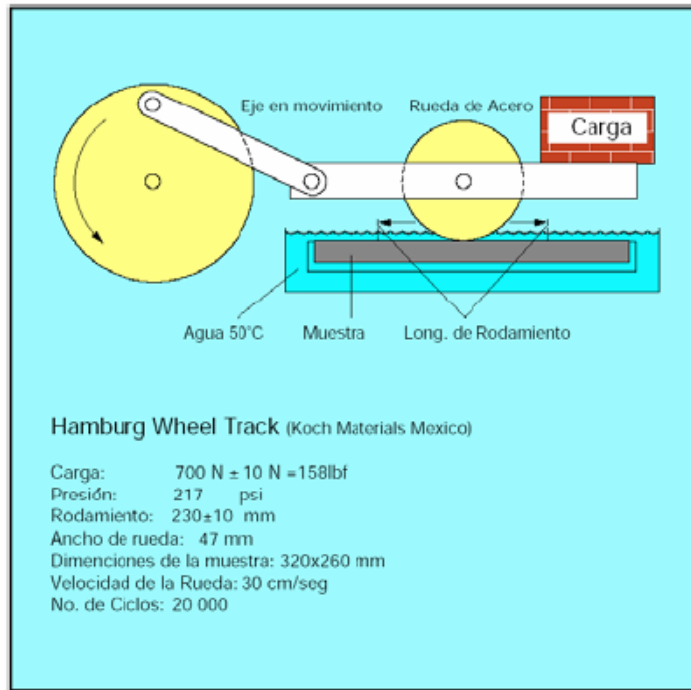
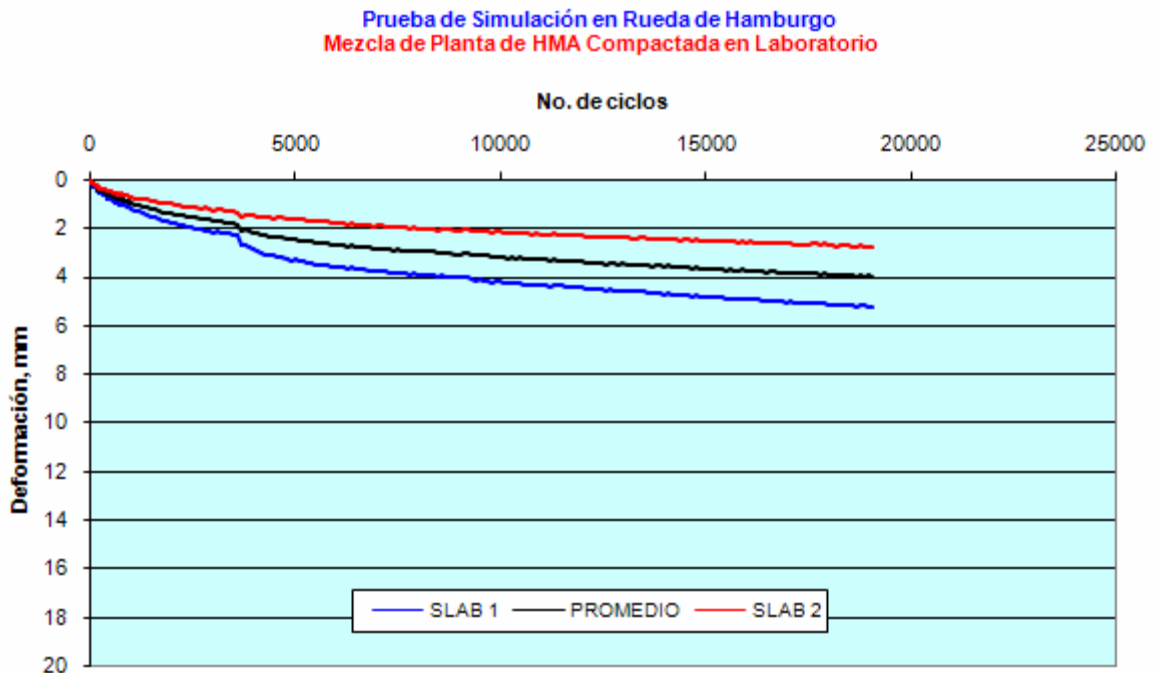


Figura 4.3.6 Esquema del funcionamiento de la rueda de Hamburgo

En la grafica 4.3.6 se muestra los resultados de la prueba de simulación en Rueda de Hamburgo.



Grafica 4.3.6 Comportamiento de los especimenes en la rueda de Hamburgo.

Después de analizar la información presentada en este capítulo se considera de importancia el tomar como parte base de la culminación del proceso de diseño la aplicación de las pruebas siguientes:

1. Estabilidad y flujo Marshall (ASTM D1559)
2. Prueba de Tensión Indirecta (AASHTO T-283)
3. Prueba de Simulación de Hamburgo (AASHTO T-324)
4. Análisis Volumétrico Superpave (AASHTO TP-4)

Mediante las pruebas anteriores es posible conocer cual será una mezcla de comportamiento aceptable ante las diferentes solicitaciones de carga y del medio ambiente.