

Desarrollo e implementación de un hormigón reforzado con fibras sintéticas para la repavimentación de la Ruta 24 de Uruguay

Miguez Passada, D. y González, A.C. *Hormigones Artigas S.A. (*)*

Violini, D. y Pappalardi, M. *Cementos Avellaneda S.A. (*)*

Zerbino, R. *Investigador CONICET. LEMIT. Profesor de la Facultad de Ingeniería, UNLP.*

(*) *Pertencientes a Cementos Molins S.A. y Votorantim Cementos S.A.*

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 el comportamiento 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 macrofibras 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 podrían estar sujetos a procesos de fisuración, tanto a edad temprana como en servicio, debido a su gran superficie expuesta, en relación a su volumen. Las fisuras se producen por efectos de las tensiones inducidas, origina-

■ **Figura 1. Estado de la Ruta 24 antes del inicio de la obra.**



das por las deformaciones de origen térmico, secados prematuros, etc., que son restringidos por la base o subbase o el propio hormigón. Este hecho se potencia por los movimientos que se podrían producir, a consecuencia de fallas constructivas, en las capas inferiores. El uso de Hormigón Reforzado con Fibras (HRF) aparece como una de las mejores alternativas técnico-económicas para mejorar el comportamiento del hormigón, en virtud de la respuesta post-fisuración que le confiere al material. En la actualidad se dispone de macrofibras sintéticas, que pueden utilizarse en este tipo de aplicaciones en lugar de las tradicionales fibras de acero.

En el año 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 (Figura 1). Se licita inicialmente el tramo comprendido entre las Rutas 2 y 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 macrofibras sintéticas, de habilitación temprana, aplicado mediante tecnología de alto rendimiento (TAR).

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

- Concienciación 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 Pú-

■ **Tabla 1. Clasificación tradicional del "whitotopping", según el espesor de hormigón.**

Whitotopping	Espesor de hormigón	Adherencia con la capa asfáltica
Convencional	≥20 cm	No se considera adherencia con la capa asfáltica
Delgado	Entre 10 cm y 20 cm	Alternativa de considerar o no la adherencia
Ultra-delgado	Entre 5 cm y 10 cm	Se considera adherencia con la capa asfáltica

blicas 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 macrofibras 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 y 2].

Tradicionalmente el término "whitotopping" se utilizó para aludir al recubrimiento de un pavimento asfáltico existente, con una capa de hormigón. De acuerdo al espesor de dicha capa, el "whitotopping" se clasificó originalmente como convencional o ultra-delgado, según supere o no los 10 cm de espesor [3]; posteriormente aparece una clasificación intermedia denominada "whitotopping 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 y 6], y clasificar la misma según el grado de adherencia asumido entre capas ("adherida" o "no adherida").

El hormigón debía poseer a 28 días una resistencia a la flexotracción 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 una resistencia a la flexotracción igual o mayor a 3,8 MPa.

El desarrollo de un hormigón con macrofibras (al que se le sumaron micro fibras) y de rápida puesta en servicio, representaba un desafío que conlleva la búsqueda de la fibra más convenient-

te, 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).

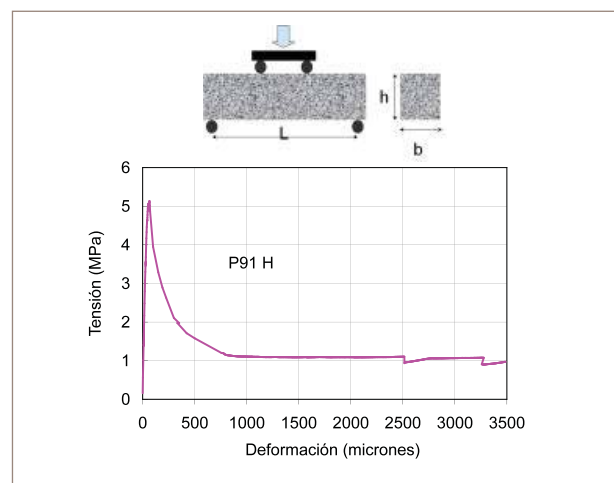
Ante el desarrollo de un proyecto innovador, tanto en el material como en el proceso constructivo, surgieron algunas dudas que merecen destacarse:

- 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 se produciría la segregación de la fibra con el sistema energético de compactación, 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.

Selección 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.

■ **Figura 2. A la izquierda vista de los dispositivos de ensayo. A la derecha la 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, Ø0,48 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, Ø18 µm, E: 3 GPa

Una cuestión relevante al momento de caracterizar un HRF es valorar su respuesta postfisuración, esto es la capacidad de carga que proporcionan 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 flexotracción 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 2 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 tensión-flecha correspondiente a uno de los HRF evaluados. La carga de primer pico se emplea para calcular la resistencia a flexotracción (módulo de rotura, MR); para valorar la capacidad postpico se calculan dos resistencias residuales (F_{600}^D y F_{150}^D) 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 microfibra sintética. Se exploraron alternativas con diferentes macrofibras 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 microfibra (mf) en la mayoría de los casos [8].

En dicho estudio se confeccionaron hormigones, con contenidos variable de cemento entre 340 y 380 kg/m^3 y dosis de fibras entre 1,5 y 3 kg/m^3 . Del conjunto evaluado se seleccionó la macrofibra C (Barchip 54), por ser una de las que cumplimentó los requisitos técnicos-económicos, y fundamentalmente porque el proveedor facilitó un dosificador automático de las fibras. Estas se presentan agrupadas en rollos, envueltas en un material que se disuelve al contacto con el agua, hecho que garantiza la uniformidad en la distribución

de las fibras (Figura 3). Y fue necesario construir un cerramiento, a los fines de evitar que el viento altere la pesada de

■ **Figura 3. Detalle de la distribución homogénea de las fibras.**



la balanza, y que el agua de lluvia degrade el envoltorio de los rollos de fibras.

Luego se ajustaron los contenidos de cemento y fibras para alcanzar las consignas de resistencia y la dosificación resultante fue la siguiente:

■ **Tabla 3. Dosificación empleada en obra.**

Cemento Artigas CPN40 (Montevideo), granel (kg/m^3)	340
Agua (kg/m^3)	140
Arena natural fina (Río Negro) MF = 1,80 (kg/m^3)	235
Arena natural gruesa (Río Negro) MF = 3,20 (kg/m^3)	565
Piedra partida 5-20 granítica (Palmitas, Soriano) (kg/m^3)	570
Piedra partida 20-30 granítica (Palmitas, Soriano) (kg/m^3)	570
Aditivo Viscocrete Artigas (Sika) (kg/m^3)	2,05
Macro fibra sintética Barchip 54 (EPC) (kg/m^3)	2,7
Micro fibra sintética FibroMac 12 (Maccaferri, Brasil) (kg/m^3)	0,6

MR = resistencia a flexotracción.

F_{150}^D (%) = porcentaje de resistencia a flexotracción para una flecha de 3 mm.

Consideraciones constructivas

La obra tiene como principal particularidad el efecto de las fibras en cada una de las tareas que al hormigón se refiere (elaboración y mezclado, transporte y colocación, compactación, terminación). Por ser un "whitetopping" adherido es clave asegurar esta última propiedad 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 buenas prácticas constructivas que se han de seguir para la construcción de pavimentos con TAR, se implementaron las recomendaciones de la ACPA para sobrecapas de hormigón [7]. 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 (Figura 4).

El hormigón se elaboró en una planta con mezcladora central de 2 metros cúbicos que produjo en promedio 50 m³/h y permitió una velocidad de avance de 1,5 m/minuto a la pavimentadora. El hecho destacado fue el uso del dosificador automático para las macrofibras 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 (poli-carboxilatos).

La principal observación constructiva del método de pavimentación surgió durante la ejecución del tramo de prueba, donde al colocar un HRF con asentamiento ≥ 4 cm se verificó una tendencia del sistema de compactación (Wirtgen SP500, vibrado de alta frecuencia) a segregar las fibras, concentrándolas en la cámara de vibrado. Por tal motivo se realizó un segundo tramo de prueba con asentamientos más bajos, y al tomar muestras de los 5 cm superiores y los 5 cm inferiores de la calzada, se verificó 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 macrofibras 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.

■ *Figura 4. Limpieza intensiva mediante hidrolavado y posterior barrido con aire comprimido.*



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 comportamiento en invierno del aditivo fabricado con policarboxilatos, dado que se observó en la obra un incremento del tiempo de fraguado en comparación con los valores que se obtuvieron en obras anteriores, donde se emplearon 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 flexotracción/compresión, se adoptó una resistencia a compresión de 25 MPa para habilitar el pavimento; operativamente se dejaron expuestas probetas cilíndricas 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 kg/m³) para asegurar los requisitos de resistencia establecidos y al verificar que se superaban holgadamente se ajusta el ligante al valor de consigna inicial (340 kg/m³). 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.

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.

Para evaluar el contenido de fibras se implementó el siguiente procedimiento: se toman tres muestras de una misma amasada (≈ 17 kg c/u) 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 que flotan, 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 macrofibras y microfibras, estas últimas interferían en el procedimiento del conteo de la macrofibras. Por tal motivo, y como la incorporación de las microfibras se realizaba en forma manual, se excluyeron en la amasada 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 laborante 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 macrofibras, que pudo garantizar un punto clave del proceso.

Los ensayos cumplieron con los requisitos establecidos de resistencia a flexotracción y f_{D150} , los desvíos se deben a la inesta-

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

Propiedad	Unidad	Valor medio	Desviación típica	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

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

Propiedad	Unidad	Valor medio	Desviación típica	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_{D150})	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

■ **Figura 5.** A la izquierda testigos para evaluar la adherencia. A la derecha ensayo de corte en la interfase.



bilidad 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 ocasiones. En el ensayo de flexotracción según ASTM C1609 las roturas no siempre se producen en el tercio central, en los ensayos de control se empleó un equipo con rigidez insuficiente 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] (Figura 5).

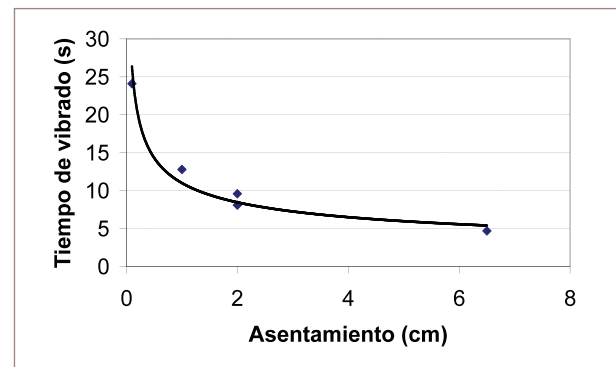
Los valores obtenidos se ubicaron entre 1,1 y 1,6 MPa, lo que califica la adherencia como regular a buena (Tabla 6).

■ **Tabla 6.** Calificación de la adherencia al corte [11].

Calificación de la adherencia	En MPa	En PS.I
Excelente	≥2,1	≥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 este hecho 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 es cubierto por el uso de una membrana muy eficiente. 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

■ **Figura 6.** Variación del tiempo de vibrado para diferentes asentamientos.



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 6 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.

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 extendedora para asentamientos entre 2 y 3 cm, por encima de 4 cm la extendedora separa las macrofibras, reduciendo la homogeneidad en su distribución.
- Las macro y microfibras 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 los técnicos y operarios no están acostumbrados a ver el aspecto que presenta el hormigón y el otro 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 comportamiento 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, el soporte de especialistas, los organismos públicos y científicos.**

- [6] National Concrete Pavement Technology Center. "Guide to Concrete Overlays: Sustainable Solutions for Resurfacing and Rehabilitating Existing Pavements". 2nd Ed, ACPA TB021-02P, USA, septiembre de 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, octubre 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, octubre de 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". FHWA-IF-02-045, USA, abril de 2002. capítulo 3, página 9.

Referencias

- [1] Pastorini, M. Experiencia en Uruguay: Proyecto de rehabilitación con whitetopping en Ruta Nacional nº 24. 8° Congreso de la Vialidad Uruguaya, Montevideo, octubre de 2011.
- [2] Federal Highway Administration. "Design and Concrete Material Requirements for Ultra-Thin Whitetopping". Publicación número FHWA-ICT-08-016, USA, junio de 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, febrero de 2006.