

XXXVI REUNIÓN ANUAL DEL ASFALTO
2010, Buenos Aires, Argentina

AHUELLAMIENTO. DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA EL CONTROL EN OBRA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

*Angelone S., Martínez F., Cauhapé Casaux M.,
Andreoni R., Andreoni S. y Balestrini G.*

*Laboratorio Vial – Instituto de Mecánica Aplicada y Estructuras I.M.A.E
Fac. de Cs. Exactas, Ingeniería y Agrimensura – Universidad de Rosario
Riobamba y Berutti - (2000) – Rosario – Argentina*

Teléfono 0341-4808538 Interno 136 - Fax: 0341-04808540

Correo Electrónico: sangelon@fceia.unr.edu.ar

Resumen

El Laboratorio Vial del IMAE de la Universidad Nacional de Rosario, en forma continua desde hace más de 40 años, ha llevado a cabo el desarrollo e implementación de diferentes técnicas experimentales, metodologías de evaluación y sistemas de procesamiento y análisis aplicables a la caracterización de materiales viales, y particularmente a partir del año 2005 ha trabajado en la evaluación del comportamiento a deformación permanente de mezclas asfálticas mediante el ensayo de "Rueda cargada". En publicaciones anteriores se presentó un estudio global del comportamiento a la deformación permanente de las mezclas asfálticas, se llevó a cabo un análisis comparativo de procedimientos de laboratorio para evaluar el ahuellamiento de mezclas asfálticas, y se midió la influencia de los factores de carga y de servicio en el ensayo de rueda cargada con vista al diseño de las mezclas asfálticas. En base a la experiencia recabada, y ante la ausencia de una normativa nacional, se propuso como metodología de ensayo en laboratorio la correspondiente a la norma BS EN 12697-22:2003, Parte 22 para probetas pequeñas.

En este trabajo se presenta un nuevo ensayo simple que permite realizar un control de laboratorio respecto a la susceptibilidad a la deformación permanente de mezclas asfálticas que durante la etapa de diseño de la fórmula de obra han sido verificadas con el ensayo de rueda cargada. Con este procedimiento que se propone, se valora la resistencia a la deformación permanente de las mezclas indirectamente mediante un ensayo de punzonado o penetración y su correlación con los resultados del ensayo de rueda cargada realizado previamente. El mismo utiliza probetas tipo Marshall convencionales o testigos calados ensayados con equipos normales en cualquier laboratorio de obra. Se describe el ensayo propuesto así como una metodología para su uso en el control de las mezclas asfálticas.

1 INTRODUCCIÓN

En el diseño y proyecto de la estructura de los pavimentos flexibles es imprescindible poder caracterizar cada uno de los materiales intervinientes.

Esta caracterización abarca dos aspectos: el físico y el mecánico. Poder saber a priori que comportamiento van a tener, por ejemplo, las mezclas asfálticas, ante cargas dinámicas, ante distintas condiciones de carga o factores de servicio, es fundamental para poder dimensionar cada una de las capas y predecir su vida útil.

Una de las fallas más frecuentes que se encuentra en los pavimentos es el ahuellamiento. Este último considera la acumulación de las deformaciones permanentes de todas las capas componentes de la estructura del camino, pero por su importancia relativa, los estudios y verificaciones se han concentrado sobre las mezclas asfálticas destinadas a las capas superiores

Uno de los ensayos más difundidos internacionalmente para diseñar las mezclas asfálticas en este aspecto, es el ensayo conocido como “Ensayo de Rueda Cargada” (ERC) o “Wheel Tracking Test” (WTT), que aunque no es capaz de predecir el ahuellamiento ni es el que más se ajusta a los desarrollos teóricos como lo son por ejemplo el ensayo de Creep Dinámico (DLC) o el Simple Performance Test (SPT), es una buena herramienta para establecer comportamientos de mezclas alternativas y caracterizar comparativamente su aptitud ante el ahuellamiento (1).

El Laboratorio Vial del IMAE diseñó, desarrolló y puso a punto, durante el año 2005, un prototipo del equipo de ensayo del tipo ERC o WTT que se muestra en la Figura 1, (2) (3). El equipo dispone de la versatilidad suficiente para que los ensayos se puedan realizar de acuerdo a la norma BS EN 12697-22:2003: Bituminous Mixtures for Hot Mix Asphalt. Part 22. Wheel Tracking Test de acuerdo al Procedimiento B para probetas pequeñas.

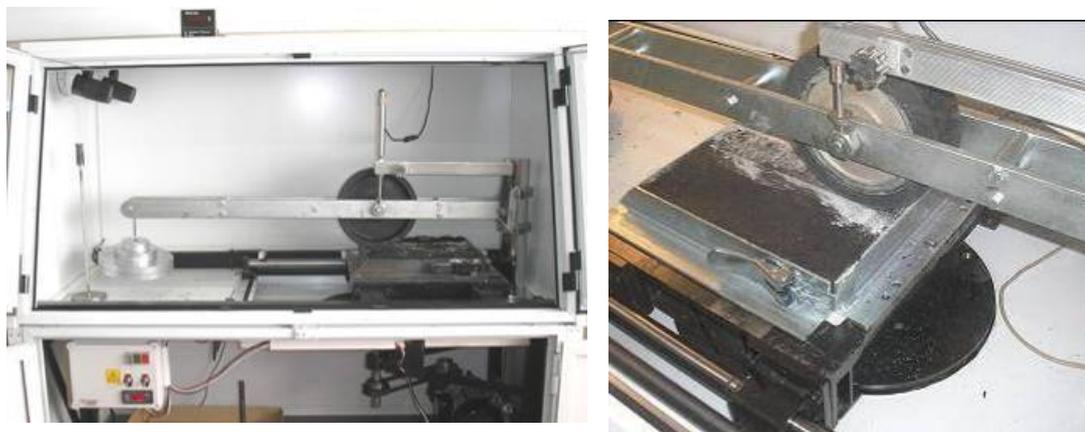


Figura 1: Vista general del equipo WTT del IMAE

2 CONTROL IN SITU

Las mezclas asfálticas son materiales excelentes para la construcción de pavimentos, pero para dadas características de clima, con temperaturas extremas y fuerte insolación, y para fuertes cargas del tránsito, su comportamiento puede ser crítico y se debe estar siempre atento para obtener buenos resultados. No sólo se debe atender este aspecto sólo en la etapa de proyecto de la estructura del pavimento y de las mezclas asfálticas en laboratorio sino también durante la ejecución del pavimento.

Desde este punto de vista es necesario corroborar que las propiedades que se le adjudican a la mezcla realmente se cumplan in situ. Por ello en la etapa de construcción de las capas de mezclas asfálticas del pavimento se requiere un control de calidad de los materiales colocados. Los ensayos nos permiten asegurar y controlar la calidad de las mezclas. En la aplicación del control se debe tener en cuenta, en primer lugar, las propiedades que se deben evaluar e inspeccionar en una mezcla, de acuerdo con su función estructural y funcional en el pavimento, y, en segundo lugar, seleccionar y aplicar los ensayos que estén relacionados con ellos. Además el empleo de los ensayos de control permitirá también defender la calidad del producto frente a terceros

En el presente trabajo nos abocaremos solamente a lo referido al comportamiento a la deformación permanente de las mezclas asfálticas. Además de los ensayos de control de las formulaciones de las mezclas y los materiales en forma individual, es necesario verificar, para este aspecto en particular, que las mezclas asfálticas cumplan con el Ensayo de Rueda Cargada con el fueron diseñadas. Por lo tanto se debe hacer una toma de muestras in situ con el fin de comparar sus propiedades in situ con los valores del ensayo de referencia de WTT de laboratorio.

Particularmente, la toma de una muestra de 300 mm de ancho por 300 mm de largo por 50 mm de espesor directamente de la capa asfáltica mediante calado es casi impracticable y conlleva un procedimiento muy engorroso. En vista a esta problemática se proponen dos metodologías distintas con el fin de llevar a cabo un control de calidad de las mezclas asfálticas en forma más expeditiva. Estas son:

- Calado de probetas y Ensayo de Rueda Cargada
- Calado de probetas y ensayo de Resistencia a la Deformación o Punzonado.

2.1 Control de calidad con el Ensayo de Rueda Cargada

Para el aseguramiento y control de calidad de la obra debe garantizarse la calidad de la muestra, es por ello que el procedimiento de toma de la misma debe ser accesible y estar relacionado con las acciones rutinarias de la obra.

La norma BS EN 12697-22:2003 de acuerdo al Procedimiento B para probetas pequeñas establece que el ensayo debe realizarse sobre una probeta de mezcla asfáltica de 300 mm de largo por 300 mm de ancho y 50 mm de espesor, compactada en laboratorio a densidad prefijada, bajo las siguientes condiciones:

- Temperatura de ensayo: 60 °C
- Una carga aplicada por la rueda de 700 N durante 10000 ciclos o cuando se alcanza una profundidad de huella H de 20 mm, lo que ocurra en primera instancia
- Un recorrido de la rueda de 230 mm
- Una frecuencia de carga de 26 ciclos/min
- Ciclo: dos pasadas de 230 mm de recorrido, una de ida y una de vuelta.

Durante el ensayo se adquieren, en forma automática, para todos los ciclos de carga los valores de las deformaciones sobre 43 puntos dentro de los 100 mm centrales del recorrido de la probeta, y se los promedia para la evaluación de la profundidad de ahuellamiento proporcional, PR_{aire} , y la pendiente media de ahuellamiento, WTS_{aire} , de acuerdo a las ecuaciones 1 y 2 respectivamente.

Se define la Profundidad de ahuellamiento proporcional, PR_{aire} , como la profundidad de la huella, H_i , respecto del espesor de la probeta, expresada en porcentaje $\pm 0,1\%$, para N ciclos de carga:

$$PR_{aire} = \frac{H_i}{h} \cdot 100 \quad [\%] \quad [1]$$

donde,

H_i es la huella o deformación permanente promedio en función del número de ciclos aplicados
 h es el espesor de la probeta en mm.

Y la Pendiente de ahuellamiento, WTS_{aire} , se calcula como:

$$WTS_{aire} = \frac{H_{10000} - H_{5000}}{5} \quad \left[\frac{\text{mm}}{10^3 \text{ ciclos}} \right] \quad [2]$$

donde

H_i es la profundidad de la huella para el ciclo i , en mm.

Por lo tanto y dado que fundamentalmente se mide la deformación sobre los 100 mm centrales se ha propuesto realizar una toma de muestra diferente considerando fundamentalmente que:

- tenga en cuenta las condiciones de ensayo indicadas en la norma citada

- la contención de los testigos sea adecuada y con el mismo material a ensayar para evitar confinamientos diferentes a los del proceso de caracterización de referencia de la mezcla
- la extracción de testigos fuera sencilla
- se aprovechen elementos de extracción de testigos habituales en las obras viales como lo son las “Caladoras rotatorias”, y no requiera de elementos especiales

2.1.1 Procedimiento de calado

El Procedimiento propuesto de toma de muestra o calado de probetas para el ensayo de Rueda cargada (Figura 2) consiste en calar 3 testigos de diámetro $D = 150$ mm de acuerdo al siguiente procedimiento:

1. Trazar un segmento longitudinal AB con una longitud de 31 cm. Realizar una marca claramente visible en los puntos A y B. (Marcar con tiza grasa, para evitar que el agua borre la marca)
2. Trazar una perpendicular en el centro del tramo AB longitudinal, se obtiene el punto C.
3. El punto C corresponde al centro de la primera probeta a calar.
4. Calar las probetas laterales, siendo el borde de corte tangente a las rectas que pasan perpendiculares al segmento AB por los puntos A y B.

De esta forma se logra una probeta central entera y dos probetas parciales laterales. La probeta central es la que se somete al ensayo de acuerdo a la norma y se controla su calidad, mientras que las probetas laterales sirven de contención y reproducen las condiciones tanto in situ como en el ensayo de caracterización de la mezcla de referencia en laboratorio. En la Figura 3 se observa un ejemplo de cómo resultan los testigos calados.

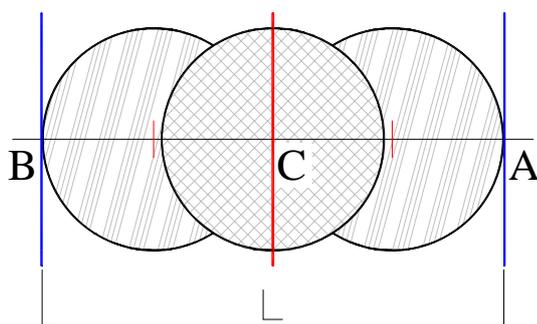


Figura 2: Esquema de calado de probetas



Figura 3: Vistas de probetas caladas

Al estar la estructura del pavimento compuesta por una sucesión de diferentes capas asfálticas, para poder ensayar cada uno de los diferentes materiales, luego en laboratorio, se las separa por aserrado tal como se observa en la Figura 4.

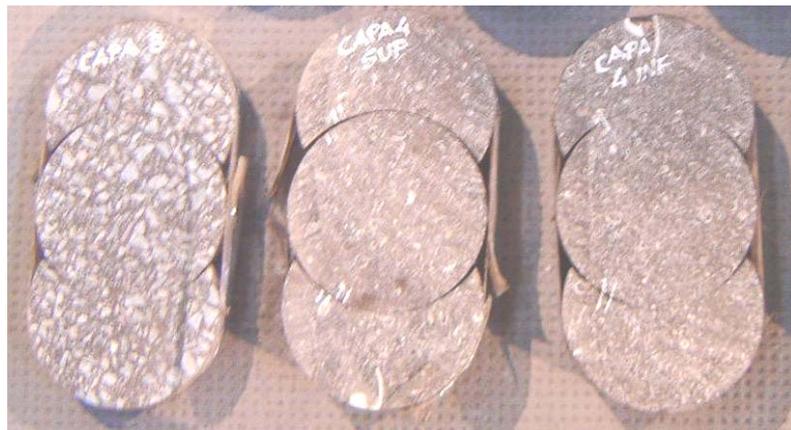


Figura 4: Testigos preparados para el ensayo

2.1.2 Ensayo de rueda cargada

Dado el formato especial y dimensiones que resultan del calado de los testigos se diseñó, construyó y puso a punto un soporte de contención de los mismos para poder sujetar a las probetas durante el Ensayo de Rueda Carga. El mismo consiste en un dispositivo metálico formado por dos piezas que ajustan las probetas y tienen refuerzos laterales con orificios que permiten fijar el mismo a la mesa móvil del equipo de ensayo. La Figura 5 muestra el dispositivo con las probetas colocadas y el conjunto completo durante el ensayo en ejecución y la probeta una vez finalizado el mismo.



Figura 5: Prototipo del dispositivo de sujeción y ensayo de rueda cargada

2.2 Control de calidad con el Ensayo de Resistencia a la Deformación o de “Punzonado”

Como se mencionó en la introducción están disponibles para valorar el comportamiento a la deformación permanente varios ensayos: WTT, SPT, DLC, etc., pero ninguno de ellos miden en forma estática y sencilla esta propiedad, requieren de equipos caros, sofisticados y en algunos casos los procedimientos de ensayo son bastante complejos.

De aquí la necesidad del desarrollo de una metodología a la que la mayoría de los laboratorios puedan tener acceso y que además que sea útil para el control del comportamiento de las mezclas asfálticas in situ, tarea que hasta el presente sólo ha sido parcialmente concretada. En el ensayo de rueda cargada persiste el inconveniente de la duración del mismo y la baja probabilidad de disponer del equipo en obra. También es conocido que los resultados de la estabilidad o la fluencia en el ensayo Marshall no correlacionan satisfactoriamente con los resultados de los ensayos mencionados (4).

El objetivo del presente trabajo está basado en la premisa de encontrar una herramienta sencilla y al alcance de la mayoría de los laboratorios que posibilite un rápido control de obra y que, a su vez, correlacione con los resultados del ensayo de rueda cargada, que es el que se está usando actualmente en nuestro medio.

Como un resultado del estudio de diferentes alternativas se planteó llevar a cabo un estudio experimental, basados en el trabajo realizado, a partir del año 2002 en la Universidad Nacional de Kangwon, en Corea, por el Dr. Kwang W. Kim (4), quien propone un ensayo estático de resistencia a la deformación o

punzonado para la dosificación y comparación de mezclas asfálticas con vistas a su caracterización a la resistencia al ahuellamiento que califica con los requerimientos mencionados.

Esta resistencia a la deformación, denominada S_D , es una propiedad que posee una mejor correlación con los parámetros de ahuellamiento, profundidad de huella y velocidad de deformación, que con cualquier otra propiedad de carga estática de mezclas de concreto asfáltico.

El ensayo para determinarla tiene la ventaja que se puede implementar en una prensa para ensayos Marshall con un cabezal de carga especial y se pueden usar probetas compactadas en laboratorio de tipo Marshall o calada in situ.

Los resultados obtenidos en el estudio del Dr. Kim, para evaluar la correlación de la resistencia a la deformación (S_D) con otros parámetros de la mezcla asfáltica indicaron que este procedimiento es una aproximación aceptable del que se puede obtener información razonable respecto a la tendencia al ahuellamiento de una mezcla asfáltica.

2.2.1 Ensayo de resistencia a la deformación o de “Punzonado”

El objetivo de este ensayo de “Punzonado” es reproducir en laboratorio la carga inducida por el neumático a muy baja velocidad o casi estático, para un estado crítico de altas temperaturas (60 °C) y sobre todo considerar que la dirección de la aplicación de la carga sea la misma que se produce in situ respecto a la de compactación de la capa de mezcla asfáltica, tal como se esquematiza en la Figura 6.

Además, si se tiene en cuenta que una rueda transmite al pavimento una carga a través de una sección aproximadamente circular, y dado que la forma del neumático no es una superficie plana sino que éste tiene “hombros” o forma redondeada en sus bordes, y que esta situación influye en la distribución de tensiones de compresión y corte en la capa del pavimento (Figura 7), la misma situación debe reproducirse en laboratorio al aplicar cargas sobre una probeta de mezcla asfáltica con el fin de representar el mismo estado de tensiones impuestas in situ.

Para ello se diseña un vástago o cabezal de carga con una sección proporcional a la del neumático. Sus características provienen del análisis de sensibilidad de la S_D , efectuada en el estudio de Young S. Doh et al, 2007, del cual surge que tanto “D” como “r” son variables importantes en el análisis de sensibilidad, no siendo así el diámetro de la probeta, dado que no se encontraron diferencias significativas entre los resultados de la resistencia a la deformación para los diámetros de 150 o 100 mm. De ello se llega a que tanto para probetas de 150 mm o 100 mm de diámetro las dimensiones más apropiadas para este vástago son un diámetro “D” de 40 mm y bordes con una curvatura correspondiente a un radio “r” de 10 mm (Figura 8).

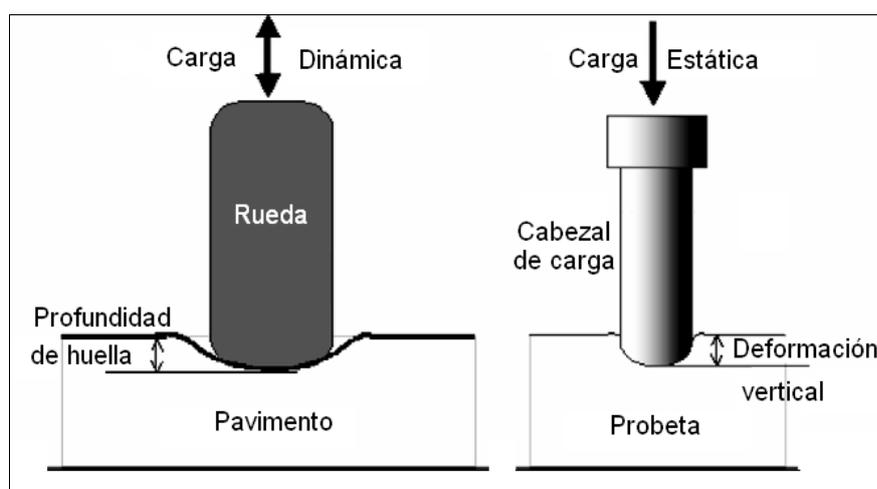


Figura 6: Comparación de las formas del neumático y el cabezal de carga

Otra variable significativa es la velocidad de aplicación de la carga. Inicialmente el ensayo se llevó a cabo a una velocidad de carga de 50.8 mm/min correspondiente a la velocidad del ensayo Marshall, luego Sung Hyun Baek et al, 2009 (5) en su investigación analiza la variación de los valores de S_d dentro de un rango de velocidades de carga entre 10 y 70 mm/min, concluyendo que la velocidad donde mejor correlaciona el valor de la resistencia a la deformación con los resultados del ensayo de rueda cargada es para 30 mm/min, y que S_d disminuye a medida que se reduce la velocidad de carga.

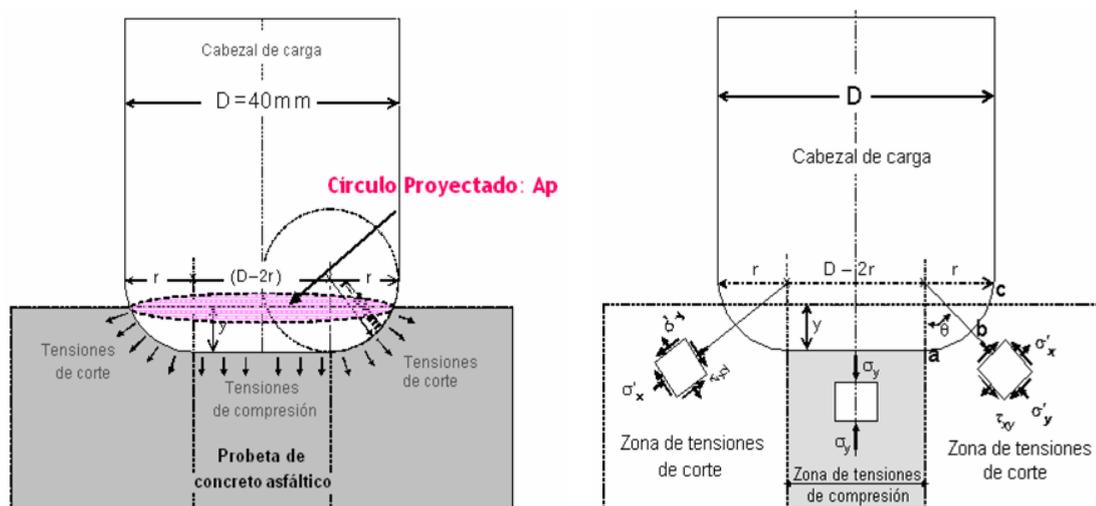


Figura 7: Sección del vástago de carga

Por lo tanto, el ensayo consiste en aplicar a una probeta de mezcla asfáltica una carga, a una velocidad establecida, hasta alcanzar la rotura de la misma a 60 °C de temperatura: el vástago se introduce en la mezcla asfáltica provocando una deformación “y” cuando se aplica la carga P; se registra la

evolución tanto de la carga como de la deformación “y” durante el ensayo tal como se muestra en la Figura 9.



Figura 8: Diferentes vástagos estudiados por Young S. Doh et al.

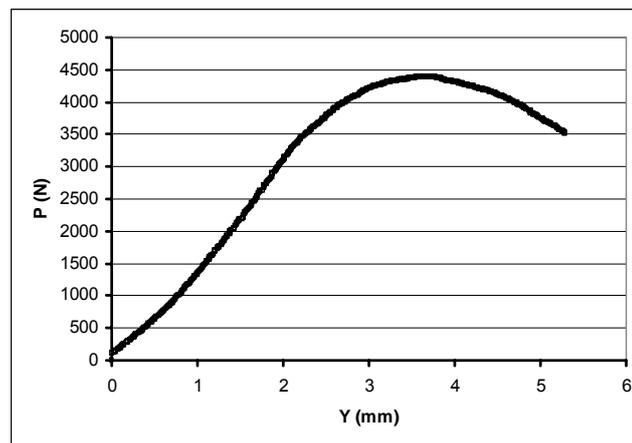


Figura 9: Curva carga vs deformación del ensayo de punzonado

2.2.2 Cálculo de la resistencia a la deformación S_d

Una vez obtenida, de la curva de la Figura 9, la carga máxima P que produce la falla, es posible calcular la resistencia o tensión de deformación como:

$$S_d = \frac{P}{A_p} \quad [3]$$

El área transversal (A_p) del vástago, para D y r determinados, es variable en función de la profundidad que penetra el mismo dentro de la probeta, por lo tanto A_p es una función de la deformación “y” que sufre la probeta, variando entre un mínimo que corresponde a $y = 0$ hasta un área máxima para $y = r$, ecuación [4].

$$A_p = \frac{\pi}{4} \left[D - 2 \left(r - \sqrt{2 \cdot r \cdot y - y^2} \right) \right]^2 \quad [4]$$

Para el caso particular de $D= 40$ mm y $r=10$ mm, el área resulta

$$A_p = \pi \left[10 + \sqrt{20 \cdot y - y^2} \right]^2 \quad [5]$$

Remplazando en la ecuación [3] resulta:

$$S_d = \frac{0,32 \cdot P}{\left[10 + \sqrt{20 \cdot y - y^2} \right]^2} \quad [6]$$

Donde:

S_d : Resistencia a la deformación en (MPa.);

P : máxima carga de falla (N);

A_p : área del círculo proyectado

D : Diámetro (mm) del cabezal de carga

r : radio (mm) de curvatura en la base del cabezal de carga

y = deformación vertical (mm.) de la probeta para $y < r$, mientras que para $y > r$, $y = r = 10$.

2.2.3 Programa experimental

El Laboratorio Vial del IMAE diseñó, desarrolló y puso a punto un prototipo del equipo de ensayo de punzonado que se muestra en la Figura 10, en él se observa que el mismo consiste en dos platos de acero paralelos, en el inferior, en bajo relieve, están indicadas las posiciones para ubicar tanto probetas de 100 y 150 mm indistintamente, mientras que en el superior se adosa un tubo de acero que permite guiar al vástago de carga durante el ensayo para que el mismo no se desvíe.

El conjunto se ubica en la prensa Marshall para la aplicación de la carga. La adquisición de datos se realiza en forma electrónica y luego son volcados automáticamente a una planilla de cálculo.

Como el fin de esta investigación es la propuesta de un control expeditivo en obra de las mezclas asfálticas se propone como velocidad de aplicación de cargas la correspondiente al ensayo Marshall, 50.8 mm/min, más allá de lo informado en el punto 2.2.1. Esto evita la descalibración de la prensa y la posibilidad del uso simultáneo de la misma para ambos ensayos.



Figura 10: Dispositivo y Cabezal de ensayo

Para satisfacer el objetivo planteado se diseñó un plan experimental donde se estableció que para cada mezcla asfáltica o para una misma mezcla y distintos grados de compactación se efectuara el siguiente protocolo (Figura 11):

1. Las mezclas asfálticas se compactan en probetas de 300 mm x 300 mm x 50 mm, de manera de garantizar que para ambos ensayos tengan las mismas condiciones de para una misma mezcla, por duplicado.
2. Se lleva a cabo el ensayo de rueda cargada de acuerdo a la norma BS EN 12697-22:2003: Bituminous Mixtures for Hot Mix Asphalt. Part 22. Wheel Tracking Test de acuerdo al Procedimiento B para probetas pequeñas, en dos líneas, central y lateral, sobre una misma probeta.
3. Se calcula la Profundidad de ahuellamiento proporcional, PR_{aire} (ecuación 1) y la Pendiente de ahuellamiento, WTS_{aire} (ecuación 2), y se los promedia para cada probeta, de manera que se obtienen dos valores para cada condición de ensayo.
4. Sobre la mitad de la probeta no ensayada se calan dos probetas de 100 mm de diámetro cada una.
5. Las probetas obtenidas se mantienen durante 30 minutos en un baño de agua a 60 °C y luego se las ensaya en la prensa Marshall con una velocidad de 50.8 mm/min.
6. Se calcula la Resistencia a la deformación, S_d (ecuación 6), se promedian los resultados de ambas probetas.
7. Se establece la correlación entre los resultados obtenidos

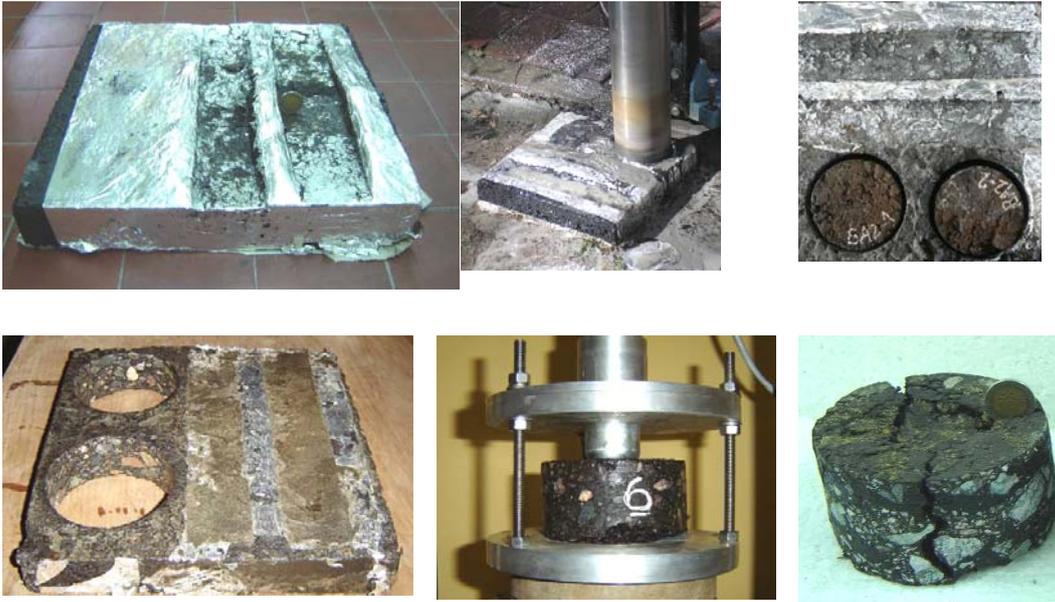


Figura 11: Secuencia de ensayos

2.3 Análisis de resultados

Se sometieron a los ensayos de rueda cargada y resistencia a la deformación, siguiendo el protocolo establecido, un total de 12 mezclas, para algunas de ellas se varía su grado de compactación en un rango amplio entre el 90 % y el 100% de la densidad Marshall de referencia, a los efectos de manifestar la influencia de este parámetro en el estudio y confirmar la posibilidad de un control en laboratorio.

A título de ejemplo se analiza el comportamiento que presenta una mezcla asfáltica compuesta por agregados basálticos con asfalto modificado y variando el grado de compactación de la mezcla. En la Figura 12 se correlacionan los resultados obtenidos de la Profundidad de ahuellamiento proporcional, PR_{aire} a través del ensayo de rueda cargada luego de 10000 ciclos de carga respecto a la Resistencia a la deformación, S_d . Se observa que es una mezcla que para la condición del 100% de densidad tiene un buen comportamiento a la deformación permanente, pero la deformación aumenta al disminuir el grado de compactación. También se muestra que existe un buen grado de correlación ($R^2 = 89\%$) entre los valores de PR_{aire} y S_d .

Con la misma metodología se presenta en la Figura 13 la comparación para el total de muestras ensayadas, se evidencia la misma tendencia general que para una mezcla en particular.

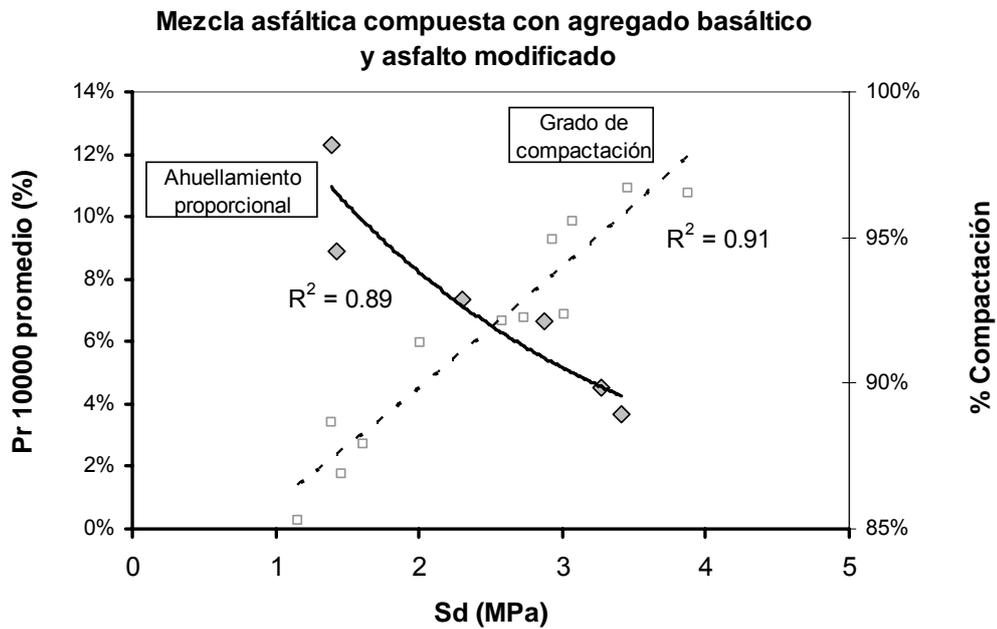


Figura 12: Comparación de la Profundidad de ahuellamiento proporcional, PR_{aire} , versus la Resistencia a la deformación, S_d , para distintos grados de compactación de la mezcla

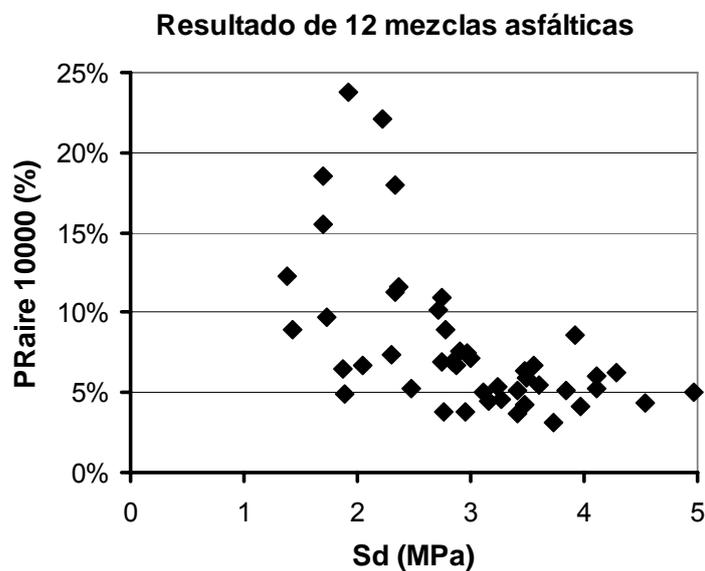


Figura 13: Comparación de la Profundidad de ahuellamiento proporcional, PR_{aire} versus la Resistencia a la deformación, S_d , para las 12 mezclas asfálticas

2.4 Verificación in situ

Con el fin de proceder a la verificación de la metodología presentada se aplica para una de las mezclas asfálticas estudiadas ambos procedimientos, por lo tanto se calan del pavimento probetas de acuerdo a la Figura 2 y probetas de 100 mm de diámetro al lado de las anteriores. Se llevan a cabo entonces los ensayos de rueda cargada y el de punzonado respectivamente. Los resultados alcanzados se muestran en la Tabla 1, y en la Figura 14 se comparan con los obtenidos mediante el ensayo de probetas confeccionadas en laboratorio, de acuerdo a lo expresado en el punto 2.2.3. Se aprecia que los valores registrados cumplen con los de referencia de diseño.

Tabla 1

Sd (MPa)	PR _{aire} (%)
4.938	4.40
5.526	5.10

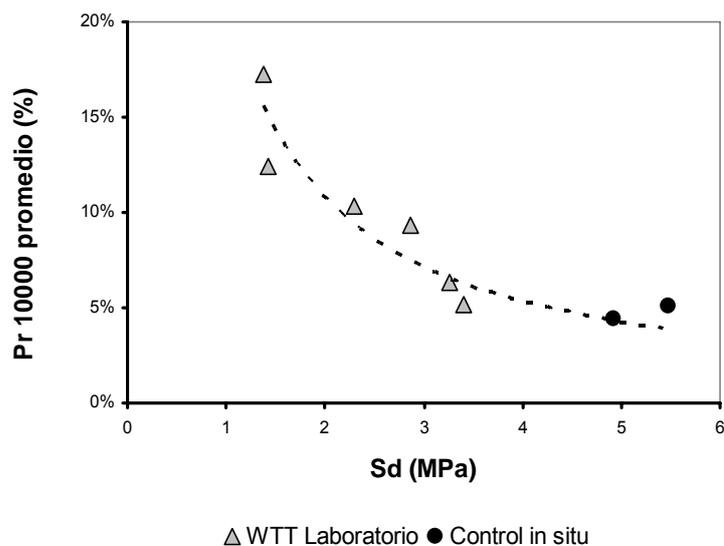


Figura 14: Verificación in situ

3 CONCLUSIONES

En el presente trabajo se han presentado dos metodologías de toma de muestras y control de la calidad de las mezclas asfálticas a la deformación permanente:

- Calado de probetas y Ensayo de Rueda Cargada
- Calado de probetas y ensayo de Resistencia a la Deformación o Punzonado.

Ambas son posibles de ponerse en práctica en forma inmediata. Para la primera es necesario el uso de un equipo más complejo como el de rueda cargada y la duración del ensayo es de más de 10 horas, mientras que la segunda es menos dificultosa, se puede implementar en obra y la duración del ensayo es equivalente a la de la estabilidad Marshall.

En cuanto a la confianza en los resultados obtenidos con vistas a un control “pasa - no pasa” de la mezcla asfáltica, es necesario manifestar que con la primera metodología se tiene un respaldo mayor que con la segunda por el momento.

Los resultados obtenidos en el estudio para evaluar la correlación de la resistencia a la deformación (Sd) con la Profundidad de ahuellamiento proporcional del ensayo WTT de las mezclas asfálticas estudiadas indicaron que este procedimiento es una aproximación aceptable que brinda información razonable respecto a la tendencia al ahuellamiento de una mezcla asfáltica. Pero es necesario recabar mayor información del ensayo de punzonado propuesto, antes de ser usado como una herramienta de control in situ, por el momento puede considerarse como un “ensayo de alerta” y obrar en consecuencia.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) **Deformación Permanente de Mezclas Asfálticas.** S. Angelone, Mter F. Martínez, E.Santamaría, E. Gavilán y M. Cauhapé Casaux, Reporte Técnico de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la UNR, RT-ID 06 02, agosto 2006. Página Web de la FCEIA-UNR.
- (2) **Análisis Comparativo de Procedimientos de Laboratorio Para Evaluar El Ahuellamiento de Mezclas Asfálticas.** Silvia Angelone, Fernando Martínez y Marina Cauhape Casaux. XXXIV Reunión Anual del Asfalto, ISBN 978-950-630-022-7/978-950-630-024-1 – Mar del Plata – 2006.
- (3) **Influencia de los factores de carga y de servicio en el ensayo de rueda cargada.** S. Angelone, F. Martínez, M. Cauhape Casaux, R. Andreoni y D. Lostumbo. 14º Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto, Cuba, 2007 y XXXV Reunión Anual del Asfalto, Rosario, 2008.
- (4) **Framework for developing a static strength test formeasuring deformation resistance of asphalt concrete mixtures.** Young S. Doh, Kyong K. Yun, Serji N. Amirkhanian, Kwang W. Kim, Construction and Building Materials 21 (2007) 2047–2058
- (5) **Optimum loading speed for deformation strength test of bitumen mixtures.** Sung Hyun Baek, Jim C. Kim, Young S. Doh y Kwan W. Kim. Advanced Testing and Characterization of Bituminous Materials - The 7th Int. RILEM Symposium - Taylor y Francis Group, London, Greece. 2009