



Gunitado con HFR (sintética) de la capa de revestimiento de un túnel.



Enrique Pina Mateo

Ingeniero Superior de Minas, con la especialidad de Laboreo y Explosivos, por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de la Universidad Politécnica de Madrid. Ha desarrollado su trabajo profesional en empresas como SIKA. Posteriormente ocupó el puesto de Jefe de Mercado "Mercado de Construcción" TOLSA. Actualmente ocupa el puesto de Director Técnico/Comercial en la empresa MyPHor S.L.



Gabriel Sémelas Ledesma

Ingeniero del ICAI. Después de una trayectoria profesional ligada al hormigón y la construcción, crea la empresa MyPHor Materiales Especiales, S.L., que desarrolla su actividad en la asesoría de soluciones y suministro de productos para la construcción. Perteneció al Comité Técnico de la Asociación Nacional de Fabricantes de Aditivos para el Hormigón (ANFAH).

Empleo y aplicaciones de hormigones reforzados con fibras sintéticas estructurales

Palabras clave: Hormigón, fibra sintética estructural, resistencia residual, absorción de energía, Gunita.

Resumen:

En los últimos años y, gracias a los esfuerzos en investigación de materiales sintéticos apropiados para el refuerzo de hormigón, se han desarrollado en otros países nuevas fibras sintéticas con capacidad de armar estructuralmente el hormigón, permitiendo eliminar mallas metálicas y disminuir/eliminar armaduras en determinadas condiciones. En España, no había hasta ahora un desarrollo propio de este tipo de materiales. Tras dos años de I+D+I en el campo de fibras sintéticas estructurales para hormigones y morteros, la empresa Myphor Materiales Especiales ha lanzado al mercado la primera fibra sintética con capacidad estructural desarrollada y fabricada íntegramente en España.

Key words: Concrete, macro synthetic polymer fibres, structural synthetic fibres, energy absorbed, shotcrete, residual strength.

Abstract:

In the last years and, thanks to the efforts in investigation of synthetic materials adapted for the reinforcement of concrete, new synthetic fibers have been developed in other countries with aptitude to reinforce structurally the concrete, allowing to eliminate welded wire mesh and to diminish / eliminate reinforcements in certain conditions. In Spain, there was not an own development of this type of materials. After two years of R+D in the field of structural synthetic fibers for concretes and mortars, the company Myphor Materiales Especiales, has thrown to the market the first synthetic fiber with structural capacity developed and produced entirely in Spain.

Introducción

En las últimas décadas, el empleo de hormigón reforzado con fibras se está generalizando en el mundo de la construcción a escala internacional. Ya es habitual ejecutar con este material obras de soleras y pavimentaciones industriales, hormigones proyectados para el sostenimiento de túneles, taludes y ejecución de piscinas, hormigones prefabricados, etc.

Gracias a los esfuerzos en investigación de materiales sintéticos apropiados para el refuerzo de hormigón, se han desarrollado en otros países nuevas *fibras sintéticas* con capacidad de armar estructuralmente el hormigón, permitiendo eliminar mallazos metálicos y disminuir/eliminar armaduras en determinadas condiciones, obteniéndose resistencias residuales a flexo tracción semejantes, aportando asimismo otras ventajas adicionales desde el punto de vista del control de fisuración por retracción plástica, protección pasiva contra el fuego y durabilidad.

En España, no había hasta ahora un desarrollo propio de este tipo de materiales. Tras más de dos años de I+D+i en el campo de *fibras sintéticas estructurales* para hormigones y morteros, se ha lanzado al mercado la primera fibra sintética con capacidad estructural, desarrollada y fabricada íntegramente en España (*MPH Fiber Plus*), contribuyendo tecnológicamente en este nuevo avance en el mundo de la construcción. En cualquier caso, continúa la labor de investigación y desarrollo realizada hasta ahora para obtener nuevos compuestos y geometrías adaptadas a cada tipo de hormigón, puesto que cada aplicación tiene sus particularidades.

Si bien con este artículo se pretende dar una visión global de las ventajas y aplicaciones de los hormigones re-



Gunitado con HFR de una ladera.

forzados con fibras sintéticas estructurales, la intención es desarrollar en próximos artículos el análisis concreto por aplicaciones, así como los métodos de ensayo y fórmulas de cálculo, con el objetivo de contribuir a estandarizar su empleo.

¿Qué es un hormigón fibra reforzado?

Según la definición del Anejo 14 de la Instrucción EHE 08, *“los hormigones reforzados con fibras (HRF) se definen como aquellos hormigones que incluyen en su composición fibras cortas, discretas y aleatoriamente distribuidas en su masa”*.

En los últimos años se ha extendido el empleo de *micro fibras poliméricas* (habitualmente polipropileno) fundamentalmente para mejorar las propiedades del hormigón en cuanto a:

- Fisuración por retracción plástica (principalmente en soleras y elementos con elevada superficie).

- Comportamiento frente al fuego (principalmente en revestimientos de túneles, con el objeto de mejorar la protección pasiva contra el fuego, aunque en un futuro cercano se generalizará en otros campos).

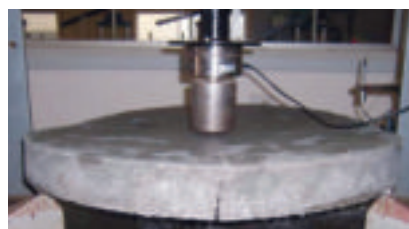
Este tipo de fibras no tienen carácter estructural, ya que no modifican las prestaciones mecánicas del hormigón, aunque su adición, junto con otras fibras estructurales, puede producir un efecto sinérgico en cuanto al control de la propagación de las microfisuras que desembocarán en macrofisuras estructurales con el tiempo.

Por otra parte, las fibras metálicas han contribuido en el pasado a desarrollar una concepción del HFR desde el punto de vista estructural. Nuevos métodos de ensayo permiten evaluar la capacidad estructural de este tipo de hormigones. Estos ensayos evalúan el aumento de ductilidad de un HFR (resistencias residuales a tracción por flexión, absorción/disipación de energía, etc.).

Con la aparición de las *fibras sintéticas (poliméricas) con capacidad estructural* (ya contempladas en el Anejo 14 de la Instrucción EHE 08) se abren nuevas posibilidades que aventajan claramente el uso de las metálicas. A la posibilidad de ser tenidas en cuenta estructuralmente (al igual que las



Ensayo EFNARC de absorción de energía.



Ensayo RDP de absorción de energía.



Realización de una carretera con HFR (sintética) en Almería.



metálicas), se le unen otras ventajas en comparación con éstas, como son, entre otras:

- Menor dosificación en kilos de fibra/m³ de hormigón.
- Muy inferior desgaste de bombas, mangueras, etc.
- Menores riesgos en su manipulación.
- Riesgo nulo de oxidación y degradación.
- Menor coste por m³ de hormigón.

Dado que la materia prima empleada tiene menor densidad (en algunas ocasiones hasta en relación 8,5/1 en comparación con las metálicas), se pueden incorporar el mismo número de fibras con un peso muy inferior. Operativamente este punto es importante a la hora de la manipulación y adición de las fibras, a la vez que el nulo riesgo de "pinchazos y cortes" mejora los parámetros de seguridad e higiene para todo el personal involucrado en cualquier ejecución.

Garantizar la continuidad de las propiedades durante la vida útil de una estructura (durabilidad) se ha convertido en uno de los principales objetivos de cualquier construcción.

Las fibras metálicas sumergidas en un pH alcalino de 10 a 12, como es el hormigón, mantienen teóricamente sus propiedades, ya que se impide su oxidación, lo que provocaría la pér-



Panel prefabricado con fibra sintética estructural.

dida de las prestaciones con las que han sido diseñadas. Sin embargo, la oxidación de cualquier fibra metálica se puede producir:

- Bien en el proceso previo de almacenamiento y distribución.
- Bien por carbonatación del hormigón, que provoca una disminución del pH y una vía de ataque para cualquier fibra metálica.
- Bien por la entrada a través de los capilares, y/o las micro fisuras, de agua, aire, y otras sustancias que provocan la oxidación de las fibras metálicas.

En cualquier caso, los recubrimientos fijados en la normativa para el hormigón armado, que son los que garantizan la durabilidad ó la no oxidación del armado durante la vida útil de la construcción, no se pueden cumplir en un hormigón reforzado con fibras metálicas, ya que la distribución de las fibras es aleatoria.

Las fibras sintéticas no sufren procesos de oxidación y son mucho más estables químicamente frente a todos los tipos de ataque. Las fibras sintéticas, sin ninguna duda, garantizan de manera mucho más efectiva la durabilidad del sistema (mantenimiento de propiedades con respecto a la vida útil). Esta afirmación fue comprobada por el Dr. Stefan Bernard, de la universidad de Sydney, que evaluó el comportamiento a largo plazo en términos de durabilidad de muestras fabricadas con fibra metálica y con fibra sintética, sobre las que se forzó una primera fisuración. Las conclusiones fueron demoledoras ya que, mientras que la capacidad de absorción de energía de las muestras con

fibra metálica después de un año se había reducido prácticamente a la mitad, las muestras con fibra sintética estructural mantenían prácticamente el 100% de su capacidad para absorber energía.

¿Cómo y por qué funciona un hormigón fibra reforzado?

Cuando se calcula cualquier estructura en hormigón armado, los cálculos se realizan separando por un lado el armado, que será el que resista los esfuerzos a tracción, flexión, cortante, etc., y por otro lado el hormigón, que es la parte del sistema que resiste los esfuerzos a compresión; posteriormente se comprueba la congruencia conjunta de los cálculos según las fórmulas definidas en la normativa del hormigón estructural.

En el caso de un hormigón fibra reforzado, es el propio hormigón el que soporta tanto los esfuerzos a compresión como los de tracción, flexión etc. Es decir; convertimos un material frágil en un material con cierta ductilidad pero, a diferencia del hormigón armado tradicional, donde la armadura colabora de manera anisótropa (en una ó dos direcciones según el tipo de estructura), el refuerzo con fibras proporciona un refuerzo mucho más isotropo (en las tres direcciones), situación especialmente ventajosa en algunas aplicaciones.

Aplicaciones

Aunque en un futuro cercano será habitual el empleo de hormigones fibra reforzados y mixtos (fibras + armado tradicional) para la mayor parte de las aplicaciones, actualmente su empleo más generalizado es para:

- Hormigones/morteros proyectados, tanto en el sostenimiento de obras subterráneas (túneles, cavernas, minería), como en la estabilización de taludes y ejecución de piscinas.
- Soleras y pavimentos, donde ya hay una amplia experiencia previa con fibras metálicas y las bondades del sis-

Tabla I. Ensayo de absorción de energía

Carga primera fisura:	68,7 kN	Energía absorbida a 25 mm	1546,9 J
Carga primera fisura:	80,0 kN		



Ensayo EFNARC de punzonamiento – flexión (absorción de energía).

tema fibro reforzado son ya reconocidas por los técnicos del sector:

- Piezas prefabricadas tipo paneles de cerramiento y muros, piezas arquitectónicas complejas como bancos y escaleras y, en general, productos de hormigón prefabricado con fuerte carácter bidimensional ó tridimensional, donde las fibras aportan un refuerzo en las dos/tres dimensiones casi como si de un material isótropo se tratara.
- Forjados: El hormigón fibro reforzado comienza a emplearse cada vez más como un sistema apropiado para redistribuir tensiones en las capas de compresión de los forjados. Así mismo, sistemas novedosos del tipo forjado colaborante con encofrado perdido de chapa, desarrollan todas sus posibilidades permitiendo eliminar los mallazos de reparto de la capa de hormigón por hormigón fibro reforzado.
- Hormigones de cualquier tipo sometidos a ambientes agresivos, cerca del mar, etc.

¿Cómo se calcula/diseña un hormigón fibro reforzado?

Para los requerimientos de una estructura en cuanto a resistencia a



Gunitado con HFR (sintética) de la capa de revestimiento de un túnel.

tracción, flexo–tracción, cortante, etc., los cálculos se basan en unos valores estándar del acero a incorporar y las cuantías necesarias.

En el caso de un hormigón fibro reforzado, los parámetros resistentes no solo dependen de la fibra incorporada, sino también de la interacción entre la fibra y el propio hormigón. Es decir, con la misma cuantía y tipo de fibra, se pueden obtener valores distintos debido a esta interacción. Así, hormigones con áridos redondeados y poca adherencia, hormigones poco compactos ó de granulometrías excesivamente discontinuas, lechadas pobres en cemento ó con relaciones a/c elevadas, etc., pueden dar valores menores que hormigones fabricados con estos parámetros más optimizados, donde la adherencia a la pasta y el

comportamiento en general es mejor.

Es por esto que, para el cálculo de hormigones fibro reforzados, deben hacerse ensayos previos en la mayoría de los casos. Con los ensayos que aporten las resistencias a flexo–tracción, tanto máxima como residuales FR1 y FR3, se pueden realizar los cálculos necesarios para poder diseñar la estructura. La metodología de ensayos y cálculos queda reflejada en el anejo I4 de la instrucción EHE 08.

Cuando se buscan propiedades concretas, como es el caso de los hormigones proyectados, donde uno de los requerimientos fundamentales es la capacidad de absorción/dispación de energía transmitida por el terreno al sostenimiento, se realizan ensayos específicos para estas aplicaciones, normalmente basados en paneles EFNARC de 60 x 60 x 10 cm, en paneles circulares (RDP) de 80 cm de diámetro por 7,5 cm de espesor, ó ensayos más novedosos y, a la vez, más sencillos, congruentes, fiables y baratos, como es el Ensayo Barcelona de doble punzonamiento, desarrollado en la Universidad Politécnica de Barcelona.

En próximos artículos se desarrollaran las distintas aplicaciones atendiendo no sólo a las ventajas en el empleo de hormigones fibro reforzados, sino también a los problemas operativos que pueden surgir, y como solucionarlos. ■



Solera industrial armada con fibra sintética estructural.