



★ *Mención especial en la categoría Ingeniería* ★

*El siguiente trabajo, presentado en el marco del V Congreso Internacional y 19° Reunión Técnica de la AATH "Ing. Oscar R. Batic" que se desarrolló en la Universidad Nacional del Sur, ciudad de Bahía Blanca, Argentina, durante los días 7-9 de noviembre de 2012 ha recibido Mención especial en la categoría Ingeniería.*

## **DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS SINTÉTICAS PARA LA REPAVIMENTACIÓN DE LA RUTA 24 DE URUGUAY**

Miguez Passada, D.\* , González, A.C.\* , Violini, D., Pappalardi, M. y Zerbino, R.  
\* Hormigones Artigas S.A. - Camino Oncativo 2982, Montevideo, Uruguay (598) 25254863  
e-mail: zerbino@ing.unlp.edu.ar, [mp@cavellaneda.com.ar](mailto:mp@cavellaneda.com.ar), [dmp@hartigas.com.uy](mailto:dmp@hartigas.com.uy)

**Palabras clave:** whitetopping delgado adherido, hormigón, fibras sintéticas, resistencia residual.

### **RESUMEN**

Los pavimentos de hormigón son estructuras propensas a la fisuración. El uso de fibras aparece como una de las mejores alternativas técnico-económicas para mejorar la performance del hormigón. Una de las aplicaciones del Hormigón Reforzado con Fibras (HRF) es la reparación o refuerzo (overlays) de antiguos pavimentos. En la actualidad se dispone de macro fibras sintéticas que pueden utilizarse en este tipo de aplicaciones en lugar de las tradicionales fibras de acero. Este trabajo transmite la experiencia adquirida durante la ejecución de la rehabilitación de la Ruta 24 en Uruguay empleando un whitetopping delgado (adherido) de HRF. Se describen los resultados obtenidos durante el control de calidad en obra y se discuten los principales desafíos durante la ejecución como el uso de un aditivo reductor de agua de alto rango, el empleo de tecnología de alto rendimiento y el logro de una adecuada adherencia HRF – sustrato asfáltico.

### **INTRODUCCIÓN**

Los pavimentos de hormigón son estructuras propensas a la fisuración, tanto a edad temprana como en servicio, debido a su gran superficie expuesta y a las sollicitaciones que reciben por acción del clima y las cargas del tránsito, las cuales inducen a determinados esfuerzos frente a las restricciones externas (base o subbase) e internas. El uso de Hormigón Reforzado con Fibras (HRF) aparece como una de las mejores alternativas técnico-económicas para mejorar la performance del hormigón en virtud de la respuesta post-fisuración que le confiere al material. En la actualidad se dispone de macro fibras sintéticas que pueden utilizarse en este tipo de aplicaciones en lugar de las tradicionales fibras de acero.

En 2010 en la República Oriental del Uruguay surge la necesidad de rehabilitar la Ruta 24, una vía sometida a un incremento significativo de tránsito pesado. Se licita inicialmente el tramo comprendido entre Ruta 2 y Ruta 20, cuya longitud es de 21,6 km. La calzada existente era de asfalto y se plantea el desafío de competir, técnica y económicamente con la alternativa flexible, mediante la construcción de un Whitetopping adherido de hormigón reforzado con macro fibras sintéticas, de habilitación temprana, aplicado mediante tecnología de alto rendimiento (TAR).

Para concretar este proyecto se realizaron entre otras las siguientes acciones:

- Concientización de los técnicos de los organismos viales.

Seminarios, conferencias, talleres y entrevistas para técnicos y autoridades, tanto del sector público como privado, con destacados especialistas.

Desarrollo de hormigones con fibras sintéticas y rápida evolución de resistencia.

Diseño de un proceso que asegure la dosificación uniforme de las fibras, tanto en el mezclado, como en la colocación y terminación.

## Aspectos generales de la obra, desafíos, requerimientos y dudas

Un factor determinante fue sin duda alguna, la decisión de los profesionales del Ministerio de Transporte y Obras Públicas de Uruguay, de avanzar en la aplicación de una metodología innovadora, dando lugar a la primera experiencia en la región. Considerando la vida útil requerida (15 años) y el tránsito previsto (15 millones de ejes equivalentes AASHTO), con el asesoramiento de Jeffery Roesler, se adoptó un novedoso método de diseño estructural desarrollado en Illinois, USA, el cual considera la resistencia residual que le confieren las macro fibras al hormigón, entre otros parámetros de diseño, lo que resultó en una capa de 15 cm de espesor, con losas cortas de 1,8 m x 1,8 m (1,2).

Tradicionalmente el término whitetopping se utilizó para aludir al recubrimiento de un pavimento asfáltico existente, con una capa de hormigón. De acuerdo al espesor de dicha capa, el whitetopping se clasificó originalmente como convencional o ultra-delgado, según supere o no los 10 cm de espesor (3); posteriormente aparece una clasificación intermedia denominada "Whitetopping delgado" (4), según se indica en la Tabla 1. En la actualidad, para evitar confusiones entre ésta y la anterior clasificación, se sugiere la sola mención de "Sobrecapa de hormigón" (5,6), y clasificar la misma según el grado de adherencia asumido entre capas ("adherida" o "no adherida").

**Tabla 1:** Clasificación tradicional del whitetopping, según el espesor de hormigón.

Whitetopping	Espesor de hormigón	Adherencia con la capa asfáltica
Convencional	$\geq 20$ cm	No se asume adherencia con la capa asfáltica
Delgado	entre 10 cm y 20 cm	Alternativa de asumir adherencia, o no asumir
Ultra-Delgado	entre 5 cm y 10 cm	Se asume adherencia con la capa asfáltica

El hormigón debía poseer a 28 días un Módulo de rotura de 5 MPa y resistencia residual para una flecha de 3 mm igual al 20 % de la anterior (1 MPa). Para la habilitación al tránsito se indicó un Módulo de rotura igual o mayor a 3,8 MPa (550 psi).

El desarrollo de un hormigón con macro fibras (al que se le sumaron micro fibras) y de rápida habilitación representaba un desafío, que conlleva la búsqueda de la fibra más conveniente, el uso de contenidos acotados de cemento (ya que en pavimentos debe minimizarse el salto térmico) y la generación de una rápida resistencia. Estos últimos requerimientos junto con el mantenimiento de la consistencia del hormigón llevaron al uso de aditivos poliméricos (policarboxilatos).

Ante el desarrollo de un proyecto innovador, tanto en el material como en el proceso constructivo, surgieron algunas dudas que merecen destacarse:

Con relación a las fibras: Si se iban a distribuir uniformemente durante los procesos de mezclado; si afectarían el nivel de asentamiento durante su traslado; si modificarían la exudación; si el sistema de compactación tan enérgico separaría la fibra, si afectarían la terminación y texturizado de la superficie.

Con relación al policarboxilato: si permitiría mantener el asentamiento requerido, su afectación a la terminación de la pavimentadora y su efecto en el tiempo de fraguado.

Con relación a la estructura: el nivel de adherencia HRF - superficie asfáltica.

## SELECCION DE FIBRAS Y DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN EMPLEADO

Este apartado sintetiza los estudios realizados para seleccionar el tipo y contenido de fibras a emplear en obra. Se describe la metodología de evaluación y el equipamiento empleado para la caracterización mecánica, se muestran algunas de las alternativas en cuanto a tipo y dosis de fibras exploradas y finalmente se describe el HRF seleccionado.

Una cuestión relevante al momento de caracterizar un HRF es valorar su respuesta postfisuración, esto es la capacidad de carga que imparten las fibras cuando se supera la resistencia a tracción del hormigón. Para ello se requiere que el ensayo se desarrolle en forma estable durante el postpico, las normativas más recientes adoptan un sistema de control de deformaciones por lazo cerrado, utilizando las medidas de flecha o apertura de fisura como señal de control. Actualmente se mide dicha capacidad como "resistencia residual" la que representa la tensión nominal de flexión que puede sobrellevar la viga fisurada para determinadas deformaciones. El procedimiento de diseño del overlay emplea los parámetros resistentes que calcula la norma ASTM C-1609 (7). La Figura 1 muestra la configuración de carga y los dispositivos de ensayo utilizados entre los que aparece el marco de carga para fijar los extensómetros para medir la flecha y una curva típica carga-flecha correspondiente a uno de los HRF evaluados. La carga de primer pico se emplea para calcular la resistencia a flexión (módulo de rotura, MR); para valorar la capacidad postpico se calculan dos resistencias residuales ( $f^D_{600}$  y  $f^D_{150}$ ) para flechas iguales  $L/600$  y  $L/150$  donde  $L$ , en este caso 450 mm, es la luz de ensayo.

Mediante estudios preliminares se seleccionó el tipo y contenido de fibra a emplear en la obra. Conforme los requisitos era necesario incorporar una macro fibra sintética capaz de aportar las propiedades residuales buscadas y también se pedía el uso de una microfibras sintética. Se exploraron alternativas con diferentes macro fibras sintéticas disponibles en el mercado (Tabla 2) identificadas como A, B, C, D, E, F, G, H e I, que fueron incorporadas en contenidos variables, adicionando microfibras (mf) en la mayoría de los casos (8).

Se realizaron hormigones con contenidos de cemento entre 340 y 380  $\text{kg/m}^3$ . La Tabla 3 presenta algunos resultados de los estudios preliminares, se informan los valores de resistencia a flexión (MR), la capacidad residual para una flecha de 3 mm ( $f^D_{150}$ ) expresada en % de MR y las correspondientes resistencias a compresión y relación flexión/compresión. Considerando los requisitos de diseño del pavimento se buscaba garantizar un valor de  $f^D_{150}$  mayor al 20 % de MR.

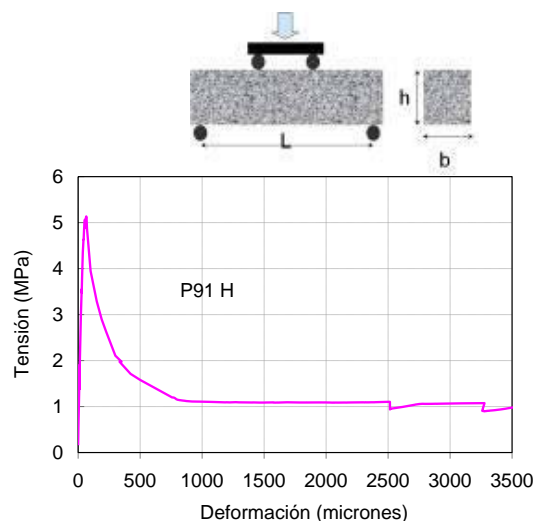


Figura 1: Izq. Vista de los dispositivos de ensayo. Der: configuración de carga y curva del HRF.

**Tabla 2:** Fibras consideradas en los estudios preliminares.

Fibra	Nombre	Procedencia	Material	Descripción
A	Ruredil	Italia	Poliolef+Poliprop	tipo trenza, caras, 54 mm, 0,48 mm
B	BarChip60	Australia	Olefina modif.	monofilamento rígida 60 mm, E: 10 GPa
C	BarChip54	Australia	Olefina modif.	monofilamento rígida 54 mm, E: 10 GPa
D	Enduro	EE.UU	Polipropileno	monofilamento flexible, 51 mm.
E	TB-PP-fiber	China	Polipropileno	monofilam flexible 50 mm, E>3,5 GPa
F	TB Twisted	China	Polipropileno	trenza, tipo racimo 50 mm, E>3,5 GPa
G	LTD	China	Polipropileno	monofilamento flexible 54 mm
H	LTD Twisted	China	Polipropileno	trenza, tipo racimo 54 mm
I	BarChip MQ58	Japón	Olefina modif.	4 juntas finas, 58 mm, E: 6,8 GPa
mf	FibroMac12	Brasil	Polipropileno	microfibra 12 mm, 18 m, E: 3 GPa

**Tabla 3:** Estudios preliminares para la elección del tipo y contenido de fibras.

Fibras, dosis incorporada	MR (MPa)	$f_{150}^D$ (%)	$f'c$ (MPa)	MR/ $f'c$ (%)
A, 1,5 kg	4,4	6,1	42,1	10,5
A, 2 kg	4,2	11,9	39,1	10,8
A, 2,5 kg	4,9	18,6	38,1	12,9
B, 2 kg	4,9	20,2	38,6	12,7
B, 2,5 kg	4,8	20,1	40,5	12,0
B, 3 kg + 0,6 mf	5,2	22,9	34,8	15,0
B, 3 kg + 0,6 mf	4,6	19,2	41,8	11,0
B, 3 kg + 0,6 mf	5,2	31,5	40,1	13,0
C, 2 kg + 0,6 mf	4,8	20,9	43,4	11,1
C, 2,5 kg + 0,6 mf	4,6	31,0	35,6	12,9
C, 2,8 kg + 0,6 mf	4,5	35,7	38,6	11,7
D, 2 kg + 0,6 mf	5,0	12,8	39,9	12,5
D, 2,5 kg + 0,6 mf	4,8	13,2	43,4	11,0
D, 3 kg + 0,6 mf	4,6	25,8	42,0	10,9
E, 2 kg + 0,6 mf	4,7	11,6	34,9	13,5
E, 2,5 kg + 0,6 mf	4,9	12,1	34,7	14,1
E, 3 kg + 0,6 mf	5,9	7,9	42,7	13,8
F, 2 kg + 0,6 mf	4,2	15,4	36,5	11,6
F, 2,5 kg + 0,6 mf	4,2	20,3	39,9	10,5
F, 2,8 kg + 0,6 mf	4,4	24,3	31,9	13,8
F, 3 kg + 0,6 mf	5,0	17,1	42,8	11,7
G, 2 kg + 0,6 mf	3,8	6,3	39,6	9,7
G, 2,5 kg + 0,6 mf	3,9	6,7	35,8	10,9
G, 3 kg + 0,6 mf	4,6	11,4	33,5	13,8
H, 2 kg + 0,6 mf	3,7	8,4	40,6	9,0
H, 2,5 kg + 0,6 mf	4,1	10,8	42,0	9,7
H, 3 kg + 0,6 mf	3,7	15,1	36,4	10,1
I, 2 kg + 0,6 mf	4,8	14,5	40,0	12,0
I, 2,5 kg + 0,6 mf	5,0	21,3	40,8	12,3
I, 2,8 kg + 0,6 mf	4,7	25,5	39,9	11,8

En base a estos resultados se optó por la macrofibra C (Barchip 54) como la mejor opción técnica y económica para lograr una resistencia residual superior a 1 MPa. La provisión de un dosificador en la planta fue determinante para obtener una distribución homogénea de la fibra durante el mezclado. Luego se ajustaron los contenidos de cemento y fibras para alcanzar las consignas de resistencia y la dosificación resultante fue: agua 140 kg/m<sup>3</sup>, cemento 340 kg/m<sup>3</sup>, arena 800 kg/m<sup>3</sup> (MF 2,86; Cantera Viurrarena - Mercedes), piedra 1040 kg/m<sup>3</sup> (T<sub>máx</sub> 30 mm, MF 7,28; Cantera Boccagni - Palmitas), aditivo 0,6 % en peso de cemento, macrofibras 2,7 kg/m<sup>3</sup> y microfibras 0,6 kg/m<sup>3</sup>.

## CONSIDERACIONES CONSTRUCTIVAS

Constructivamente, la obra tiene como principal particularidad el efecto de las fibras en cada una de las tareas referidas al hormigón (elaboración y mezclado, transporte y colocación, compactación, terminación). Además, por ser un whitetopping adherido es clave asegurar la adherencia y tener en cuenta los efectos de una construcción de media calzada (tránsito, hormigón tipo Fast-track, reflejo del trabajo de juntas transversales).

Además de las prácticas constructivas del buen arte que se deben emplear para la construcción de pavimentos con TAR, se implementaron las recomendaciones de la ACPA para sobrecapas de hormigón (6). Para garantizar la adherencia, la empresa contratista empleó un procedimiento riguroso para la preparación de la superficie asfáltica existente (9), que consistió en un fresado controlado, texturizado y limpieza intensiva.

El hormigón se elaboró en una planta con mezcladora central de 2 m<sup>3</sup> que produjo en promedio 50 m<sup>3</sup>/h y permitió una velocidad de avance de 1,5 m/min a la pavimentadora. Un punto clave fue el uso de un dosificador automático para las macro fibras que posibilitó su distribución uniforme en el hormigón y evitó la formación de erizos.

El transporte del hormigón se realizó en camión volcador y la máxima distancia fue de 14 km. La variable clave es el tiempo de transporte, y la pérdida de asentamiento que ocurre frente al clima reinante fue subsanada con el aditivo empleado (policarboxilatos).

La principal observación constructiva del método de pavimentación surgió durante la materialización de la faja de prueba, donde al colocar un HRF con asentamiento  $\geq 4$  cm se verificó una tendencia del sistema de compactación (Wirtgen SP500, vibrado de alta frecuencia) a expulsar las fibras en forma parcial hacia la cámara de vibrado. Por lo que se realizó una segunda faja de prueba con asentamientos más bajos, realizando la extracción de muestras de los 5 cm superiores y los 5 cm inferiores de la calzada hasta verificar la uniformidad en el contenido de fibras. De este modo se estableció el rango adecuado de trabajo, encontrándose el valor ideal para asentamientos entre 2 y 3 cm.

Respecto a la terminación, aunque se observaban algunas macro fibras expuestas parcialmente sobre la superficie del hormigón, esto no afectó el texturado del hormigón. En cuanto al curado se destaca el desempeño del compuesto líquido utilizado, que garantizó la formación de la membrana en tiempo y forma bajo cualquier condición climática y de exudación del hormigón. Tal fue el éxito de este producto, y ante la ausencia de fisuras plásticas, que se planteó un tramo experimental para discernir la utilidad de incorporar microfibras cuya principal función es controlar la fisuración plástica.

El aserrado es una tarea fundamental en esta obra, ya que presenta la dificultad adicional de una mayor cantidad de juntas y una mayor restricción de la base (superficie texturada), que incrementa el riesgo de fisuración ante cualquier demora del aserrado. El tiempo de fraguado es clave para el aserrado. Durante el seguimiento de la obra no se registraron jornadas con tiempo frío, por lo que se plantea la inquietud a futuro, sobre el desempeño en invierno del aditivo fabricado con policarboxilatos, dado que se observó en la obra una extensión del tiempo de fraguado en comparación con los valores que se obtuvieron en obras anteriores, donde se empleó aditivos de medio rango.

Otro requisito, producto del sistema de construcción adoptado por media calzada y ante la necesidad de mantener ininterrumpido el tránsito en la obra, fue el de obtener un material tipo Fast-Track (el método de diseño especifica un módulo de rotura = 3,8 MPa para la habilitación del pavimento). Para ello, en base a la correlación flexión/compresión, se adoptó una resistencia a compresión de 25 MPa para habilitar el pavimento; operativamente en obra se moldearon probetas cilíndricas que se dejaron al pie de obra.

## CONTROL DE CALIDAD

El control de calidad de HRF para pavimentos construidos con TAR, comprende por un lado los ensayos típicos para este tipo de construcción, a los que se le suman caracterizaciones singulares, que incluyen parámetros de diseños y experiencias de tipo puntuales, que permiten entender el efecto de una propiedad dada, planteadas en las dudas iniciales. Entre las propiedades típicas se incluyen la evaluación de la trabajabilidad (Cono de Abrams), la resistencia a compresión (Rc) en probetas de 150 mm de diámetro y el ensayo de testigos de 100 mm de diámetro. La Tabla 4 indica los valores medios, desvíos, máximos y mínimos de c/u de ellas. Los resultados obtenidos se corresponden con lo esperado. Los desvíos de resistencia son mayores que los obtenidos en las plantas de hormigón elaborado y se deben en parte a variaciones del contenido de ligante; la obra se inició con un plus de cemento ( $360 \text{ kg/m}^3$ ) para asegurar los requisitos de resistencia establecidos y al verificar que se superaban holgadamente se ajusta el ligante al valor de consigna inicial ( $340 \text{ kg/m}^3$ ). En cuanto a los valores máximos de resistencia sobre probetas se destaca que por una limitación en la capacidad de la prensa en obra, los ensayos se detenían aproximadamente a 80 Tn.

**Tabla 4.** Control de calidad: propiedades típicas.

Propiedad	Unidad	Valor medio	Desvío	Valor máximo	Valor mínimo
Asentamiento	cm	3,2	0,5	4,0	2,0
Rc 7 días probetas	MPa	33,3	3,4	44,7	20,7
Rc 28 días probetas	MPa	38,3	3,3	44,7	27,3
Rc 28 días testigos	MPa	37,6	4,7	51,3	26,2

Como propiedades singulares se determinaron el contenido de fibras, el módulo de rotura y la capacidad residual (ASTM C-1609), la trabajabilidad mediante un método similar al ensayo VeBe, la exudación y la adherencia HRF-asfalto. Los valores medios, desvíos, máximos y mínimos de cada una de ellas se indican en la Tabla 5.

**Tabla 5:** Control de calidad: propiedades singulares.

Propiedad	Unidad	Valor medio	Desvío	Valor máximo	Valor mínimo
Contenido de macro fibras	%	2,63	0,03	2,69	2,60
Módulo de rotura	MPa	5,6	0,3	6,4	5,1
Resistencia residual ( $f_{150}^D$ )	MPa	1,2	0,2	1,6	0,9
Adherencia HRF-Asfalto	MPa	1,3	0,2	1,6	1,1
Capacidad de exudación	%	1,4	0,9	2,5	0,3

Para evaluar el contenido de fibras se implementó el siguiente procedimiento: se toman tres muestras de un mismo pastón y se determina el peso inicial de cada una, se colocan en una pileta de lavado y mediante agitación y tamizado se extraen las fibras, se secan y se pesan, y finalmente se calcula la dosis en cada muestra y se promedian. Dado que el hormigón de la obra era un sistema híbrido de macro fibras y microfibras, estas últimas interferían en el procedimiento del conteo de la macro fibras. Por tal motivo, y como la incorporación de las microfibras se realizaba en forma manual, se excluyeron en el pastón de control, permitiendo adicionalmente valorar el efecto y la efectiva necesidad de usar microfibras. Durante una de las inspecciones a la obra se solicitó al laboratorista extender el tiempo de agitación verificando que se pudo extraer un 10 % más de fibra, con lo que se concluyó que el valor informado, cuenta con un plus de seguridad. El desvío en el contenido de fibra fue muy pequeño, este hecho se atribuye al uso de un dosificador automático de macro fibras, que pudo garantizar un punto clave del proceso.

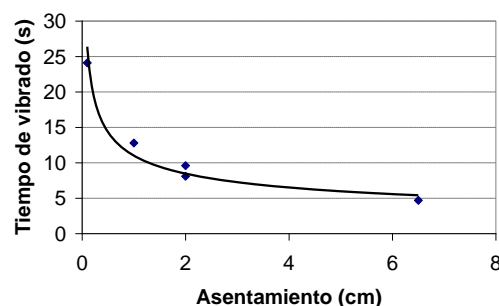
Los ensayos cumplieron con los requisitos establecidos de Módulo de rotura y  $f^D_{150}$ , los desvíos se deben a la inestabilidad de los ensayos y a las variaciones de velocidad de carga, se destaca que el valor mínimo de resistencia residual fue 0,9 MPa y este hecho se produjo solamente en dos oportunidades. En el ensayo de flexión según ASTM C1609 las roturas no siempre se producen en el tercio central, en los ensayos de control se empleó un equipo con rigidez muy acotada para vigas de 150 mm de altura.

Una inquietud planteada antes de la obra era la adherencia asfalto-HRF. Mas allá de que para garantizarla se aplicó en obra un procedimiento riguroso de texturizado y limpieza de la superficie asfáltica, mediante un ensayo al corte sobre extracción de testigos se midió la adherencia de la interfase asfalto-HRF (10), encontrando valores entre 1,1 y 1,5 MPa, lo que califica la adherencia como regular a buena (Tabla 6).

**Tabla 6:** Calificación de la adherencia al corte (11)

Calificación de la adherencia	En MPa	En P.S.I
Excelente	$\geq 2,1$	$\geq 300$
Muy buena	1,7 a < 2,1	250 a 290
Buena	1,4 a < 1,7	200 a 249
Regular	0,7 a < 1,4	100 a 199
Mala	0 a < 0,7	0 a 99

Uno de los efectos del uso de fibras es la reducción de asentamiento. Se consideró que si esto se corregía aumentando el contenido de agua se podría generar mayor exudación y una menor dureza de la superficie provocando alteraciones en la textura del pavimento en el tiempo. Una duda conceptual que se planteó fue acerca de la necesidad de incluir las microfibras, ya que el principal beneficio que imparten las mismas ya es cubierto por la excelente membrana empleada. Al medir la exudación (Tabla 5) se observaron valores de capacidad relativamente bajos, de 1,4 %. En base a esto se podría asumir que la microfibra, afecta la demanda de agua y en alguna medida a la exudación del HRF; sin embargo este efecto es de segundo orden si se lo compara con los cambios de exudación que provocan por ejemplo variaciones en el asentamiento, en el contenido de cemento o de la temperatura. Otra de las dudas era cómo afectarían las fibras a la consistencia del hormigón al emplear TAR. Frente a dicho desafío, se empleó un reductor de agua de alto rango; una de sus características es que ante el vibrado produce un efecto tixotrópico que facilita la trabajabilidad. Para evaluar el comportamiento reológico de hormigones de consistencia seca y discernir cual sería la diferencia en trabajabilidad de un hormigón de consistencia variable desde 0 hasta 6,5 cm, en base a un concepto similar al ensayo Vebe, se realizó el Cono de Abrams dentro de un recipiente de 25 cm diámetro y 28 cm de altura fijo a la mesa de vibrado, y se registró el tiempo. La Figura 2 representa la correlación entre el tiempo de vibrado y el asentamiento, se observa que hormigones de muy bajo asentamiento continúan siendo bien trabajables, hecho que finalmente fue confirmado por el desempeño en la pavimentadora, que es el verdadero indicador de la trabajabilidad del hormigón.



**Figura 2:** Variación del tiempo de vibrado para diferentes asentamientos.

## CONCLUSIONES

A partir de este proyecto innovador en diversos aspectos, el diseño, el material, el proceso constructivo y de la experiencia realizada surgen las siguientes conclusiones:

Las macro y microfibras se pudieron distribuir homogéneamente durante su mezclado y el éxito del mismo, vinculado a la macro fibra, se debe al uso de un dosificador.

Las fibras no afectaron las operaciones de traslado ni la exudación

Los HRF se pudieron distribuir homogéneamente mediante la terminadora para asentamientos entre 2 y 3 cm, por encima de ese valor la terminadora separa las macro fibras, reduciendo la homogeneidad en su distribución.

La presencia de macro y micro fibras, no afectaron los procesos de terminación y texturado de la superficie.

El uso del policarboxilato fue apropiado, pero merecen destacarse dos aspectos esenciales; uno es que la gente no está acostumbrada a ver el aspecto que presenta el hormigón y la otra es que en clima frío se podría generar un retardo de fraguado

El nivel de adherencia entre HRF y la superficie asfáltica (texturizada) fue aceptable.

Se pudo desarrollar un HRF, que incluye aditivos a base de policarboxilato y de consistencia seca, y aplicarlo exitosamente como una sobrecapa de hormigón adherido al pavimento de asfalto texturizado.

En la actualidad el pavimento se encuentra habilitado al tránsito en la totalidad del tramo y en perfectas condiciones. Su desempeño es monitoreado (control de cargas) con el objeto de evaluar este novedoso método de diseño y constructivo, incluyendo además la materialización de un tramo experimental de 100 m lineales sin microfibras.

El logro de esta construcción fue posible gracias a la conformación de un grupo de trabajo entre las empresas involucradas y los organismos públicos y el soporte de especialistas y organismos científicos.

## REFERENCIAS

- (1) Pastorini, M., Experiencia en Uruguay: Proyecto de rehabilitación con Whitetopping en Ruta Nacional N° 24, 8° Congreso de la Vialidad Uruguaya, Montevideo, (2011).
- (2) Federal Highway Administration, Design and Concrete Material Requirements for Ultra-Thin Whitetopping, Publication N° FHWA-ICT-08-016, USA, (2008).
- (3) American Concrete Pavement Association, Whitetopping, State of the practice, Engineering Bulletin EB210.02P, USA, (1998).
- (4) Transportation Research Board, National Cooperative Highway Research Program, Thin and Ultra-Thin Whitetopping. A Synthesis of Highway Practice, NCHRP Synthesis 338, Washington, D.C., (2004).
- (5) ACI Committee 325, Concrete Overlays for Pavement Rehabilitation, Report ACI 325.13R-06, USA, February, (2006).
- (6) National Concrete Pavement Technology Center, Guide to Concrete Overlays: Sustainable Solutions for Resurfacing and Rehabilitating Existing Pavements, 2<sup>nd</sup> Ed, ACPA TB021-02P, USA, (2008).
- (7) ASTM C 1609/C 1609M-07. "Standard test method for flexural performance of fiber-reinforced concrete (using beam with third-point loading)", ASTM Standards, Vol.04.02, (2007).
- (8) Vázquez, E., Hormigones reforzados con fibras, 8° Congreso de la Vialidad Uruguaya, Montevideo, (2011).
- (9) Fontans, D., Machin, H. y Gómez, D. Primera experiencia en ejecución de Whitetopping en la Red Vial Nacional, 8° Congreso de la Vialidad Uruguaya, Montevideo, (2011).
- (10) American Association of State Highway and Transportation Officials, Standard Method of Test for Determining the Shear Strength at the Interface of Bonded Layers of Portland Cement Concrete, AASHTO Designation: T 323-03 (2007), USA, (2007).
- (11) Federal Highway Administration, Portland Cement Concrete Overlays, State of The Technology Synthesis, Publication N° FHWA-IF-02-045, USA, Chapter 3, Page 9 (2002).