



PRE-XVII CONGRESO ARGENTINO
de Vialidad y Tránsito

8º EXPOVIAL ARGENTINA

3 AL 6 DE NOVIEMBRE 2014

HOTEL PANAMERICANO - Buenos Aires, Argentina



“Retrospectiva del problema del ahuellamiento según la CPA”



FACULTAD DE
CIENCIAS EXACTAS,
INGENIERIA Y AGRIMENSURA

Fernando Martínez

Laboratorio Vial

*Instituto de Mecánica Aplicada y Estructuras
Fac. de Cs. Exactas, Ingeniería y Agrimensura*

Universidad Nacional de Rosario

Imæ

X CONGRESO INTERNACIONAL ITS

X SIMPOSIO DEL ASFALTO

II SEMINARIO INTERNACIONAL DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN



X Congreso
Internacional ITS



X SIMPOSIO
DEL ASFALTO



www.congresodevialidad.org.ar

Objetivo de la presentación

Efectuar un análisis retrospectivo de trabajos publicados en reuniones de la CPA sobre el ahuellamiento en mezclas asfálticas

AÑO
1990

Año 1990: Pliego de Condiciones Particulares para la Concesión de Obras Viales

“...El Índice de Estado de la calzada deberá ser igual o superior a seis (6) y el Índice de Serviciabilidad Presente (ISP) igual o superior a dos con ocho décimas (2.8)....

....Los parámetros que intervienen en la determinación del IE tienen como valores máximos:

Ahuellamiento: 12 mm (Regla de 1,20 mts.)....”



Mayor preocupación en el diseño de mezclas convencionales
Técnicas de “borrado” de huellas y microaglomerados
Mezclas más adaptadas

Caracterización de la respuesta a la deformación permanente de mezclas asfálticas. Ahuellamiento con el ensayo de corte simple

Tanco y otro. UN Córdoba

Objetivo: Desarrollar una metodología de ensayos de corte simple con distintas secuencias de estados de tensión aplicada. Estudiar la influencia de ligantes convencionales y modificados.

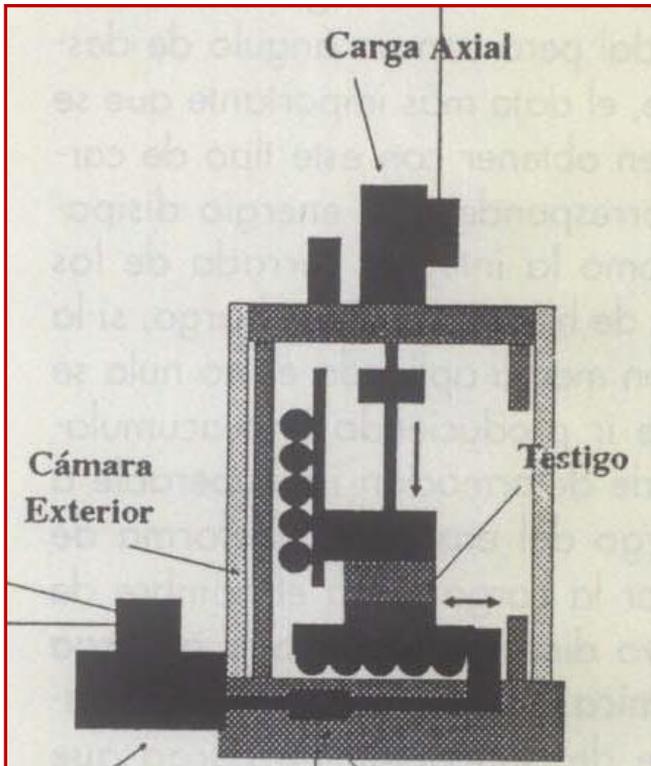
Conclusiones:

“... A mayor módulo resiliente (menores deformaciones recuperables) mayor resistencia a las deformaciones permanente.

El ensayo de corte es representativo del mecanismo por el cual se produce el ahuellamiento.

El ensayo de corte con cargas repetidas es lo suficientemente sensitivo como para evaluar el comportamiento diferente producido por la incorporación de polímeros.

La deformación permanente es sensible respecto a la secuencia de aplicación de cargas...”





X SIMPOSIO
DEL ASFALTO



1992 XXVII Reunión

**Caracterización de asfaltos modificados con polímeros
Agnusdei y otros - LEMIT**



1992 XXVII Reunión

**Caracterización reológica de mezclas asfálticas mediante
el ensayo de tracción indirecta con cargas repetidas
Martínez y otros - IMAE**

Influencia de la temperatura en las deformaciones de las mezclas asfálticas *Agnusdei y otros. LEMIT*

Objetivo: Estudiar la influencia de distintas temperaturas de ensayo en los resultados del WTT

Mezclas con asfaltos convencionales y modificadas con SBS y EVA ensayadas a 50, 60 y 70 °C en el WTT

Conclusiones:

“... El uso de polímeros mejora de forma considerable la resistencia a las deformaciones a cualquiera de las temperaturas ensayadas pero esta acción se ve acrecentada a medida que aumenta la temperatura, principalmente entre 50 y 60°C.

Se pone en evidencia la influencia de la viscosidad del ligante en las medidas de las deformaciones (al aumentar la consistencia de los asfaltos se reducen las deformaciones) pero asfaltos de alta viscosidad o fillerizados pueden presentar problemas de comportamiento a bajas temperaturas.....”

Utilización de microaglomerados en frío y lechadas asfálticas como corrección de ahuellamientos

Campo - Cleanosol

Objetivo: Presentar intervenciones de carácter superficial para devolverle a la calzada sus características geométricas originales

Combinación de texturizado y relleno de huellas. Análisis del tamaño máximo del agregado para reducir el efecto de amasado.



Conclusiones:

“... Estas no son soluciones definitivas a los ahuellamientos sino que mejoran sustancial y temporalmente la transitabilidad de la calzada con mayor confort y seguridad para el usuario...”



X SIMPOSIO
DEL ASFALTO

2000 XXXI Reunión

Multiphalte: El asfalto económicamente eficaz para combatir el ahuellamiento

Conferencia del Ing. C. ROBERTUS - Shell

2002 XXXII Reunión

El efecto de la temperatura del RTFOT en el parámetro de resistencia al ahuellamiento Osio - LEMIT

2002 XXXII Reunión

Estudio comparativo de asfaltos resistentes al ahuellamiento. (Parte II) losco y otros LEMIT - YPF

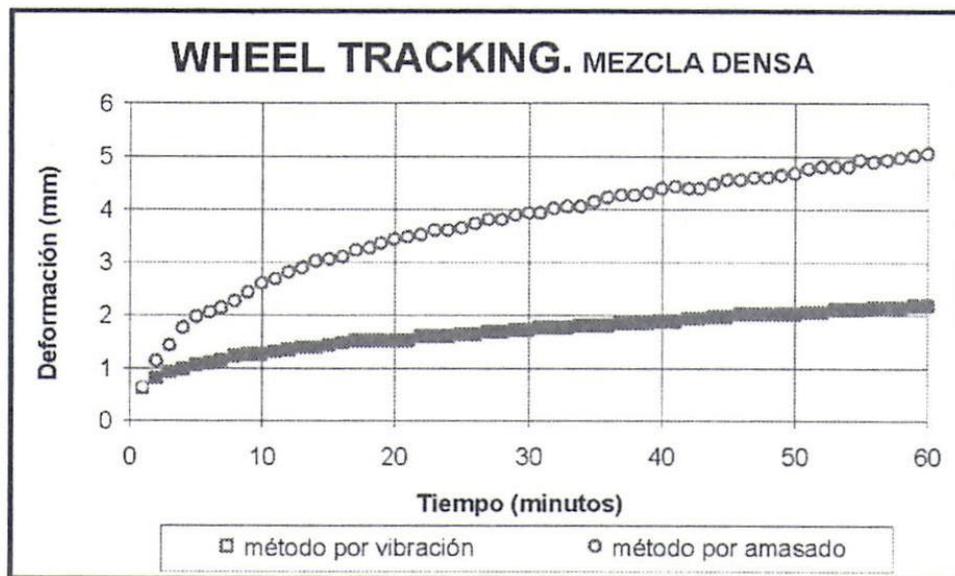
2002 XXXII Reunión

Resistencia a la deformación en las mezclas asfálticas: su evaluación Francesio

Evaluación de ahuellamiento en nuevas mezclas asfálticas compactadas por diferentes metodologías Balige y otros – YPF - LEMIT

Objetivo: Evaluar distintas metodologías de compactación en laboratorio de probetas a ser ensayadas en el WTT para diferentes mezclas asfálticas

1. Compactación mediante el Roller Compactor (CEN 12697-33)
2. Compactación vibratoria con pisón de 80 x 80 mm de superficie



Conclusiones:

“...Obtención sistemática de menores valores de ahuellamientos para las probetas moldeadas por la metodología de amasado con el Roller Compactor para todas las mezclas analizadas.”

Las diferencias se reducen para mezclas tipo F-10 y S-20...”



X SIMPOSIO
DEL ASFALTO



2004 XXXIII Reunión

Aplicación de la viscosidad a corte cero a las medidas de deformaciones y temperaturas óptimas de mezclado y compactación de mezclas bituminosas con asfaltos modificados

Agnusdei y otros - LEMIT



2004 XXXIII Reunión

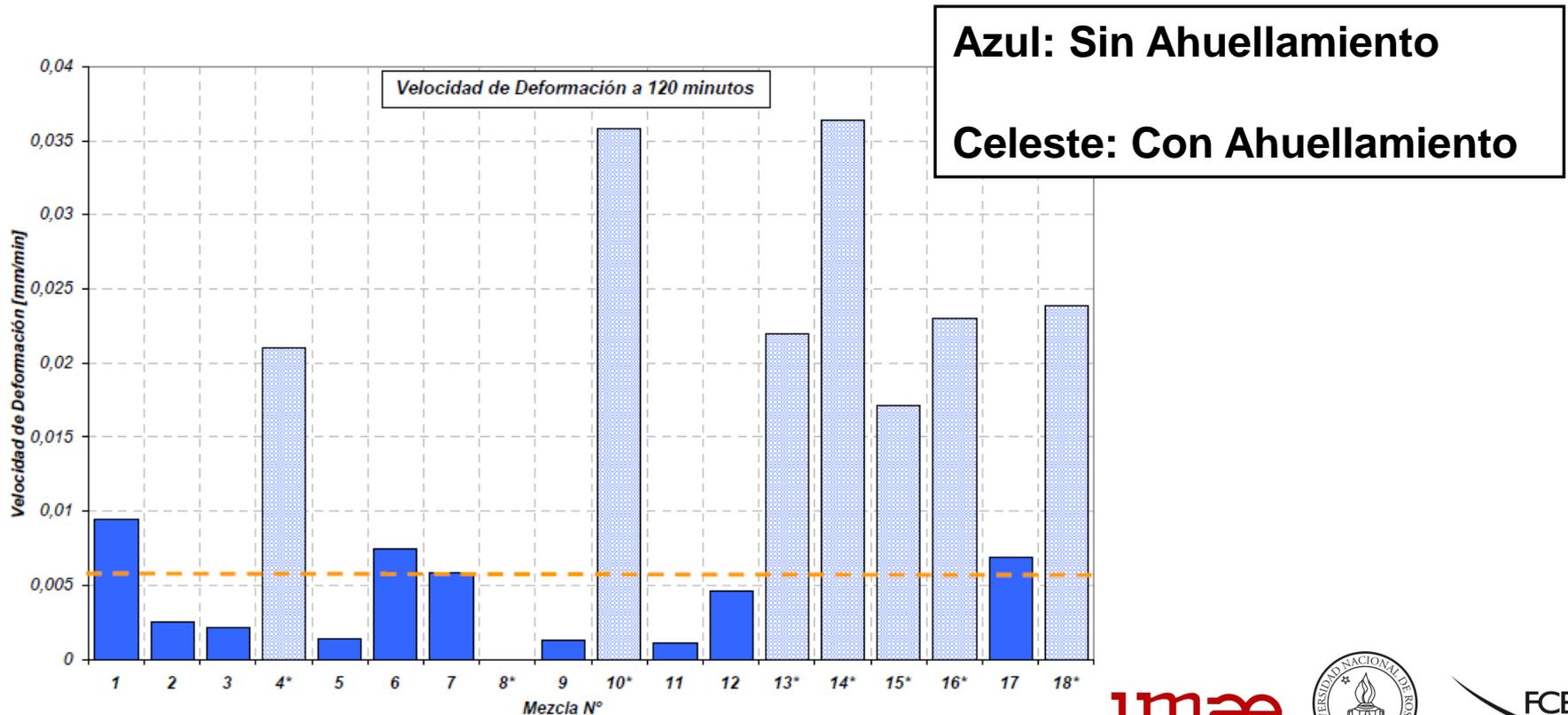
Medidas de ahuellamiento y daños por humedad en mezclas asfálticas

Agnusdei y otros - LEMIT

Correlación entre medidas de ahuellamiento “in situ” y ensayos de laboratorio

Agnusdei y otros. LEMIT

Objetivo: Evaluar resultados obtenidos a intervalos periódicos de observaciones “in situ” de los ahuellamientos que se producen y simultáneamente tomar muestras del pavimento y ensayarlas en el laboratorio.



Conclusiones:

“...Para que las mezclas no sean deformables, las velocidades de deformación no deberían ser superiores a 0,0093 mm/min lo que equivale a Estabilidades dinámicas superiores a los 4500 pasadas/mm.

Estos valores son válidos para el equipo empleado con una carga de 520 Newtons (53 kg), una temperatura de 60° C y un tiempo de ensayo de 60 minutos, lo que equivale aproximadamente a una velocidad de deformación superior a 0,0052 mm/min o una estabilidad dinámica superior a 8000 pasadas/mm, para un tiempo de ensayo de 120 minutos.....”



2006 XXXIV Reunión

Análisis comparativo de procedimientos de laboratorio para evaluar el ahuellamiento de mezclas asfálticas

Angelone y otros. IMAE

Objetivo: Realizar un análisis comparativo de los distintos procedimientos desarrollados en otros países para evaluar el ahuellamiento en las mezclas asfálticas mediante los ensayos de Wheel Tracking a fin de evaluar la conveniencia de adoptar en nuestro país alguno en particular.

Análisis de 7 Normas de ensayo diferentes y evaluación de similitudes y diferencias

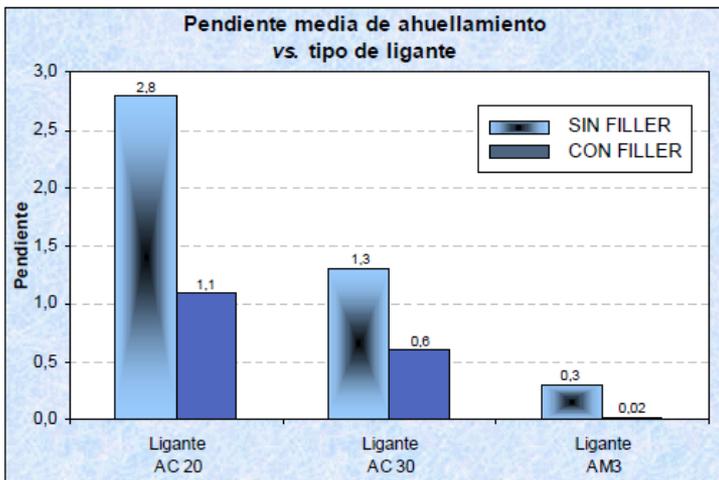
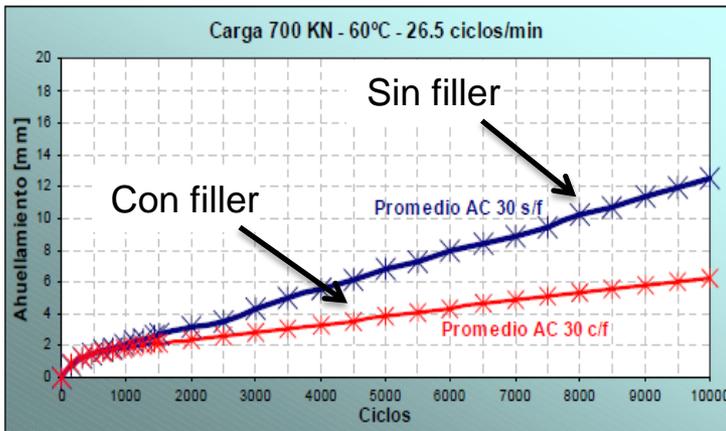
Conclusiones:

“...Se pone de manifiesto la necesidad de compatibilizar y armonizar la forma de trabajo en la determinación de la deformación permanente a través de ensayos Wheel Tracking Test en nuestro país, proponiéndose un “Interlaboratorio” entre los diferentes laboratorios que poseen el ensayo en funcionamiento (LEMIT, REPSOL-YPF, LAPIV, IMAE) y los que se están poniendo a punto, con el fin de llegar a proponer una norma nacional de aplicación.....”

influencia ejercida por el filler y ligante en la resistencia a las deformaciones plásticas, en mezclas asfálticas

Daguerre y otro. LAPIV

Objetivo: analizar el comportamiento de una mezcla densa en caliente con y sin filler de aporte y dos tipos de ligantes manteniendo una misma graduación granulométrica.



Conclusiones:

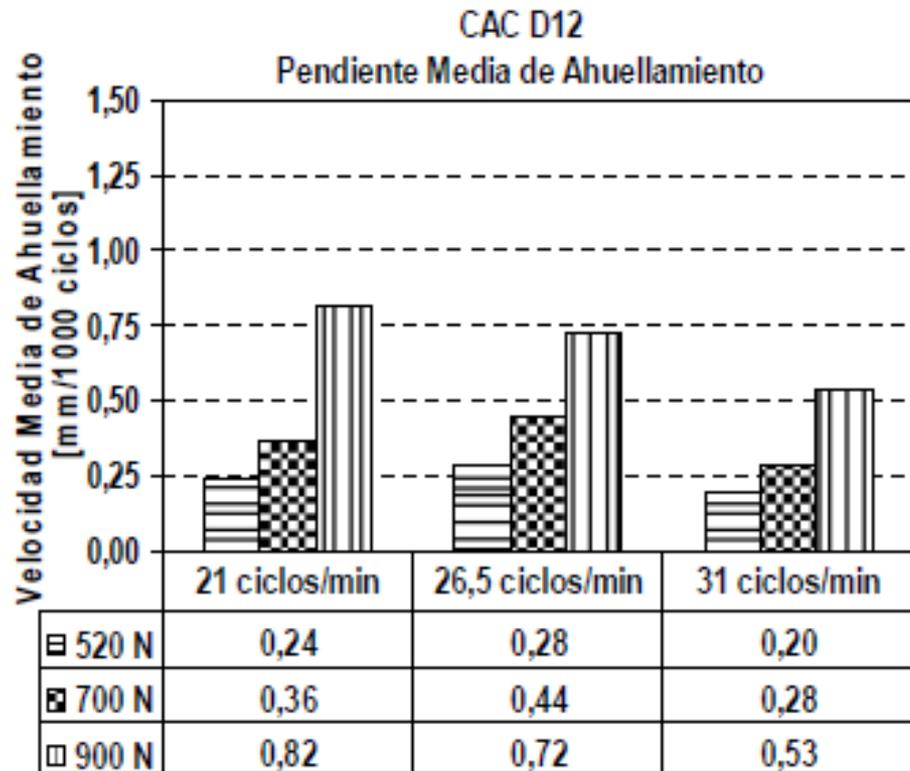
“...Las probetas elaboradas con ligantes modificados con polímeros del tipo SBS con y sin filler, muestran una respuesta resistente excelente ante el paso de la rueda cargada.....”

Con la finalidad comenzar a recabar antecedentes con los materiales y formulaciones que se efectúan con las mezclas argentinas, se considera conveniente incorporar el ensayo de pista en los nuevos pliegos de obra, como de realización obligatoria, en todas las capas de rodamiento y bases asfálticas superiores....”

Influencia de la carga y su tiempo de aplicación en concretos asfálticos, medido a través del ensayo de pista

Daguerre y otro. LAPIV

•Objetivo: Poner en evidencia la variación en la respuesta resistente, que presentan los concretos asfálticos densos cuando son sometidas a cargas y velocidades de aplicación variables y elevadas temperaturas mediante el paso de una rueda cargada.

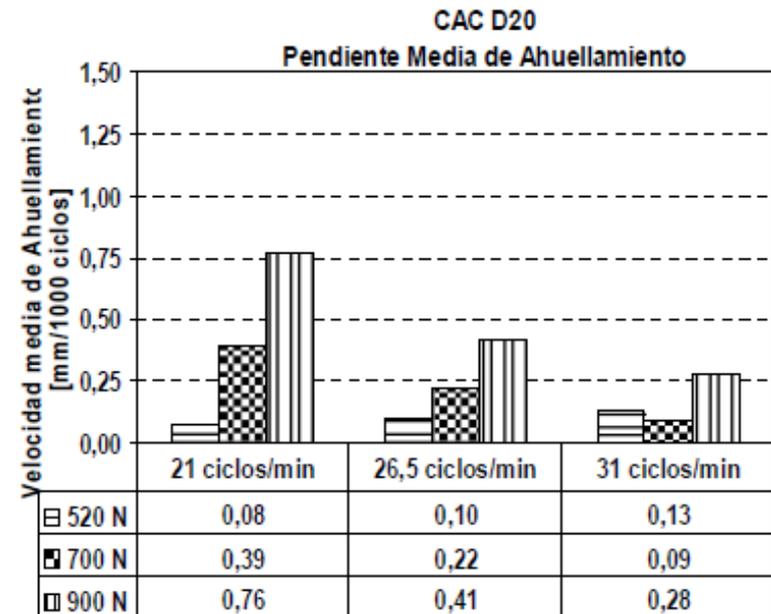


Influencia de la carga y su tiempo de aplicación en concretos asfálticos, medido a través del ensayo de pista

Daguerre y otro. LAPIV

Conclusiones:

- *“...A medida que aumenta el nivel de tensión aplicada o disminuye la frecuencia de aplicación, se incrementa el ahuellamiento..*
- *Las velocidades de deformación presentan un comportamiento errático: para cargas bajas son relativamente bajas y poco sensible a la frecuencia de aplicación. Para las cargas altas, las bajas velocidades de aplicación producen un incremento de la velocidad de deformación.....*
- *Las mezclas con menor $T_{m\acute{a}x}$. evidencian tener una menor capacidad estructural, para resistir los esfuerzos de corte y deformarse proporcionalmente en forma mas importante....”*

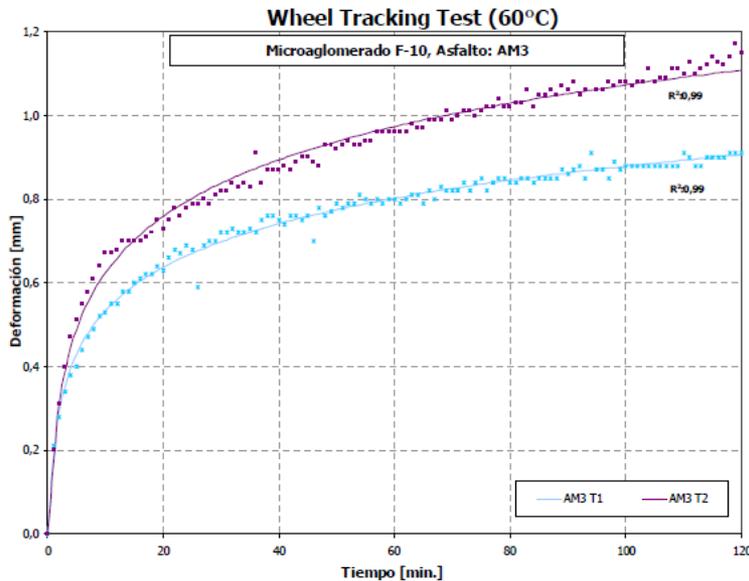


Efecto sobre el ahuellamiento de las temperaturas de preparación y compactación de mezclas preparadas con asfaltos modificados

Agnusdei y otros. LEMIT

Objetivo:

Estudiar el comportamiento frente al ahuellamiento de distintos tipos de mezclas preparadas con **asfaltos modificados** preparadas a distintas temperaturas óptimas de mezclado y compactación.



Conclusiones: “...Los resultados obtenidos muestran que es posible lograr una disminución en las temperaturas sin afectar las propiedades finales de las mezclas con el beneficio de disminuir los riesgos de alteración de los polímeros....”

Se sugiere tomar como referencia las viscosidades de 0,75 y 1,4 Pas para calcular en laboratorio las temperaturas de fabricación y compactación de las mezclas preparadas con asfaltos modificados con polímeros....”

Ahuellamiento y Viscosidad de Corte Cero (ZSV) *Morea. LEMIT*

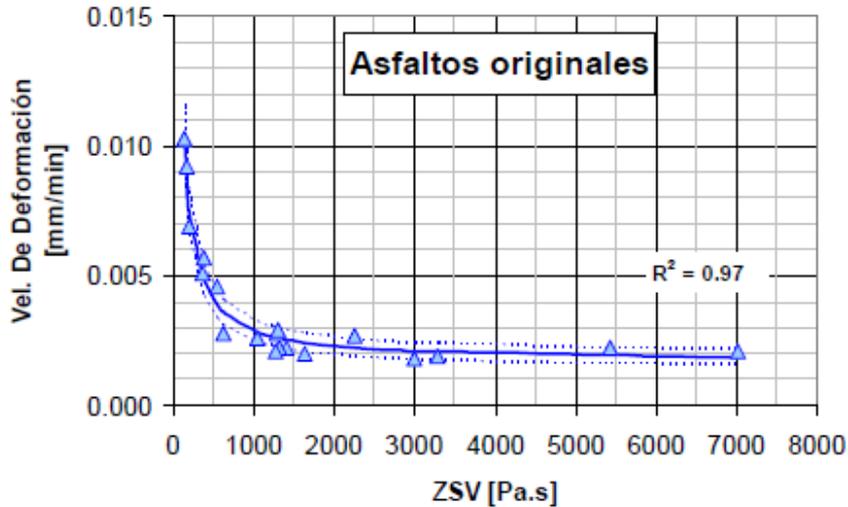
La viscosidad de los asfaltos es dependiente de la velocidad de fluir . A muy bajas velocidades de flujo, el comportamiento de los asfaltos es menos complejo y la viscosidad se hace independiente de la velocidad de fluir

Viscosidad de Corte Cero (ZSV): viscosidad de los asfaltos a una velocidad de fluir teóricamente nula.

ZSV es una propiedad clave que determina la contribución del ligante asfáltico en el proceso de deformaciones permanentes del pavimento.

Objetivos: Definir umbrales de ZSV que deberían tener los asfaltos a las temperaturas de servicio de manera que la mezcla no sea susceptible de sufrir ahuellamientos excesivos.

Ahuellamiento y Viscosidad de Corte Cero (ZSV) Morea. LEMIT



Original	RTFOT
ZSV _{media} [Pa.s]	ZSV _{media} [Pa.s]
330	480

Conclusiones:

“.... La ZSV clasifica eficientemente el aporte de los diferentes ligantes argentinos estudiados en la resistencia al ahuellamiento de una mezcla asfáltica densa indistintamente de sean asfaltos convencionales o modificados.

Se proponen valores de ZSV para la caracterización de asfaltos argentinos en el rango de temperaturas altas a para evitar la aparición de ahuellamientos en los pavimentos argentinos.

Ahuellamiento prematuro de los pavimentos asfálticos *Francesio*

Desarrollo de una metodología experimental de laboratorio para evaluar la resistencia al ahuellamiento de mezclas asfálticas mediante un ensayo de punzonado con contención lateral. Se propone un test que equivale a una conjunción de Valor Soporte y Estabilómetro que mide la resistencia a la penetración del pistón de 5 cm de diámetro y la presión lateral que se trasmite como pauta de inestabilidad.



*“...La resistencia al corte en un concreto asfáltico es fundamental para oponerse a la deformación irrecuperable y ello se refleja en el mayor peso que la concede el SHRP a la estructura granular del mismo por su aporte friccional sin desconocer la incidencia del stiffness del ligante asfáltico.
La falla menos atendida o si se quiere peor controlada al presente es el ahuellamiento, sea por falta de un ensayo que lo verifique realmente o por no aplicar exigencias que hacen a esta deficiencia..”*

Predicción de ahuellamiento prematuro en pavimento flexible con la MEPDG 2002 Rico y otros UNCórdoba

Objetivo: investigar las causas y las posibles soluciones al ahuellamiento prematuro observado en la carpeta ejecutada en un desvío de una ruta nacional que, con ocho meses de ejecución, presentó deformaciones permanentes superiores a los valores normales.

Relevamiento de fallas, medición de deflexiones, extracción de testigos asfálticos, realización de ensayos DCP y ejecución de calicatas.

Análisis tensional de las estructuras ejecutadas con la Guía de Diseño MEPDG 2002 calibrada específicamente para este caso.

Conclusiones:

“....Las grandes deformaciones han sido producto de los elevados tiempos de aplicación de las cargas que en algunas secciones (secciones de frenado de semáforos), son 1000 veces superiores a los que se tienen en condiciones de circulación normal en un camino pavimentado.

El trabajo pone de manifiesto la bondad de las simulaciones y modelaciones hechas con la MEPDG 2002....”

influencia de los factores de carga y de servicio en el ensayo de rueda cargada *Angelone y otros IMAE*

Objetivo: realizar un análisis de la influencia de los parámetros de carga y servicio en el resultado del ensayo de Wheel Tracking para una mezcla asfáltica patrón. Se analizan también las metodologías de medición y cálculo de los resultados obtenidos.

Plan experimental para seis condiciones de ensayo diferentes sobre tres líneas de medición



Conclusiones: “...Se ha detectado que la temperatura y el nivel de carga son parámetros estadísticamente significativos.

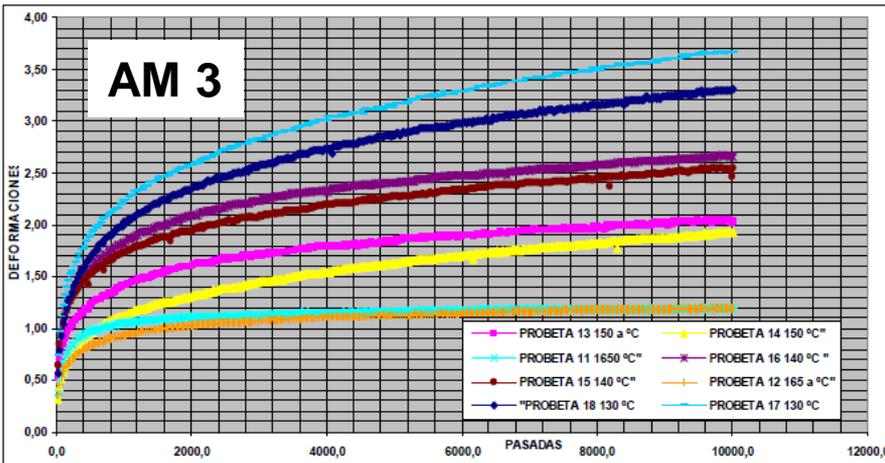
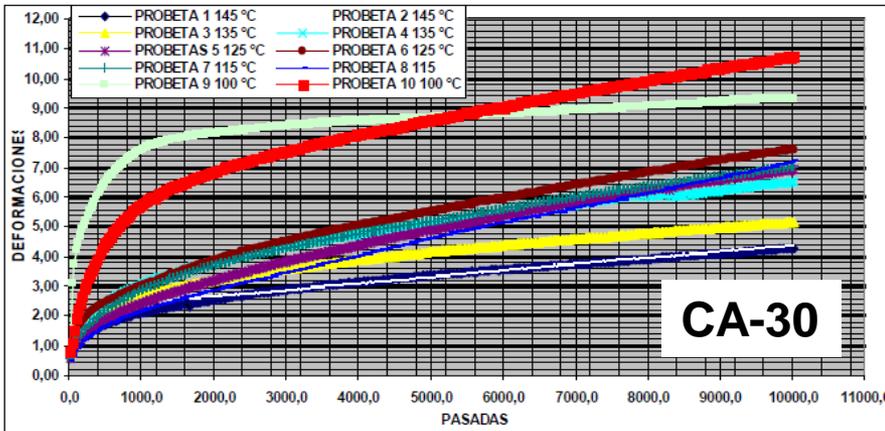
Por el contrario, la frecuencia de solicitación y las variaciones del diámetro de la rueda metálica más la cubierta de goma no son estadísticamente significativos.

Resulta importante especificar con mayor detalle y cuidado las condiciones experimentales de manera de obtener resultados que sean comparables entre diferentes equipos y normas...”

Medición del ahuellamiento en mezclas densas en caliente

Botasso y otros. LEMAC

- Estudiar cambios en el ahuellamiento de una mezcla asfáltica densa en caliente respecto a temperatura de compactación y tipo de ligante (CA - 30 y AM 3).
- Norma de la Comunidad Europea, BS EN 12697 – 22



Conclusiones:

“...cuando la temperatura de compactación de las mezclas asfálticas confeccionadas con asfalto convencional disminuye, las deformaciones plásticas aumentan rápidamente...”

“... con asfalto modificado se comportan de igual forma que las de asfalto convencional...”

“..... la pendiente de ahuellamiento, WTS aumenta en forma notoria con la disminución de la temperatura de compactación en ambos casos....”

Predicción del desempeño de mezclas asfálticas frente a las deformaciones permanentes conociendo la Low Shear Viscosity del asfalto *Morea. LEMIT*

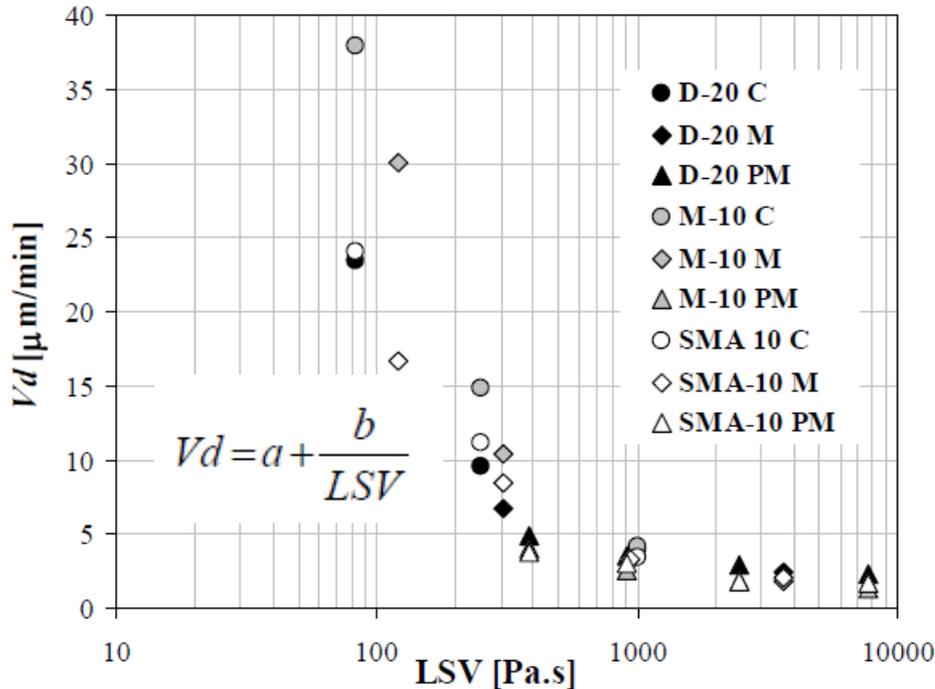
Low Shear Viscosity (LSV): viscosidad a frecuencias o velocidades de corte reducidas.

El concepto de LSV es usado en la normativa CEN prEN 15324 donde la viscosidad se calcula para una frecuencia de 0.0001 Hz en el DSR luego de un ajuste de los datos de viscosidad obtenidos en un barrido de frecuencias

• Estudio experimental comprendiendo:

- Una mezcla asfáltica densa (D-20), un microaglomerado (M-10) y un Stone mastic asphalt (SMA-10).
- Un asfalto convencional (C), un asfalto multigrado (M) y uno modificado con polímero SBS (PM).
- Ensayos WTT a distintas temperaturas (50, 60, 70 y 80 °C)

Predicción del desempeño de mezclas asfálticas frente a las deformaciones permanentes conociendo la Low Shear Viscosity del asfalto Morea. LEMIT



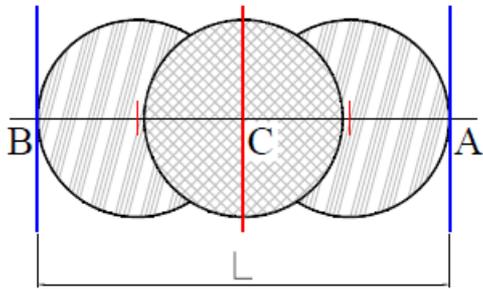
Conclusiones:

“.... La curva de Vd-LSV es una herramienta que puede utilizarse para predecir el comportamiento frente a las deformaciones permanentes en diferentes condiciones de temperaturas del pavimento conociendo el LSV del ligante a la temperatura considerada. Además permite optimizar la selección del asfalto tomando en cuenta el tipo de aplicación y las condiciones ambientales que se suscitan en el pavimento....”

Ahuellamiento: desarrollo de una metodología para el control en obra de mezclas asfálticas

Angelone y otros IMAE

1. Propuesta de una metodología de obtención de testigos calados susceptibles de ser usados en el ensayo WTT



Aplicación como un ensayo de control “pasa - no pasa” de la mezcla asfáltica,

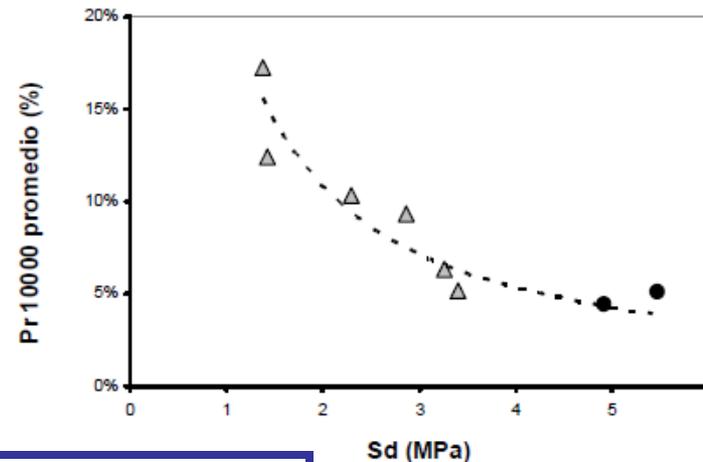
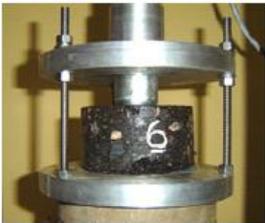


Ahuellamiento: desarrollo de una metodología para el control en obra de mezclas asfálticas

Angelone y otros IMAE

2. Propuesta de una metodología sencilla para valorar el comportamiento a la deformación permanente mediante un **ensayo de punzonado** accesible a los laboratorios de obra

- Prensa Marshall
- Testigos calados o probetas compactadas
- Determinación de una resistencia al punzonado S_D



Conclusiones: “...procedimiento que con una aproximación aceptable brinda información respecto a la tendencia al ahuellamiento de una mezcla asfáltica que podría usarse como una herramienta de control in situ como un “ensayo de alerta” para obrar en consecuencia...”

Análisis comparativo de ensayos de rueda cargada en mezclas asfálticas según las normas BS598 Part 110 y Cen 12697-22.

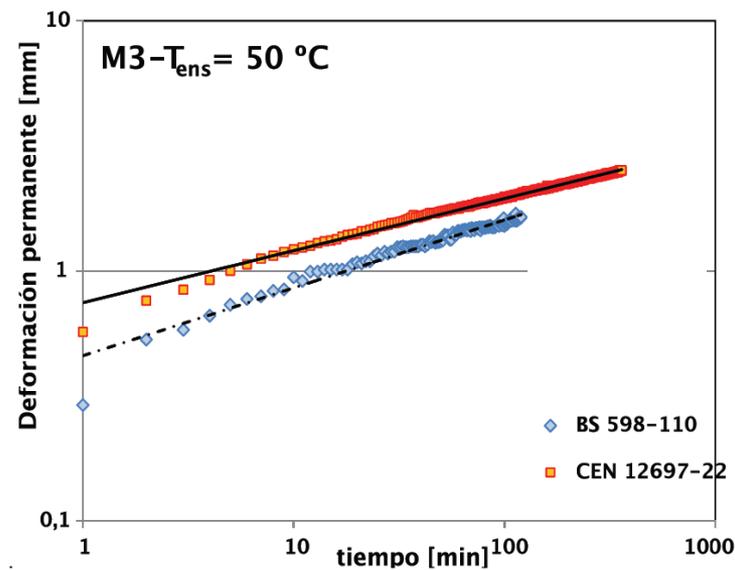
Morea. LEMIT

•Objetivos:

- Estudio del desempeño en WTT de diferentes tipos de mezclas de distintas características bajo ambas configuraciones de ensayo.
- Relación de parámetros obtenidos del ensayo según ambas normas y para diferentes temperaturas a fin de considerar distintas condiciones.

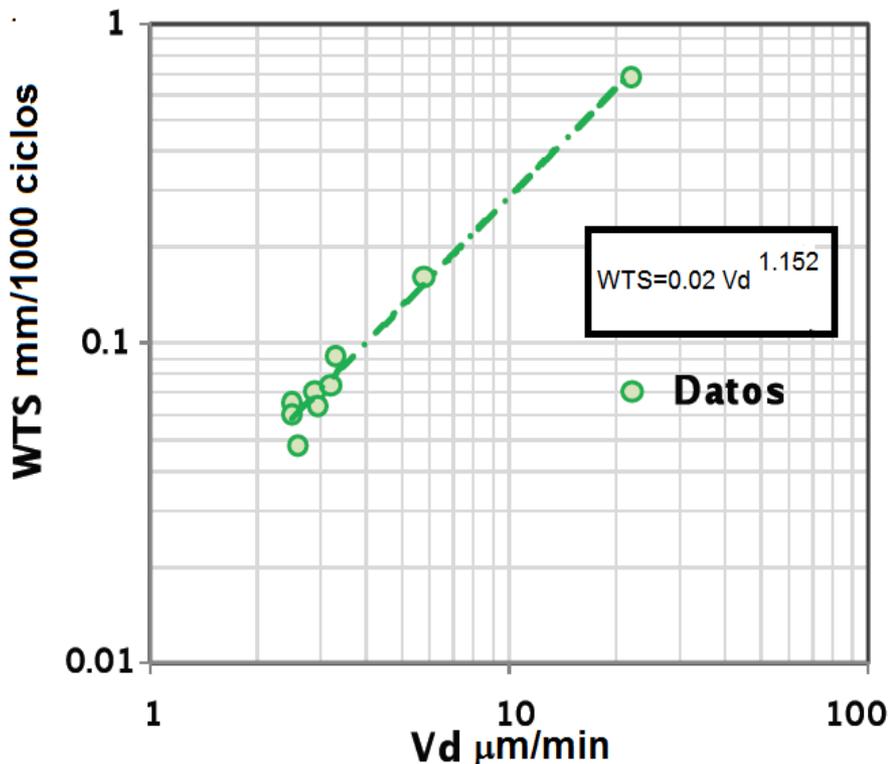
•Estudio experimental comprendiendo:

- Una mezcla asfáltica densa (D-20), un microaglomerado (M-10) y un Stone mastic asphalt (SMA-10).
- Dos asfaltos convencionales (CA-10 y CA-30) y tres modificados con polímeros (un AM2 y dos AM3)
- Ensayos WTT a distintas temperaturas (50, 60, 70 y 80 °C)
- Normas BS 598-110 y CEN 12697-22 para cada mezcla y temperatura.



Análisis comparativo de ensayos de rueda cargada en mezclas asfálticas según las normas BS598 Part 110 y Cen 12697-22.

Morea. LEMIT



Conclusiones:

“...el comportamiento resistente al ahuellamiento de las mezclas estudiadas es caracterizado de manera similar por ambas metodologías (BS 598-110 y CE 12697-22) cuando se analiza la pendiente de deformación.”

Se correlacionaron los resultados de los parámetros Vd de la norma BS 598-110 y WTS de la norma CEN 12697-22 como herramienta de base para futuros estudios que posibiliten desarrollar una norma nacional de ensayos....”

Modelo de predicción del desempeño considerando la LSV del asfalto en conjunto con la temperatura y el nivel de carga

Morea. LEMIT

Viscosidad de Corte Cero (ZSV): viscosidad de los asfaltos a muy baja velocidad de fluir (teóricamente nula)

Se desarrolla un modelo de estimación en base a resultados de desempeño de mezclas en el WTT y la LSV considerando diferentes tipos de mezclas asfálticas elaboradas con diferentes ligantes para diferentes temperaturas y variando el nivel de carga.

$$\log(Vd) = k + z \cdot \log(LSV_{60^{\circ}C}) + C_T \cdot \log(T) + C_L \cdot \log(L)$$

Vd velocidad de deformación en el ensayo

LSV_{60°C} viscosidad de corte cero del asfalto a 60 °C

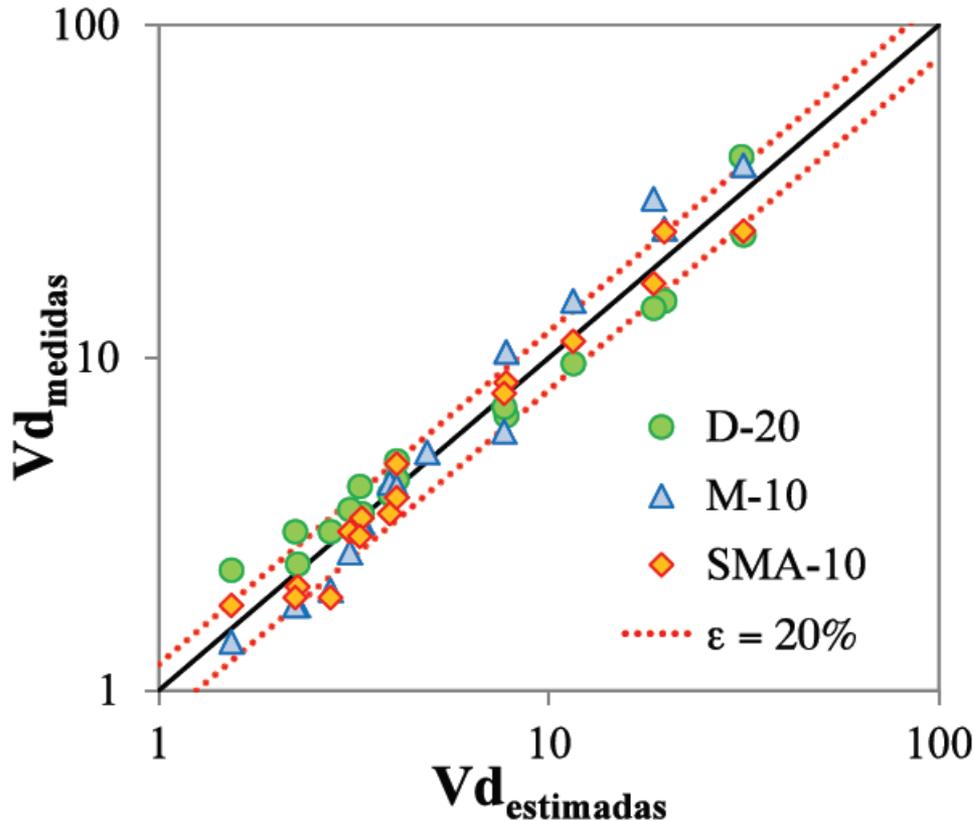
T temperatura del pavimento

L es el nivel de carga

k, z, CT y CL constantes de ajuste.

Modelo de predicción del desempeño considerando la LSV del asfalto en conjunto con la temperatura y el nivel de carga

Morea. LEMIT



Conclusiones:

“...Se propone un estimador de la Velocidad de deformación mediante ecuaciones que dependen de $LSV_{60^{\circ}C}$, la temperatura y la carga de ensayo.

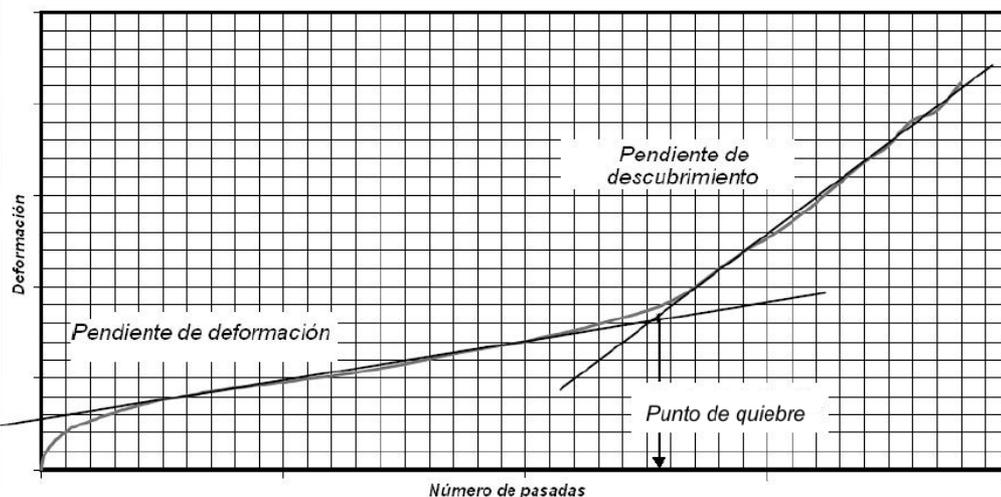
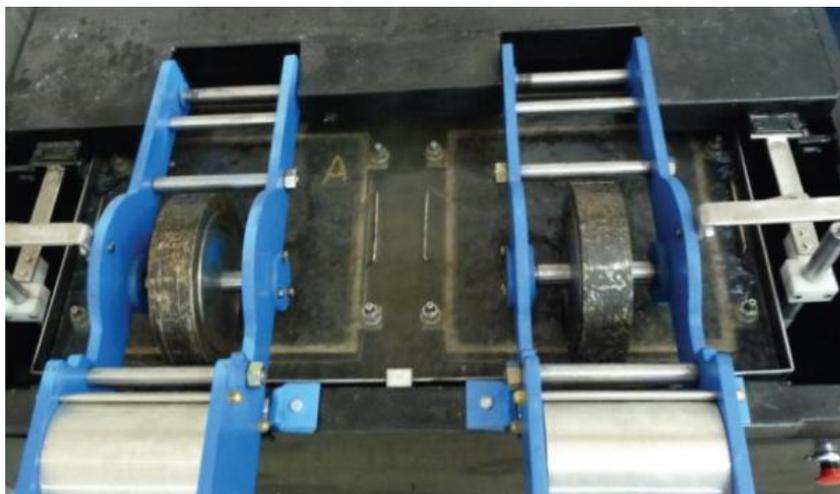
Para las mezclas y condiciones estudiadas, $Vd = 5 \mu m/min$ representa un comportamiento diferenciado de las mezclas y relacionado con LSV del ligante.

Esta diferenciación depende del nivel de carga al cual se somete la mezcla...”

Ahuellamiento y adherencia combinados en el ensayo Hamburgo

Marcozzi, LEMIT

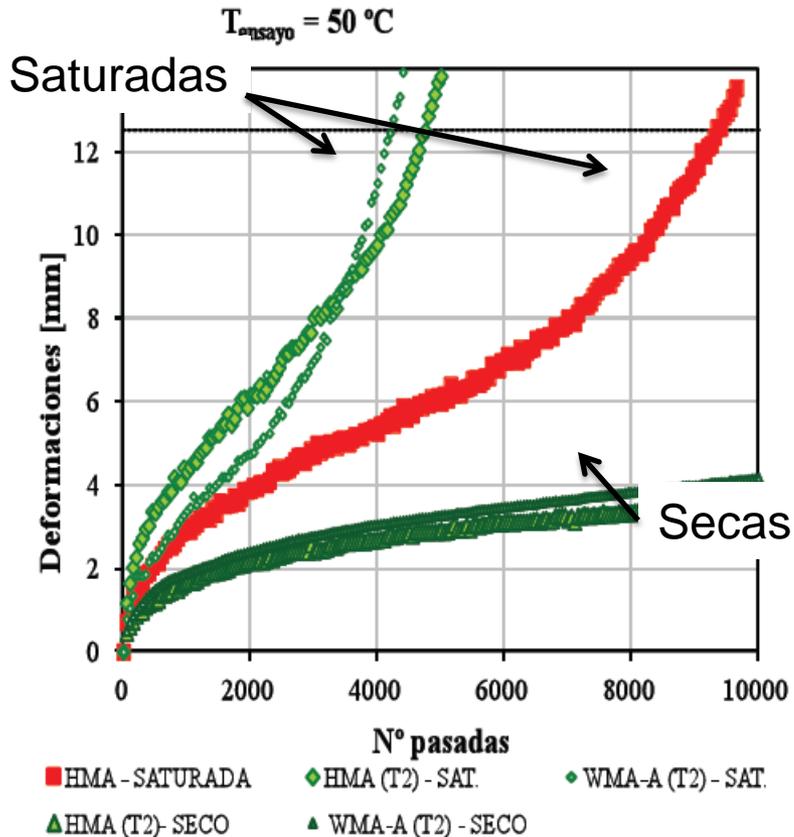
En el ensayo Hamburgo una rueda cargada pasa durante un número determinado de ciclos sobre una probeta de mezcla asfáltica en condición saturada con agua a temperaturas elevadas de servicio



Objetivo: Evaluar si en el ensayo de Hamburgo las debilidades encontradas en las mezclas asfálticas fabricadas a menores temperaturas podían deberse a la menor rigidez del asfalto y su relación con el desarrollo acelerado de inestabilidades por sobrecompactación.

Ahuellamiento y adherencia combinados en el ensayo Hamburgo

Marcozzi, LEMIT



Conclusiones

“...Los resultados demuestran que para las mismas condiciones de ensayo pero con las probetas secas, esa inestabilidad no se presenta en ninguno de los casos

Se concluye que efectivamente la inestabilidad se presenta por acción del agua la que si bien no desprende francamente la película de asfalto, tiene acceso más fácilmente al agregado debido a los menores valores de viscosidad y al ablandamiento o emulsionado parcial de la película de asfalto, efectos que pueden mitigarse con el uso de adecuados aditivos.....”

Consideraciones finales (1)

- ✓ No se han incluido trabajos referidos a mezclas asfálticas “especiales” que incluyen resultados de ahuellamiento.
- ✓ Hay suficiente experiencia respecto al comportamiento de las mezclas y la influencia de distintos parámetros de formulación en el comportamiento frente al ahuellamiento.
- ✓ Numerosos trabajos referidos al ensayo de rueda cargada (WTT Wheel Tracking Test) con distintas modalidades y la influencia de factores tales como la carga aplicada, duración y temperatura en los resultados obtenidos.

Consideraciones finales (2)

- ✓ Trabajos científicos que vinculan propiedades fundamentales de los ligantes con los resultados del ensayo simplificado de rueda cargada.
- ✓ Muy poco avance en el desarrollo de “leyes fundamentales” que vinculen la acumulación de la deformación permanente con el estado de tensiones, temperatura, número de repeticiones y propiedades intrínsecas de las mezclas asfálticas $\epsilon_p = f(\sigma, N, T, P)$
- ✓ Excelente base de fundación para desarrollar normas y especificaciones que posibiliten mejores resultados respecto a este tipo de falla.

Muchas gracias por su atención

**“Retrospectiva del problema del ahuellamiento
según la CPA”**

Imæ

***Fernando Martínez
Laboratorio Vial***

***Instituto de Mecánica Aplicada y Estructuras
Fac. de Cs. Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Universidad Nacional de Rosario***

