

## ESTUDIO DE COMPORTAMIENTO EN LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS CON INCORPORACIÓN DE RAP

Lisandro Daquerre, Diego Larsen, Eduardo Williams, Elisa Frígoli, Martín Uguet

UIDIC-LaPIV. Unidad de Inv. y Desarrollo Ing. Civil Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de La Plata. La Plata – Argentina. e-mail: [daquerre@ing.unlp.edu.ar](mailto:daquerre@ing.unlp.edu.ar); [uidic@ing.unlp.edu.ar](mailto:uidic@ing.unlp.edu.ar)  
<mailto:lapiv@ing.unlp.edu.ar>

### INTRODUCCIÓN

Las mezclas asfálticas de granulometrías continuas y elaboradas con asfaltos convencionales son mayormente utilizadas en la pavimentación vial. En general se combinan, mezclan y se realiza la puesta en obra a temperaturas en el orden de los 130-160°C. Este aspecto hace que exista un gran consumo de energía para calentar los materiales lo que genera altas emisiones al medio ambiente ocasionando diferentes tipos de impactos.

El desarrollo de nuevas técnicas y productos en los últimos 20 años, ha hecho posible - desde un punto de vista técnico-económico-, que se empiecen a utilizar determinados aditivos lo que ha facilitado por ejemplo, el ablandamiento o disminución de la viscosidad del ligante, logrando de esta manera la reducción de la temperatura de mezclado o la de la puesta en obra en unos 20 a 30°C, trayendo también otras ventajas como por ejemplo un aumento del tiempo para realizar el proceso de traslado y compactación de la mezcla, la disminución de envejecimiento prematuro del asfalto, menores emisiones, etc. En general este tipo de aditivos están formulados sobre la base de ceras.

Con otros tipos de aditivos se ha podido modificar y disminuir la tensión interfacial entre el ligante y los agregados, facilitando así una mayor lubricación, mejorando la envuelta y posibilitando la reducción de las temperaturas de compactación. Este último proceso de aditivación es el que se ha empleado en este estudio.

El objetivo principal de este trabajo ha sido el de evaluar el comportamiento mecánico de una mezcla densa CACD19 con CA30 que hace las veces de muestra control, comparativamente con tres mezclas CACD19 ligadas con tres asfaltos tibios diferentes, dos de ellos con RAP en concentraciones de 20 y 40% y constatar si se logra alcanzar prestaciones similares -a la del control- al haber sido reducidas las temperaturas de compactación. Complementariamente se ha efectuado el análisis integral del comportamiento reológico de los asfaltos empleados.

### PARTE EXPERIMENTAL

#### Estudio experimental de Laboratorio

Inicialmente se realizó la caracterización individual de los áridos graníticos, RAP y asfaltos. Posteriormente en su integración en diferentes proporciones en las cuatro mezclas señaladas, se constataron parámetros volumétricos y mecánicos Marshall.

En la Tabla 1 y 2 se informan los materiales constitutivos de las mezclas y el Huso granulométrico empleado.

Tabla 1. Identificación de las Formulaciones

<i>CACD19 CA 30</i>	<i>CACD19 CA30 TIBIO</i>	<i>CACD19 TIBIO R20</i>	<i>CACD19 TIBIO R40</i>
6-19 / 6-12 / 0-6 / Cal	6-19 / 6-12 / 0-6 / Cal	6-19 / 6-12 / 0-6 / Cal 20% RAP	6-19 / 6-12 / 0-6 / Cal 40% RAP
ASF. NUEVO 4.6%		ASF. NUEVO 3.6%	ASF. NUEVO 2.7%

Tabla 2. Abertura Tamiz y Huso Granulométrico DNV

19 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	600 mm	300 mm	74 mm
83 - 100	--	60 - 75	42 - 60	29 - 47	15 - 29	11 - 21	4 - 8

Los tenores de asfalto a incorporar en las mezclas con RAP fueron reducidos en 0,1% respecto de la mezcla de control y de la que posee asfalto tibio en virtud de poseer una mayor trabajabilidad y/o movilidad lo que conlleva a obtener menores vacíos. [1] [2]

### Estudio reológico de los asfaltos empleados

Han sido cuatro los asfaltos empleados en el presente estudio. Uno convencional CA30 utilizado como referencia para la mezcla Control, los otros Tibios, poseen aditivos tensoactivos, mejoradores de adherencia y han sido en parte mezclados con el asfalto proveniente del RAP, siendo identificados como: T, TB 20R y TC 40R.

Los análisis se han efectuado sobre los asfaltos vírgenes, aditivados y mezclados con el asfalto aportado por el RAP en diferentes concentraciones, luego han sido oxidados en forma acelerada en RTFOT, finalmente y a los fines comparativos, se los ha evaluado luego de haber sido extraídos de probetas ensayadas.

En la Tabla 3 se reportan los ensayos sobre los asfaltos vírgenes, en la Tabla 4 luego de haber sido envejecidos en el RTFOT y en Tabla 5 las propiedades del RAP.

Tabla 3. Características ligantes vírgenes utilizados en:  
CAC D19, CAC D19 T, CAC D19 TB R20, CAC D19 TC R40

Ensayo	Método	CA 30	T	TB R20	TC R40
<i>Sobre el asfalto original</i>					
Penetración a 25°C; dmm	IRAM 6576	58	50	37	36
Punto de Ablandamiento; °C	IRAM 6841	48,5	57,5	58,6	58,2
Viscosidad Rot. a 60°C; dPa*seg	IRAM 6837	2.940	-	6.945	8.337
Viscosidad Rot. a 135°C; dPa*seg	IRAM 6837	5,50	5,35	7,11	7,05
G* <sub>60°C</sub> ; kPa	ASTM D7175	3,15	3,45	5,6	6,4
δ <sub>60°C</sub> ; °	ASTM D7175	85,3	82,5	82,5	81,0

Tabla 4. Características ligantes luego de envejecidos en RTFOT

Ensayo	Método	CA 30	T	TB R20	TC R40
<i>Sobre el residuo envejecido (RTFOT)</i>					
Pérdida de masa; %	IRAM 6839	-0,078	-0,114	-0,2954	-0,4496
Penetración a 25°C; dmm	IRAM 6576	44	37	28,1	24,4
Punto de Ablandamiento; °C	IRAM 6841	50,1	58,4	59,8	61,1
Viscosidad Rot. 60°C; dPa*seg	IRAM 6837	--	--	13.290	21.475
Viscosidad Rot. 135°C; dPa*seg	IRAM 6837	--	--	9,66	10,96
G* <sub>60°C</sub> ; kPa	ASTM D7175	5,75	5,64	10,4	13,2
δ <sub>60°C</sub> ; °	ASTM D7175	82,4	83,7	79,1	75,9
Índice de durabilidad	IRAM 6835			1,91	2,58

Tabla 5. Propiedades del RAP empleado

Ensayo	Método	RAP
Contenido de Asfalto; %	IRAM 6880-1	4,5
Penetración a 25°C; dmm	IRAM 6576	19
Punto de Ablandamiento; °C	IRAM 6841	71,5
Viscosidad Rot. 60°C; dPa*seg	IRAM 6837	71.550
Viscosidad Rot. 135°C; dPa*seg	IRAM 6837	22,77
G* <sub>60°C</sub> ; kPa	ASTM D7175	91,5
δ <sub>60°C</sub> ; °	ASTM D7175	63,6

Como puede observarse, el mismo posee una consistencia o grado de envejecimiento medida por la viscosidad a 60°C elevada, al igual que la penetración que está en un límite inferior como para ser que el asfalto pueda ser recuperado y rejuvenecido.

### Ensayos físicos y Análisis de resultados sobre las mezclas asfálticas

Las distintas mezclas fueron evaluadas a través de las siguientes metodologías:

- Formulación Marshall (IRAM 6845), Resistencia Conservada RTI
- Compactabilidad, Sistema de Compactación Giratoria (SCG) (UNE 12697-31)
- Fatiga, ensayo de flexión en 4 puntos (UNE12697-26D)
- Hamburgo WHTTest (AASHTO T-324 a 50°C)

### Parámetros mecánicos y volumétricos Marshall

Con cada una de las mezclas asfálticas se moldearon probetas Marshall con 75 golpes por cara. La temperatura de mezclado fue de 155°C y de compactación alrededor de los 145°C en las CACD19 CA30, y de 120°C para las CACD19 con asfalto Tibio (WMA) y con RAP. El material mezclado previo a la compactación se acondicionó en estufa durante 90 minutos para facilitar la absorción y el envejecimiento prematuro del asfalto. En la Tabla 6 se reportan los resultados.

Tabla 6. Parámetros mecánicos y volumétricos de diseño Marshall CAC D19

Mezcla CAC D19	Temp. Comp. °C	Dens. Apar. (g/cm <sup>3</sup> )	Dens. Rice (g/cm <sup>3</sup> )	Vacíos (%)	VAM (%)	VOB (%)	Estab (KN)	Fluen. (mm)	Relación E/FI (KN/cm)	
ASFALTO	CA 30	145	2,436 / 0,012	2,530	3,7 / 0,310	14,9 / 0,06	74,6 / 2,10	11,8	3,0	36,50
	T	120	2,430 / 0,014	2,530	4,0 / 0,559	14,9 / 0,15	73,0 / 1,90	11,2	3,5	39,40
	T B Rap 20%	120	2,428 / 0,056	2,529	4,0 / 0,220	14,9 / 0,19	73,2 / 1,12	12,6	3,4	37,00
	TC Rap 40%	120	2,419 / 0,002	2,526	4,2 / 0,080	15,1 / 0,07	72 / 1,41	10,8	3,3	32,70

Como se observa, la densidad aparente de las mezclas con asfalto tibio y tibio con rap, alcanzan valores levemente inferiores a los de la mezcla patrón, a pesar de haber sido compactados a 25°C menos. Los vacíos comunicados se encuadran dentro de las tolerancias de diseño y la estabilidad se mantiene relativamente uniforme.

Complementariamente se evaluó la influencia que el agua ejerce en la cohesión de la mezcla asfáltica a través del ensayo a Tracción Indirecta por Compresión Diametral (RTI). Se moldearon probetas Marshall con tenores de 7% de vacíos. Se acondicionaron y ensayaron vía seca y húmeda. La exigencia de la resistencia conservada, se indica en los pliegos de la Argentina, que debe ser superior al 80%. Los valores alcanzados fueron: CACD19CA30 95%, CACD19T 97%, CACD19TR20 94% CACD19TR40 87%. Siendo estos resultados similares a los obtenidos por S. Valdez (et al.) [3].

### Compactabilidad, Sistema de Compactación Giratoria (SCG) (UNE 12697-31)

Se verificó el grado de compactación alcanzado con cada una de las mezclas asfálticas, empleando el compactador giratorio. Se compactaron probetas con 100 giros a una temperatura de 145°C para la mezcla de control y a 120°C para las que poseen asfaltos tibios y tibios con RAP.

Con esta metodología fue posible estimar la resistencia a la compactación ejercida por las diferentes mezclas, obteniendo del Índice de Densificación (CDI), definido por el área comprendida bajo la curva entre el giro N° 8 y el giro al cual se alcanza un 92 % de la Densidad Rice (Gmm)(8% vacíos) Figura 1, Tabla 7. Mediante este indicador se representa el trabajo mínimo de compactación que se realiza durante la puesta en obra, para que el material pueda comenzar a resistir las cargas una vez habilitado al tránsito. Originalmente definido por H. Bahía [4] y determinado para diferentes mezclas en la Argentina por Marcozzi, Jair, et al. [5] [6], indica que los menores valores de CDI, hacen que la mezcla posea una mejor compactabilidad.

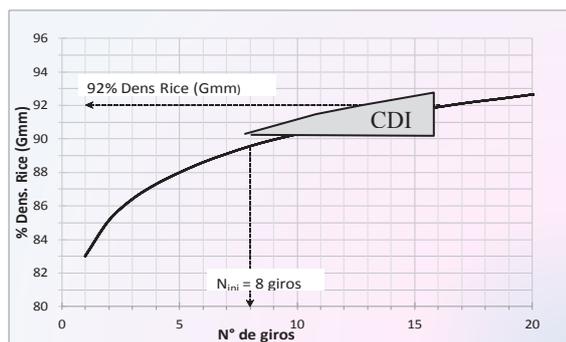


Fig. 1. Área circunscripta del CDI

Tabla 7. Índice de Densificación CAC D19

	CAC D19	CDI /dSt	
		120°C	145°C
Asfalto	CA 30	--	11,6 / 2,3
	T	4,1 / 1,8	--
	TB R20	12,1 / 2,3	--
	TC R40	25,2 / 3,5	--

Se puede afirmar que las mezclas con asfaltos tibios y tibios con RAP poseen similares o mejores indicadores de compactación que la muestra de control -salvo para el 40% RAP-, lo que estaría reflejando la aptitud de emplear estos asfaltos para cada situación en particular para la que han sido formulados.

La mezcla de control alcanza un 4% de vacíos -criterio de diseño Superpave- luego de 54 giros, la que posee asfalto tibio con 45 giros y las mezclas con RAP 20 y 40% Rap para la 68 y 71 giros. Se puede concluir que al de reducir las temperaturas de compactación, las mezclas con asfalto tibio con RAP ofrecen mayor resistencia final a la compactación presentando un comportamiento similar al inicio de la compactación como se ha observado cuando se determinó el CDI para un R20%. La mezcla con asfalto tibio muestra una mayor facilidad para compactarse -a lo largo de todos los giros- en comparación con la mezcla de control.

#### Fatiga, ensayo de flexión en 4 puntos (UNE12697-26D)

Con la finalidad de evaluar a la fatiga y comparativamente la respuesta a la sollicitación por flexión realizada mediante deformación controlada de las mezclas asfálticas formuladas, se llevaron a cabo estudios siguiendo la metodología establecida en la norma UNE 12697-26D-. Para ello, se moldearon las mezclas en placas vibratorias, compactándose a 145°C la mezcla control y 120°C las mezclas con asfaltos tibios, posteriormente se cortaron vigas para su ensayo a flexión en cuatro puntos (FBP). Se extrajeron 5 muestras por placa y se determinó el grado de compactación alcanzado por cada una de ellas. Una de las forma para evaluar la vida en fatiga es realizando el ensayo en la viga de cuatro puntos, y definiendo a la misma, como el número de ciclos efectuados para alcanzar una reducción del 50% del módulo de rigidez inicial (Nf50).

Se empleó una micro-deformación controlada de 100 ms a 15°C y 25Hz ya que no se apreciaban cambios sensibles en la vida a fatiga con 300ms de deformación entre las distintas mezclas. Para un mismo nivel de deformación, se necesita una mayor tensión para alcanzar los valores de deformación deseados al comienzo de la prueba de fatiga que al final del ensayo. Al mismo tiempo, la energía disipada por ciclo durante los primeros miles de ciclos es notablemente mayor que la de los ciclos finales (50% de pérdida de rigidez inicial). En la Tabla 8, se reportan los resultados del ensayo a flexión.

Tabla 8. Resultados de ensayos FBT. Ciclos de carga para Nfinal 50% Módulo Inic.

T° Compact.	145°C		120°C	
Mezcla	CAC D19 30		CACD19 T	CACD19 TR20
Promedio (ciclos)	864502	497441	649000	865250
dSt	183143	115640	174373	247841

Se observa que la mezcla patrón posee una vida a fatiga para alcanzar la reducción del módulo al 50 %, de 864.500 ciclos, siendo con los asfaltos tibios y tibios con RAP del mismo orden o incluso levemente superior, es decir se necesitan más ciclos de sollicitación para reducir el módulo al 50 % del inicial. Sheng Zhao [7], alcanza registros similares empleando distintas tipos de aditivos tibios con RAP, mostrando que con umbrales hasta 30 % RAP, se logran mejores resultados al de las mezclas que poseen asfaltos convencionales. Xiang Shu

y Willis [8, 9], muestra comparativamente que en mezclas convencionales y con incorporación de hasta el 30 % de RAP, no se alcanzan los mismos beneficios que cuando se emplean asfaltos tibios con RAP. El valor del plateau o zona de disipación de energía constante es mayor en las mezclas que poseen RAP, y por consiguiente el daño ocasionado, hace que aparezcan prematuramente microfisuras alcanzando el proceso de fractura más rápidamente y por ende haciendo que la mezcla posea una menor vida en fatiga. Se observa también como se ve reducida la vida en fatiga cuando la mezcla convencional con CA30 es compactada a una temperatura inferior a la recomendable.

### Ensayo de Pista Hamburgo WHT(AASHTO T-324 a 50°C)

Este ensayo sirve para identificar y poner en evidencia los problemas de adherencia entre los agregados y el ligante asfáltico empleado y a su vez indicar si la estructura mineral conformada es capaz de resistir las deformaciones que el paso de una rueda cargada le ejerce. Las cuatro mezclas compactadas con un 7 % de vacíos fueron ensayadas en agua a 50°C durante 20.000 pasadas bajo una carga cíclica de 705 N, ejercida a través de una rueda metálica, bajo la norma AASHTO T-324.

Fig 5. Ensayo de Pista Hamburgo -50°C-



En la Figura 5, se observa que todas las mezclas presentan resultados dentro de las exigencias ya que no superan la profundidad de huella de 12,5 mm ni se produce el quiebre o punto de inflexión - por pérdida de la adherencia- antes de los 10.000 ciclos de pasadas. Los antecedentes [10, 11] indican que las mezclas que poseen asfaltos tibios son más susceptibles a tener daño por humedad que las mezclas densas convencionales.

### Evaluación del ligante recuperado de mezclas asfálticas

Se efectuaron ensayos sobre los ligantes asfálticos extraídos de las probetas ensayadas, mediante recuperaciones controladas, en primera instancia siguiendo los lineamientos de la normativa VN E17-87 y luego complementando dicha etapa con el rotova por a través de la metodología ASTM D5404:2011. En la Tabla 9 se informan los resultados.

Tabla 9. Características de ligantes recuperados de probetas

Ensayo	Método	CA 30	T	TB R20	TC R40
Sobre el asfalto recuperado de probeta					
Penetración a 25°C; dmm	IRAM 6576	47	41	32	26
Punto de Ablandamiento, °C	IRAM 6841	49,5	57,5	58,6	60,2
Viscosidad Rot. a 60°C; dPa*seg	IRAM 6837	8.820	-	-	-
Viscosidad Rot. a 135°C; dPa*seg	IRAM 6837	8,4	7,78	9,56	10,96
G* <sub>60°C</sub> ; kPa	ASTM D7175	4,50	4,30	15,30	11,10
δ <sub>60°C</sub> ; °	ASTM D7175	80,0	81,1	76,1	75,7

Analizando el comportamiento reológico, vemos que los asfaltos tibios y tibios con RAP muestran una menor consistencia al verse reducida la penetración y aumentado el punto de ablandamiento respecto del asfalto de control. Por otro lado, en los ensayos fundamentales se observa que el asfalto de control posee un módulo de rigidez complejo similar al del asfalto tibio al igual que el desfase entre componentes elástica y viscosa. En cambio, las mezclas tibias con RAP están 2 o 3 veces más rigidizadas y con una menor capacidad de deformación teniendo en cuenta el desfase entre el módulo complejo viscoso y elástico. La dispersión que aparece puede obedecer a la variabilidad propia del comportamiento

reológico del RAP, ya que éste originalmente posee una rigidez extrema desde el punto de vista para ser empleado o recuperado para el uso vial.

## CONCLUSIONES

Se ha realizado un estudio a escala de laboratorio conducente a evaluar el comportamiento comparativo de una mezcla asfáltica de granulometría densa con tres asfaltos tibios diferentes y con tasas variables de RAP y teniendo como patrón de referencia o mezcla de control a una CAC D19 con un asfalto convencional CA30.

- Independientemente de la temperatura y ligante empleado, la metodología Marshall ha podido ser utilizada para determinar los diferentes parámetros mecánicos y volumétricos. También con la compactación giratoria, pero números de giros diferentes -según la mezcla evaluada- se logró obtener el 4 % de vacíos de diseño.
- El comportamiento reológico de los ligantes tibios en las mezclas asfálticas, presentó en general buena respuesta frente a los ensayos mecánicos a los que fue sometido.
- Las mezclas con asfaltos tibios con 40 % de RAP, han presentado un comportamiento más rígido y aún deben seguirse haciendo estudios para asegurar una buena performance en el tiempo.
- La incorporación de asfaltos tibios con RAP hasta un 20 %, poseen similar comportamiento a fatiga que las mezclas asfálticas convencionales y superan al rendimiento de estas últimas cuando las mismas poseen RAP.
- La susceptibilidad al agua evaluada a través del la resistencia a compresión diametral relación vía seca/vía húmeda, ha sido superior al 80 % en todos los casos, siendo menor con tenores del 40 % de RAP. El ensayo también ha resultado satisfactorio, apareciendo un comportamiento inferior en las mezclas con asfalto tibio. Esto coincide con los antecedentes referenciados.
- Las mezclas con asfaltos tibio y tibios con RAP poseen similares o mejores indicadores de compactación que la muestra de control -salvo para el 40 % RAP-, lo que estaría reflejando la aptitud de emplear estos asfaltos para cada situación en particular para la que han sido formulados.

## REFERENCIAS

- [1] Balige, M. et al. Tramos experimentales empleando WMA en la ciudad autónoma de Buenos Aires. XVIII CILA, Argentina.
- [2] Bolzan, Balige, Giménez. Mezclas Asfálticas en Caliente Elaboradas y Compactadas a Menores Temperaturas, XXXVI Reunión del Asfalto, 2010 Argentina.
- [3] Valdés, G. et al. Experimental study of recycled asphalt mixtures with high percentages of reclaimed asphalt pavement (RAP). *Constr Build Mater* 2011; 25(3):1289–97.
- [4] Hussain Bahia et al. Using the Gyratory Compactor to Measure Mechanical Stability of Asphalt Mixtures. Report N°WHRP 05-02. DOT Wisconsin USA 2004.
- [5] Marcozzi, et al. Utilización del compactador giratorio Superpave para evaluar la compactabilidad de las mezclas asfálticas. XXXIII Reunión del Asfalto, 2004. Argentina.
- [6] Jair, M. et al. Mezclas asfálticas sustentables: la opción Wam-Rap. XVIII CILA, Argentina.
- [7] Sheng Zhao, et al. Comparative evaluation of warm mix asphalt containing high percentages of reclaimed asphalt pavement *Constr Build Mater* 44(2013);92-100.
- [8] Xiang Shu, et al. Laboratory evaluation of fatigue characteristics of recycled asphalt mixture. *Constr Build Mater* 22 (2008) 1323–1330.
- [9] Willis et al. Combining Warm Mix Asphalt Technologies with Mixtures Containing Reclaimed Asphalt Pavement.
- [10] Hurley, Prowell. Evaluation of Evotherm® for use in Warm Mix Asphalt. NCAT Report 06-022-2016 Auburn University.
- [11] Harrigan, et al. Mix Design Practices for Warm Mix Asphalt. NCHRP Report 691. TRB 2011.