

## CONCRETOS ASFÁLTICOS REFORZADOS CON MACROFIBRAS

Morea Francisco, Torrijos María Celeste, Giaccio Graciela, Zerbino Raúl.

Departamento Construcciones de la Facultad de Ingeniería Calle 115 y 48 La Plata, y Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica (LEMIT-CIC), Calle 52 entre 121 y 122 La Plata. [Francisco.morea@ing.unlp.edu.ar](mailto:Francisco.morea@ing.unlp.edu.ar).

### INTRODUCCIÓN

Las fibras se han utilizado desde tiempos ancestrales para reforzar materiales frágiles. Las fibras controlan los procesos de fisuración en este tipo de materiales incrementando la tenacidad del compuesto, su resistencia a tracción y durabilidad. Claro ejemplo de esto en la industria de la construcción son los Hormigones Reforzados con Fibras (HRF)[1]. Las mezclas asfálticas tienen un comportamiento visco-elástico a temperaturas medias a altas del pavimento y a bajas temperaturas como un sólido elástico de comportamiento frágil.

Dentro de la construcción de pavimentos asfálticos el uso de mezclas asfálticas con fibras para reforzar y o mejorar el comportamiento está en desarrollo. El uso más difundido de fibras es en las mezclas del tipo Stone Mastic Asphalt (SMA) y drenantes para poder incrementar el porcentaje de asfalto incorporado y estabilizar el mástico sin que se produzcan escurrimiento o exudación del mismo durante la elaboración, transporte y colocación [2, 3, 4]. La principal función de la fibra, en este caso de celulosa, es absorber y contener el mayor porcentaje de asfalto debido a la gran superficie específica que presentan.

Cuando se busca optimizar la performance de una mezcla se analizan principalmente los modos de falla: el ahuellamiento, la fatiga, la fisuración térmica y la susceptibilidad al daño por humedad. Desde el punto de vista del ahuellamiento las fibras mejorarían el comportamiento al aumentar la viscosidad del mástico y favorecer los mecanismos de fricción y trabazón entre los agregados. En la resistencia a fatiga un interesante estudio de Kutay et al. [5] muestra el efecto de las fibras en ensayos de campo con el Accelerated Loading Facility (ALF); se observó que luego del ensayo se habían desarrollado muchas microfisuras en el pavimento pero que las mismas no habían progresado o incrementado su tamaño como para llegar a presentar el típico patrón de fisuras piel de cocodrilo. En forma similar al observado en HRF, luego que se producen microfisuras las fibras empiezan a actuar haciendo de puente a través de las mismas transmitiendo esfuerzos y limitando su apertura y crecimiento. En cuanto a la fisuración por retracción térmica a bajas temperaturas las fibras ayudarían a controlar y reforzar la posible fisuración. Numerosas investigaciones han reportado mejoras en el comportamiento de mezclas reforzadas con fibras [6-13], pero en su mayoría se trata de microfibras (longitudes de entre 10 a 20 mm). No existen a conocimiento de los autores estudios con las denominadas macrofibras (longitudes promedios de entre 35 a 60 mm) y no está definido un método de dosificación para estas fibras en mezclas asfálticas.

Este grupo de trabajo viene analizando las posibles mejoras en el desempeño de mezclas asfálticas por medio de la incorporación de distintos contenidos de macro fibras de vidrio o sintéticas. En este artículo se evalúan las propiedades volumétricas y resistentes de las mezclas, el desempeño al ahuellamiento y la resistencia a fractura.

## PARTE EXPERIMENTAL

### Materiales y mezclas

La obtención y caracterización de Concretos Asfálticos Reforzados con Fibras (CARF) se realizó a partir de una mezcla densa elaborada con agregados gruesos (6-20 y 6-12), una arena de trituración (0-6) y un asfalto convencional de tipo CA-30 de la clasificación argentina. En la Tabla 1 se vuelcan las proporciones de la mezcla y las características del ligante asfáltico.

Tabla 1. Características de la mezcla

Proporciones de la mezcla				
	6-20 mm	6-12 mm	0-6 mm	Asfalto
%	23,8	10,5	60,9	4,8
Características del ligante				
	Viscosidad a 60 °C	Penetración	Punto de Ablandamiento [°C]	
CA-30	335Pa.s	47dmm	54,8°C	

Las macrofibras utilizadas en este trabajo son habitualmente comercializadas para uso en morteros y hormigones de cemento portland. La Figura 1 muestra el aspecto de las macrofibras de vidrio y macrofibras de polipropileno empleadas.

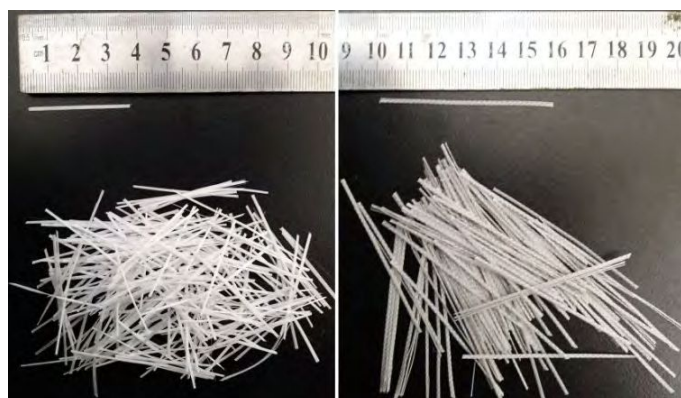


Figura 1. Fibras utilizadas. Izq.: Vidrio; Der.: Sintética.

Ambas macro fibras se incorporaron en diferentes dosis (0,2; 0,4 y 0,6 % en peso de la mezcla) corrigiendo levemente la dosificación. Se mezclaron con los agregados calientes por un lapso de 30 s antes de incorporar el asfalto. Las mezclas con fibras de polipropileno se elaboraron con tecnología tibia dado que estas fibras tienen un punto de fusión de 160 °C; se trabajó con el asfalto CA-30 con aditivo tibio para mezclar y compactar a 130 y 120 °C respectivamente. Se realizaron mezclas Control (C) y Control tibia (Ctib), sin fibras, para la caracterización y comparación con los CARF. Estos se denominan de acuerdo al tipo de fibra como FV y FS, vidrio y sintéticas respectivamente, y de acuerdo a la dosis incorporada como 02, 04 y 06. Con cada mezcla se elaboraron probetas Marshall para evaluar las propiedades volumétricas y mecánicas y placas de 300x300x50 mm para ensayos de rueda cargada ensayos de fractura.

## Métodos de ensayo

### Ensayo Marshall

Para la evaluación volumétrica y mecánica de los CARF se procedió al moldeo de probetas, determinación de la densidad aparente ( $D_a$ ), densidad Rice, porcentaje de vacíos y rotura (Estabilidad y Fluencia) por el método Marshall (IRAM 6845-1 al 4).

### Ensayo de rueda cargada

El ensayo de rueda cargada se utiliza para caracterizar el desempeño frente al ahuellamiento de las mezclas asfálticas en condiciones controladas de laboratorio (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 la pendiente de ahuellamiento o velocidad de deformación (WTS), Ecuación 1, y la deformación permanente al final del ensayo ( $D_{\text{final}}$ ).

$$WTS \left[ \frac{\text{mm}}{10^3 \text{ ciclos}} \right] = \frac{D_{10000} - D_{5000}}{5} \quad (1)$$

Donde  $D_{10000}$  y  $D_{5000}$  son las deformaciones correspondientes a 10000 y 5000 ciclos de carga respectivamente.

### Ensayo de fractura sobre vigas entalladas

Este ensayo se utilizó para evaluar el comportamiento a fractura. Se realiza sobre vigas de 50x75x300 mm que se obtienen por corte a partir de una placa de mezcla asfáltica 300x300x50 mm compactada con compactador de placa EN12697-33. Las vigas son entalladas una profundidad de 15 mm en el centro. Las vigas se cargan al centro de una luz de 280 mm midiendo la apertura de fisura (CMOD) mediante un extensómetro tipo CLIP gauge fijo en la cara inferior a ambos lados de la entalla. A partir de un sistema de lazo cerrado el ensayo se realiza bajo control de la apertura de fisura a una velocidad de 0,9 mm/min. Los ensayos de fractura se desarrollaron a 0 y 10 °C. Como resultado del ensayo se obtiene la curva tensión deformación y se obtienen los parámetros de tensión máxima y tensiones residuales para distintas aperturas de fisura. Además se puede calcular la tenacidad a fractura como el área bajo la curva tensión deformación para diferentes niveles de apertura de fisura (CMOD).

## RESULTADOS

Como primera medida se analizaron las características volumétricas y mecánicas de mezclas con fibras sobre probetas compactadas con el método Marshall. La compactación de las probetas se realizó de manera completamente análoga a la C y Ctib. Los resultados de densidad aparente ( $D_a$ ), porcentaje de vacíos (V), Estabilidad (E) y Fluencia (F) se indican en la Tabla 2. Se observa cómo la incorporación de fibras provoca una menor densificación de la mezcla a medida que la dosis de fibras aumenta. Esto era de esperarse debido a que no se modificó el porcentaje de asfalto de diseño en las mezclas con fibras a fines de poder comparar. Por tanto dada la forma alargada de las fibras es lógico que dificulten un poco la compactación Marshall de las mezclas ocasionando estas menores densidades. Habría que re dosificar la mezcla para cada fibra y dosis de ellas pero no es el objetivo de este trabajo. A pesar de ello, se observa que los resultados de estabilidad de las probetas con fibra de vidrio son mayores que los de la mezcla C. Por su parte las Estabilidades de las mezclas tibias con fibras de polipropileno resultaron menores que la de Ctib. Este hecho se puede atribuir a las muy bajas densidades obtenidas para las mezclas con estas fibras.

Tabla 2. Parámetros volumétricos y mecánicos de las mezclas.

	Da [g/cm <sup>3</sup> ]	V [%]	E [kN]	F [mm]
C	2,428	4,4	17,9	4,2
FV02	2,411	4,5	19,4	5,0
FV04	2,407	4,4	18,1	5,2
FV06	2,390	5,6	19,3	5,9
Ctib	2,407	5,0	15,3	3,7
FS02	2,380	5,3	13,9	3,7
FS04	2,356	5,8	12,4	5,0
FS06	2,323	7,1	12,8	5,6

La Figura 2 muestra los resultados de los ensayos de rueda cargada. Se observa que las mezclas FV02, FV04 y FV06 tienen un mejor desempeño al ahuellamiento que la mezcla C. De igual forma las mezclas FS02, FS04 y FS06 tienen mejor desempeño que la mezcla Ctib. Los mejores resultados corresponden a la FV04 y FS06.

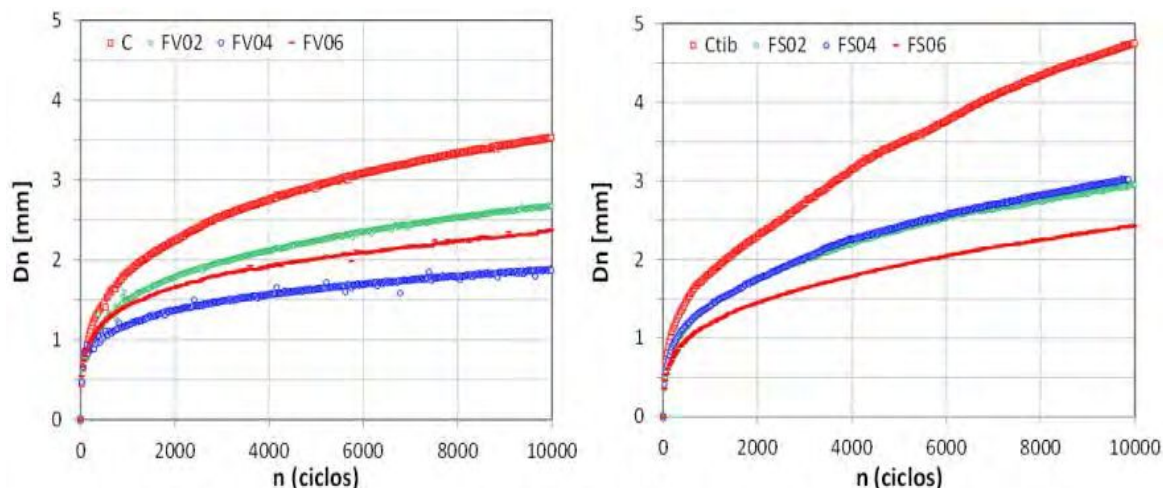


Figura 2. Curvas de deformaciones vs número de ciclos de ensayos de rueda cargada.

En la Tabla 3 se presentan los parámetros calculados de pendiente de ahuellamiento (WTS) y la deformación permanente al final del ensayo ( $D_{final}$ ) de las diferentes variantes estudiadas. Se observa nuevamente aquí cómo la incorporación de las fibras (FV y FS) reduce drásticamente la WTS respecto a las mezclas C y Ctib respectivamente. Queda claro que la incorporación de ambos tipos de fibra conduce a una mayor resistencia al ahuellamiento.

Tabla 3. Resultados de ensayos de rueda cargada.

	WTS (mm/10 <sup>3</sup> ciclos)	$D_{final}$ (mm)		WTS (mm/10 <sup>3</sup> ciclos)	$D_{final}$ (mm)
C	0,132	3,58	Ctib	0,222	4,61
FV02	0,090	2,70	FS02	0,122	2,95
FV04	0,047	1,87	FS04	0,115	2,96
FV06	0,067	2,35	FS06	0,091	2,39

En la Figura 3 se ven resultados del ensayo de fractura por flexión en vigas entalladas para las diferentes mezclas a temperaturas de 0 °C. Se observa que las mezclas FV04, FV06,

FS04 y FS06 a 0 °C mejoran notablemente la resistencia a fractura respecto a las mezclas control (C y Ctib respectivamente). Por su parte las mezclas FV02 y FS02 presentan un comportamiento similar a las C y Ctib respectivamente. Se observa que las mezclas con fibras mantienen mayor tensión residual a medida que se produce la apertura de fisura una vez superada la tensión máxima. Esto se traduce en una mayor tenacidad y resistencia a fractura. Es de destacar la importante mejora producida por las fibras sintéticas, que mantienen una mayor tensión residual hasta el final de ensayo respecto de la Ctib. En las FV04 y FV06 se observa una mayor tensión residual para aperturas de fisura bajas (hasta CMOD de 1,5 mm) para luego reducirse con mayores aperturas de fisura. Se conjetura aquí que las fibras de vidrio para aperturas de fisura amplias se rompen o directamente fallan por adherencia con el mástico asfáltico.

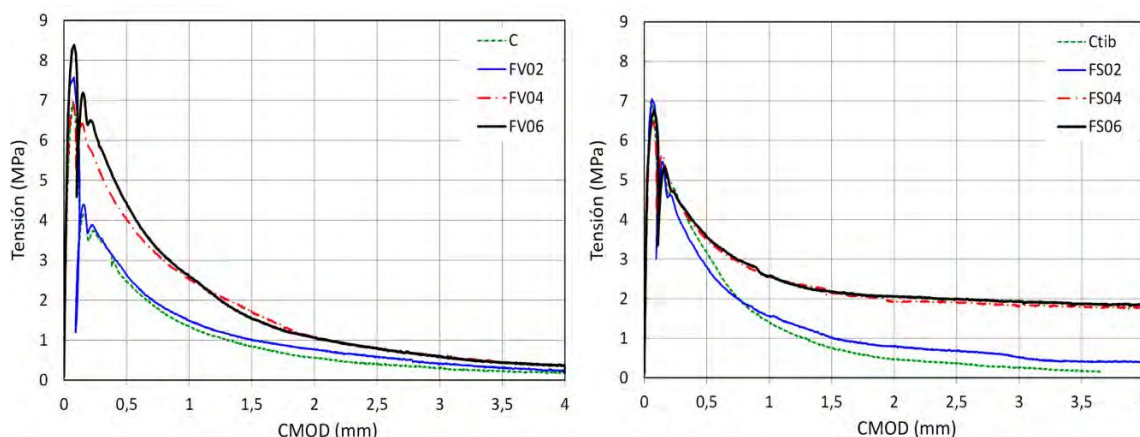


Figura 3. Curvas Tensión - CMOD a T = 0 °C. Izq.: Vidrio (FV); Der: Sintéticas (FS).

Los ensayos de fractura a 10 °C mostraron un comportamiento similar al visto a 0 °C pero con menor intensidad. Igualmente se destacó una mayor tensión residual en las mezclas FV04, FV06, FS04 y FS06 respecto de las mezclas de control C y Ctib; nuevamente las mezclas con FS mantienen una importante tensión residual hasta el final del ensayo.

## CONCLUSIONES

Se exploraron las posibles mejoras en el desempeño de mezclas asfálticas por medio de la incorporación de macro fibras de vidrio (FV) y sintéticas de polipropileno (FS) en diferentes dosis (0,2; 0,4 y 0,6 % en peso de mezcla). Se evaluaron las propiedades volumétricas y resistentes así como el desempeño al ahuellamiento y la resistencia a fractura de las mezclas reforzadas y se compararon con mezclas de referencia sin fibras. Entre las principales conclusiones aparecen:

En los concretos asfálticos reforzados con fibras (CARF) se obtuvieron menores densidades y mayores vacíos, que las mezclas de control, lo que resultó más notable a medida que la dosis de fibras aumentó. Esto es lógico debido a que no se modificó el porcentaje de asfalto de diseño en las mezclas con fibras a fines de poder comparar y a que la forma alargada de las fibras dificultan la compactación Marshall.

Las Estabilidades de las mezclas con FV resultaron mayores que la de la mezcla de control. Por su parte las Estabilidades de las mezclas tibias con FS resultaron menores que la mezcla tibia de control. Esto se atribuye a las bajas densidades obtenidas para estas mezclas.

La incorporación de fibras tanto de vidrio como sintéticas mejoró significativamente el desempeño al ahuellamiento de la mezcla. Los resultados mostraron que la pendiente de ahuellamiento (WTS) se redujo notablemente.

Las fibras de vidrio y sintéticas mejoraron notablemente la resistencia a fractura de la mezcla en los casos de dosis iguales a 0,4 y 0,6 %, sin cambios drásticos para la dosis de 0,2 %. Las CARF mantienen mayor tensión residual a medida que se produce la apertura de

fisura una vez que se supera la tensión máxima. Esto se traduce en mayor tenacidad y resistencia a fractura. Las fibras sintéticas mantienen una mayor tensión residual hasta el final de ensayo.

## REFERENCIAS

1. Torrijos M. C., Barragan B., Zerbino R. Placing conditions, mesostructural characteristics and post-cracking response of fibre reinforced self-compacting concretes. *Construction and Building Materials* 24(6):1078-1085.2010.
2. Woodside A., Woodward W., Akbulut H. Stone mastic asphalt: assessing the effect of cellulose fibre additives. *Proc. Instn Civ.EngrsMun. Engr*:103-108. 1998.
3. Drüschner L. Stone Mastic Asphalt. German Asphalt Association. 37 pag.2000
4. Xiong R., Fang J., Xu A., Guan B., Liu Z. Laboratory investigation on the brucite fiber reinforced asphalt binder and asphalt concrete. *Construction and Building Materials* 83:44–52. 2015
5. Kutay, M. E., Gibson, N., Youtcheff, J. (2008). Conventional and viscoelastic continuum damage (VECD) based fatigue analysis of polymer modified asphalt.. *J. Asphalt Paving Technology* 77:395–434. 2008.
6. Guo Q., Li L., Cheng Y., Jiao Y., Xu C. Laboratory evaluation on performance of diatomite and glass fiber compound modified asphalt mixture. *J. Material Design* 66: 55-59. 2015.
7. Moreno Navarro F., Sol-Sánchez M., Tomás-Fortún E., Rubio-Gámez M. High-Modulus Asphalt Mixtures Modified with Acrylic Fibers for Their Use in Pavements under Severe Climate Conditions. *J. Cold Regions Engineering*. 30 (4). 2016.
8. Park P., El-Tawil S., Park S., Naaman A. Cracking resistance of fiber reinforced asphalt concrete at -20 °C. *Construction and Building Materials* 81:47–57. 2015.
9. Chen H. Xu Q. Experimental study of fibers in stabilizing and reinforcing asphalt binder. *Fuel* 89:1616–1622. 2010.
10. Yoo P., Kim K. Thermo-plastic fiber's reinforcing effect on hot-mix asphalt concrete mixture. *Construction and Building Materials* 59:136–143. 2014.
11. Qian Shunzhi Q., Hui M., Jiliang F., Ruochong Y., Xiaoming H. Fiber reinforcing effect on asphalt binder under low temperature. *Construction and Building Materials* 61:120–124. 2014.
12. Liu Q. Schlangen E., van de Ven M., van Bochove G., van Montfort J. Evaluation of the induction healing effect of porous asphalt concrete through four point bending fatigue test. *Construction and Building Materials* 29:403–409. 2012.
13. Serin S., Morova N., Saltan M., Terz S. Investigation of usability of steel fibers in asphalt concrete mixtures. *Construction and Building Materials* 36:238–244. 2012.