

EL ENFIBRADO DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Alfonso J. Morano Rodríguez⁽¹⁾, José Luis Guillén Viñas⁽²⁾

(1) *Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. Universidad Politécnica de Madrid. C/ Alenza 4. 28003 Madrid. España. alfonsoj.morano@upm.es. Miembro del Grupo de Investigación: Sostenibilidad en la Construcción y en la Industria SCI.*

(2) *guillensanchez@arquinox.es. AMTEC, S. L. Miembro del Grupo de Investigación: Sostenibilidad en la Construcción y en la Industria SCI.*

RESUMEN

Algunos materiales tradicionales de construcción se refuerzan con fibras con el fin de obtener ciertas propiedades que mejoren la calidad del producto final. Los materiales que se suelen enfibrar son los derivados del cemento (hormigones proyectados, soleras y prefabricado tipo GRC) y del yeso (prefabricados de yeso).

Las fibras que se utilizan como refuerzo de este tipo de productos son básicamente tres:

- Fibra de vidrio
- Fibra de polipropileno
- Fibra de acero y otros

- La **fibra de vidrio** se emplea en el prefabricado de yeso, aunque hay un tipo muy especial de prefabricado de hormigón conocido comercialmente como GRC que también incorpora este tipo de fibra, aunque con un tratamiento "anti-alkalino".

- La **fibra de polipropileno** se mezcla con la masa de hormigón con el fin de evitar la fisuración por retracción del hormigón endurecido. Las aplicaciones son básicamente dos: Bombeos y gunitados de hormigón y Hormigón impreso.

- La **fibra de acero** se aplica de forma similar a la fibra de polipropileno, pero la finalidad es reforzar el hormigón desde el punto de vista estructural, reemplazando al mallazo de acero.

- Hay otro tipo de fibras que se emplean en gunitados de hormigón, siendo el caso más representativo el de la **fibra de basalto**.

Esta fibra se obtiene a partir de un complejo proceso productivo en el que la roca basáltica se funde en un horno de gas a 1580 °C y se bate mediante un proceso de centrifugación. En el empleo de las fibras de basalto como refuerzo del hormigón es bastante reciente.

ABSTRACT

Some traditional building materials with reinforcing fibers to obtain certain properties that improve the quality of the final product. The materials that usually refill with fiber are derived cement (sprayed concrete, floors and prefabricated GRC) and gypsum (plaster prefabricated).

The fibers used as reinforcement of these products are basically three:

- Fiberglass
- Polypropylene fiber
- Steel fiber and other

- The **glass fiber** used in the prefabricated plaster, although there is a very special type of concrete masonry commercially known as GRC also incorporates this type of fiber, although treatment with "anti-alkaline".

- The **polypropylene fiber** is mixed with the mass concrete in order to avoid shrinkage cracking of hardened concrete. Applications are basically two: Pumping concrete and shotcrete and concrete.

- The **steel fiber** is applied similar to the polypropylene fiber, but the aim is to strengthen the concrete from the structural viewpoint, replacing the steel mesh.

- There is another type of fiber used in gun concrete or shotcrete, being the most representative case the **basalt fiber**.

This fiber is obtained from a complex production process in which the basaltic rock is melted in a gas oven to 1580 °C and beaten by centrifugation. In use of basalt fibers as reinforcement of concrete is fairly recent.

Palabras claves: Fibra, refuerzo, materiales de construcción. Fiber, reinforcement, building materials.

1.- INTRODUCCIÓN

Se consideran fibras aquellos cuerpos cuya longitud es mucho mayor que su grosor. Básicamente las fibras se utilizan como refuerzo de productos prefabricados, pero también se aplican directamente en obra, como por ejemplo en el caso de morteros de proyección y gunitados de hormigón. No solo la construcción y sus productos necesitan fibras; hay una infinidad de útiles y productos finales que están reforzados con fibras de diferentes tipos.

Las fibras se pueden clasificar de varias formas, atendiendo a su composición, propiedades y aspecto. Por ejemplo se distinguen:

- Fibras metálicas y no metálicas
- Fibras naturales y artificiales
- Fibras rígidas y plásticas

Realmente las fibras actúan como un refuerzo de tipo mecánico, constituyendo una armadura interior, que aporta resistencia y rigidez a diferentes productos. Atendiendo a la propia resistencia de las fibras se pueden clasificar en "Estructurales y No Estructurales

- Fibras estructurales. Aquellas cuyo módulo de elasticidad > 25 GPa
- Fibras no estructurales. Aquellas cuyo módulo de elasticidad < 25 GPa

A lo largo del artículo se van a ir analizando con detalle algunos tipos de fibras y sus aplicaciones. Las fibras poliméricas, fibras de acero, fibras de vidrio y fibras de basalto son las que principalmente se van a tratar en este artículo. Otros tipos de fibras como las vegetales no son objeto de estudio del presente artículo.

Existen otras fibras para usos estructurales en hormigón, tales como carbono, aramida y alcohol – polivinilo. Su empleo está menos extendido que debido a factores como el precio o peores prestaciones

2.- FIBRA DE VIDRIO

La fibra de vidrio se obtiene al hacer fluir vidrio fundido (1550°C) a través de una matriz llena de orificios muy finos (proceso de extrusión y estirado), de forma que al enfriarse los hilos o filamentos que se obtienen, se someten a un ensimaje, obteniendo las propiedades mecánicas (resistencia y flexibilidad) necesarias para ser usados como fibras industriales.

Gracias a sus magníficas propiedades la fibra de vidrio se utiliza de forma generalizada como refuerzo de muchos productos. Como producto comercial la fibra de vidrio se suministra en tres formas: En hilo (spray roving, hilo cortado), en malla y en manta (mats, velos). La utilización de uno u otro producto depende del uso final y del tipo de instalación.

Existen 5 tipos de fibras de vidrio: E, R, D, AR y C. Cada tipo de fibra presenta una composición química bien definida, así como unas propiedades bien definidas para cada aplicación.

La fibra de vidrio como producto comercial en hilo, "spray roving" (ver foto 1) para uso industrial se define mediante los siguientes parámetros:

- Diámetro de filamento (µm)
- Tipo de fibra de vidrio (E, R, D, AR, C)
- Tipo de ligante (p.e. Xilano)
- Densidad de la hebra (Tex g/km)
- Densidad roving (Tex g/km)
- Densidad masa (g/cm³)
- Pérdida por ignición (%)
- Contenido de Humedad (%)



Fotografía 1: Bobina de fibra de vidrio (spray roving). (Gentileza de PROQUINSA)

En el caso del hormigón, aunque la principal aplicación es para el GRC, si se aporta directamente fibra de vidrio AR al hormigón en masa, se consiguen incrementos notables de resistencia a flexotracción, tenacidad, ductilidad y capacidad portante. Mejora la adherencia del hormigón proyectado admitiendo mayores espesores de capa; igualmente mejora la durabilidad y el acabado superficial y evita la microfisuración anterior y posterior al fraguado. La dosificación es de 0,1% - 0,4% en peso (6 kg/m³ – 12 kg/m³).

2.1.- PREFABRICADOS DE YESO

El yeso fraguado (normalmente semihidrato beta) usado como material de construcción es un producto que carece de la resistencia mecánica interna suficiente. Algunos prefabricados de yeso y escayola suelen ir enfibrados, adquiriendo por lo tanto la resistencia mecánica necesaria según la aplicación o uso final.

Tal es el caso de los falsos techos tanto continuos (placa lisa) como discontinuos (techos desmontables). Los tabiques, molduras, columnas de escayola, etc., pueden igualmente estar reforzados con fibra de vidrio

En algunos países como en el Reino Unido al prefabricado de yeso enfibrado se le denomina GRG (Glass Fibre Reinforced Gypsum). El GRG de alta calidad se hace con semihidrato alfa y fibra de vidrio obteniendo producto de una dureza y calidad sorprendentes.

Las líneas de producción modernas de prefabricados están adaptadas para utilizar las bobinas de spray roving, de modo que el hilo atraviesa un útil de corte que divide el hilo en tramos cortos (en general entre 4 cm y 12 cm), los cuales se depositan en la pasta (mezcla de agua y polvo de yeso). La dispersión de la fibra en la pasta es aleatoria pero homogénea y según el refuerzo que se quiera obtener se dosificará más o menos cantidad de fibra.

Aunque la fibra de vidrio supone un coste productivo como materia prima, su adición permite obtener prefabricados con espesores más finos, y evitar la utilización de yesos mucho más costosos como el semihidrato alfa. Gracias a la fibra se consiguen importantes ahorros, considerando también que la cantidad de yeso se reduce y se mejora la calidad y aspecto del producto.

El principal problema que se presenta en las líneas de producción automatizadas de prefabricados de escayola es la generación de "electricidad estática" que dificulta las

operaciones de corte del hilo de roving. Esto se soluciona dando un tratamiento "antiestático" a la fibra.

2.1.1.- Caso práctico: tabiques de yeso

Los paneles de yeso para tabiquería fabricados de semihidrato beta, alcanzan resistencias mecánicas muy elevadas gracias a la fibra. Los elementos que componen el panel son tres: yeso en polvo, agua y fibra de vidrio. El yeso es conforme a la Norma EN 13279 - 1: 2005. La fibra de vidrio es de tipo E con longitudes que varían entre 6 y 30 mm. La fibra se incorpora a la masa en una proporción determinada de 3 kg por 30 kg de yeso.

Tabla 1: Datos técnicos de tabiques de yeso.

	Panel de 700 mm	Panel de 900 mm
Longitud (mm)	2500 - 2900	2500 - 2900
Ancho (mm)	505	505
Espesor (mm)	70	90
Peso (kg / mm ²)	> 40	> 40
Resistencia a flexión (kN)	> 0,5	> 0,7
Dureza Shore C	55 - 70	55 - 70

En el ensayo a flexión la distancia entre apoyos es de 2,10 m.

2.2.- PREFABRICADOS DE HORMIGON. PANELES GRC

La fibra de vidrio que se emplea en el prefabricado GRC es de tipo AR. Esta fibra posee un alto contenido en óxido de zirconio y presenta muy buenas propiedades de resistencia a compuestos alcalinos.

GRC es una marca de producto propiedad de Preinco y dichas siglas representan las letras iniciales de Glass Fibre Reinforced Cement (Cemento Reforzado con Fibra de Vidrio). El GRC es un composite (material compuesto), siendo su matriz un microhormigón de cemento pórtland, armado y reforzado con fibra de vidrio, dispersa en toda la masa. El producto resultante es un panel que presenta una sección de 10 mm y por lo tanto muy ligero.

Las principales propiedades de este prefabricado son:

- Durabilidad
- Alta resistencia a flexión y tracción debido a las propiedades de la fibra de vidrio
- Gran resistencia al impacto, debido a la absorción de la energía cinética del golpe por los haces de fibra de vidrio
- Impermeabilidad y muy buena resistencia a agentes atmosféricos

Todos los ensayos y controles de fabricación de los paneles GRC están basados en la Norma UNE EN - 1170: 1998.

La fibra de vidrio utilizada para GRC es de tipo Roving AR, y debe ser resistente a los álcalis (por eso se denomina "fibra antialcalina"), para evitar la reacción química ácido - álcalis. Estas fibras son filamentos de vidrio AR con un ensimaje aplicado sobre ellos, con una proporción máxima del 3%. Las características técnicas de la fibra AR son:

- Contenido mínimo en ZrO₂ > 15%
- Pérdida a Fuego = 2%
- Diámetro del filamento = 14 µm
- Número de filamentos = 200 por hebra
- Tex de la hebra (g / km) = 76 - 82 tex
- Masa lineal (g / km) = 2450 CAS
- Densidad: = 2,7 g/cm³
- Alargamiento a rotura de la hebra = 4,5%
- Módulo de Young = 72000 MPa
- Resistencia a tracción de la hebra = 1700 MPa
- Resistencia del filamento virgen = 3500 MPa

2.3.- COMPOSITES

Los composites o materiales compuestos son básicamente combinaciones de polímeros con fibras. El más común es el Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio, conocido por PRFV. También se utiliza la poliamida reforzada en algunas aplicaciones.

Las aplicaciones de los composites son muy diversas: Tuberías, Piscinas, Depósitos Cisternas y Tanques, Cascos de Embarcaciones, Armarios para Instalaciones Eléctricas, Componentes de los Generadores Eólicos (Palas y Nacelles), Tableros para Encofrados, Mástiles y otros muchos usos como en Automoción y Aeronáutica.

3.- FIBRA DE ACERO

El principal uso de la fibra de acero es como armadura del hormigón bombeado y proyectado. El término técnico es "hormigón gunitado". La fibra de acero se dosifica (gramos de fibra /m³ de hormigón). La principal y más importante aplicación de los gunitados se realiza en túneles y taludes, aunque en los últimos años se han desarrollado otras aplicaciones como es el caso de las piscinas y los gunitados de pantallas de pilotes.

La fibra de acero se aplica de forma similar a la fibra de polipropileno, como se verá en el punto 5.1) pero la finalidad es reforzar el hormigón desde el punto de vista estructural, reemplazando al mallazo de acero. Estas fibras deberán ser acordes con la norma UNE 83500-1. Dependiendo del proceso de fabricación se clasifican en: Trefiladas (Tipo I), Cortadas En láminas (Tipo II), Extraídas por rascado en caliente (virutas de acero, Tipo III) e incluso fibras de acero fundidas (Tipo IV). La forma de la fibra influye directamente en las características del hormigón y puede ser muy variada: Recta, ondulada, corrugada, conformada en los extremos, etc.

La longitud de la fibra se recomienda que sea como mínimo dos veces el árido de mayor tamaño, aunque es habitual el empleo de longitudes de hasta tres veces el tamaño máximo del árido. En el caso de gunitados el diámetro de la tubería de bombeo exige que la longitud de la fibra sea inferior a 2/3 de diámetro de dicho tubo.

Las fibras de acero pueden presentar diferentes secciones (circular, cuadrada, triangular, plana, etc.). Longitudinalmente pueden ser planas, torsionadas, dobladas con un ángulo fijo, con gancho (tipo omega), etc.

La fibra de acero aporta al hormigón proyectado un aumento de la trabazón con la matriz de cemento, un aumento de la resistencia a tracción, un aumento importante de la tenacidad, un incremento notable de la resistencia a flexión y de la ductilidad. Así mismo evita las figuraciones durante el proceso de endurecimiento, es resistente a la abrasión, las vibraciones y explosiones, pero por el contrario no es resistente a la corrosión.



Fotografía 2: Fibra metálica de acero conformada.

4.- FIBRA DE BASALTO

Hay otro tipo de fibras que se emplean en gunitados de hormigón, siendo el caso más representativo el de la fibra de basalto. (Fotografía 3)

Esta fibra se obtiene a partir de un complejo proceso productivo en el que la roca basáltica se funde en un horno de gas a 1580 °C y se bate mediante un proceso de centrifugación. Se consiguen fibras de 60 mm a 100 mm de longitud con un diámetro entre 7 µm y 13 µm. La

optimización de la tecnología de producción está incrementando el aumento de capacidad productiva, reduciendo los costes de fabricación y promoviendo la aparición de nuevos fabricantes.

En empleo de las fibras de basalto como refuerzo del hormigón es bastante reciente. Existen pocos antecedentes de su empleo pero se constata su gran potencial gracias a sus excelentes propiedades. El producto más similar dentro de los expuestos sería la fibra de vidrio pero las propiedades de la fibra de basalto son en general superiores para el refuerzo de hormigón. Por ejemplo, la fibra de basalto es resistente a los ácidos y presenta un alto módulo de elasticidad, lo que unido a su capacidad de deformación, le aportan una excepcional tenacidad. La fibra de basalto se emplea en también en la confección de materiales textiles resistentes al fuego, en la industria aeroespacial y en automoción.

Al ser resistentes al medio alcalino (como la fibra de vidrio AR) es factible su empleo como refuerzo del hormigón.



Fotografía 3: Fibra de basalto.

4.1.- FIBRA DE BASALTO vs FIBRA DE VIDRIO

El cuadro adjunto ilustra las propiedades de ambas fibras (basalto y vidrio) permitiendo establecer una comparación entre ambas.

Tabla 1: Comparativa de fibra de basalto y de vidrio

	Fibra de basalto	Fibra de vidrio
Densidad (g/cm ³)	2,75	2,6
Diámetro medio del filamento (µms)	De 9 a 23	De 9 a 13
Resistencia máxima a tracción (MPa)	4840	3450
Resistencia a compresión (psi)	550	440
Módulo de elasticidad (GPa)	89	77
Coefficiente de expansión lineal (x10 /K)	5,5	5
Elongación hasta la rotura (%)	3,15	4,7
Absorción de agua (65% RH)	< 0,1	< 0,1

Se observa claramente que en general las características mecánicas de la fibra de basalto superan a la fibra de vidrio.

5.- FIBRAS DE POLIMERICAS

El producto de uso más extendido dentro de las poliméricas es la fibra de polipropileno. Se emplea sobre todo para los proyectados o gunitados de hormigón (caso de los túneles y taludes), pero también se utiliza en el caso de las soleras y en las placas de hormigón impreso.

Se clasifican en dos tipos de fibras:

- Fibras Micro-Sintéticas. De 6 mm - 64 mm de largo, de 34 µm - 56 µm de diámetro
- Fibras Macro-Sintéticas. > 64 mm de largo, > 56 µm de diámetro

Químicamente se identifican como poliolefinas y son dos: Polipropileno y Polietileno. El polipropileno es un polímero del propileno y el polietileno es un polímero de la resina del etileno. (Fotografía 4).



Fotografía 4: Fibra polimérica.

5.1.- FIBRA DE POLIPROPILENO

El objetivo de enfielar el mortero de hormigón con fibra de polipropileno es evitar la microfisuración, consecuencia de la retracción.

La fibra de polipropileno se caracteriza en base a los siguientes parámetros: Densidad, Punto de fusión, Módulo de Young, Elongación, Resistencia, Longitud, Sección, Diámetro, Densidad lineal. Un ejemplo típico de fibra de polipropileno se adjunta a continuación:

Densidad	0.91 g/cm ³
Punto de fusión	150 °C
Módulo de Young	3,5 kN/mm ²
Tipo de fibra	Mono filamento
Longitud (según aplicación)	6, 12, 18, 24 ...mm
Tipo de sección	Oval
Diámetro	34 µm
Densidad lineal	7 deniers, 6.6 dtex
Número de fibras	125 millones/ kg
Elongación	40 – 60 %
Resistencia	> 5 g/denier
Rizado	0 – 2 semi arcs/cm
Color	Natural

Dentro del hormigón, los campos de aplicación del polipropileno son los siguientes: Pavimentos tradicionales, Suelos industriales, Hormigón extrusionado, Hormigón prefabricado, Hormigón impreso, Gunitados (taludes, piscinas, pantallas de pilotes, etc.)

La fibra de polipropileno se puede añadir en la al mortero o al hormigón, bien en la planta o bien en la obra. La mezcla debe ser adaptada en función de la granulometría, del tipo de mezclador, de la plasticidad del hormigón y del momento de carga del mismo.

Generalmente se envasará en bolsas de papel biodegradable e hidrosoluble, que se pueden incorporar en el hormigón. Consecuentemente no será precios abrirlas antes de introducirlas en la hormigonera. En la planta de hormigón, las bolsas serán introducidas en el mezclador, preferentemente antes del mojado. En la obra, las bolsas serán introducidas en la hormigonera, realizándose la mezcla durante unos 5 min. - 7 min. para conseguir una buena repartición de las fibras. La dosis habitual de las fibras suele ser 600 g/m³ de hormigón. Las fibras de polipropileno no deben ser utilizadas a una temperatura superior a 140 °C.



Fotografía 5: Fibra polimérica estrellada.

Las arenas y las gravas deberán estar conformes a las normas en vigor. Del mismo modo los cementos empleados deberán estar conformes a las normas en vigor, así como las dosis utilizadas. Los cementos más corrientemente empleados son los de tipo CEM I y CEM II. Para garantizar el óptimo efecto de las fibras, la cantidad de agua añadida deberá en todos los casos respetar una relación A/C inferior a 0,60 y estar conforme a la norma en vigor. Los aditivos utilizados podrán ser de tipo fluidificante o plastificante, y siempre conformes a las normas en vigor.

La fibra de polipropileno se mezcla con la masa de hormigón con el fin de evitar la fisuración por retracción del hormigón endurecido. La fibra de polipropileno es un tipo de fibra polimérica (fibras plásticas) y su empleo está regulado por la norma UNE 83500-2. Según el proceso de fabricación se clasifican en: Monofilamentos extruidos (Tipo I), Láminas fibriladas (Tipo II) y según el tamaño se clasifican en Macrofibras y Microfibras. Las macrofibras pueden colaborar estructuralmente, con una longitud entre 20 mm - 60 mm, pero guardando una relación Longitud / Tamaño de árido de 3/1. Las microfibras son las más empleadas, pero no asumen funciones estructurales. Se utilizan para reducir la retracción plástica del hormigón sobre todo en pavimentos y soleras. Las microfibras también se utilizan para mejorar el comportamiento frente al fuego siendo conveniente en este caso que el número de fibras por kilo sea muy elevado.

Las microfibras de polipropileno tienen un módulo de elasticidad y una resistencia a tracción menores que las macrofibras.

Hay dos razones básicas de las microfibras: Evitar la microfisuración y Resistencia pasiva al fuego. La principal aplicación es para hormigones de revestimiento y hormigones impresos.

La fibra se adiciona en bolsas según la dosificación requerida, en la masa de hormigón y se procede al bombeo o gunitado del mismo. El gunitado de hormigón o mortero se suele llevar a cabo en taludes, pantallas de pilotes, piscinas y soleras.

El hormigón reforzado con fibra de polipropileno presenta unas propiedades bien definidas: Mas ligero, mayor adherencia al terreno del hormigón proyectado, incremento de la ductilidad del hormigón, resistente a la corrosión y a los ataques químicos de álcalis y ácidos, incremento de la durabilidad, resistencia pasiva al fuego con dosificaciones de 2 kg/m^3 (con dosificaciones mayores se reducen y eliminan las fisuras), incremento proporcional a la cantidad de fibra utilizada de la tenacidad, resistencia al impacto y resistencia a la flexión.

5.2.- FIBRA DE POLIOLEFINA IMPREGNADA CON RESINA (PE)

Se fabrican a partir del polietileno de alta calidad, impregnado con una capa de resina. La fibra presenta un perfil corrugado que favorece positivamente su trabazón con el hormigón. Químicamente es inerte, y resistente a los álcalis, ácidos y sales. No sufre corrosión, es muy dúctil, se dispersa de forma homogénea en la masa de hormigón.

Proporciona al hormigón una alta tenacidad a tracción con dosificaciones de fibra superiores a 10 kg/m^2 .

El hormigón reforzado con fibras de polietileno es ligero, tenaz, dúctil, duradero. Adquiere resistencia pasiva al fuego con dosificaciones de 1 kg/m^3 .

6.- OTRAS FIBRAS

Existen otros dos tipos de fibras de uso estructural que se van definir someramente a continuación. Son la fibra de carbono y la de aramida.

La fibra de carbono se obtiene a partir de dos tipos de materiales: Polímeros textiles como el rayón o el poliacrilonitrilo (PAN) y alquitranes, procedentes de las refinerías de petróleo o carbón. Las fibras de carbono se obtienen mediante procesos de grafitización a altas temperaturas. Pueden alcanzar módulos de elasticidad de hasta 1000 GPa.

En los últimos años se han desarrollado nuevas técnicas más económicas para la obtención de fibras de carbono adecuadas para el refuerzo del hormigón. A pesar de los esfuerzos en I+D el coste de este tipo de fibra sigue siendo muy elevado, por lo que su utilización se limita a obras emblemáticas (puentes y edificios).

El hormigón reforzado con fibra de carbono presenta una elevada resistencia a tracción y flexión, es muy tenaz, muy resistente a la fisuración, muy duradero, ligero, químicamente estable y resiste altas temperaturas. Además es resistente a seísmos, vibraciones y explosiones. Por último, con dosificaciones de 0,2% – 0,4% en volumen para sostenimientos y revestimientos, gracias a su conductividad eléctrica permite convertir a estos en inteligentes.

La fibra de carbono será considerada "la fibra del siglo XXI" para el refuerzo del hormigón, desde el momento en que pueda ser más competitiva.

La fibra sintética aramida es un producto bastante joven (finales del siglo XX), se obtiene a partir de copolímeros mediante diferentes procesos de fabricación. Uno de ellos es el denominado Kevlar, utilizado en muchas aplicaciones de seguridad y militares. La fibra de aramida es cinco veces más dura que la de acero (por unidad de masa), es muy tenaz, elástica y mecánicamente muy resistente. Igualmente es resistente a la abrasión y a los álcalis. Sin embargo es sensible a la humedad y a las sales.

El hormigón reforzado con fibra aramida es muy resistente y tenaz, presenta comportamiento elasto-plástico, es dúctil y ligero, tiene muy buena resistencia a la fisuración, al impacto y la fatiga. También es duradero y resiste bien los seísmos.

La fibra de aramida consigue que los hormigones proyectados sean adecuados para revestimiento de túneles que ejerzan fuertes presiones y deformaciones del terreno.

Al igual que la fibra de carbono, es un producto cuyo coste es elevado, por lo que actualmente los fabricantes están intentando reducir dicho coste.

7.- CONCLUSIONES

Como se puede observar todas las fibras mejoran las propiedades mecánicas de los materiales a las que se les añade, fundamentalmente a la resistencia a tracción y por tanto todas las características relacionadas con esta propiedad, elasticidad, absorción de energía, ductibilidad, etc.

La razón de utilizar una u otra fibra está relacionada con las propiedades de la fibra y lo que se le va a solicitar de prestaciones a la misma, como un comportamiento al fuego mejor del material compuesto. Pero lo más importante es el precio de la misma.

Todo lo indicado hace presumir que los materiales de construcción que poseen un comportamiento frágil serán todos reforzados y en un breve espacio de tiempo los hormigones no tendrán barras corrugadas (hierro) en su interior serán sustituidas por fibras, principalmente metálicas.

8.- AGREDECIMIENTOS

Los autores del presente artículo quieren agradecer a su colaboración a las empresas:

- Productos Químicos Internacionales, S. A. PROQUINSA
- AMTEC, S. L.
- FMP Girona, S. L.

9.- BIBLIOGRAFÍA

Cornejo Álvarez, L. (2005). Nuevas tendencias en los revestimientos de túneles. Geoconsult.

Laning, A. (1992). Synthetic fibers, Concrete Construction, 87-90.

Ministerio de la Presidencia. (2008). Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio, por el que se aprueba la instrucción de hormigón estructural (EHE-08). Anejo 14. Recomendaciones para la utilización de hormigón con fibras, pp. 505-525.

Moraño Rodríguez, A. J. et all (1998). Caracterización de morteros con refuerzos de fibras no convencionales. CYTED. Seminario Iberoamericano de concreto reforzados con fibras vegetales.

Qiang Liu, et all. (2005). Investigation of basalt fiber composite mechanical properties for applications in transportation. Polymer Composites, Vol. 27, Issue 1, pp. 41-48.

Watson, James, et all. (1987). Glass Fibers. Composites. Vol 1. Engineered Materials Handbook. ASM International. Ohio.