

NUEVAS MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS CON RECICLADO. UN ENFOQUE SUSTENTABLE DENTRO DEL MEDIO VIAL.

Ing Rosana Marcozzi^{1*}, Dr. Ing. Morea Francisco¹

Resumen

Debido a las implicancias ambientales en la fabricación de mezclas asfálticas en caliente (HMA en inglés) se han desarrollado tecnologías con la finalidad de reducir las temperaturas de producción y pavimentación que permiten disminuir la cantidad de energía requerida respecto a las mezclas asfálticas en caliente (HMA), reducir las emisiones de CO₂ y olores durante la elaboración, menores gastos de combustible, mejorar las condiciones de seguridad para los obreros en la planta y en obra y mantener un nivel aceptable de desempeño durante la vida útil del pavimento. Sin embargo esta reducción de temperaturas no debe traer aparejado problemas durante la elaboración así como en el desempeño final de la mezcla. Otro aspecto favorable para con el medio ambiente y el ahorro de materiales vírgenes es la utilización dentro de mezclas nuevas de reciclados de pavimentos conocidos como RAP. El objeto del presente trabajo es compartir los resultados obtenidos en la búsqueda de mezclas asfálticas que combinen las técnicas enunciadas precedentemente y que permitan la fabricación de pavimentos flexibles de alta calidad aunando las ventajas de reciclabilidad y de trabajabilidad, mejorando la huella de carbono de todo el proceso, debido al menor consumo energético y el menor tenor de emisiones al ambiente.

1 Introducción

La industria del asfalto ha buscado en los últimos años, disminuir el impacto ambiental de las tecnologías de pavimentación basados en la reutilización de material reciclado obtenido del pavimento (conocido como RAP) de las mezclas agotadas o envejecidas, como así también disminuyendo las temperaturas de fabricación o colocación y compactación de las mismas, lo que se conoce como tecnología WAM (Warm Asphalt Mixtures o mezclas asfálticas tibias).

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 [1] 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. Sin embargo, se comprueba también que al disminuir las temperaturas de mezclado y compactación se reducen las prestaciones mecánicas y de adherencia [2, 3].

Otro aspecto que hace a la sustentabilidad de la mezcla es la utilización de pavimento reciclado (RAP) que combinados con las técnicas de mezclas tibias permite además no

¹ Área Tecnología vial, LEMIT-CIC.

Calle 52 y calle 122. La Plata, Buenos Aires, Argentina.

tecnologiavial@lemit.gov.ar.

explotar materiales vírgenes con las acciones medioambientales que ello ocasiona además de permitir reutilizar un material, de excelente calidad, que de otra forma debería ser dispuesto convenientemente con el costo que ello implica.

Debido a las implicancias ambientales en la fabricación de mezclas asfálticas en caliente (HMA por sus siglas en inglés) se han desarrollado tecnologías [4] con la finalidad de reducir las temperaturas de producción y pavimentación que permiten disminuir la cantidad de energía requerida respecto a las mezclas asfálticas en caliente (HMA), reducir las emisiones de CO₂, ahorro de combustibles, reducir olores durante la elaboración, mejorar las condiciones de seguridad para los obreros en la planta y en obra y mantener un nivel aceptable de desempeño durante la vida útil del pavimento. Las tecnologías desarrolladas buscan mejorar, en mayor o menor medida, la trabajabilidad y compactabilidad de las mezclas. Existen aditivos que permiten reducir las temperaturas de elaboración manteniendo la trabajabilidad de la mezcla durante la construcción y que dicen mantener el desempeño de las mezclas asfálticas.

El desarrollo de mezclas asfálticas que combinen las técnicas enunciadas precedentemente (WAM-RAP) y que permitan la fabricación de pavimentos flexibles de alta calidad integrando ventajas de reciclabilidad y trabajabilidad, mejorando la huella de carbono de todo el proceso, debido al menor consumo energético y el menor tenor de emisiones al ambiente es un aporte dentro del medio vial a la sustentabilidad.

El presente trabajo pretende compartir los resultados obtenidos durante la evaluación de mezclas asfálticas con la combinación de ambas técnicas (uso de RAP y asfaltos “tibios”) a los efectos de desarrollar futuras propuestas sustentables de diseño, aprovechando las ventajas de las mismas.

2 Experimental

El presente trabajo presenta el estudio sobre el aporte de la utilización de RAP y tecnologías de mezclas tibias para la obtención de mezclas con desempeños aceptables y con una ganancia medioambiental. Para ello se procedió al estudio de dos Concretos asfálticos del tipo denso. Uno un Concreto Asfáltico en Caliente del tipo denso (CAC D-19) y una versión del anterior pero elaborada con una tasa de material reciclado (CAC D- 19(R)). Su diseño sigue los lineamientos de los proyectos de recomendación de la Comisión Permanente del Asfalto [5, 6].

Sobre las diferentes variantes se realizaron ensayos de desempeño frente al ahuellamiento, daño por humedad y se evaluaron las propiedades volumétricas y mecánicas a fin de comparar las ventajas de la utilización de las técnicas WAM-RAP

2.1 Materiales y mezclas

El RAP proviene de un pavimento de granulometría convencional densa con ligante convencional. Fue retirado de acopios homogéneos, separado en laboratorio en dos fracciones y caracterizado. En la Tabla 1 se presentan propiedades del RAP obtenidas luego de realizar el lavado del RAP por reflujo de solvente y recuperar el ligante mediante destilación Abson.

Tabla 1. Características del RAP empleado.

	RAP FINO	RAP GRUESO
Contenido de humedad, % s/m	0.32	0.21
Contenido de Asfalto Medio, % s/m	4.9	3.9
Ensayos sobre el asfalto recuperado		
Penetración (25 °C, 100g, 5s), 0.1 mm	33	31
Punto de Ablandamiento, °C	59.2	62.0
Viscosidad rotacional a 60 °C (2 rpm), dPa.s	9920	19550

Las granulometrías de los áridos recuperados del RAP permiten apreciar que hay presente arena redondeada, lo que es confirmado con valores de angularidad del agregado fino recuperado del orden de 36-38%.

En este trabajo se utilizaron dos tipos de ligantes. Uno del tipo convencional (CA30) y otro modificado con polímeros (AM3). Con estos asfaltos se les incorporo dos diferentes tipos de aditivos que permiten reducir las temperaturas mejorando la trabajabilidad. En adelante serán tibio 1 y 2 precedidos de CA30 o AM3 según sea el caso. En la Tabla 2 se vuelcan sus principales características.

Tabla 2. Principales características de los ligantes utilizados.

ASFALTO	CA-30	CA-30 Tibio1	CA-30 Tibio2	Norma
Ensayos sobre asfalto original				
Penetración a 25 °C (100g-5s), 0.1 mm	53	49	57	IRAM 6576
Punto de Ablandamiento, °C	52.6	57.0	50.6	IRAM 6841
Índice de penetración	- 0.4	+0.4	- 0.7	
Ductilidad a 25 °C (5cm/min), cm	+150	+150	+150	IRAM 6579
Viscosidad rotacional a 60 °C (SPL 29, 3.0 1/s), dPa.s	2960	3600	2730	IRAM 6837
Viscosidad rotacional a 135 °C (2 rpm), mPa.s	560	480	445	IRAM 6837
Viscosidad rotacional a 150 °C, (40 rpm), mPa.s	240	220	230	IRAM 6837
Viscosidad rotacional a 170 °C (100 rpm), mPa.s	110	100	105	IRAM 6837

Ensayos sobre residuo de ensayo en película rotativa fina (RTFOT)				
Variación de masa, %	0.08	-0.03	0.20	IRAM 6839
Penetración a 25 °C (100g-5s), 0.1 mm	39	34	40	IRAM 6576
Penetración retenida, % pen original	74	72	70	
Punto de Ablandamiento, °C	54.0	59.6	55.2	IRAM 6841
Ductilidad a 25 °C (5cm/min), cm	+150	+150	+150	IRAM 6579
Viscosidad rotacional a 60 °C (SPL 29, 3.0 1/s), dPa.s	5800	6050	5815	IRAM 6837
Viscosidad rotacional a 135 °C (20 rpm), mPa.s	645	640	710	IRAM 6837
Índice de durabilidad	2.0	1.7	2.1	
CLASIFICACIÓN	CA-30	CA-30	CA-30	IRAM 6604
GRADO DE PERFORMANCE PG	64-22	64-22	64-22	ASTMD6373
GRADO DE PERFORMANCE REAL	65-26	66-26	66-26	
ASFALTO	AM3	AM3 Tibio1	AM3 Tibio2	Norma
Ensayos sobre asfalto original				
Penetración a 25 °C (100g-5s), 0.1 mm	68	61	65	IRAM 6576
Punto de Ablandamiento, °C	70.0	74.6	84.5	IRAM 6841
Ductilidad a 25 °C (5cm/min), cm	+150	99	123	IRAM 6579
Recuperación elástica torsional a 25 °C (30 min), %	84	85	88	IRAM 6830
Viscosidad rotacional a 135 °C (SPDL 21, 10 rpm), mPa.s	2300	2020	2280	IRAM 6837
Ensayos sobre residuo de ensayo en película rotativa fina (RTFOT)				
Variación de masa, %	0.07	0.00	0.47	IRAM 6839
Penetración a 25 °C (100g-5s), 0.1 mm	51	46	54	IRAM 6576
Punto de Ablandamiento, °C	76.4	78.0	70.2	IRAM 6841
Ductilidad a 25 °C (5cm/min), cm	+150	117	+150	IRAM 6579
Recuperación elástica torsional a 25 °C (30 min), %	77	75	68	IRAM 6830
Viscosidad rotacional a 135 °C (SPDL 21, 2 rpm), mPa.s	5075	4525	3525	IRAM 6837
CLASIFICACIÓN	AM3	AM3		IRAM 6596
GRADO DE PERFORMANCE PG	70-28	70-28	64-28	ASTMD6373
GRADO DE PERFORMANCE REAL	71-28	72-28	69-30	

Las diferentes propiedades mecánicas se determinaron sobre un Concreto Asfáltico en Caliente del tipo denso de tamaño máximo 19 mm (CAC D-19). En la tabla 3 se indica la dosificación utilizada 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 6-20 mm, 6-12 mm y 0-6 mm, arena silicea y cal. Las mezclas identificadas con la letra R entre paréntesis utilizan aproximadamente un 20 % del material asfáltico reciclado (RAP). Las otras mezclas utilizan únicamente agregados pétreos

vírgenes. A fin de reproducir la curva obtenida para CAC, se ha utilizado el RAP en proporción 40/60 de RAP Grueso/ RAP Fino.

Tabla 3. Dosificación de la mezcla de diseño

Material	6-20 mm	6-12 mm	0-6 mm	Arena silícea	Cal
% Aridos	42	16	36	5	1

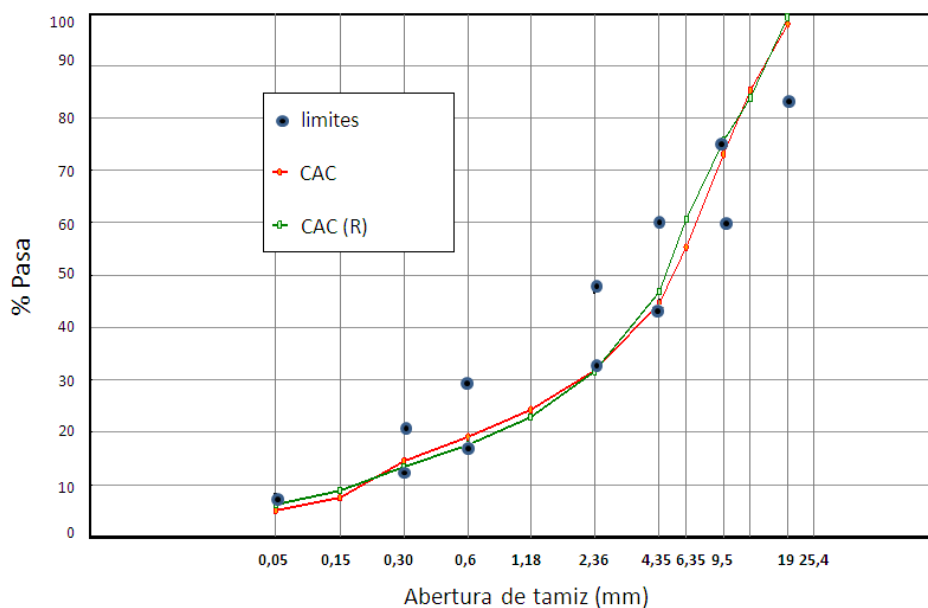


Figura 1. Curvas granulométricas

Tanto en las mezclas con agregados vírgenes como en las mezclas con RAP, la temperatura utilizada en el proceso de compactación de las probetas fue de 150 °C en las mezclas con AM3 y 120 °C para las mezclas realizadas con AM3 a temperaturas reducidas o con los asfaltos AM3 tibios. En el caso de las mezclas con ligantes convencionales, las temperaturas de compactación fueron de 150 °C para las mezclas con CA30 y 120 °C para las mezclas realizadas con CA30 a temperaturas reducidas o con los ligantes convencionales tibios. En el caso de las CAC (R) se utilizaron en todos los casos 10 grados menos de temperatura para los procesos de compactación. Esta disminución de la temperatura fue necesaria debido a la mayor compactabilidad que presentaban las mezclas al incorporar RAP de las características previamente mencionadas.

A la composición de áridos definidas en curva se le incorporó un 3.8% de ligante nuevo, de manera de obtener mezclas con un contenido de ligante total en el orden del 4.6%.

A fin de reproducir las peores condiciones de fabricación, en la mezcladora mecánica se colocaron los agregados vírgenes calientes y el RAP a temperatura ambiente y se mezclaron enérgicamente durante unos 15 segundos. Se incorporó el ligante virgen y se continuó mezclando hasta obtener recubrimiento total de los agregados. El tiempo de

mezclado de las mezclas con RAP resultó un poco superior al tiempo necesario para las otras mezclas.

En este trabajo, las mezclas llamadas tibias son las correspondientes CAC o CAC (R) que utilizan como ligantes los distintos asfaltos tibios. Los ligantes asfálticos utilizados fueron anteriormente descritos. Se utilizaron 3 asfaltos modificados con polímeros, AM3, AM3 Tibio 1 y AM3 Tibio 2, y 3 asfaltos convencionales, CA30, CA30 Tibio 1 y CA30 Tibio 2.

3 Métodos de ensayo

3.1 Susceptibilidad al daño por humedad (AASTHO T-283)

En el ensayo de daño por humedad AASTHO T-283 se moldean probetas Marshall de manera que las mismas tengan un $7 \pm 1\%$ de vacíos en su estructura para favorecer el efecto de la acción del agua. Para cada tipo de mezcla se moldean nueve probetas y se unen en grupos de tres de manera que el promedio de densidades de cada grupo sean similares. Uno de estos grupos se destina a grupo de control. Las probetas del segundo grupo son sometidas a un ciclo en agua a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 hs. Las probetas del tercer grupo se someten, igualmente saturadas que el grupo anterior, a un primer ciclo de congelamiento a $-18 \pm 3^{\circ}\text{C}$ durante un periodo de 16 a 18 hs. y luego al ciclo de inmersión en agua a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ anteriormente descrito. Luego de cumplimentados los ciclos de cada grupo las probetas se ensayan a tracción indirecta por compresión diametral a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Con el fin de determinar el daño generado por el agua en los distintos ciclos se evalúa el cociente de resistencia conservada a tracción indirecta de los grupos sometidos a ciclos respecto al grupo de control. Esta resistencia conservada debe ser mayor al 80 % para considerar que la mezcla no es susceptible de sufrir un daño por humedad.

3.2 Ensayos de Rueda cargada (IRAM 6850 - EN 12697-22)

El ensayo de rueda cargada se utiliza para caracterizar el desempeño frente al ahuellamiento de las mezclas asfálticas en condiciones controladas de laboratorio. Cuenta con una cámara termostatazada que permite variar la temperatura y mantenerla estable durante el ensayo (IRAM 6850 - EN 12697-22). El ensayo básicamente simula el paso de una rueda cargada en condiciones de temperatura y carga extremas midiendo las deformaciones permanentes en la mezcla asfáltica en intervalos de 1 minuto por medio de adquisición electrónica a través de un LVDT. Se grafica la curva de deformaciones permanentes en función de los ciclos de carga para obtener como parámetros de caracterización de la resistencia al ahuellamiento la pendiente de ahuellamiento o velocidad de deformación (WTS) y la profundidad proporcional de huella (PRD).

3.3.- Ensayo de rueda cargada bajo agua (HAMBURGO AASHTO T-324)

El ensayo de Hamburgo se utiliza para caracterizar la susceptibilidad de la mezcla al daño por humedad. Este ensayo tiene la particularidad que para la evaluación del daño por humedad se utilizan probetas de mezcla asfálticas con vacíos de $7 \pm 1 \%$ que son sometidas al paso de una rueda cargada (705 N) durante 10000 ciclos mientras se encuentran sumergidas en un baño de agua a 50 °C. Durante el ensayo se mide las deformaciones permanentes ocurridas en la mezcla.

Durante el ensayo se registra la curva Deformación versus ciclos, la cual en general presenta dos rectas con pendientes bien diferenciadas. Una es la pendiente de deformación (creep slope) la cual permite evaluar la susceptibilidad al ahuellamiento. La segunda pendiente es conocida como “stripping slope” o pendiente de descubrimiento e indica la acumulación de deformación inducida por el daño producido por el agua.

El punto de inflexión entre las dos pendientes conocido como Punto de Descubrimiento (Stripping Point) corresponde al número de pasadas de rueda donde comienzan a ser evidentes los daños por humedad y que debe superar las 10.000 pasadas y la profundidad de huella o deformación mantenerse por debajo de 12.5 mm.

3.4 Índice de densificación

Las mezclas asfálticas presentan diferentes resistencias frente al proceso de compactación en obra. Esta resistencia a ser compactada es una medida de la energía necesaria para densificar una mezcla. En laboratorio el proceso de compactación se llevó a cabo con un compactador giratorio tratando de simular las condiciones en las que la mezcla es construida en obra. Las condiciones de compactación están definidas en la normativa AASHTO T312. Los números de giros fueron de 75 para las mezclas con ligantes modificados con polímeros y de 50 para las mezclas con ligantes convencionales. El parámetro propuesto para evaluar la resistencia de una mezcla es el Índice de densificación durante la compactación (CDI). Este, por definición, es el área bajo la curva de compactación entre el número inicial de giros, definido en las especificaciones en función del nivel de tránsito, y el 8% de vacíos en la mezcla (92% Drice). Cuanto menores sean los valores del CDI, menor energía se requeriría para alcanzar la densificación deseada. Para calcular este CDI se promediaron mediciones de al menos tres probetas.

4 Resultados y discusión

En la siguiente sección se presentan los principales resultados sobre las mezclas con parte de material reciclado (RAP) elaboradas con tecnologías de mezclas tibias (CAC(R) tibias) para reducir las temperaturas de elaboración y mejorar la trabajabilidad. A modo de comparación se elaboró el mismo concreto asfáltico con material reciclado a temperaturas reducidas (CAC (R) $T_{reducidas}$) y adicionalmente el concreto asfáltico de control con material

virgen completamente (CAC). En la Tabla 4 se presentan los resultados de los ensayos de daño por humedad evaluado según la metodología definida en la norma AASHTO T-283. Las mezclas CAC (R) tibias presentan buen comportamiento, superando en todos los casos el valor límite del 80 %. Por el contrario se observa que la mezcla CAC (R) $T_{reducidas}$ con el asfalto CA30 no supera dicho valor requerido de 80 %. Esto denota un potencial daño por humedad.

Tabla 4. Resultados de daño por humedad de acuerdo a la norma AASHTO T-283

Mezcla		CAC			CAC (R)			
ASFALTO	AM3	AM3 $T_{reducidas}$	AM3 Tibio 1	AM3 Tibio 2	AM3	AM3 $T_{reducidas}$	AM3 Tibio 1	AM3 Tibio 2
Cong+Inm	100.0	-	94.0	-	95.5	90.1	100.0	86.2
Inm	100.0	-	94.0	-	99.7	93.3	99.7	86.7
ASFALTO	CA30	CA30 $T_{reducidas}$	CA30 Tibio 1	CA30 Tibio 2	CA30	CA30 $T_{reducidas}$	CA30 Tibio 1	CA30 Tibio 2
Cong+Inm	82.0	-	91.0	90.0	86.7	76.6	84.8	86.2
Inm	96.0	-	96.0	94.0	88.9	77.7	92.5	86.6

Cong.+ Inm. : Ciclo de congelamiento + ciclo de inmersión

En las Figuras 2 y 3 se presentan los resultados del ensayo de rueda cargada de las diferentes mezclas estudiadas. Se observa que las mezclas tibias recicladas ofrecen mucha mejor respuesta al ahuellamiento con menores deformaciones acumuladas que la mezcla CAC sin material reciclado y elaborado a temperaturas tradicionales.

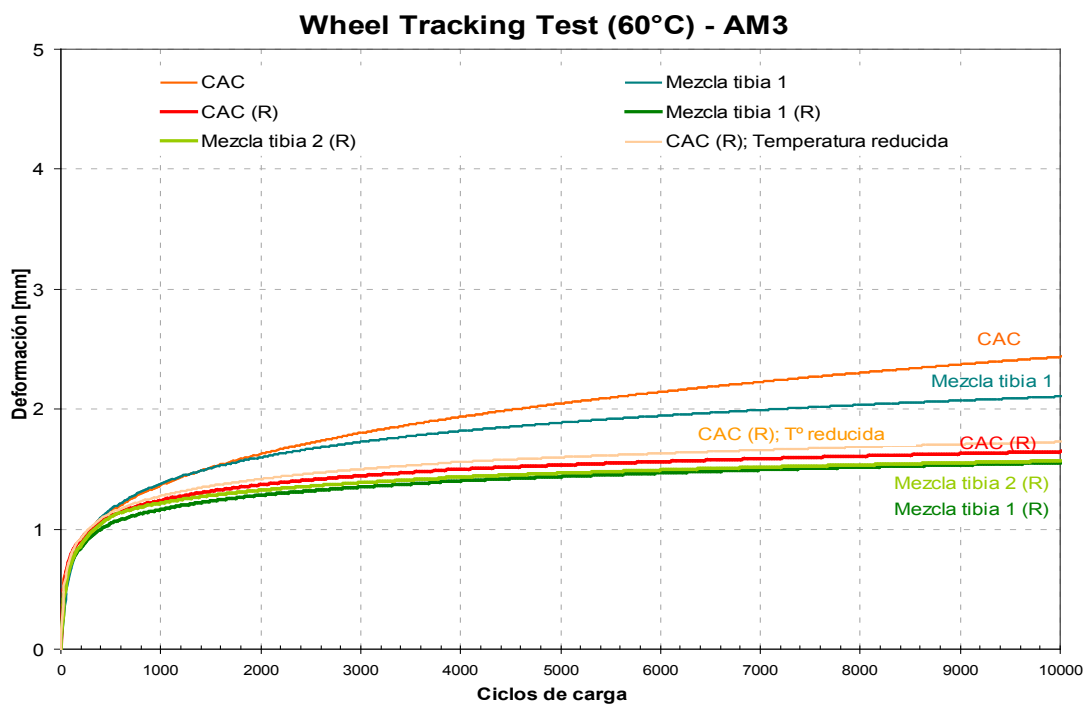


Figura 2. Resultados del ensayo de rueda cargada para el asfalto AM3

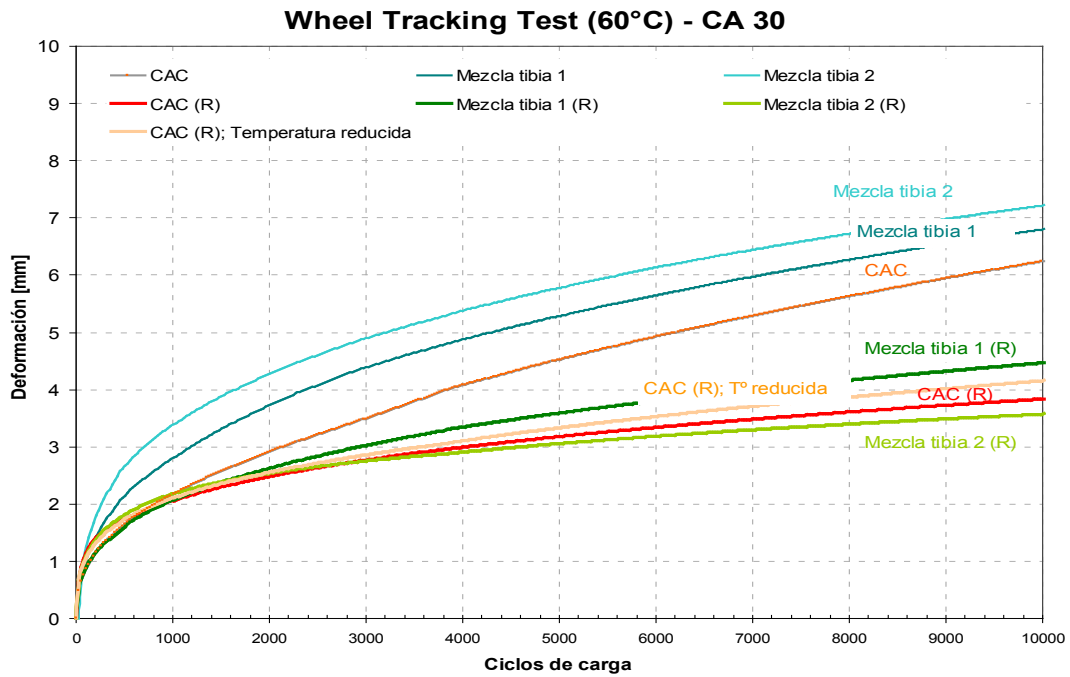


Figura 3. Resultados del ensayo de rueda cargada para el asfalto CA30

En las Figuras 4 y 5 se observan las curvas de deformación versus ciclos de los ensayos de Hamburgo de las diferentes mezclas. En las mezclas con asfalto modificado con polímeros AM3, Figura 4, no se alcanza en ningún caso el límite de deformación ni se producen efectos de daño por humedad (punto de inflexión). Las mezclas con material reciclado acumulan menos deformaciones al final del ensayo que las mezclas con agregados vírgenes.

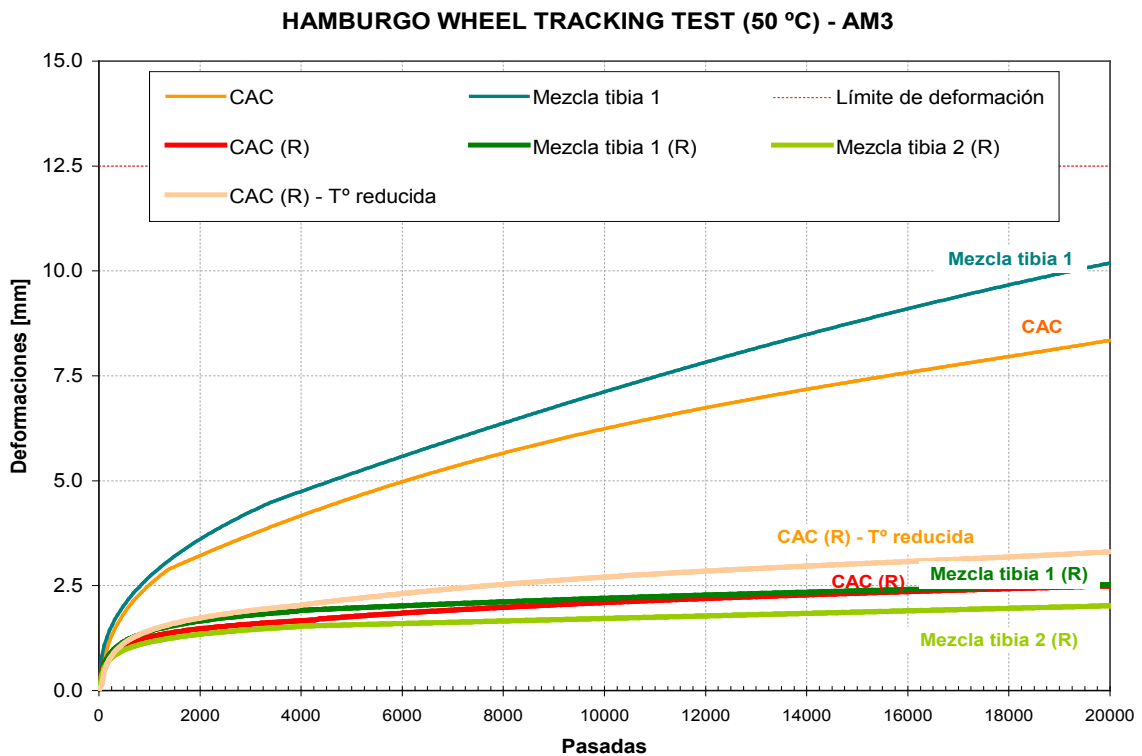
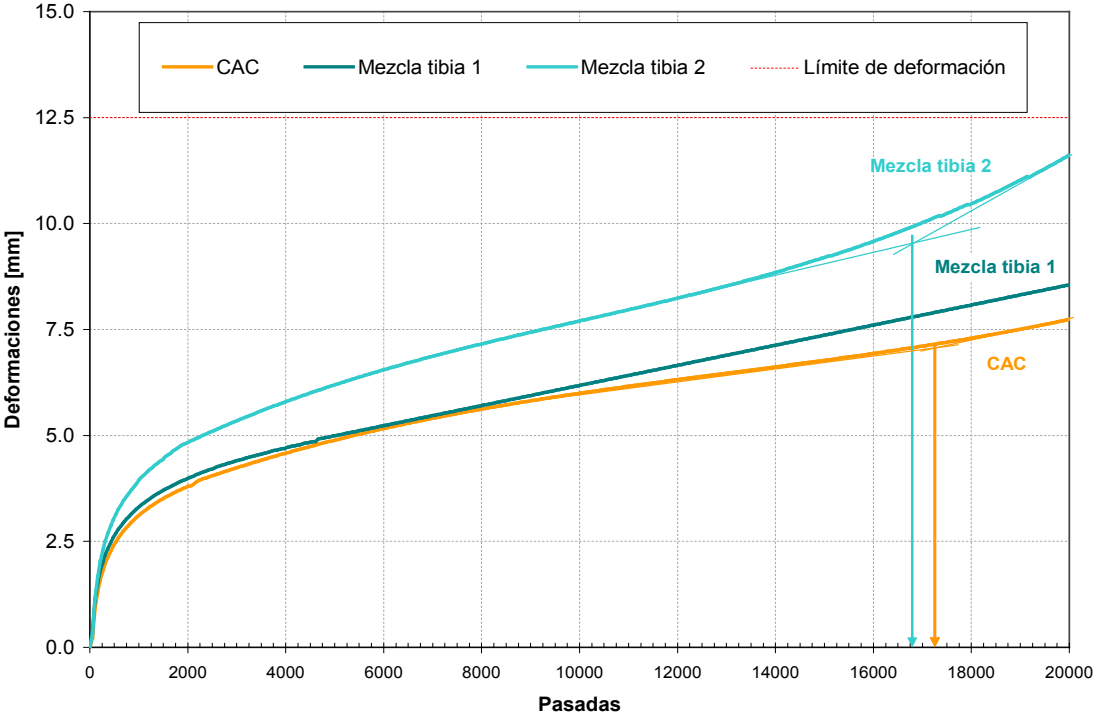


Figura 4. Resultados del ensayo Hamburgo - Asfalto AM3

En la Figura 5 se presentan los resultados para las mezclas con asfalto convencional CA30. La mezcla CAC (R) presenta daño por humedad antes que la mezcla CAC. A su vez, vemos que una disminución de las temperaturas de compactación genera grandes daños en una mezcla con material reciclado (CAC (R) – T°reducidas). Sin embargo, al utilizar asfaltos convencionales tibios, nos aseguramos un excelente comportamiento de las mezclas.

HAMBURGO WHEEL TRACKING TEST (50 °C) - CA30



HAMBURGO WHEEL TRACKING TEST (50 °C) - CA30

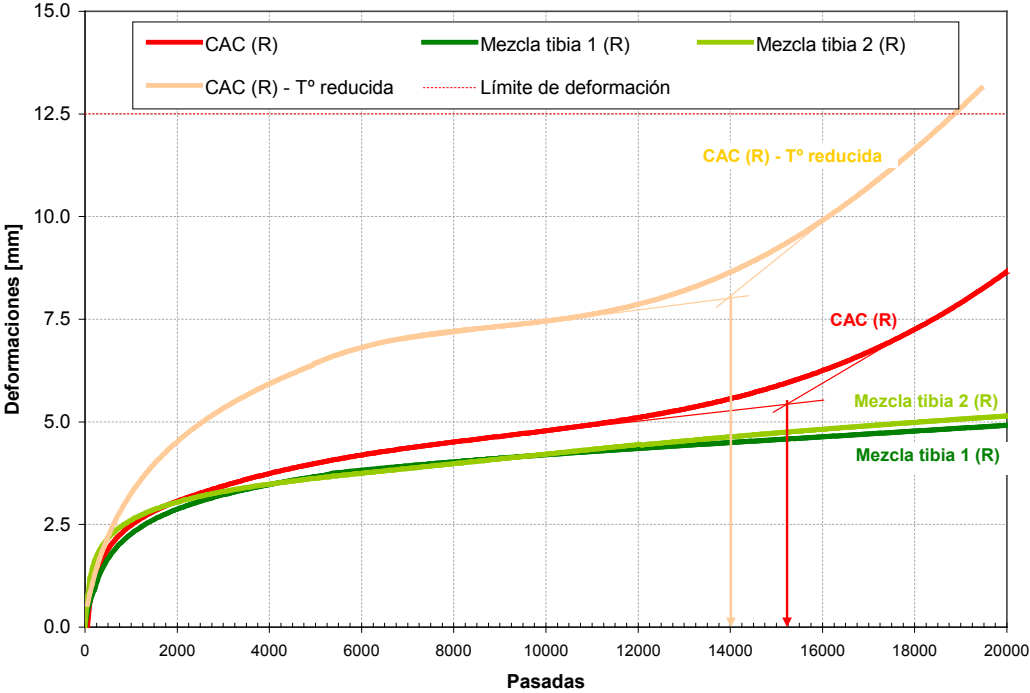


Figura 5. Resultados del ensayo Hamburgo - Asfalto CA30

En la Figura 6 y 7 se presentan los resultados de índice de compactación (CDI), resistencia a tracción indirecta (RTI) y vacíos para cada mezcla evaluada. Se observa en la figura 6 que la energía necesaria para compactar mezclas CAC (R) es mayor para el ligante modificados con polímeros, sin embargo se observa que al utilizar ligantes tibios (AM3 Tibio 1 o 2) se compacta más fácilmente (menor CDI) que la CAC (R) T_{reducidas}.

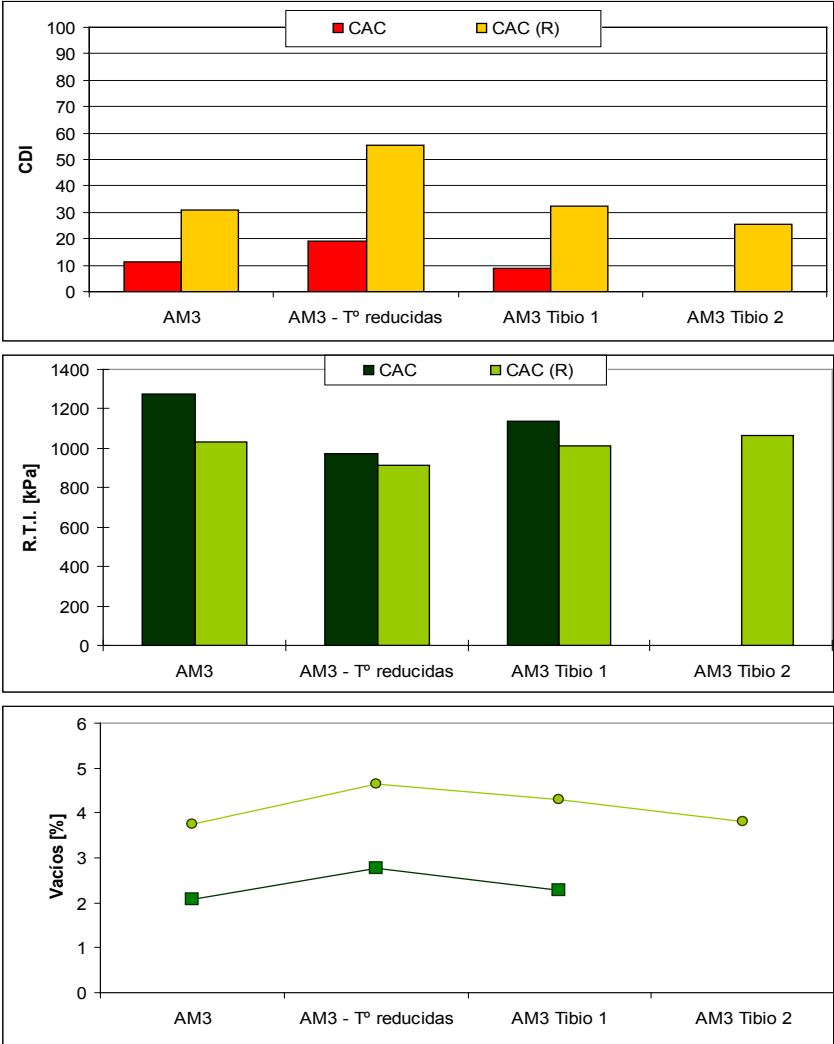


Figura 6. Resultados de CDI – RTI – % Vacíos. Asfalto AM3

Cuando se utilizaron asfaltos convencionales, Figura 7, la energía necesaria para compactar las mezclas CAC (R) resultó menor que la energía necesaria para compactar mezclas con agregados vírgenes CAC. Nuevamente, se confirma que la energía es aún menor cuando se utilizan ligantes tibios.

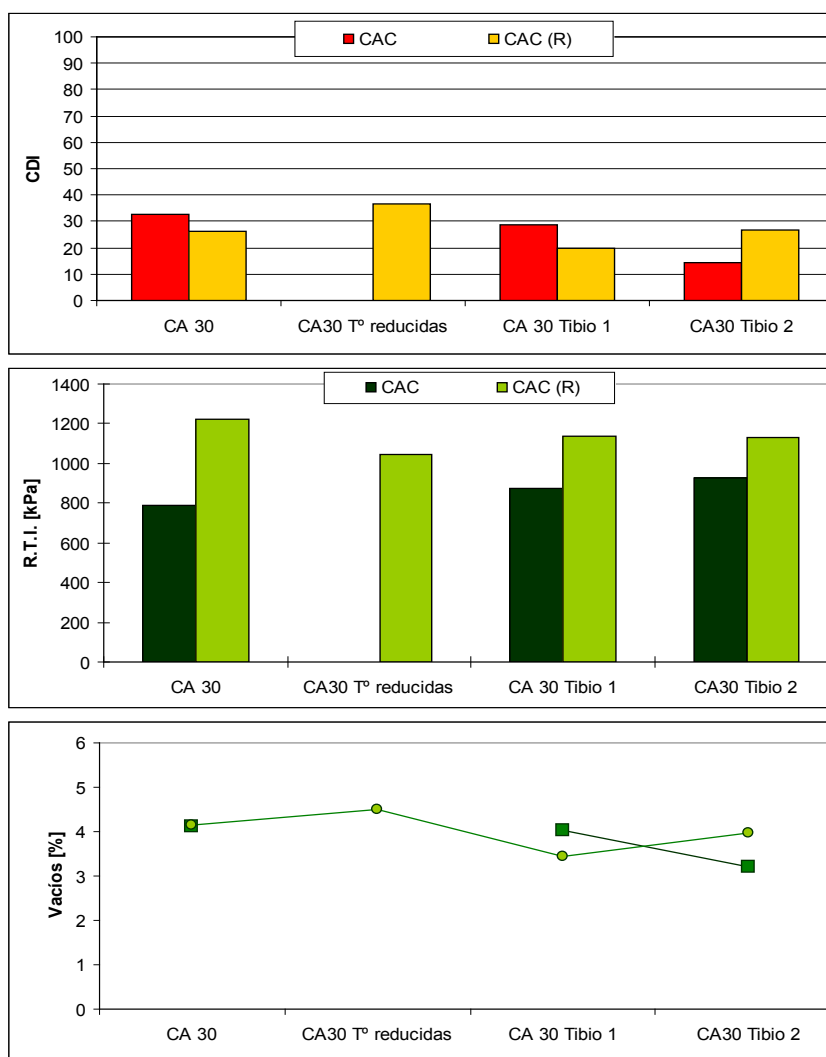


Figura 7. Resultados de CDI – RTI – % Vacíos. Asfalto CA30

5 Conclusiones

El presente trabajo comparte los resultados de laboratorio obtenidos en la evaluación de dos mezclas densas del tipo CAC D-19 y CAC D-19 (R), esta última conteniendo una tasa de RAP del 20%, con la utilización de ligantes convencionales del tipo CA 30 y modificados del tipo AM3. El objetivo es observar el comportamiento mecánico de las mezclas a los efectos de evaluar la sensibilidad de las mismas por el uso de material reciclado del pavimento (RAP) y tecnología de mezclas tibias para reducir las temperaturas de elaboración y obtener una ganancia medioambiental desde el punto de vista de menores emisiones, mejores ambientes de trabajo para las personas, utilización de menores recursos y reutilización y disposición de pavimentos que cumplieron su vida útil o fallaron. A continuación se muestran las principales conclusiones.

En carácter general se presenta que las mezclas tibias con RAP son una muy buena opción presentando muy buenas prestaciones frente al ahuellamiento y daño por humedad además de las implicancias medioambientalmente positivas.

Las mezclas tibias con RAP presentan buen comportamiento al daño por humedad, superando en todos los casos el valor límite exigido.

La mezclas tibias con RAP presentan mejores resistencia al ahuellamiento.

En el ensayo de Hamburgo, el uso de asfalto modificado con polímeros AM3, hace que no se alcance en ningún caso el límite de deformación ni se produzcan efectos de daño por la acción del agua. Por otra parte las mezclas con material reciclado acumulan menos deformaciones al final del ensayo que las mezclas con agregados vírgenes.

En este trabajo Se observó que las mezclas con RAP con asfalto modificado AM3 son más difíciles de compactar. Sin embargo se mejora al utilizar tecnología de mezclas tibias (ligantes tibios). Por su parte con los asfaltos convencionales (CA30), la energía necesaria para compactar las mezclas con RAP resultó menor que la energía necesaria para compactar mezclas con agregados vírgenes. Nuevamente, se confirma que la energía es aún menor cuando se utilizan ligantes tibios.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al personal de apoyo del LEMIT Claudio Veloso, Jorge Coacci y Javier Batic en el desarrollo de toda la parte experimental.

Bibliografía

- [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 XIIIº 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 Nº 153 – Mayo/Junio 2007, Asociación Española de Carreteras.
- [4]. D'ANGELO J., HARM E., BARTOSZEK J., BAUMGARDNER G., CORRIGAN M., COWSERT J., HARMAN T., JAMSHIDI M., JONES W., NEWCOMB D., PROWELL B., SINES R., YEATON B. (2008) Warm-Mix Asphalt: European Practice FHWA Report Nº FHWA-PL-08-007.
- [5]. Comisión Permanente del Asfalto, "Proyecto de Pliego de Especificaciones Técnicas Generales para Mezclas Asfálticas en Caliente Gruesas", versión 2010.
- [6]. Comisión Permanente del Asfalto, "Proyecto de Pliego de especificaciones Técnicas Generales para Concretos Asfálticos Convencionales Reciclados en Caliente", versión 2010.