

## **SEGUIMIENTO EN TRAMOS EXPERIMENTALES EJECUTADOS CON MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS**

Balige M.<sup>1</sup>, Berardo A.<sup>1</sup>, Vargas Martinez, M.<sup>1</sup>, Daguerre L.<sup>2</sup>, Larsen D.<sup>2</sup>, Williams E.<sup>2</sup>, Leanza A.M.<sup>3</sup>, Torba, J. C.<sup>3</sup>, Bellizzi, F.<sup>3</sup>, Bolzan P.<sup>4</sup>, Rey O.<sup>5</sup>, Tarabine G.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> YPF SA– Asistencia Técnica & Desarrollo Asfaltos. Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Argentina

marcela.balige@ypf.com; alejandro.berardo@ypf.com; mike.vargasmartinez@ypf.com

<sup>2</sup> UIDIC-LAPIV. Laboratorio de pavimentos e Ingeniería Vial. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de La Plata. La Plata – Argentina. lapiv@ing.unlp.edu.ar

<sup>3</sup> EMUI. Ente de Mantenimiento Urbano Integral. Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. Ciudad Autónoma de Buenos Aires – Argentina. amleanza@gmail.com

<sup>4</sup> ASESOR VIAL. Buenos Aires – Argentina. pablobol@gmail.com

<sup>5</sup> PREDIAL S.A. Ciudad Autónoma de Buenos Aires – Argentina. gtarabine@predialsa.com.ar; orey@predialsa.com.ar

Durante el mes de marzo del año 2015 se realizaron tramos experimentales en la Ciudad de Buenos Aires, donde se aplicaron mezclas asfálticas (CACD19-CA30T y SMA19-AM3T) empleando como ligantes asfaltos tibios convencionales y modificados. A su vez, para poder obtener parámetros de comparación y control se aplicaron mezclas asfálticas de similar esqueleto granular pero utilizando como ligantes los habituales CA30 y AM3.

En esta primer experiencia los estudios abarcaron la verificación previa de las mezclas asfálticas, análisis de emisiones en planta y obra, homogeneidad de temperaturas mediante termografía, toma de muestras y verificación de las propiedades mecánicas y volumétricas, tal cual se presentara en el CILA 2015 realizado en Bariloche.

Teniendo en cuenta la importancia que genera con la política pública asumida por el Gobierno de CABA y su compromiso con el medio ambiente, a un año de la construcción y puesta en servicio, se reporta en el presente trabajo el comportamiento de estado de los tramos mencionados.

En este sentido se ha efectuado un relevamiento superficial -acorde a la Metodología de Evaluación de Pavimentos de la CABA- extrayendo a su vez testigos para evaluar la condición de los materiales y las distintas mezclas, considerando las cargas generadas por el tránsito.

Se obtendrán las primeras conclusiones de estos dos tipos mezclas aplicadas en una avenida y una calle de la ciudad, con vistas a continuar con el empleo de las mismas.

## 1 Introducción

Los cuatros tramos experimentales se llevaron a cabo en el mes de marzo del año 2015. La ubicación de los mismos tuvo lugar en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, y puntualmente se colocaron aproximadamente 450 Tn de mezcla de granulometría discontinua SMA19-AM3T (otras 450 Tn de SMA19-AM3 de control) en Avenida San Martín entre Chorroarín y Punta Arenas (Puente San Martín) y 500 Tn de mezcla de granulometría continua CAC D19-CA30T (otras 500 Tn de CAC D19-CA30 de control) en Avenida Acoyte entre Ángel Gallardo y Warnes.

El censo de tránsito realizado sobre cada una de las zonas de emplazamiento de los tramos experimentales y sus pares de control, indica que la avenida San Martín se encuentra cargada con un mayor número de ejes de tránsito pesado en relación con la Av. Acoyte, donde el tránsito pesado principalmente corresponde a Camiones Livianos (2 y 3 ejes) - Colectivos - Buses Escolares.

Tabla 1 Censo Vehicular relevado

Lugar	TMDS	N8,2 Anual
Av. San Martín 3571	29274	1521341
Acoyte 1329	12703	222089

## 2 Antecedentes

Previamente a la etapa constructiva, se realizó la elección de los materiales intervinientes ajustando los ligantes utilizados a cada uno de los tipos de mezcla a emplear y a su posterior desempeño así como también la verificación del resto de los materiales intervinientes (áridos, filler, fibras). Se establecieron las formulaciones correspondientes ajustándose a los husos granulométricos y se verificaron los parámetros de diseño, complementándose con estudios de rigidez y deformaciones permanentes a temperaturas de servicio.

En resumen, a continuación se detallan en las tablas 2 y 3 las fórmulas de referencia – expresadas en peso- para cada una de las tipologías de mezclas asfálticas que se aplicaron en los tramos mencionados según [1].

Tabla 2 Fórmula de referencia CACD19-CA30 / CA30T

Material	% Esqueleto Granular	% Total
Árido 6-20 granítico	52,0	49,50
Árido 0-6 granítico	47,0	44,75
Filler (Cal)	1,0	0,95
Ligante (CA30 / CA30T)	-	4,80
Total	100	100

Tabla 3 Fórmula de referencia SMA19-AM3 / AM3T

Material	% Esqueleto Granular	% Total
Árido 10-20 granítico	71,55	67,69
Árido 6-12 granítico	8,0	7,57
Arena de trituración	10,0	9,46
Filler Calcáreo	8,0	7,57
Filler (Cal)	2,0	1,89
Fibras Pellets	0,45	0,43
Ligante (AM3 / AM3T)	-	5,40
Total	100	100

Todos los ensayos previos de laboratorio fueron posteriormente constatados durante las distintas etapas: desde la elaboración de las mezclas asfálticas en Usina, el transporte, extendido y posterior compactación. En la Usina se realizó un Check list que incluyó: control visual y de temperatura, registro de tipo de combustible y consumos, control y medición de emisiones de gases de combustión, toma de muestras de la mezcla en cada camión y verificación de parámetros mecánicos y volumétricos mediante la elaboración de probetas siguiendo la metodología Marshall en el laboratorio del obrador.

Por otro lado los estudios en Campo incluyeron la verificación del tipo y peso de camiones, cobertura y métodos de control de la temperatura, distancia de transporte, superficie y riego de liga, espesor de mezcla suelta y espesor compactado, temperatura detrás de la terminadora, extracción de muestras de mezcla asfáltica detrás de la terminadora, equipos de colocación y compactación, curva de enfriamiento de la mezcla, evolución de densificación mediante utilización de núcleo densímetro, tiempo y temperatura de la mezcla en la apertura al tránsito, marcación de lugares de extracción de testigos [1].

### 3 Desarrollo

Luego de transcurrido más de un año de su puesta en servicio, se ha efectuado un relevamiento superficial -acorde a la Metodología de Evaluación de Pavimentos de la CABA- extrayendo a su vez testigos para evaluar la condición de los materiales en las distintas mezclas, considerando las cargas ya generadas por el tránsito.

#### 3.1 Relevamiento superficial

El relevamiento superficial muestra que no aparece pérdida de perfil localizado en ninguna de las mezclas colocadas es decir no se manifiestan deformaciones permanentes.

Se ha observado comparativamente en las mezclas discontinuas un mayor amasado en las que poseen un ligante tipo AM3 –trochas de acceso a la ciudad- versus las que poseen AM3T.



Figuras 1 y 2 Estado superficial tramos mezcla SMA 19 AM3 y SMA 19 AM3T.

Respecto de las mezclas densas se puede afirmar que han tenido un buen comportamiento en general, apareciendo en forma muy localizada alguna fisura errática sobre la superficie principalmente sobre la CAC D19 CA30.



Figuras 3, 4 y 5 Estado superficial tramos mezcla CAC D19 CA30 y CAC D19 CA30T.

### 3.2 Verificaciones sobre el ligante asfáltico

En las tablas 4, 5 y 6 se detallan los parámetros analizados sobre los 4 ligantes asfálticos empleados, en estado previo a la fabricación de la mezcla asfáltica, recuperado de la mezcla asfáltica luego de su elaboración tomada de la cola de la terminadora y a 1 año desde su colocación, mediante la recuperación de cada uno de los ligantes de los testigos extraídos del pavimento.

Tabla 4 Características ligantes previo al proceso de elaboración de mezclas [1]

Ensayo	Método	CA 30	CA 30T	AM 3	AM 3T
Sobre el ligante virgen					
G* @60°C; kPa	ASTM D7175:2008	3,15	3,45	7,16	6,71
δ @60°C; °	ASTM D7175:2008	85,3	82,5	60,9	61,4
Recuperación elástica por torsión; %	IRAM 6830:2011	-	-	82	72
Viscosidad Rot. a 170°C; dPa*seg	IRAM 6837:2011	-	-	5,10	3,95
Sobre el ligante envejecido IRAM 6839:2003 (RTFOT)					
G* @60°C; kPa	ASTM D7175:2008	5,75	5,64	14,2	9,5
δ @60°C; °	ASTM D7175:2008	82,4	83,7	57,5	60,0

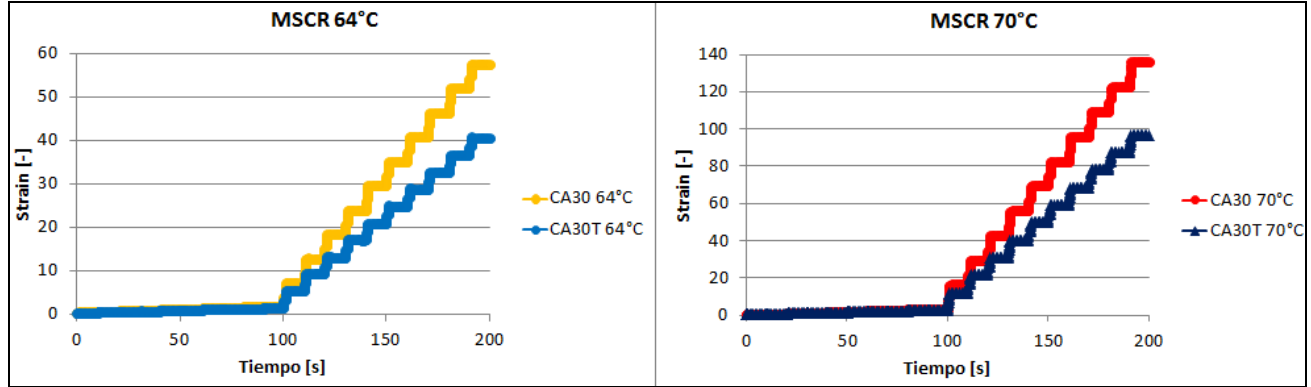
Tabla 5 Características ligantes recuperados de la mezclas asfáltica tomada detrás de la terminadora [1]

Ensayo	Método	CA 30	CA 30T	AM 3	AM 3T
Viscosidad Rot. a 135°C; dPa*seg	IRAM 6837:2011	8,40	7,78	-	-
Viscosidad Rot. a 170°C; dPa*seg	IRAM 6837:2011	-	-	7,83	4,62
G* @60°C; kPa	ASTM D7175:2008	4,50	4,30	17,2	10,2
δ @60°C; °	ASTM D7175:2008	80,0	81,1	56,6	59,5

Tabla 6 Características ligantes recuperados de testigos extraídos del pavimento (1 año servicio)

Ensayo	Método	CA 30	CA 30T	AM 3	AM 3T
Viscosidad Rot. a 135°C; dPa*seg	IRAM 6837:2011	9,92	11,80	-	-
Viscosidad Rot. a 170°C; dPa*seg	IRAM 6837:2011	-	-	6,85	5,15
G* @60°C; kPa	ASTM D7175:2008	8,66	9,25	12,60	10,90
δ @60°C; °	ASTM D7175:2008	79,2	78,4	57,8	61,7
G* @64°C; kPa	ASTM D7175:2008	5,16	5,45	-	-
δ @64°C; °	ASTM D7175:2008	80,1	80,0	-	-
G* @70°C; kPa	ASTM D7175:2008	2,44	2,55	5,17	4,33
δ @70°C; °	ASTM D7175:2008	82,8	82,2	58,5	63,0
G* @76°C; kPa	ASTM D7175:2008	-	-	3,28	2,58
δ @76°C; °	ASTM D7175:2008	-	-	58,8	64,0

A continuación en las Figuras 6, 7, 8 y tabla 7, se muestran los valores obtenidos sobre los cuatro ligantes recuperados de los testigos extraídos del pavimento, del ensayo de MSCR (Multiple Stress Creep and Recovery) a temperaturas de 64°C y 70°C para los “convencionales” y 76° C para los ligantes “modificados” [2]



Figuras 6 y 7. MSCR sobre CA30 y CA30T.

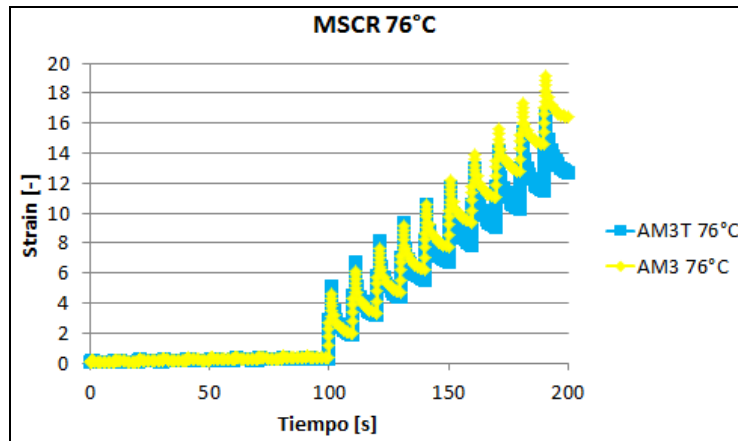


Figura 8. MSCR sobre AM3 y AM3T.

Tabla 7 Características ligantes recuperados de testigos extraídos del pavimento (1 año servicio)

Ensayo	Método	CA 30	CA 30T	AM 3	AM 3T
RE <sub>3,2</sub> @64°C; %	ASTM D7405:2015	0,2	1,6		
RE <sub>dif</sub> @64°C; %	ASTM D7405:2015	9,3	9,4		
RE <sub>3,2</sub> @70°C; %	ASTM D7405:2015	0 (-2,8)	0 (-2,1)		
RE <sub>dif</sub> @70°C; %	ASTM D7405:2015	7,7	6,3		
RE <sub>3,2</sub> @76°C; %	ASTM D7405:2015	-	-	63,5	75,2
RE <sub>dif</sub> @76°C; %	ASTM D7405:2015	-	-	13,6	7,7
J <sub>nr 3,2</sub> @64°C; kPa <sup>-1</sup>	ASTM D7405:2015	1,74	1,23	-	-
J <sub>nr dif</sub> @64°C; %	ASTM D7405:2015	14,5	11,4	-	-
J <sub>nr 3,2</sub> @70°C; kPa <sup>-1</sup>	ASTM D7405:2015	4,14	2,94	-	-
J <sub>nr dif</sub> @70°C; %	ASTM D7405:2015	17,3	13,2	-	-
J <sub>nr 3,2</sub> @76°C; kPa <sup>-1</sup>	ASTM D7405:2015	-	-	0,50	0,39
J <sub>nr dif</sub> @76°C; %	ASTM D7405:2015	-	-	47,6	55,0

Nota: Non-Recoverable Creep Compliance  $J_{nr\ dif} = (J_{nr\ 3,2} - J_{nr\ 0,1}) / J_{nr\ 0,1} \times 100$

Tabla 8 Detalle Tipo de Tráfico [3] y [4]

Tipo de Tráfico	Parámetros	ESALs	Speed
Standard Traffic "S"	$J_{nr\ 3,2}$ máx 4,5 kPa <sup>-1</sup> $J_{nr\ diff}$ máx; 75%	10 Millon y > 70 km/h	
Heavy Traffic "H"	$J_{nr\ 3,2}$ máx 2,0 kPa <sup>-1</sup> $J_{nr\ diff}$ máx; 75%	10 – 30 Millon o 20 – 70 km/h	
Very Heavy Traffic "V"	$J_{nr\ 3,2}$ máx 1,0 kPa <sup>-1</sup> $J_{nr\ diff}$ máx; 75%	> 30 Millon o < 20 km/h	
Extremely High Designation "E"	$J_{nr\ 3,2}$ máx 0,5 kPa <sup>-1</sup> $J_{nr\ diff}$ máx; 75%	>30 Millon y < 20 km/h	

### 3.3 Verificaciones sobre mezclas asfálticas

A modo informativo, se adjuntan los parámetros mecánicos y volumétricos de las mezclas correspondientes al momento de su colocación [1]. Asimismo, se han verificado los parámetros volumétricos de los testigos extraídos a un año de servicio y comparados los resultados con los extraídos durante los primeros días de servicio [1].

Por último se han verificado los parámetros mecánicos de los testigos extraídos del pavimento luego de un año de servicio, principalmente mediante la evaluación de su rigidez siguiendo los lineamientos de la normativa EN 12697-26:2012 y el comportamiento frente a deformaciones permanentes a través de la normativa EN 12697-25:2007.

#### 3.3.1 Parámetros mecánicos y volumétricos Marshall

A continuación en las tablas 9 y 10 se adjuntan los parámetros relevados en [1] sobre las cuatro mezclas asfálticas en estudio.

Tabla 9 Parámetros volumétricos Marshall CAC D19-CA30 y CAC D19 CA30T

Mezcla	Temp. Moldeo	Asfalto Recup.	Dens. Apar.	Dens. Rice	Vacíos	VAM	VOB	Estab.	Relación E/F	IRC
	[°C]	[%]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[%]	[%]	[%]	[Kn]	[kN/cm]	[%]
CACD19-CA30	145	4,70	2,375	2,502	5,1	16,2	69,0	12,13	39,04	92,0
Desvío estándar		0,14	0,009	0,02	1,06	1,35	3,96	1,65	3,55	*
CACD19-CA30T	120	4,9	2,396	2,494	3,9	15,7	74,9	12,29	39,95	90,0
Desvío estándar		0,12	0,003	0,004	0,023	0,325	0,374	2,12	0,74	*
Fórmula de diseño	145	4,80	2,413	2,504	3,6	15,2	76,1	11,99	35,30	>80

\*Se determinó sobre única muestra.

Tabla 10 Parámetros mecánicos y volumétricos Marshall SMA19-AM3 y SMA 19 AM3T

Mezcla	Temp. Moldeo	Con. Asfalto	Dens. Apar.	Dens. Rice	Vacíos	VAM	VOB	IRC
	[°C]	[%]	[g/cm3]	[g/cm3]	[%]	[%]	[%]	[%]
SMA19-AM3	165	5,10	2,381	2,502	4,8	17,0	71,6	87
Desvío estándar		0,283	0,020	0,025	0,856	0,194	4,72	*
SMA19-AM3T	145	5,14	2,366	2,499	5,3	17,5	69,5	85
Desvío estándar		*	*	*	*	*	*	*
SMA19-AM3T	165	5,16	2,394	2,501	4,3	16,6	74,4	87
Desvío estándar		0,035	0,011	0,003	0,532	0,53	2,337	*
Fórmula de diseño	165	5,40	2,384	2,495	4,4	17,3	74,3	>80

\*Se determinó sobre única muestra.

### 3.3.2 Evaluación de rigidez y comportamiento frente a deformaciones permanentes sobre testigos

La evaluación de la rigidez se realizó mediante la determinación del Stiffness según indica la normativa EN 12697-26:2012 Annex C "Indirect tension test on cylindrical specimens". La misma se efectuó sobre las cuatro mezclas asfálticas aplicadas a temperaturas de 10°C y 20°C y 124 ms de rise time.

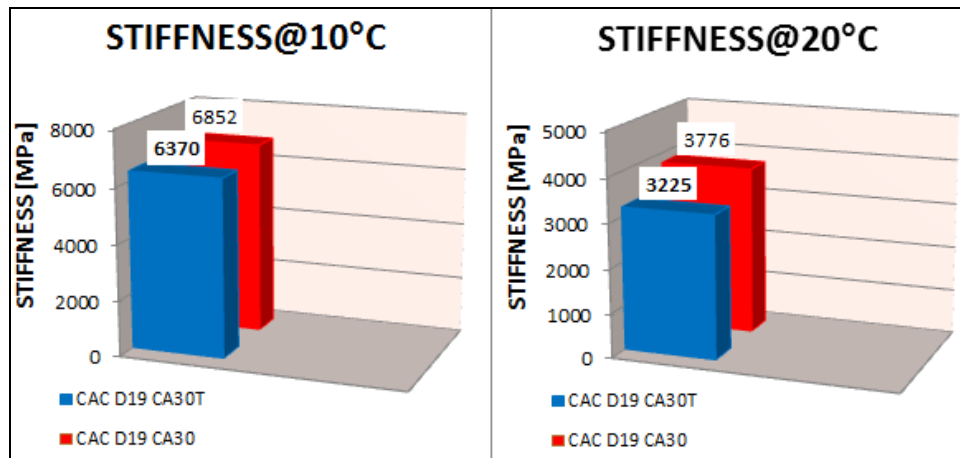


Figura 9 Stiffness CACD19-CA30 y CAC D19 CA30T a 10 °C, 20°C y 124 ms (1 año de servicio)



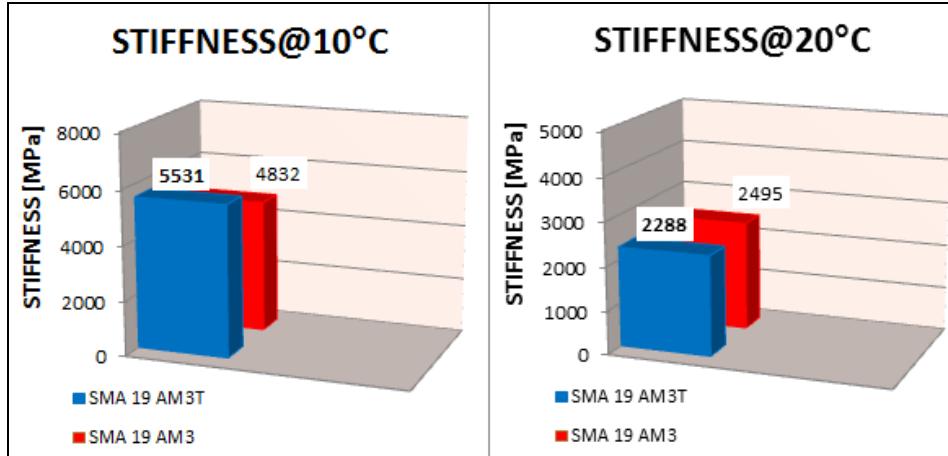
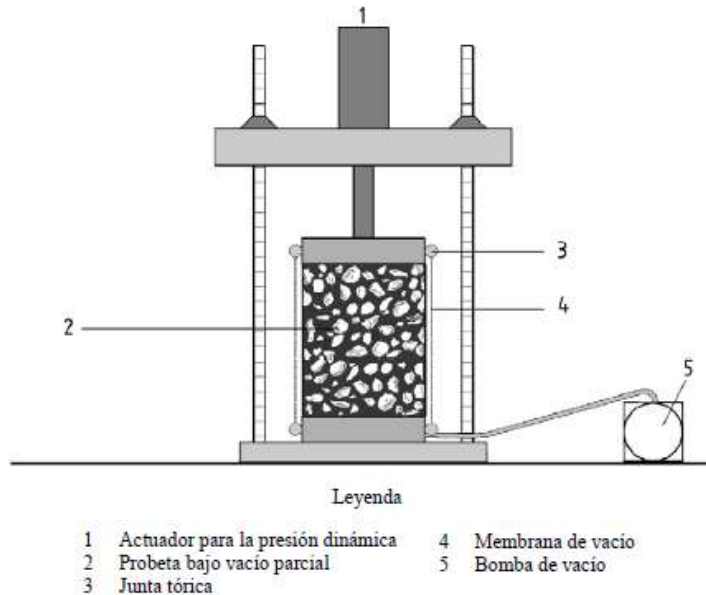


Figura 10 Stiffness SMA19-AM3 y SMA 19 AM3T a 10 °C, 20°C y 124 ms (1 año de servicio)

El comportamiento frente a deformaciones permanentes fue evaluado a través del ensayo descrito por la normativa EN 12607-25:2006 Parte B Ensayo de Compresión Triaxial Cíclico. Los resultados que se informan a continuación, corresponden al promedio de dos determinaciones en cada una de las mezclas evaluadas.



**Representación esquemática de un dispositivo de ensayo de compresión cíclica triaxial que utiliza una vacío parcial como presión de confinamiento**

Figura 11 Esquema ensayo de Compresión Triaxial Cíclico.

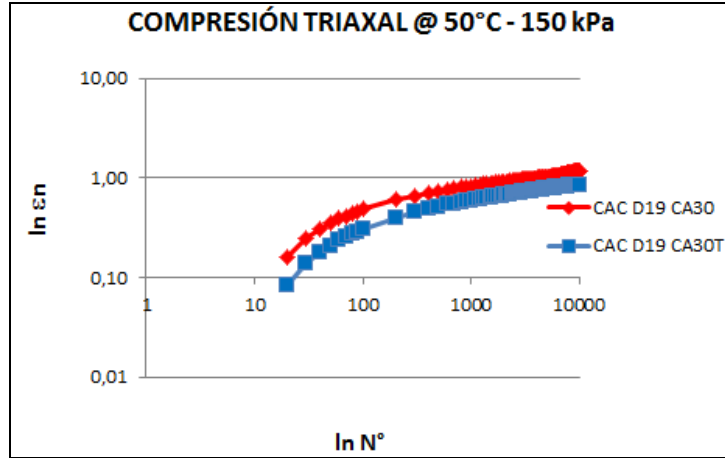


Figura 12 Deformación axial acum. vs número de pulsos de carga CAC D19.

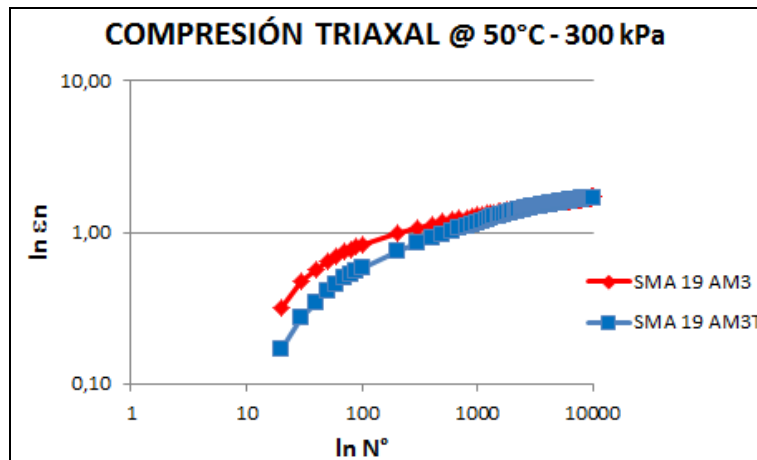


Figura 13 Deformación axial acum. vs número de pulsos de carga SMA 19.

Tabla 11 Parámetros ensayo Compresión Triaxial Cíclico @50°C.

Parámetros	Unidades	CAC D19 CA30	CAC D19 CA30T	SMA 19 AM3	SMA 19 AM3T
Temperatura	[°C]	50	50	50	50
$\sigma_v$	[kPa]	150	150	300	300
$\epsilon_n$ (10000 ciclos)	[ $\mu$ strain]	11804	8566	17104	16999
$\epsilon_n$ (10000 ciclos)	[%]	1,18	0,86	1,71	1,70
$E_n$	[MPa]	127	175	175	176

### 3.3.3 Verificación volumétrica sobre testigos extraídos del pavimento

A continuación se detallan los valores promedio y desvío estándar de porcentajes de vacíos alcanzados en testigos extraídos en forma aleatoria del pavimento, para cada una de las mezclas asfálticas colocadas a un año de su puesta en servicio. De manera análoga, se muestran comparativamente los valores obtenidos según se informaran en [1] sobre testigos extraídos durante los primeros días luego de la puesta en servicio de cada tramo asfáltico.

Tabla 12 Valores promedio de % de vacíos sobre testigos extraídos del pavimento

Tramo	Mezcla Inicial		Mezcla con un año de puesta en servicio	
	Vacíos [%]		Vacíos [%]	
	Promedio	Desvío	Promedio	Desvío
SMA19-AM3*	4,3	0,80	3,8	0,87
SMA19-AM3T*	4,0	1,15	3,7	0,81
CACD19-CA30*	5,9	0,82	5,5	1,2
CACD19-CA30T*	5,6	0,72	4,8	0,3

\*Nota: Para el análisis a un año de servicio se extrajeron 10 testigos por cada uno de los tramos evaluados.

## 4 Consideraciones finales

.- A partir de los ensayos y relevamientos realizados luego de un año de la ejecución de los tramos experimentales CAC D19 CA30T, SMA 19 AM3T y sus pares de control, podemos indicar:

.- Del análisis reológico de los ligantes asfálticos recuperados se observa un incremento del Módulo de rigidez en los cuatro ligantes asfálticos respecto a los valores obtenidos en el momento de la colocación de las mezclas asfálticas. Este incremento es notablemente menor en ambos los ligantes modificados. A su vez se reduce el ángulo de fase que, acompañado del incremento del valor de módulo, indica un incremento de sus componentes elásticas. Se incorporó al análisis el ensayo de Múltiple Stress, donde se observa en altas temperaturas que los ligantes CA30 y CA30T responden para 64°C a un tránsito de tipo "H" y para 70°C a un tránsito de tipo "S" según indica [2]. En cuanto a los ligantes AM3 y AM3T, ambos responden para 76°C a un tránsito tipo "E" según [2]. Es decir que **desde el punto de vista de los ligantes asfálticos, se ha obtenido un comportamiento similar de los ligantes tibios versus sus pares de control.**

.- La respuesta mecánica de los testigos evaluada a través del módulo de rigidez indica **similares niveles de comportamiento de las mezclas tibias en relación a sus pares de control** para las temperaturas y velocidad de aplicación de cargas utilizadas. La mezcla CAC D19 CA30T presenta un 93% y 86% de los valores a 10°C y 20°C respectivamente alcanzados por la mezcla de control. En el caso de la SMA 19 AM3T alcanza un 110% y 92% a 10°C y 20°C respecto a la mezcla de control.

.- El comportamiento frente a deformaciones permanentes se evaluó a través del ensayo de Compresión Triaxial Cíclico, donde observamos **deformaciones acumuladas similares para las mezclas tibias y sus pares de control**, al igual que las pendientes de deformación según las condiciones de ensayo establecidas.

.- En cuanto a los parámetros volumétricos se ha determinado una **disminución del porcentaje de vacíos en todas las mezclas asfálticas tanto en las que se ha utilizado ligantes tibios como sus pares de control**. En lo que respecta a las mezclas de granulometría discontinua la SMA 19 AM3T presentó una reducción del 7% respecto al valor original y la SMA 19 AM3 que presentó una reducción de 12%. En cuanto a las mezclas de granulometría continua, la CAC D19 CA30T presentó una reducción del 12% frente a un 7% presentado por la CAC D19 CA30.

## 5 Referencias

[1] Tramos experimentales empleando WMA en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. XVIII CILA, Bariloche, Argentina 2015.

[2] European round robin tests for the MSCRT and contribution to the development of the European Standard test method. 6<sup>th</sup> Erobitume Congress Prague 2016.

[3] AASHTO M323 Superpave Volumetric Mix Design

[4] AASHTO R35 Superpave Volumetric Design for Hot Mix Asphalt (HMA)