

MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMICALIENTES ELABORADAS CON ADITIVOS TENSOACTIVOS. ESTUDIOS COMPARATIVOS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO RESPECTO A LAS MEZCLAS EN CALIENTE CONVENCIONALES

WARM MIX ASPHALTS MIXED WITH TENSOACTIVE ADDITIVES. COMPARATIVE STUDIES OF MECHANICAL BEHAVIOUR RESPECT TO TRADICIONAL HOT MIX ASPHALTS

R.G. Marcozzi¹, F. Morea²

1.- Investigador Asistente CIC-LEMIT. tecnologiavial@lemit.gov.ar

2.- Becario Post-Doctoral CONICET-LEMIT

RESUMEN

Considerando las implicancias ambientales en la fabricación de mezclas asfálticas en caliente se han desarrollado tecnologías para reducir las temperaturas de trabajo de manera de generar significativos ahorros de energía, menores emisiones y mayor nivel de seguridad en obra. Las mezclas que utilizan asfaltos modificados con polímeros o asfaltos especiales como ligantes hacen posible la reducción de las temperaturas de trabajo sin afectar significativamente las propiedades mecánicas y de adherencia. Sin embargo, cuando se fabrican mezclas con asfaltos convencionales la reducción de las temperaturas de trabajo implican directamente un importante desmedro de la calidad, aún cuando sea posible obtener las densidades de diseño. El presente estudio se enfoca en dos aditivos del tipo tensoactivos que fueron incorporados en diferentes tipos de cemento asfáltico para fabricar mezclas semicalientes (WMA), trabajando con sustanciales reducciones de temperatura, de 35 a 55°C. Los resultados muestran que en todos los casos se presenta una merma en las prestaciones de la mezcla respecto de la mezcla de referencia, asimismo algunos ensayos evidencian más fehacientemente el efecto de la disminución de las temperaturas de fabricación, tales como los ensayos de daño por humedad. Se concluye que, para este fin, los ensayos de daño inducido por humedad son indudablemente métodos muy adecuados para definir rangos aceptables de reducción de las temperaturas para la fabricación de mezclas semicalientes.

Palabras clave: *mezclas asfálticas semicalientes, aditivos tensoactivos, comportamiento mecánico.*

Trabajo presentado en el XVI Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto (CILA), Río de Janeiro, Brasil, 2011.

ABSTRACT

Considering the environmental implications in the use of HMA (hot mix asphalt), new technologies have been developed in order to reduce the mixing and compaction temperatures and consequently to save energy, to cut emissions and to improve safety during the construction tasks. Polymer modified and non-conventional asphalt binders make it possible to reduce laying and compaction temperatures down to a limit which does not necessarily affect the performance of the hot mixtures. Nevertheless, when it comes to conventional asphalt binders a reduction in temperature –i. e., temperatures below the usual ones- result in an apparent reduction in quality, even when the design densities was reached. This research focuses on two surfactant additives which were incorporated into different types of cement ashpalts in order to manufacture warm mix-asphalts (WMA). In our research we have worked with substantial reductions in temperature, from 35 to 55°C. The results show, without exception, a decrease in the performance of the mixture when compared with the HMA (T1) control specimens, besides, some tests are more suitable tools to prove the effect of temperature reduction, as it happens with moisture-induced damage tests. We may conclude, along this line of thought, that moisture-induced damage tests are undoubtedly a suitable method to define the acceptable range in temperature reduction for warm mixtures design.

Keywords: *warm mix asphalts, tensoactive additives, mechanical behaviour.*

INTRODUCCIÓN

La temperatura de fabricación en mezclas asfálticas en caliente es necesaria para un mezclado efectivo y un buen tendido garantizando de esta manera la calidad de la mezcla asfáltica como producto final.

En estudios anteriores se ha demostrado que es posible reducir las temperaturas de tendido y compactación de las mezclas asfálticas en caliente (HMA, por sus siglas en inglés) hasta un cierto límite y obtener las mismas propiedades volumétricas [1]. Sin embargo, se comprueba también que al disminuir las temperaturas de mezclado y compactación se reducen las prestaciones mecánicas y de adherencia, siendo este efecto más o menos significativo en función del cemento asfáltico utilizado, el diseño granulométrico y el rango de reducción de las temperaturas [2,3].

Reducir las temperaturas de trabajo durante la fabricación de mezclas asfálticas en caliente tiene como objetivo principal la disminución de emisiones de CO₂ y olores, permitiendo además

importantes avances en la seguridad laboral en planta y obra. Esto dio origen a una nueva clasificación de mezclas en función de la energía consumida para su fabricación. Por convención, las mezclas que evaluaremos en el presente trabajo son llamadas mezclas semicalientes, también llamadas tibias (warm mix asphalt WMA, en la bibliografía en inglés).

Conceptualmente son mezclas asfálticas en caliente, ya que utilizan cemento asfáltico como ligante, pero resulta posible producirlas y colocarlas a temperaturas sensiblemente inferiores a las usadas en técnicas convencionales. Para ello se utilizan diferentes metodologías, las que pueden ser divididas en dos grandes grupos: las tecnologías que usan agua (directa o indirectamente) y las que usan aditivos.

El principio de funcionamiento de los procesos que usan agua es el espumado del ligante: cuando el agua fría es puesta en contacto con el asfalto caliente el intercambio térmico genera vapor de agua que espuma al asfalto, aumentando

su superficie específica y disminuyendo su viscosidad aparente, lo que permite una cobertura de agregados más fácil a temperaturas menores que las convencionales. Dentro de este grupo de tecnologías se destacan el sistema WAM Foam® (método mixto de mezcla de agregados con asfalto blando y duro espumado), la incorporación de zeolitas y las mezclas LEA®, Low Energy Asphalt (incorporación de agregados finos húmedos).

En el segundo grupo se encuentran los procesos que incorporan aditivos. Este grupo a su vez puede subdividirse en aditivos que cambian la viscosidad del ligante a las temperaturas de trabajo, es decir, son fluidificantes del asfalto y aditivos que no modifican la viscosidad. Entre los aditivos que fluidifican al asfalto se encuentran las ceras tipo Fischer-Tropsch, otras ceras sintéticas (AAG) y las ceras de polietileno (Cera Montana). Los que no modifican necesariamente la viscosidad son en general tensoactivos que actúan como hiperplastificante en la mezcla sin modificar significativamente las propiedades físico-reológicas del ligante. El surfactante o tensoactivo al reducir la tensión superficial del asfalto produce una reducción de la fuerza que se opone al mojado de los agregados, además de actuar como agentes lubricantes entre el asfalto y el árido y mejorar las propiedades asociadas a la adherencia y la cohesión.

El objetivo del presente trabajo ha sido evaluar comparativamente los desempeños de mezclas asfálticas en caliente (HMA) y mezclas semicalientes (WAM) elaboradas con este último tipo de aditivos, los tensoactivos.

PLAN EXPERIMENTAL

Se utilizó para el estudio una mezcla asfáltica de granulometría convencional fina elaborada y compactada a diferentes temperaturas. Los ligantes utilizados fueron del tipo convencional (CA 30) y modificado con polímero (AM3), con y sin aditivos tensoactivos.

Temperaturas de trabajo

Las HMA fueron elaboradas a temperaturas de mezclado y compactación (T_1) correspondientes a los valores medios de los rangos de viscosidades tradicionales de $0,17 \pm 0,02$ y $0,28 \pm 0,03$ Pa.s, respectivamente.

Las WMA se elaboraron a temperaturas inferiores a T_1 (T_2 y T_3). T_2 corresponde a las temperaturas de mezclado y compactación propuestas por Khatri et al [4] basadas en el concepto de Viscosidad a corte cero, con valores medios de 0,75 y 1,40 Pa.s para mezclado y compactación, respectivamente. T_3 corresponde a temperaturas de mezclado y compactación obtenidas extrapolando las curvas en el gráfico Temperatura – Viscosidad para viscosidades de 3 y 6 Pa.s (Tabla 1).

Materiales y Mezclas

Se estudiaron dos ligantes asfálticos de producción comercial en Argentina, un asfalto convencional (CA 30) y el otro un asfalto modificado con polímero SBS (AM3). Estos ligantes fueron mezclados con dos aditivos que se utilizan para reducir las temperaturas de elaboración, uno constituido por ácidos grasos y aminas (A) y otro

Tabla 1. Temperaturas de trabajo.

ASFALTO	T_1 (°C)		T_2 (°C)		T_3 (°C)	
	0,17 Pa.s	0,28 Pa.s	0,75 Pa.s	1,4 Pa.s	3 Pa.s	6 Pa.s
CA 30	160	150	125	115	105	95
AM3	190	180	157	149	141	134

formado por resinas, polímeros y un activante de adhesividad (B).

Las diferentes propiedades mecánicas se determinaron sobre una mezcla asfáltica de granulometría convencional densa. En la Tabla 2 se indica la dosificación y en la Figura 1 la correspondiente curva granulométrica. El árido utilizado proviene de una misma fuente. Está formado por fracciones comerciales de árido granítico triturado 6-19 mm, 6-12 mm y 0-6 mm, proveniente de la ciudad de Olavarría, provincia de Buenos Aires.

Ensayos de laboratorio

Los parámetros analizados fueron:

- Estabilidad y fluencia [5]
- Resistencia a compresión diametral a distintas temperaturas de ensayo [6]
- Daño por humedad (AASHTO T-283) [7]
- Módulo de rigidez

Tabla 2. Dosificación de la mezcla de diseño.

Material (%)	6-19 mm	6-12 mm	0-6 mm	Asfalto
Áridos	20	15	65	---
Dosificación	19	14,2	61,8	5

Tamiz [mm]	19	12,7	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15	0,08
% de pasa	100,0	92,0	87,0	64,0	45,0	32,0	23,0	16,0	10,0	6,2

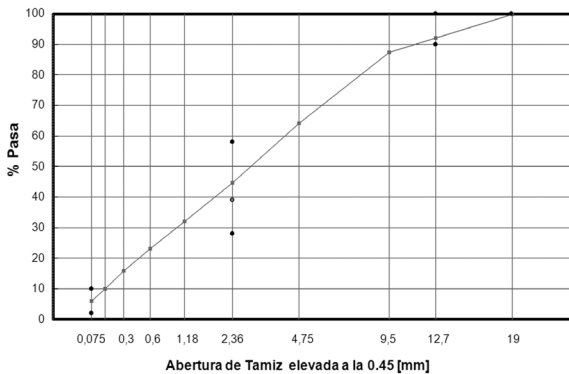


Figura 1. Curva granulométrica de la mezcla de diseño.

- Ensayos de rueda cargada en seco y bajo inmersión (ensayo de Hamburgo)

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En trabajos realizados anteriormente se ha verificado que las mezclas asfálticas de granulometrías convencionales y no convencionales realizadas con asfaltos modificados con polímeros o especiales pueden compactarse a temperaturas inferiores a las normalizadas con el mismo esfuerzo sin variar significativamente la resistencia que presentan al ser compactadas, presentando, por tanto, propiedades volumétricas similares [1,8,9].

Estabilidad y fluencia Marshall

Para cada tipo de mezcla se moldearon tres probetas. La Tabla 3 y la Figura 2 presentan los resultados de los ensayos de estabilidad y fluencia.

Resistencia a tracción indirecta

Para cada tipo de mezcla se moldearon 12 probetas divididas en grupos de 3 para ensayar a cada temperatura. El ensayo de tracción indirecta provee de numerosa información. Por una parte, se conoce que la resistencia a la tracción es dependiente del grado de alteración de la mezcla e implícitamente del asfalto que la compone ya que asfaltos alterados por altas temperaturas de trabajo se rigidizan presentando sus mezclas, en general, valores altos de resistencia a tracción [10]. En este caso mayores resistencias a tracción no estarán determinando necesariamente una mayor calidad de la mezcla asfáltica.

Por otra parte, la dependencia del comportamiento de una mezcla asfáltica con la temperatura de ensayo se manifiesta además por el tipo de rotura que se presenta en el ensayo. Una rotura tipo dúctil indica un comportamiento tipo sólido viscoelástico, en cuyo caso la resistencia a la tracción se relaciona con la compacidad de la mezcla, con la cohesión del mástico y la adherencia asfalto-agregado. Una rotura tipo frágil indica un comportamiento tipo

Tabla 3. Resultados de Estabilidad y Fluencia Marshall para distintas temperaturas de fabricación.

		Mezcla					
		CA-30			AM3		
		HMA	WMA-A	WMA-B	HMA	WMA-A	WMA-B
Estabilidad Marshall (N)	T ₁	15818	---	---	20339	---	---
	T ₂	14537	10176	11960	19980	19651	18625
	D.S. T ₁ *	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	T ₃	11635	7995	8211	20916	16269	16747
	D.S. T ₁ *	NO	SI	SI	NO	NO	NO
Fluencia (mm)	T ₁	2.8	---	---	4,1	---	---
	T ₂	2.7	2.8	2.8	2,9	4,5	4,8
	T ₃	3.2	2.4	2.7	4,0	3,3	3,0
Relación E/F (N/mm)	T ₁	5651	---	---	5022	---	---
	T ₂	5523	3669	4504	6831	4335	3880
	D.S. T ₁ *	NO	SI	SI	NO	NO	NO
	T ₃	3674	3329	3096	5229	4881	5645
	D.S. T ₁ *	NO	SI	SI	NO	NO	NO

* D.S. con T₁: indica si hay o no diferencias significativas entre los valores medios de los ensayos y el valor del parámetro en mezclas HMA con las temperaturas especificadas, con un 95% de confianza.

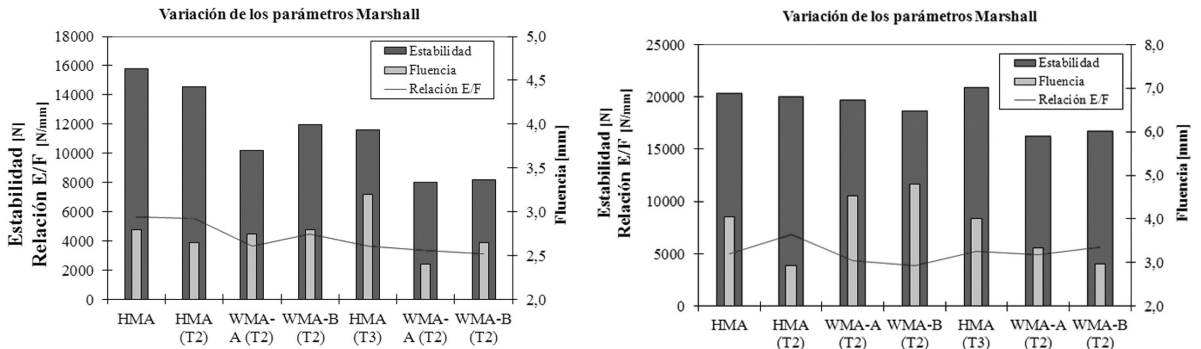


Figura 2. Variación de los parámetros Marshall para mezcla con CA-30 (izq) y AM3 (der).

sólido elástico y su resistencia se relaciona con la compacidad de la mezcla, con la dureza de los agregados y con la cantidad y calidad del mástico. Como la gradación, el porcentaje de asfalto, el tipo de agregado y la energía y método de compactación no varían, el tipo de rotura estará determinado por

el ligante utilizado (solo o aditivado) y cómo afecta esto a su comportamiento cuando se reducen las temperaturas de fabricación.

En la Tabla 4 se presentan los resultados de los ensayos de resistencia a tracción.

• A 5°C la mayoría de las mezclas asfálticas se comportaron como sólidos elásticos y el tipo de rotura predominante es por mástic y agregados, del tipo frágil, caracterizada por la presencia de agregados partidos en el plano de rotura de la probeta. No se presentan diferencias significativas en la comparación de los valores medios de las resistencias a compresión diametral para HMA (T_1) y las mezclas WMA realizadas a temperaturas T_2 , con o sin aditivos.

• A 15°C las mezclas asfálticas presentan roturas predominantemente por mástic y agregados. La

presencia de agregados fracturados en el plano de rotura de la probeta es menor que en el caso de rotura a 5°C. En todos los casos se presentan diferencias significativas en la comparación de los valores medios de las resistencias a compresión diametral para HMA (T_1) y las mezclas WMA realizadas a temperaturas inferiores.

• A 25°C la mayoría de los asfaltos están cerca del límite inferior del comportamiento elástico. La rotura de las probetas es del tipo de rotura por cohesión (mástic) y/o por adherencia (interfase agregado – asfalto).

Tabla 4. Ensayo de Resistencia a Tracción mediante compresión diametral.

		Mezcla					
		CA-30			AM3		
		HMA	WMA-A	WMA-B	HMA	WMA-A	WMA-B
Resistencia a tracción a 5°C (kPa)	T_1	4061	---	---	4271	---	---
	T_2	3720	3493	3621	4068	4140	3720
	D.S. T_1^*	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	T_3	3288	2908	2903	4161	3780	3797
	D.S. T_1^*	NO	SI	SI	NO	NO	NO
Resistencia a tracción a 15°C (kPa)	T_1	3100	---	---	2908	---	---
	T_2	2299	2413	2370	2706	2418	2470
	D.S. T_1^*	SI	SI	SI	NO	SI	SI
	T_3	2236	2020	2107	2661	2232	2351
	D.S. T_1^*	SI	SI	SI	NO	SI	SI
Resistencia a tracción a 25°C (kPa)	T_1	1545	---	---	1691	---	---
	T_2	1283	1168	1234	1447	1477	1505
	D.S. T_1^*	SI	SI	SI	NO	NO	NO
	T_3	1034	883	1072	1402	1068	1185
	D.S. T_1^*	SI	SI	SI	NO	SI	SI
Resistencia a tracción a 35°C (kPa)	T_1	661	---	---	927	---	---
	T_2	593	496	499	730	780	694
	D.S. T_1^*	NO	SI	SI	SI	SI	SI
	T_3	372	367	405	706	574	591
	D.S. T_1^*	SI	SI	SI	SI	SI	SI

* D.S. con T_1 : indica si hay o no diferencias significativas entre los valores medios de los ensayos y el valor del parámetro en mezclas HMA con las temperaturas especificadas, con un 95% de confianza.

• A 35°C la cohesión y/o adherencia de las mezclas WMA se ven significativamente disminuidas en comparación con la obtenida con la mezcla HMA (T₁).

Aún cuando en algunos casos no existan diferencias estadísticamente significativas entre los valores medios, en todos los casos se presenta una disminución de los valores de resistencia a tracción cuando se reducen las temperaturas de fabricación, aún con los asfaltos para mezclas semicalientes (Ver Figura 3).

Evaluación de la sensibilidad a la humedad (AASHTO T – 283)

En el ensayo de daño por humedad se moldean probetas según la metodología Marshall, de manera que las mismas tengan un 7±1% de vacíos

en su estructura para favorecer el efecto de la acción del agua.

Para cada tipo de mezcla se moldearon nueve probetas y se unieron en grupos de tres de manera que el promedio de densidades de cada grupo sean similares. Uno de estos grupos se destinó a grupo de control. Las probetas del segundo grupo fueron sometidas a una saturación de sus vacíos con agua y puestas luego en agua a 60°C durante 24 h. Las probetas del tercer grupo fueron igualmente saturadas, sometidas a un primer ciclo de congelamiento a -18°C durante un periodo de 16 a 18 h. y luego al ciclo de inmersión en agua a 60°C anteriormente descrito. Luego de cumplir los ciclos de cada grupo las probetas fueron ensayadas a compresión diametral a 25°C con el fin de determinar el daño generado por el agua en los distintos ciclos. Los resultados del ensayo,

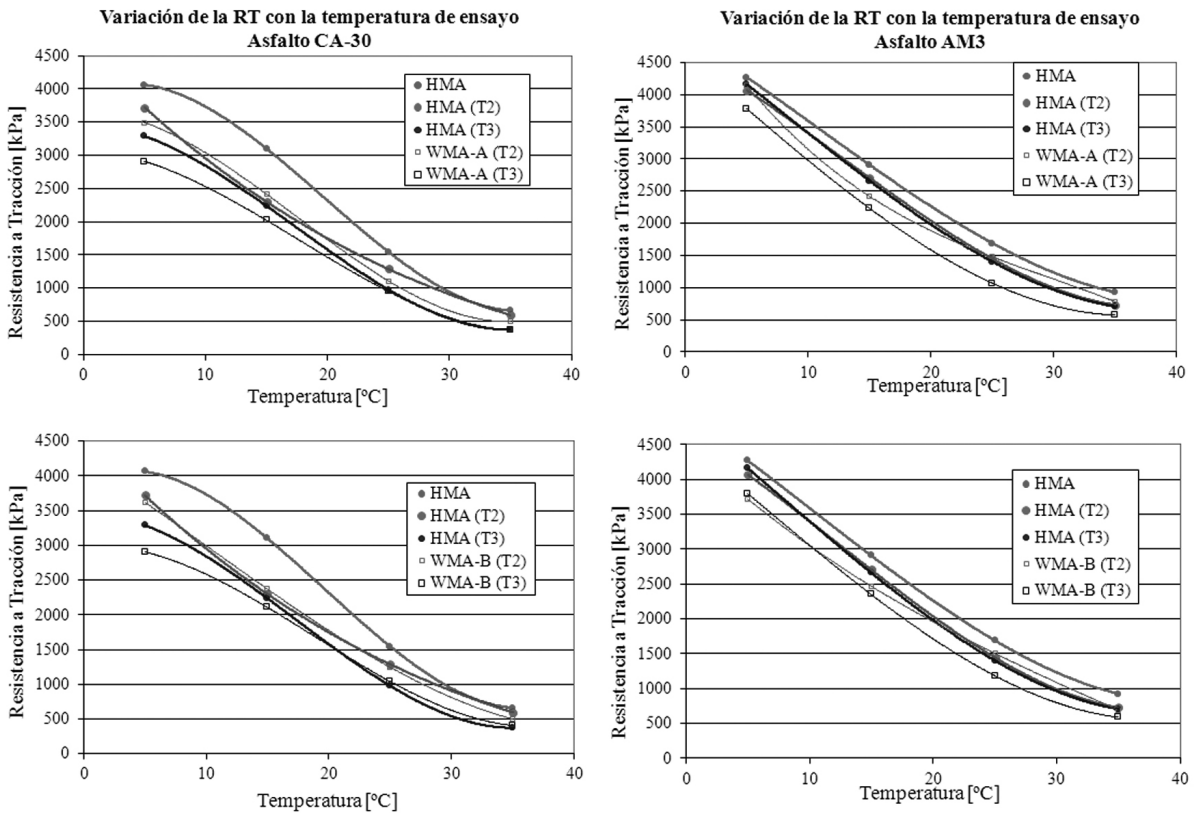


Figura 3. Variación de la Resistencia a Tracción con la temperatura de ensayo. Mezcla con CA-30 (izq) y AM3 (der).

Tabla 5. Relación de valores medios de la Resistencia Retenida según AASHTO T-283.

	Resistencia conservada (%)					
	AASHTO T-283 Opcional sin congelamiento			AASHTO T-283		
	Asfalto CA-30					
	HMA	WMA-A	WMA-B	HMA	WMA-A	WMA-B
T ₁	87	---	---	88	---	---
T ₂	53	70	86	54	62	84
T ₃	23	57	91	19	58	86
	Asfalto AM3					
T ₁	89	---	---	89	---	---
T ₂	82	82	89	82	76	90
T ₃	69	62	88	69	69	97

informados como resistencia conservada (cociente entre la resistencia de las probetas acondicionadas y las de control), se observan en la Tabla 5. Se especifica un valor de 80% como límite inferior para dicho parámetro evaluado según AASHTO T-283.

En el caso de las mezclas semicalientes (WMA) con asfalto CA-30 las resistencias conservadas son mayores que las obtenidas al bajar las temperaturas de fabricación de la mezcla en caliente (HMA), si bien con el aditivo A no cumplen con el valor mínimo especificado.

En las mezclas semicalientes con asfalto AM3 las resistencias conservadas tampoco cumplen con el mínimo especificado al utilizar el aditivo A.

Evaluada con esta metodología puede definirse el rango de reducción de las temperaturas de fabricación que admite cada mezcla semicaliente para conservar buenas propiedades de cohesión y adherencia

Ensayo de módulo de rigidez

Para cada tipo de mezcla se moldearon tres probetas. Los ensayos se realizaron en la modalidad de carga

por compresión diametral descrita en la normativa EN 12697-26, Anexo C [11]. La temperatura de ensayo fue de 20°C.

Los valores del módulo obtenidos bajo esta configuración de carga se presentan en la Tabla 6. En casi todos los casos de mezclas con CA-30 no hay diferencias significativas entre los valores medios (coeficientes de variación entre 0,3 y 9%) al 95% de confianza cuando se comparan con los valores medios de la mezcla HMA (T₁) con CA-30. Para las mezclas WMA (T₃) con AM3 hay diferencias significativas entre los valores medios (coeficientes de variación entre 2,4 y 10%) al 95% de confianza cuando se comparan con los valores medios de la mezcla con AM3 realizada a T₁, indicando que estas mezclas tibias son significativamente más flexibles.

Aún cuando en algunos casos no existan diferencias estadísticamente significativas entre los valores medios, en todos los casos se presenta una disminución de los valores del módulo de rigidez cuando se reducen las temperaturas de fabricación (Figura 4).

Tabla 6. Módulo de Rigidez (EN 12697-26).

	Modulo de Rigidez (MPa)					
	CA-30			AM3		
	HMA	WMA-A	WMA-B	HMA	WMA-A	WMA-B
T_2	5757	6573	6289	5483	6064	6565
D.S. T_1^*	NO	NO	NO	NO	NO	NO
T_3	5568	5081	5387	5824	4141	4446
D.S. T_1^*	NO	SI	NO	NO	SI	SI

* D.S. T_i : indica si hay o no diferencias significativas entre los valores medios de los ensayos y el valor del parámetro en mezclas HMA con las temperaturas especificadas, con un 95% de confianza.

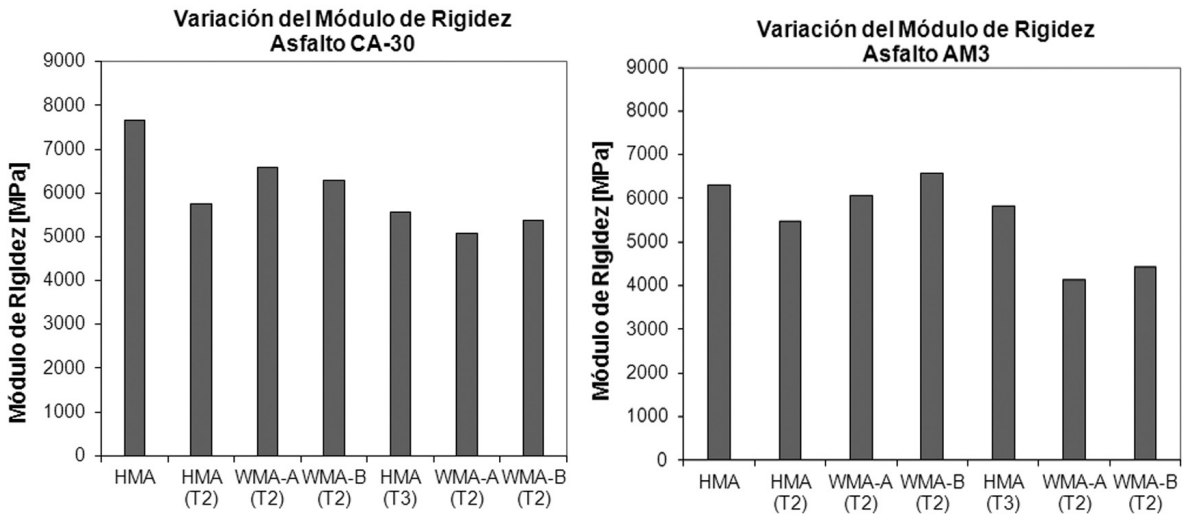


Figura 4. Variación del módulo de rigidez. Mezcla asfáltica con CA-30 (izq) y AM3 (der).

Ensayo de rueda cargada

Se realizaron los correspondientes ensayos de ahuellamiento por rueda cargada según normativa BS 598 [12] y ensayos de adherencia Hamburgo Wheel Tracking Test según AASHTO T-324 [13] por considerarlos herramientas importantes en la verificación de un diseño de mezclas asfálticas.

Todo gráfico de acumulación de deformaciones permanentes presenta tres etapas bien diferenciadas (Figura 5).

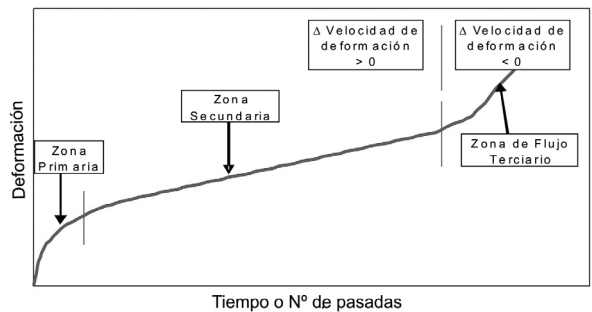


Figura 5. Curva tipo de deformaciones permanentes.

El desarrollo de las zonas será función de las condiciones de ensayo: tiempo de ensayo, temperatura, en seco o bajo inmersión, etc.

En nuestro caso, el ensayo de rueda cargada en seco (WTT – Wheel Tracking Test) se extendió 120 minutos. Durante este tiempo, en general, sólo alcanza a desarrollarse la Zona secundaria por lo que los parámetros del ensayo están asociados a esa condición.

El ensayo de rueda cargada bajo inmersión (HWTT – Hamburgo Wheel Tracking Test) se extendió hasta desarrollar deformaciones mayores a 12,5 mm o 360 minutos, lo que suceda primero. En este caso, las tres zonas tienen tiempo y condiciones suficientes para desarrollarse. En el ensayo HWTT, a pesar de no poder dissociarse completamente dichos efectos, la zona secundaria está asociada con la deformación y la zona de flujo terciario está asociada con el inicio de la pérdida de adherencia y cohesión (stripping), si bien puede deberse también a inestabilidad por sobrecompactación.

Ensayo de rueda cargada en seco

Las variables de ensayo fueron: 60°C, 42 pasadas/min durante 120 minutos. Probetas de 300 mm de lado y 50 mm de espesor se compactaron con la densidad de diseño. Los parámetros medidos en el ensayo son:

- Deformación permanente final (ph_{final}), en mm, a los 120 minutos.
- Estabilidad dinámica (E.D.), en pasadas/mm, es decir, el número de pasadas necesarias para deformar la mezcla asfáltica 1 mm, evaluada entre los 105 y 120 minutos, en los que la pendiente de deformación se considera estable. Dichos valores se presentan en Tabla 7.

En las Figuras 6 y 7 se comparan los comportamientos bajo rueda cargada de mezclas fabricadas a distintas temperaturas con los asfaltos CA-30 y AM3 con y sin aditivos.

Analizando los resultados se observa que la fabricación de la mezcla asfáltica a temperaturas reducidas sin la incorporación de aditivos presenta menores prestaciones que la mezcla asfáltica HMA (T1) en el caso del asfalto convencional no así en el asfalto modificado, en el cual no se observan diferencias significativas en el desempeño entre ninguno de los casos estudiados. Los resultados son dependientes del tipo de mezcla; en microaglomerados y SMA realizados con asfaltos modificados, este efecto también es despreciable [14]

Ensayo de rueda cargada bajo inmersión

Las características del aparato Hamburgo utilizado y la operatoria general se describen extensamente en el trabajo realizado por Agnusdei y et al [15].

Tabla 7. Parámetros medidos al final del ensayo.

		CA-30			AM3		
		HMA	WMA-A	WMA-B	HMA	WMA-A	WMA-B
Estabilidad Dinámica (pasadas/mm)	T ₁	3723	---	---	17071	---	---
	T ₂	1892	1393	1665	21547	12598	15593
	T ₃	1105	1513	1092	15476	19068	16781
ph_{final} (mm)	T ₁	4.1	---	---	1.59	---	---
	T ₂	5.8	6.6	5.7	1.08	1.55	1.41
	T ₃	9.1	6.5	8.5	1.35	1.33	1.06

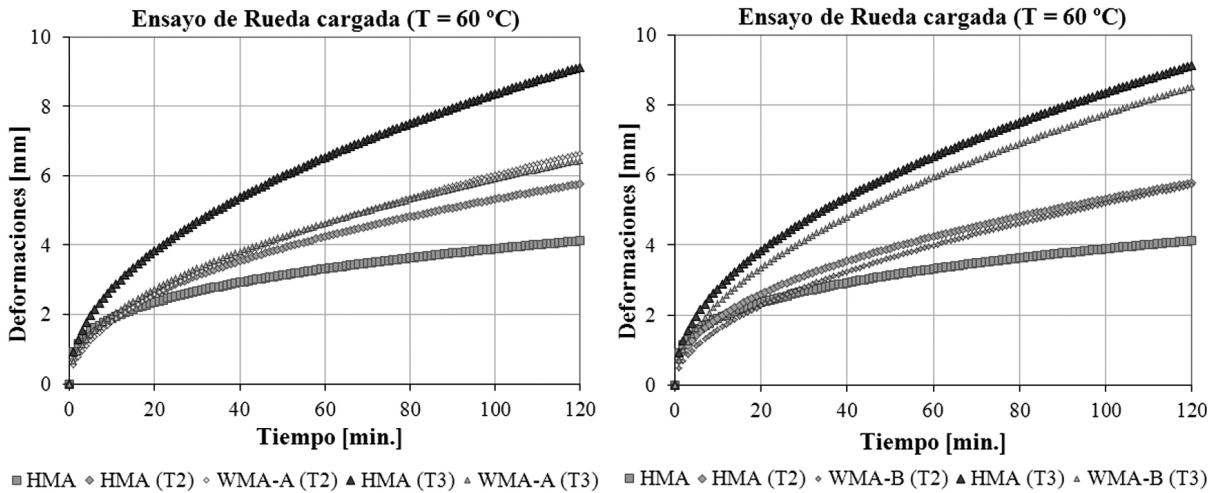


Figura 6. Curvas de ahuellamiento. Asfalto CA-30, solo y con aditivo A (izq), solo y con aditivo B (der).

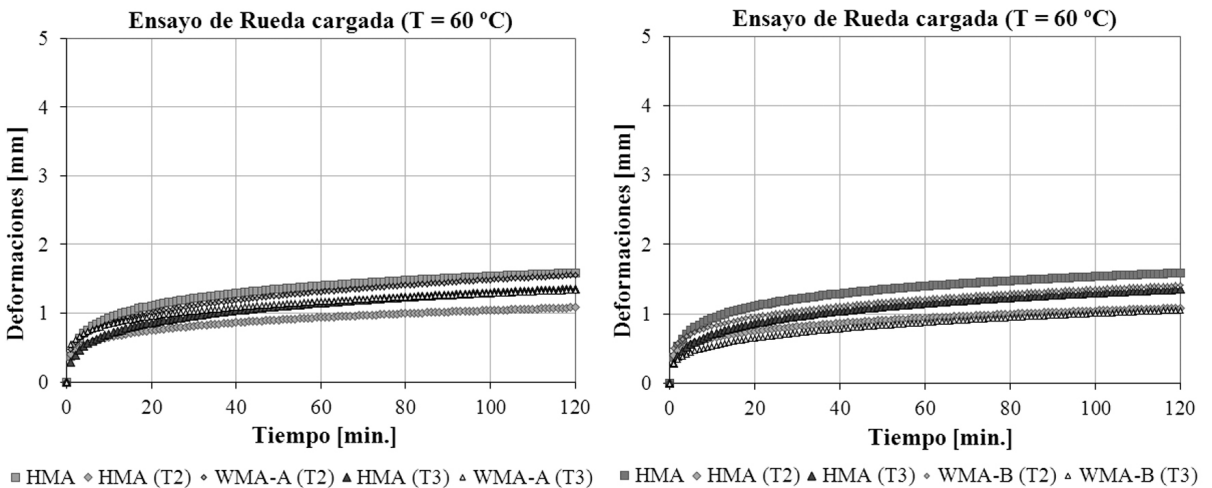


Figura 7. Curvas de ahuellamiento. Asfalto AM3, solo y con aditivo A (izq), solo y con aditivo B (der).

Las variables de ensayo fueron: agua a 50°C, 50 pasadas/min durante el tiempo necesario para alcanzar una deformación de 12,5 mm o durante 6 horas (lo que ocurra primero). Las probetas se moldearon con un 7±1% de vacíos.

La curva de las deformaciones debidas simultáneamente al paso de una rueda cargada y a la acción del agua a temperatura elevada presenta, en general, las tres zonas anteriormente descritas.

En la bibliografía al respecto la zona secundaria está asociada con la deformación y la zona de flujo terciario en general está asociada al inicio de la pérdida de adherencia y cohesión.

El parámetro analizado fue el punto de intersección de la pendiente de deformación y la pendiente del flujo terciario, medido a través del número de pasadas de la rueda (Tabla 8).

Tabla 8. Ensayo Hamburgo.

	Punto de intersección de las pendientes (pasadas)					
	CA-30			AM3		
	HMA	WMA-A	WMA-B	HMA	WMA-A	WMA-B
T ₁	7400	---	---	Sin Inflexión	---	---
T ₂	4150	3100	6000	6850	Sin Inflexión	Sin Inflexión
T ₃	2400	2400	2600	3600	Sin Inflexión	Sin Inflexión

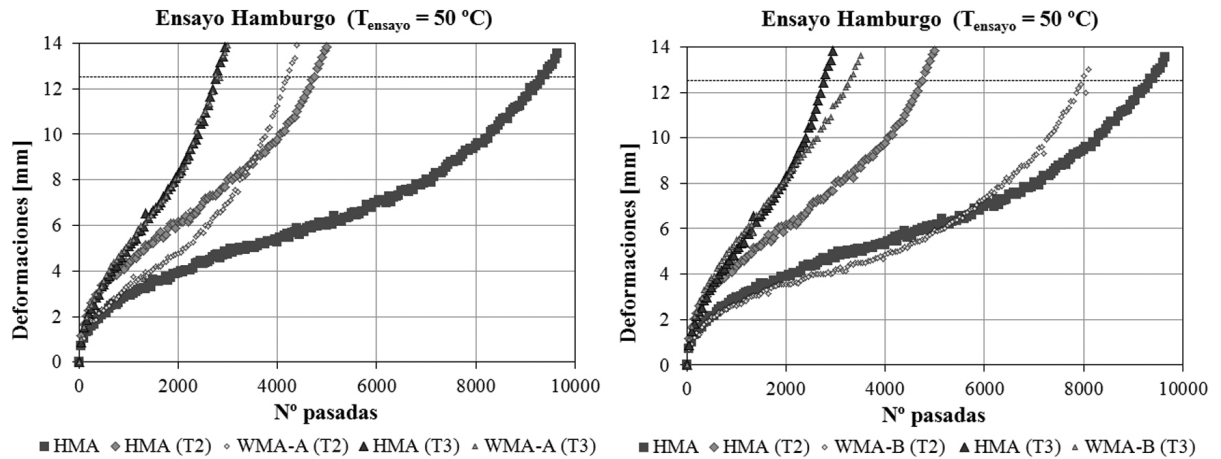


Figura 8. Ensayos de Hamburgo para el asfalto CA 30. Solo y con aditivo A (izq), solo y con aditivo B (der).

En la Figura 8 se presentan las curvas de deformación resultantes del ensayo Hamburgo para las mezclas HMA (temperaturas convencionales y reducidas) y las mezclas WMA (temperaturas reducidas) con el asfalto CA-30. Del análisis de los resultados surge que la mezcla HMA es una mezcla con una regular resistencia al daño por humedad y que su resistencia se ve disminuida de manera notable al ser fabricada a temperaturas reducidas. La incorporación del aditivo B permite que la reducción de casi 40°C en las temperaturas de fabricación no tenga efectos tan destructivos durante el ensayo Hamburgo llegando casi a igualar el comportamiento de la HMA (T₁).

En la Figura 9 se presentan las curvas de deformación resultantes del ensayo Hamburgo para las mezclas HMA (temperaturas convencionales y reducidas) y las mezclas WMA (temperaturas reducidas) con

el asfalto AM-3. En este caso la reducción de las temperaturas de elaboración produce también una merma en el desempeño de la mezcla. Con la incorporación de los dos aditivos estudiados (A y B) a las mezclas semicalientes logran resultados de desempeño comparables a la HMA (T₁). En ninguna de éstas se observa un punto de inflexión en la curva de deformaciones.

En las mezclas estudiadas se aprecia en algunos casos la pérdida de la película de asfalto y el consecuente desprendimiento de agregados en la huella; en otros casos no se aprecia desprendimiento de agregados, a pesar de haberse desarrollado plenamente la zona de flujo terciario (Imagen 1a y 1b).

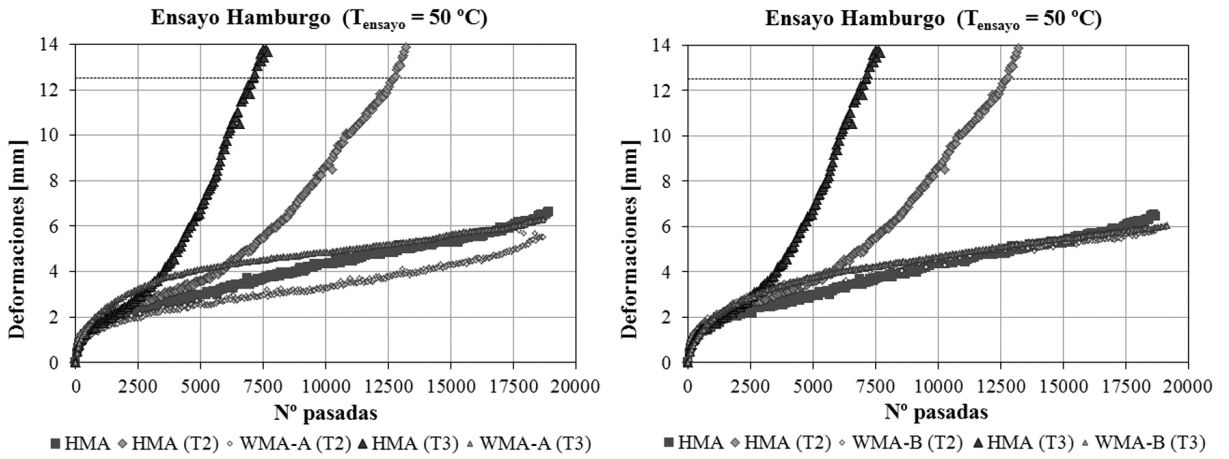


Figura 9. Ensayos de Hamburgo para el asfalto AM3. Solo y con aditivo A (izq), solo y con aditivo B (der).



Imagen 1a. Huellas en probetas con aditivo en ensayo de Hamburgo. No se observa desprendimientos.



Imagen 1b. Huellas en probetas sin aditivo en ensayo de Hamburgo. Se observa desprendimientos.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los valores de estabilidades y las resistencias a tracción a 5°C no se vieron significativamente afectados cuando se disminuyeron las temperaturas de fabricación de las probetas a T_2 .

Las resistencias a tracción a 15, 25 y 35°C se ven significativamente afectadas cuando se reducen las temperaturas de fabricación, aún en las mezclas semicalientes WMA.

En las mezclas con el asfalto convencional en estudio la disminución de las temperaturas de fabricación de las probetas destruye la capacidad de la mezcla para resistir el ataque del agua. En el caso de la incorporación del aditivo B, la resistencia al daño por humedad ha conservado valores muy altos, aún con las temperaturas T_3 de fabricación. Si bien en menor medida, la incorporación del aditivo A también evita el brusco descenso de la resistencia al daño por humedad que aparece al fabricar las mezclas a temperaturas tan reducidas.

Los valores de módulo de rigidez no se vieron significativamente afectados en las mezclas con CA-30 cuando se disminuyeron las temperaturas de fabricación en aproximadamente 40°C. Si bien en todos los casos los valores de módulo se reducen al disminuir las temperaturas de fabricación, las mezclas semicalientes con aditivos presentan mayores valores de módulo de rigidez que las mezclas sin aditivar. En el caso de las mezclas con AM3, hay diferencias significativas cuando se utilizan las temperaturas T_3 .

Ensayo de rueda cargada: El uso de aditivos no tiene efecto sobre la resistencia a las deformaciones permanentes en el ensayo de rueda cargada en seco de las mezclas asfálticas estudiadas.

En el ensayo Hamburgo la mezcla asfáltica se debilita debido, entre otras causas, al ablandamiento o emulsionando parcial de la película de asfalto, en algunos casos sin removerla de la superficie del agregado [16].

Al incorporar aditivos al asfalto CA-30 se observó que el aditivo A no produce un comportamiento diferente que el que manifiestan la mezclas sin aditivar cuando se utilizan temperaturas de trabajo reducidas, mientras que la incorporación del aditivo B en la fabricación de mezclas a T_2 permite que el comportamiento de la mezcla se asemeje al de la mezcla realizada con el asfalto sin aditivar a la T_1 .

En cuanto al asfalto AM3 se observó que la incorporación de los aditivos para la elaboración de mezclas semicalientes a las temperaturas T_2 y T_3 mejora el comportamiento en el ensayo de rueda cargada bajo inmersión, asemejándose al comportamiento de la mezcla HMA (T_1).

CONCLUSIONES

En todos los casos una reducción de las temperaturas de trabajo provoca una merma en las prestaciones mecánicas de las mezclas. En algunos casos la misma no resulta significativa al plantear el uso de aditivos como en el caso de una reducción del orden de 30°C (T_2).

Los ensayos realizados indican también cambios en las propiedades cohesivas y/o de adherencia de las mezclas asfálticas cuando se trabaja con temperaturas de mezclado y compactación reducidas.

Del análisis de resultados surge que hay ensayos que evidencian más fehacientemente el efecto de la disminución de las temperaturas de fabricación, como el daño por humedad en las dos metodologías utilizadas para su análisis, AASHTO T-283 y AASHTO T-324. Este último, el ensayo Hamburgo, presenta más sensibilidad al daño ocasionado por el agua al sumar el efecto de tránsito. En estos ensayos se destaca el beneficio de la incorporación de aditivos en las mezclas fabricadas a temperaturas reducidas con asfaltos convencionales.

El propósito de la disminución de las temperaturas de trabajo dentro de valores aceptables es generar un significativo ahorro de energía, menores emisiones y mayor nivel de seguridad en obra, pero además debemos asegurar que el pavimento conserve una adecuada vida útil que no requiera mayor mantenimiento ni intervenciones tempranas que generarían nuevos consumos de energía.

En esta oportunidad se ha trabajado con importantes reducciones de temperaturas, del orden de 35 a 55°C, pero será necesario determinar en cada caso soluciones que conduzcan a un compromiso entre la reducción de las temperaturas de trabajo y la durabilidad del producto.

Se concluye que, para este fin, las metodologías para evaluar daño por humedad resultan muy adecuadas por lo que se propone su uso como herramienta para definir el rango de reducción de las temperaturas de fabricación que admite cada mezcla semicaliente diseñada para conservar buenas propiedades de cohesión y adherencia.

AGRADECIMIENTOS

A los Profesionales, Personal de Apoyo y Becarios del Área Tecnología Vial del LEMIT.

REFERENCIAS

- 1.- Agnusdei, J.O., Jair, M, Iosco, O.A., Fernández, A.I., López, M. Optimización de las temperaturas de mezclado y compactación en laboratorio y en planta de mezclas bituminosas con la utilización de ligantes no convencionales. Memorias de las Cuartas Jornadas Internacionales del Asfalto 2004. Cartagena de Indias, Colombia.
- 2.- Marcozzi, R. Algunos conceptos reológicos sobre mezclas asfálticas compactadas a diferentes temperaturas. Memorias del XIII° CILA, San José de Costa Rica, Costa Rica. Noviembre del 2005.
- 3.- Marcozzi, R. Evaluación del comportamiento mecánico de mezclas asfálticas realizadas a temperaturas reducidas. Revista Carreteras N° 153 – Mayo/Junio 2007, Asociación Española de Carreteras.
- 4.- Khatri, Bahía and Hanson. Mixing and Compaction Temperatures for Modified Binders using the Superpave Gyratory Compactor. The Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 70, pp. 368 -401, Marzo 2001.

- 5.- Norma ASTM 6927: Método de ensayo normalizado para la Estabilidad y Fluencia Marshall de Mezclas Bituminosas. Annual Book of ASTM Standards, Volumen 04.03.
- 6.- Norma ASTM 6931: Método de ensayo normalizado para la Resistencia a Tracción Indirecta (IDT) de Mezclas Bituminosas. Annual Book of ASTM Standards, Volumen 04.03.
- 7.- Norma AASHTO T-283: Resistance of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA) to Moisture-Induced Damage.
- 8.- Fernández, A.I., Agnusdei, J.O., Iosco, O.A. Temperaturas óptimas de mezclado y compactación de mezclas con asfaltos no convencionales. Memorias del XII° CILA, Quito, Ecuador, Noviembre 2003.
- 9.- Marcozzi, R. Utilización del Compactador Giratorio Superpave para evaluar la compactabilidad de las mezclas asfálticas. Memorias de la XXXIII° Reunión del Asfalto, Mendoza, Argentina. Noviembre del 2004.
- 10.- Marcozzi, R. Análisis preliminar sobre la utilización del ensayo de tracción indirecta en mezclas asfálticas diseñadas mediante el Sistema Superpave. Segunda Parte. Memorias de la XXXII° Reunión del Asfalto, Tafí del Valle, Argentina. Noviembre del 2002.
- 11.- Norma EN 12697-26: Mezclas bituminosas. Métodos de ensayos para mezclas bituminosas en caliente. Parte 26: Rigidez, Anexo C. Normas EN del Comité de Normalización Europeo CEN, AENOR Ediciones, Madrid, 2007.
- 12.- Norma BS 598: Part 110: 1996: Sampling and examination of bituminous mixtures for roads and other paved areas: Methods of test for the determination of wheel-tracking rate.
- 13.- Norma AASHTO T-324: Hamburg Wheel-Track Testing of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA).
- 14.- Agnusdei, J.O., Marcozzi, R., Iosco, O.A., Jair, M., Morea, F. Incidencias de las temperaturas de preparación y compactación sobre las propiedades de las mezclas preparadas con asfaltos modificados. XV Congreso Iberoamericano del Asfalto, 2009.
- 15.- Agnusdei, J.O., Iosco, O.A., Morea, F. Daños por humedad en mezclas asfálticas. Memorias del XIII° CILA, San José de Costa Rica, Costa Rica. Noviembre del 2005.
- 16.- Santucci, L. Moisture sensitivity de asphalt pavements. Technology Transfer Program. Publicación del Institute of Transportation Studies (ITS).