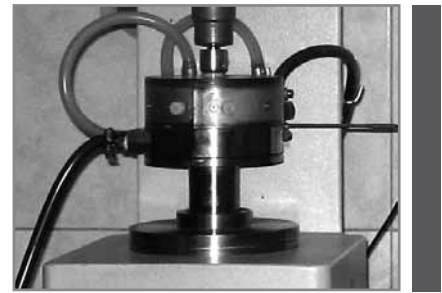


Estudios en el ensayo de pista a diferentes temperaturas y su relación con límites de comportamiento frente al ahuellamiento^(a)



Wheel tracking test studies at different temperatures and its relation with rutting performance limits

Francisco MOREA

Becario Doctoral CONICET
Área Tecnología Vial, LEMIT-CIC (1900 La Plata, Argentina)

RESUMEN

El desempeño al ahuellamiento^(a) de mezclas asfálticas se evalúa en laboratorio a través del ensayo de pista. Las condiciones de carga y temperatura a las que se lleva a cabo son en general extremas para poner de manifiesto el problema. Diferentes ensayos utilizan diferentes temperaturas y cargas con límites de desempeño asociados a ellas. Sin embargo estos no tienen en cuenta la variación de temperatura o carga.

En este trabajo se estudió el desempeño^(b) de una mezcla elaborada con tres asfaltos^(c) en el equipo de pista a temperaturas de 50, 60 y 70 °C. Se relacionaron los resultados para cada ligante obteniendo una relación entre el ahuellamiento y la temperatura y se proponen factores de corrección de un límite en función de la temperatura.

Palabras clave: Ahuellamiento, Equipo de pista, Límites de comportamiento, Temperatura, Rodera, Betún, Asfalto, Mezcla bituminosa.

ABSTRACT

Laboratory wheel tracking test is used to evaluate the Asphalt mixture rutting performance. The temperature and load test condition are extreme to manifest the problem. Different wheel tracking tests used different temperature and loads with performance limits associated with them. However temperature and load variation are not take into account.

In this work the performance of one asphalt mixture elaborated with three different asphalts binders was studied in the wheel tracking test at 50, 60 and 70 °C. The different binder's performance results against temperature were related and it is proposing temperature correction factors for one rutting limit.

Key words: Rutting, Wheel Tracking, Performance limits, Temperature, Rut, Bitumen, Asphalt, Bituminous mix.

(a) En España suele emplearse *rodera* por *deformación plástica*.

(b) *Comportamiento*

(c) En España suele emplearse *betún* o *ligante bituminoso*.

Los pavimentos asfálticos se ven sometidos en la actualidad a mayores volúmenes de tránsito^(a), mayores cargas y a condiciones climáticas extremas. El diseño, caracterización y evaluación en laboratorio se hace estudiando el comportamiento de la mezcla asfáltica teniendo en cuenta los diferentes modos de falla^(b) que se suceden en el camino (deformaciones permanentes, fatiga y/o fisuración). Los diferentes medios de estudio tienen un carácter racional tratando de simular las acciones de las cargas y clima que se producen sobre el pavimento.

El comportamiento de una mezcla frente a las deformaciones permanentes se evalúa en laboratorio en el equipo de pista (en terminología inglesa, "Wheel tracking test"). Las deformaciones *permanentes* son la acumulación de pequeñas deformaciones producidas con cada aplicación de carga que son irrecuperables. En las mezclas asfálticas son uno de los modos de falla más frecuentes que se producen sobre los pavimentos y consisten en una depresión canalizada en la huella de circulación de los vehículos. Este proceso se ve favorecido por la acción combinada de elevados niveles de tránsito, tránsito pesado y/o lento y altas temperaturas.

El ensayo de pista simula el efecto del tránsito sobre el pavimento y ha sido desarrollado para evaluar, de forma racional, el desempeño de una mezcla frente al ahuellamiento en laboratorio. Tiene como premisa medir las deformaciones que sufre la mezcla asfáltica a través del tiempo aplicando condiciones extremas de tránsito y temperatura. La configuración del ensayo consta básicamente de una rueda, rígida o neumática en algunos casos, la cual aplica una carga sobre la mezcla asfáltica a la vez que circula sobre ella. Existen a nivel mundial diferentes equipos que tienen configuraciones similares pero con ligeras variaciones de uno a otro. En la Tabla 1 se dan datos de algunos de los equipos que existen para medir deformaciones permanentes.

Cada equipo tiene asociado un límite para definir si una mezcla pasa o no pasa el ensayo. La especificación para el equipo de pista

francés define el límite de falla como aquel en el cual las deformaciones permanentes alcanzaron el 10% de la altura de la probeta. España en su pliego de especificaciones PG 3⁽¹⁾ indica para mezclas bituminosas en caliente y para microaglomerados en caliente para capas de rodadura en zona térmica estival cálida una velocidad máxima de deformación de entre 12 y 15 ($\mu\text{m}/\text{min}$) en el ensayo de pista en el intervalo de 105 a 120 minutos⁽¹⁾.

El GLWT actualmente se conoce con el nombre de "Asphalt Pavement Analyzer" (APA). Para este equipo en particular el Departamento de Transporte de Virginia en EE.UU. desarrolló un criterio de falla frente al ahuellamiento a partir de ensayos sobre testigos de mezclas asfálticas colocadas en diferentes caminos⁽¹⁾. A partir de un análisis estadístico definieron el criterio de límite máximo de ahuellamiento para un nivel de confianza del 95 %. Se asume en el trabajo que las mezclas ensayadas son resistentes al ahuellamiento. Estadísticamente el límite superior para un nivel de confianza de 95 % se calcula a partir de la ecuación 1:

$$\text{Máx ahuellamiento}_{\text{permitido}} = \text{media de datos} + z_{\alpha/2} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

Donde $Z_{\alpha/2}$ es igual a 1,96, σ la desviación estándar de la muestra y n es el número de mezclas ensayadas.

Esta ecuación es válida si la población analizada es igual o mayor a 30 especímenes. En el caso de tener una población menor no se puede asumir que la desviación estándar de la muestra es igual a la de la población y se debe calcular el límite máximo usando los límites de confianza para muestras pequeñas basados en la distribución t de Student como se da en la ecuación 2:

$$\text{Máx ahuellamiento}_{\text{permitido}} = \text{media de datos} + t_{\alpha/2} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

Equipo		Inglés	Español	Francés	GLWT ^(*)
Tipo de rueda		Rígida	Rígida	Neumática	Neumática
Dimensiones de la probeta	[cm]	30 x 30 x 5	30 x 30 x 5	50 x 18 x 5	30 x 12,5 x 7,5
Temperatura de ensayo	[°C]	60	60	70	40 a 60
Carga	[N]	520	900	700	445
Presión de Contacto	[Kg/cm ²]	5,3	9,2	7,1	4,54

(*)GLWT: "Georgia Loaded Wheel Tester"

Tabla 1. Diferentes equipos de pista de laboratorio.

(a) Generalmente en España se emplea Tráfico.

(b) Rotura.

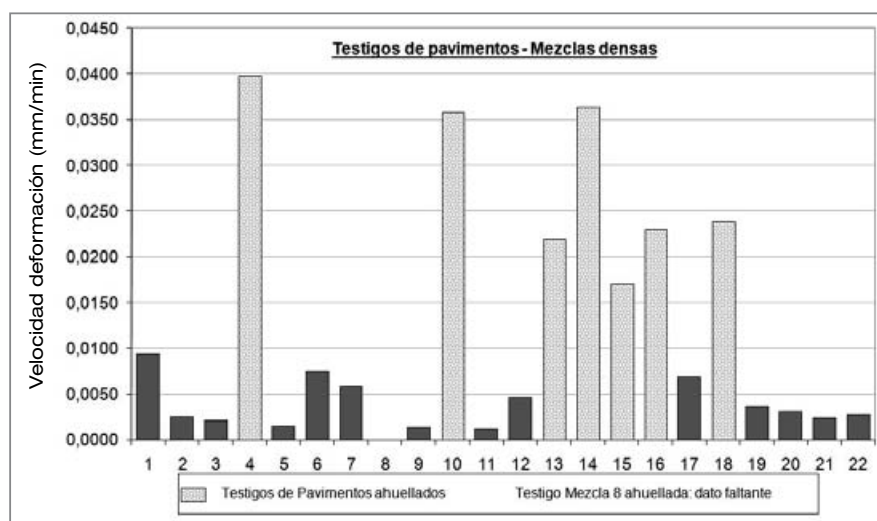


Figura 1. Testigos de pavimentos ahuecados y no ahuecados ensayados en el "Wheel tracking".

Donde $t_{w/2}$ es el valor de t de la distribución de Student para $n-1$ grados de libertad.

1. Experiencia en Argentina

El LEMIT, en una de sus líneas de investigación, trabaja en las medidas de ahuecamiento en laboratorio de distintos tipos de mezclas con diferentes áridos y ligantes bituminosos desde hace varios años. Se ha establecido un límite de deformaciones permanentes para el equipo de pista en base a ensayos sobre testigos tomados de diferentes rutas. Este es un límite que define estándares de buen comportamiento de mezclas asfálticas densas.

Algunos de los testigos estudiados pertenecían a caminos que presentaban ahuecamiento y otros que no. En la Figura 1 se observa los resultados de *velocidad de deformación (Vd)* para 120 minutos de ensayo en el equipo de pista. Con los datos se realizó un análisis estadístico. A partir de este análisis se obtuvo el límite máximo de velocidad de deformación para un nivel de confianza del 95 % en 0,0054 mm/min. Este valor es válido para un equipo con una carga, una temperatura y tiempo de ensayo de 520 ± 5 Newton (53 Kg), 60 °C y 120 minutos respectivamente. Para el análisis se eliminaron los datos de los testigos de rutas con ahuecamiento.

Los límites de desempeño aquí descriptos, tanto el nacional como los de nivel internacional, están determinados para condiciones de carga y temperatura específicas. Ninguna de estas metodologías toma en cuenta la variación por temperatura o nivel de carga relacionado

a estos límites, además en el pavimento se dan diferentes condiciones de temperatura y carga que no siempre son las más extremas. Una correlación entre los límites de comportamiento y la temperatura y/o la carga permitiría relacionar más profundamente los estudios en laboratorio con las condiciones reinantes en el camino y estudiar más adecuadamente el diseño de las mezclas asfálticas.

En este trabajo se estudió la performance^(a) de una mezcla asfáltica densa elaborada con tres diferentes asfaltos (un convencional, un multigrado y un modificado con polímero SBS) en el ensayo de

pista a las temperaturas de 50, 60 y 70 °C. Se relacionaron los resultados para cada ligante a las distintas temperaturas, obteniendo una relación entre el parámetro de ahuecamiento velocidad de deformación en función de la temperatura de manera unívoca. Se proponen factores de corrección del límite de la velocidad de deformación propuesto en el LEMIT en función de la temperatura.

EXPERIMENTAL

1. Materiales

1.1. Asfaltos

Tres asfaltos de producción comercial en Argentina fueron seleccionados para este estudio, incluyendo un *asfalto convencional (CA)*, un *asfalto multigrado (M)* y uno *modificado con polímero SBS (PM)*. Sus principales características se indican en la Tabla 2, entre ellas aparecen los valores de penetración, punto de ablandamiento^(b), viscosidad Brookfield y su grado PG de la clasificación norteamericana Superpave. Se incluyen allí las propiedades para los ligantes en estado original como luego de envejecido en el "Rolling thin film oven test" (RTFOT)^(c).

1.2. Mezcla asfáltica

Se diseñó una mezcla asfáltica del tipo densa por el método Marshall usando agregado granítico típico de la provincia de Buenos Aires (Argentina). La composición resultante se da en la Tabla 3 y Figura 2. En esta figura se volcaron también los límites del huso granulométrico correspondiente. La gradación granulométrica, el conte-

(a) Comportamiento.
 (b) Punto de reblandecimiento, o de Anillo y bola.
 (c) Ensayo de película fina y rotatoria.

Asfalto		CA	M	PM
Modificador		-	Multigrado	SBS
Original				
Penetración a 25 °C	[dmm]	55	60	64
P. Ablandamiento ^(*)	[°C]	51,8	58,3	95,5
Viscosidad Brookfield a 60°C	[Pa.s]	297,6	1224	-
Recup. Torsional	[%]	-	-	77,2
RTFOT				
Penetración a 25°C	[dmm]	38	42	46
P. Ablandamiento ^(*)	[°C]	57,0	67,8	90,0
Viscosidad Brookfield a 60°C	[Pa.s]	552,0	6760	-
Pérdida de masa	[%]	0,03	0,03	-0,30
Clasificación PG		64-16	70-22	70-22

(*) Anillo y bola.

Tabla 2. Características de los ligantes.

Filler	Cal	0-6	6-12	6-20	Asfalto
2 %	1 %	45 %	12 %	40 %	5 %
Densidad _{diseño} = 2,437 Kg/cm ³		Densidad _{Rice} = 2,526 Kg/cm ³		Vacíos _{diseño} = 3,6 %	

Tabla 3. Composición de diseño.

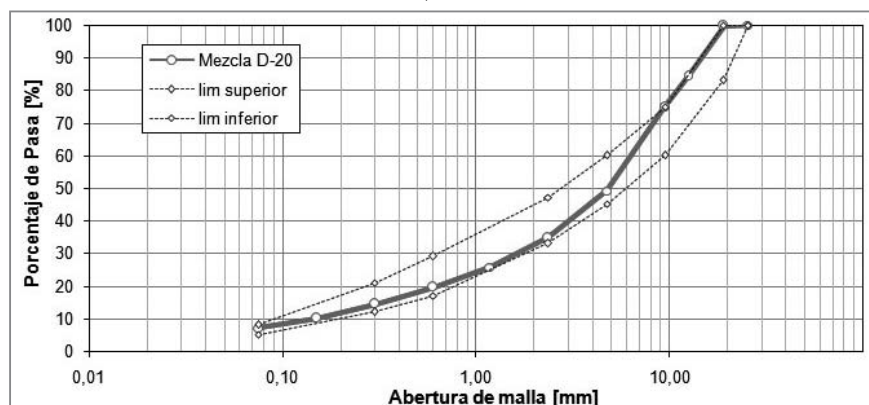


Figura 2. Granulometría de la mezcla de estudio.

nido de asfalto y el método de compactación se mantuvieron constantes a lo largo de la investigación. Los diferentes asfaltos fueron probados en este diseño y se observó las diferentes respuestas al ahuellamiento de la mezcla tipo elaborada con los mismos.

2. Procedimiento de ensayo

La pista de laboratorio fue utilizada para caracterizar el desempeño frente a las deformaciones permanentes de las mezclas asfálticas elaboradas con los tres ligantes asfálticos en laboratorio. La densidad de las probetas fue controlada para verificar que tuvieran al menos un 98 % de la densidad de diseño.

El equipo de ensayo (según norma B.S. 598 parte 110)^(M) consiste en una rueda de goma maciza (Foto 1) de 207 mm de diámetro y 47 mm de ancho, que cargada con

520 ± 5 N, se desplaza con movimiento alternativo dentro de un recorrido de 230 mm a razón de 21 ciclos por minuto (42 pasadas de rueda por minuto), sobre una muestra de concreto asfáltico. La probeta de sección cuadrada de 300 mm de arista y 50 mm de espesor es compactada a la densidad Marshall de proyecto. La duración del ensayo es de 120 minutos, durante este período se miden las deformaciones permanentes producidas en la mezcla asfáltica en intervalos de 1 minuto por medio de adquisición electrónica a través de un LVDT (Foto 1). Los datos se ajustan luego a través del modelo potencial (ver ecuación 3). Los 10 primeros datos se descartan ya que afectan significativamente el resultado del ajuste^(M):

$$\epsilon_p = a.t^b \quad (3)$$

Donde ϵ_p : deformaciones permanentes, t : tiempo y a , b : constantes de ajuste.

De los datos ajustados se obtienen el parámetro *velocidad de deformación* (Vd). A partir de este es factible evaluar de manera comparativa el ahuellamiento entre diferentes mezclas asfálticas. La Vd define la tasa de crecimiento de la profundidad de huella a lo largo del tiempo. Esta se determina con la ecuación 4:

$$Vd \left[\frac{mm}{min} \right] = \frac{D_{120min} - D_{105min}}{15} \quad (4)$$

Donde D_{120min} y D_{105min} corresponden a la deformación para 120 y 105 minutos respectivamente.

Por cada uno de los tres ligante se elaboraron probetas de la mezcla asfáltica que fueron ensayadas en el equipo de pista a las temperaturas de 50, 60 y 70 °C, para observar las variaciones en el comportamiento de la mezcla asfáltica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la pista de laboratorio se observan en la Tabla 4. Para cada asfalto los datos se



Foto 1. Equipo de pista de laboratorio.

Asfalto	CA	M	PM
T [°C]	Vd [mm/min]		
50	0,0086	0,0044	0,0033
60	0,0154	0,0047	0,0044
70	0,0305	0,0084	0,0045

Tabla 4. Resultados de los ensayos de pista de laboratorio.

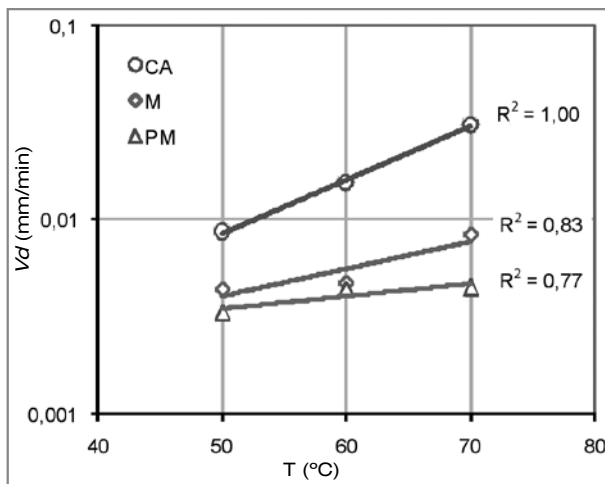


Figura 3. Velocidad de deformación Vd en función de la temperatura para la mezcla elaborada con los diferentes asfaltos.

ajustaron para posteriores análisis, Figura 3. En esta figura se observa como para una granulometría y un contenido de asfalto constante la relación ahuellamiento-temperatura fue diferente dependiendo del tipo de ligante utilizado. El mejor comportamiento se obtuvo para el asfalto modificado con polímero (PM) seguido por el multigrado (M) y el ligante convencional (CA).

Si observamos el comportamiento de la mezcla para un ligante a una temperatura T1 es equivalente al comportamiento para una T2 > T1 de la misma mezcla pero elaborada con otro ligante. Como ejemplo basta ver en

la Tabla 4 que los valores de Vd para los asfaltos CA y M son similares para las temperaturas de ensayo de 50 y 70 °C respectivamente. Es por tanto esperable el mismo comportamiento de la mezcla asfáltica elaborada con el asfalto M ensayada a 70 °C que el de la mezcla elaborada con CA solo que esta ensayada a una temperatura de 50 °C. Lo mismo se observa entre el M y el PM con las temperaturas de 50 y 60 °C respectivamente.

Es por tanto que en función de la temperatura máxima posible que puedan suceder en el camino elegir el ligante que mejor se adapte a esas condiciones climáticas. Este razonamiento es similar al que aplica SHRP para la configuración del PG donde se clasifica al ligante por el rango de temperaturas en las que se desempeñara en condiciones óptimas respecto a las deformaciones permanentes, fatiga y fisuración. Allí dos ligantes se pueden clasificar como PG 76-22 siendo uno modificado con polímero y el otro un asfalto oxidado por ejemplo.

En base a lo expuesto anteriormente es posible aplicar una analogía del principio de superposición^(M) para obtener una curva única que relacione el comportamiento de la mezcla con la temperatura. El principio de superposición postula que una propiedad, por ejemplo el módulo de la mezcla, a una determinada frecuencia f_1 para una temperatura T_1 es equivalente al módulo a una frecuencia $f_2 > f_1$ pero a una temperatura $T_2 > T_1$. De esta manera es posible realizar mediciones en un rango más acotado y luego teniendo en cuenta la reciprocidad *tiempo-temperatura* generar corrimientos alrededor de un valor de referencia para obtener el comportamiento de un espectro mayor. Temperatura y tiempo son las variables allí mientras el tipo de mezcla y el ligante asfáltico se mantienen constantes.

En el caso que nos ocupa estamos analizando la velocidad de ahuellamiento Vd que sufre una mezcla asfáltica, aquí la granulometría se mantuvo constante variando el tipo de ligante y la temperatura de ensayo. Como para una curva maestra de módulo se puede inferir el valor de módulo a una frecuencia no realizada, se busca poder obtener aquí un valor de la Vd a una temperatura diferente de la normal del ensayo de 60 °C, sin la necesidad de realizar el ensayo a esa temperatura.

Los corrimientos antes mencionados se generan a partir de afectar las temperaturas con factores de corrimiento, llamando a esta, temperatura reducida:

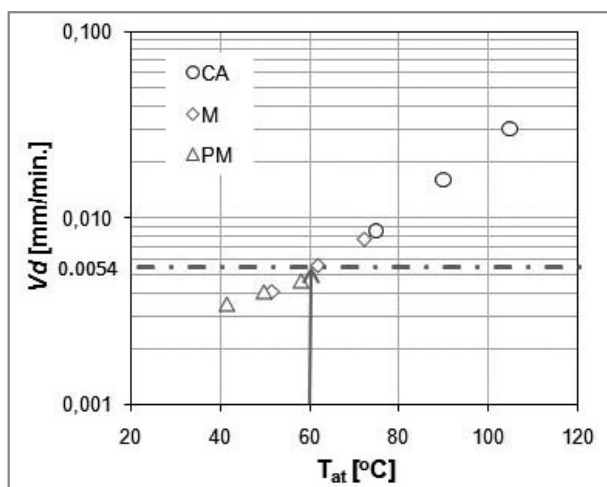


Figura 4. Datos afectados por los corrimientos.

$$(T_{at}) = T.at$$

Donde at es el factor de corrimiento.

De esta manera se obtiene el desplazamiento horizontal de la curva de comportamiento de un determinado ligante a otras temperaturas diferentes de las de ensayo.

Los valores de corrimiento no fueron cualesquiera, se definieron buscando generar una curva única que representara la Vd en función de la temperatura y que estableciera un comportamiento aceptable para mezclas asfálticas ensayadas en el equipo de pista a diferentes temperaturas. Para ello era necesario definir un valor de referencia. En función de estas premisas resulta lógico generar el corrimiento de las curvas obtenidas para cada ligante alrededor del valor de referencia de la velocidad de deformación de 0,0054 mm/min a 60 °C, propuesto como límite para mezclas densas de la República Argentina.

Este valor como se explicara se obtuvo a partir de un análisis estadístico de testigos ensayados en el equipo de pista obtenidos de diferentes rutas no ahuelladas. Los valores de los corrimientos se fueron iterando de manera de obtener una curva única que envuelva todos los datos alrededor del valor de referencia, de manera de minimizar el error en el ajuste por mínimos cuadrados de la curva definitiva, Figura 4. A cada ligante asfáltico le corresponde un único corrimiento que se aplica a su curva de comportamiento y que es diferente para cada ligante. Los corrimientos finales fueron de 1'5 para el CA, 1'03 para el M y 0'83 para PM. El ajuste de los valores ya afectados de los corrimientos se ve en la ecuación 5:

$$Vd = 6,814_x 10^{-4} . e^{0,03486.T} (R^2 = 0,98) \quad (5)$$

Esta ecuación se trabajó de manera de obtener los factores de corrección (Fc) por temperatura de ensayo.

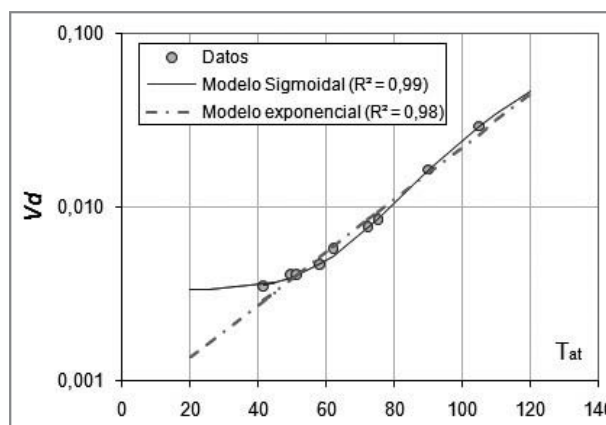


Figura 5. Datos ajustado por el modelo sigmoidal.

Para ello se definió el Fc para la $Vd = 0,0054$ mm/min igual a 1 para la temperatura de 60 °C, para las demás temperaturas el Fc se obtiene de aplicar la ecuación 6:

$$Fc = 0,1262.e^{0,03486.T} \quad (6)$$

A partir de estas ecuaciones se puede obtener el valor límite en el ensayo de pista para otra temperatura de ensayo diferente de la de 60 °C. Además si se conoce la temperatura máxima a la que estará sometido el pavimento se puede definir el límite de comportamiento tentativo que tendrá esa mezcla a esa temperatura con solo realizar el ensayo estándar a la temperatura de 60 °C. La temperatura máxima a la que se vera sometido un pavimento se puede obtener a través de un procesamiento estadístico de la temperatura ambiente medida en la zona del camino a lo largo del tiempo, como calcula Superpave en su especificación SHRP de ligantes^(vi). Allí la máxima temperatura se obtiene como el promedio de temperatura de los siete días más calientes del año para un año y con datos de 20 años consecutivos se calcula el valor medio y la desviación estándar.

Observando el comportamiento de los datos afectados de los corrimientos se observa como para las bajas temperaturas la Vd tiende a un valor asintótico. En esta zona la mezcla se puede pensar como un rígido elástico. Por oposición a muy altas temperaturas el asfalto se torna muy fluido y la resistencia al corte de la mezcla es otorgada únicamente por el esqueleto granular independientemente del ligante y la Vd se vuelve asintótica a un valor máximo.

Por tanto la curva de comportamiento en función de la temperatura presentaría una forma de S. Ajustando los datos con un modelo sigmoidal se observa, Figura 5 y ecuación 7, como el ajuste es muy bueno. El modelo exponencial no representa el comportamiento antes descrito con lo que se puede pensar que no es el mejor

ajuste, Figura 5. Sin embargo en un pavimento en servicio las deformaciones permanentes se tornan un problema con temperaturas del pavimento superiores a los 40 °C.

Por otro lado no se han registrado temperaturas de pavimento mayores a 70 °C. Bajo estas consideraciones el ajuste con el modelo exponencial o el sigmoidal no resulta en mayores errores. El error cometido con el modelo exponencial respecto del sigmoidal es menor al 10 % con temperaturas entre 45 y 120 °C.

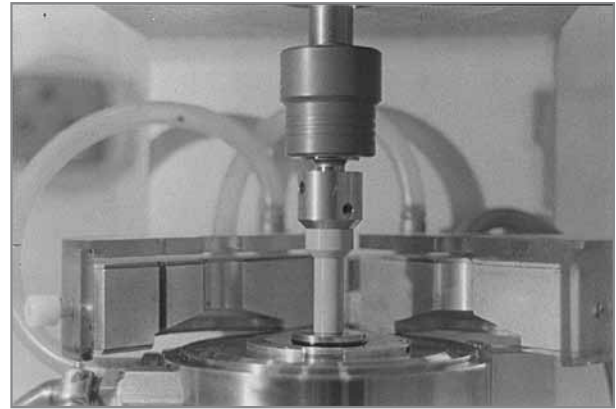


Foto 2. Detalle del reómetro de corte dinámico.

$$0,0034 + \frac{0,1102 - 0,0034}{1 + e^{26,3668 - 12,4836 \cdot \log(T_{at})}} \quad (7)$$

El ligante juega un rol preponderante en el comportamiento frente al ahuellamiento de la mezcla, para una misma temperatura e igual granulometría se observa como el comportamiento difiere dependiendo del ligante, Figura 3; por otra parte para un tipo de ligante el comportamiento cambia en función de la temperatura y además a cada ligante asfáltico le corresponde un único y diferente corrimiento que se aplica a su curva de comportamiento. Esto se corresponde con propiedades que confiere el ligante para resistir el ahuellamiento que dependen de la temperatura. Por tanto es posible relacionar los factores de corrimiento y alguna propiedad del ligante asfáltico.

Una propiedad del ligante asfáltico que se asocia al comportamiento frente a las deformaciones permanentes y que pone en un mismo plano de comparación diferentes ligantes es la viscosidad de corte cero (ZSV por sus siglas en inglés)^(VII) o más recientemente, derivada de la anterior, la "Low shear Viscosity" (LSV)^(IX, a). Tomando en cuenta este razonamiento los corrimientos asociados a un asfalto se pueden relacionar con su LSV. Por tanto se evaluó la LSV de los distintos asfaltos a partir de mediciones en un reómetro de corte dinámico (DSR), Foto 2, aplicando el método de barrido de frecuencias^(X). En la Tabla 5 se observan los valores de LSV obtenidos para las temperaturas estudiadas.

Relacionando los corrimientos dados a cada mezcla con la LSV a la temperatura de 60 °C se obtuvo una buena correlación (Figura 6). El tomar el valor de 60 °C como referencia es debido a que los corrimientos de las diferentes curvas de comportamiento de cada ligante se realizaron alrededor del valor 0,0054 mm/min para la temperatura de ensayo de 60 °C en el equipo de pista.

		LSV [Pa.s]			
		Asfalto	CA	M	PM
T [°C]	50	50	1012,4	3631,1	5998,7
	60	60	252,5	947,5	2642,1
	70	70	83,2	308,1	1257,2

Tabla 5. LSV de los asfaltos a las diferentes temperaturas de ensayo.

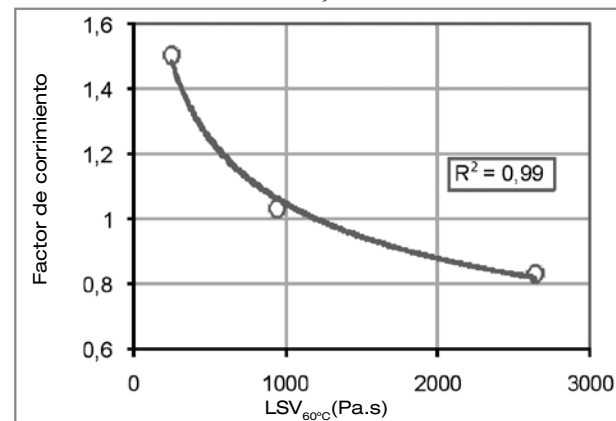


Figura 6. Factores de corrimiento vs LSV a 60 °C

Por otra parte 60 °C es la temperatura especificada en muchos ensayos de ligantes asfálticos. Es interesante como una propiedad del ligante como la LSV, obtenida a partir de un simple ensayo como es el barrido de frecuencias, nos permite inferir un determinado comportamiento frente al ahuellamiento en la mezcla asfáltica.

Las curvas $Vd-T_{at}$ y $corrimientos-LSV$ están relacionadas por la temperatura. Esto no permite construir un gráfico de entradas múltiples como el que se observa en la Figura 7. Allí se agregó a las relaciones anteriormente expuestas la de la $T_{at}-corrimientos$ para diferentes temperaturas. En el cuadro para la relación de la $Vd-T_{at}$ se observan los límites con un 95 % de confiabilidad para nuevas observaciones.

(a) "Low shear viscosity": viscosidad a velocidad de corte baja.

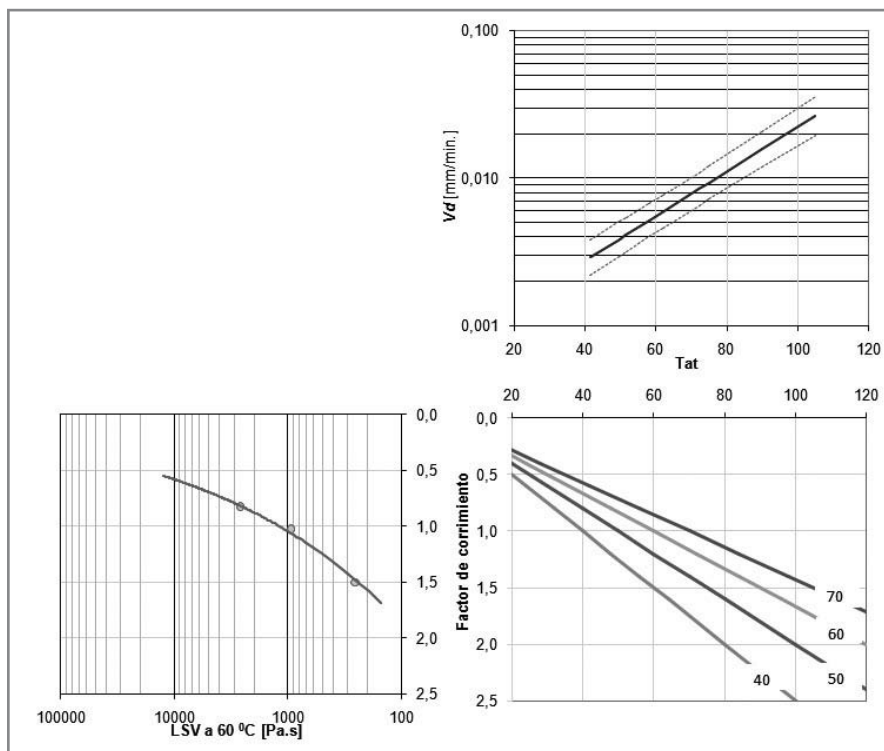


Figura 7. Cuadro de múltiple entrada.

A partir de este cuadro calculando la LSV a 60 °C del asfalto a utilizar en la mezcla se define el valor del factor de corrimiento. Luego dependiendo de la temperatura de ensayo o bien la máxima temperatura del pavimento se intercepta la curva correspondiente y se tiene el valor de la T_{ar} . Con la que finalmente subiendo hasta cruzar la curva se obtiene un valor tentativo de la Vd . Cabe aclarar que este es cuadro esta hecho para una mezcla asfáltica densa, debiéndose estudiar el comportamiento de otros tipos de mezcla como lo son las SMA y los microaglomerados, así como ver el tema de los límites para este tipo de mezclas.

CONCLUSIONES

La performance de una mezcla asfáltica densa elaborada con tres diferentes asfaltos fue estudiada en el ensayo de pista de laboratorio a las temperaturas de 50, 60 y 70 °C. Se tomó en cuenta la variación por temperatura para generar una relación entre el comportamiento frente al ahuellamiento y la temperatura, así como relacionar los estudios en laboratorio con las condiciones reinantes en el camino. Las principales conclusiones se indican a continuación.

Para una granulometría y un contenido de asfalto constante la relación ahuellamiento-temperatura fue diferente

dependiendo del tipo de ligante utilizado en la mezcla. El mejor comportamiento se obtuvo para el asfalto modificado con polímero (PM), seguido por el multigrado (M) y el ligante convencional (CA).

A partir de generar corrimientos de las curvas de comportamiento de cada ligante alrededor de un valor de referencia, como es el límite de comportamiento para mezclas asfálticas densas propuesto en el LEMIT para el ensayo de pista de 0,0054 mm/min, se relacionó el parámetro velocidad de deformación (Vd) en función de la temperatura de manera unívoca.

Los factores de corrección de la Vd para temperatura diferente de 60 °C se definen a partir de aplicar la siguiente ecuación:

$$F_c = 0,1262.e^{0,03486.T}$$

Los corrimientos generados a las curvas de performance en función de la temperatura para cada ligante presentaron una buena relación con una propiedad del ligante como la LSV, que representa de manera eficaz la contribución del asfalto en la resistencia a las deformaciones permanentes.

Se presenta aquí un cuadro de múltiple entrada que relaciona las propiedades del ligante a utilizar en la mezcla, la temperatura de ensayo o del camino con la velocidad de deformación (Vd) obtenida en el ensayo de pista.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea agradecer la valiosa colaboración prestada por el personal de apoyo Ariel Debenedetti, Claudio Veloso, Javier Batic y Jorge Coacci. De igual manera agradecer la colaboración del Dr. Jorge Agnusdei, el Tec. Omar Iosco, los Ingenieros Rosana Marcozzi y Horacio Osio y del becario Gonzalo Castaño.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Especificación Española (2004). Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y Puentes.

- II. Norma NLT 173/84 (1992). "Resistencia a las deformación plásticas de las mezclas bituminosas mediante la pista de ensayo de laboratorio".
- III. Prowell B. (1999). "Development Rutting of Criteria for the Asphalt Pavement Analyzer". International Conference on Accelerated Pavement Testing. Paper CS6-4.
- IV. Norma BS 598 part 110 (1996). "Sampling and examination of bituminous mixture for road and other paved areas – Methods of test for determination of wheel tracking rate".
- V. Bahia H., Hanson D., Zeng M., Zhai H., Khatri M., Anderson R. (2001). "Characterization of Modified Asphalt Binders in Superpave Mix Design". NCHRP report 459.
- VI. Ferry J. (1980) "Viscoelastic Properties of Polymers". John Wiley and Sons, New York.
- VII. Mc Gennis R., Shuler S., Bahia H. (1994). "Background of SUPERPAVE Asphalt Binder Test Methods". FHWA-SA-94-069 report.
- VIII. Sybilski, D. (1996) "Zero Shear Viscosity of Bituminous Binders and Its Relation to Bituminous Mixture's resistance". Transport Res Rec; 1535: p 15- 21.
- IX. Technical Committee CEN/TC 336 Norma prEN 15324 (2006). "Bitumen and Bituminous binders - Determination of equiviscous temperature based on Low Shear Viscosity using a Dynamic Shear Rheometer in low frequency oscillation mode". 2006.
- X. Morea F., Agnusdei J., Zerbino R. (2009). "Comparison of Method for Measuring Zero Shear Viscosity (ZSV) in Asphalts". Mater Struct. Doi: 10.1617/s11527-009-9506-y. 