

29) LAUREANO CORNEJO ÁLVAREZ

Revista de obras públicas N° 3473, Año 154. Enero de 2007

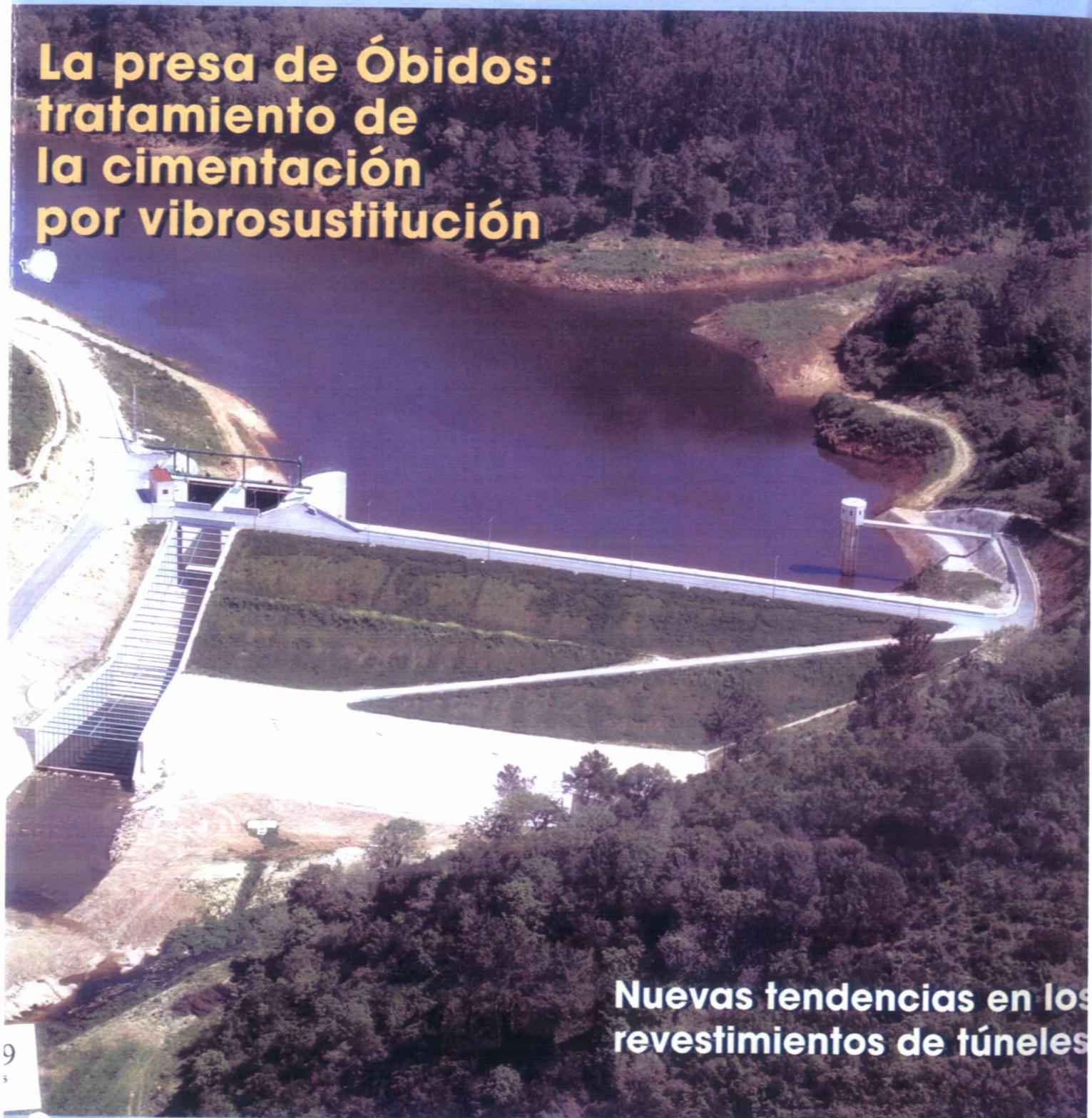
“Nuevas tendencias en los revestimientos de túneles”

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS



ORGANO PROFESIONAL DE LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

**La presa de Óbidos:
tratamiento de
la cimentación
por vibrosustitución**



**Nuevas tendencias en los
revestimientos de túneles**

ROP hace 100 años: Obras para riego en la región inferior del Guadalquivir

Nuevas tendencias en los revestimientos de túneles

New trends in tunnel linings

Laureano Cornejo Álvarez: Ingeniero de Minas
Presidente de Geoconsult Ingenieros Consultores S.A. L_Cornejo@geoconsult.es

Resumen: En los próximos años, la construcción de túneles se desarrollará notablemente con la incorporación de materiales y técnicas de nueva generación. Los materiales sintéticos, los polímeros líquidos bicomponentes, los nuevos hormigones y sus técnicas de colocación, aportarán un mejor comportamiento estructural, incrementarán la resistencia al fuego de los elementos portantes y mejorarán la durabilidad. La utilización de estos materiales en un futuro inmediato, será el paso previo al desarrollo, en el horizonte del año 2020, de una nueva tecnología llamada Nanotecnología, que ofrecerá nuevos materiales con propiedades desconocidas hasta el momento y que contribuirán a construir túneles más seguros y económicos.

Palabras Clave: Durabilidad. Nanotecnología. Microfisuración. Autocompactación.

Abstract: In coming years tunnels will be largely developed with the incorporation of new generation materials and techniques. Synthetic materials, bicomponent liquid polymers, new concretes and placement techniques will provide better structural behaviour, increase the fire resistance of load bearing elements and improve durability. The use of these materials in the immediate future will give way, in the 2020 horizon, to new nanotechnology which will provide new materials with previously unknown properties which will help to build safer and cheaper tunnels.

Keywords: Durability. Nanotechnology. Microcracking. Auto-compaction.

1. Introducción

El objetivo de este artículo es recopilar y analizar los nuevos materiales y técnicas de nueva generación, que se utilizan o se utilizarán en un futuro próximo en el revestimiento de túneles.

En un lugar destacado figura una amplia variedad de fibras que adicionándolas al hormigón consiguen mejorar su comportamiento estructural, su resistencia frente al fuego y aumentan la durabilidad.

Merecen una mención especial también los nuevos hormigones y sus técnicas de colocación como son: los compuestos cementíticos, los hormigones proyectados sin acelerante, los hormigones autocompactantes y los hormigones poliméricos.

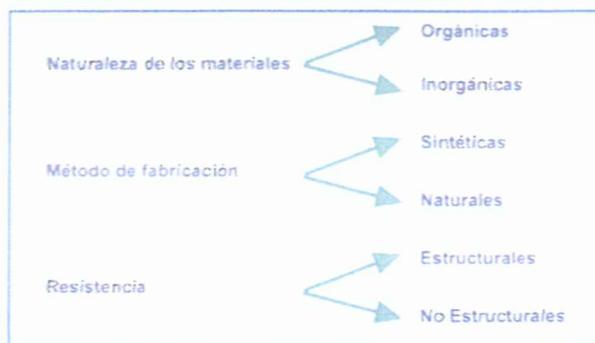
Por su potencialidad, la utilización de polímeros líquidos bicomponentes proyectados que, al contacto entre ellos, frugan en pocos segundos formando una membrana de gran resistencia de poliuretano y/o poliurea, abre las puertas para la optimización de la impermeabilidad de los revestimientos.

Se destaca también la utilización de materiales sintéticos de fibra continua de vidrio, basalto, aramida y carbono en la fabricación de materiales no sujetos a la corrosión y de un peso más ligero como: barras, mallas 2D y 3D y láminas.

Estos materiales enumerados son el eslabón entre los materiales tradicionales que se han venido utilizando como refuerzo de hormigones y los nuevos materiales que surgirán de la utilización de la nueva tecnología llamada Nanotecnología que, presumiblemente, en el horizonte de 2030 alumbrará nuevos materiales de nuevas propiedades desconocidas hasta el presente y que contribuirán a construir túneles más seguros y económicos.

2. Nuevos tipos de fibras

Actualmente existe en el mercado una amplia variedad de fibras que se utilizan para mejorar las propiedades de los diversos materiales utilizados en distintos



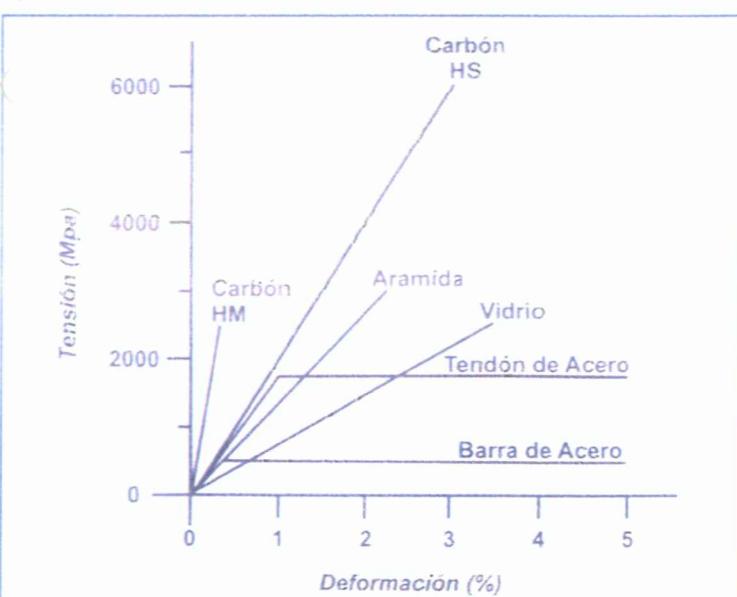
campos de la industria, dando lugar a los llamados materiales compuestos. Los hormigones que se utilizan en la construcción son, en sí mismos, materiales compuestos; acentuándose este carácter con la adición de fibras que consiguen mejorar sus cualidades, principalmente su comportamiento estructural, su ductilidad y su durabilidad.

Los diversos tipos de fibras pueden clasificarse, atendiendo a diferentes factores (Fig. 1).

2.1. Fibras estructurales

Se consideran Fibras Estructurales aquellas que son más resistentes y tienen un módulo de elasticidad de Young superior a 25 Gpa y mayores resistencias a la tracción. En la figura se comparan el módulo de elasticidad Young, la resistencia a tracción y la deformación de algunas de las principales fibras estructurales con los de los tradicionales refuerzos de acero.

Fig. 2



Las fibras más resistentes son las de Carbono y Aramida. La fibra de Basalto ocupa una posición intermedia entre la fibra de Vidrio y la de Aramida, muy próxima a ésta. Las fibras de Acero tienen un módulo de elasticidad elevado (200 Gpa), únicamente superado por las fibras PAN de Carbono de alto módulo (HM); sin embargo, su resistencia a la tracción es muy inferior (1.2 Gpa) frente a otras fibras como las de Carbóno (hasta 4.8 Gpa), Aramida, Basato y Vidrio (hasta 4.7 Gpa).

Fibra sintética de carbono

Se fabrican a partir de dos tipos de materiales: polímeros textiles como el rayón o el poliacrilonitrilo (PAN) y alquitráns cuya procedencia puede ser de las refineries de petróleo o del carbón. Este tipo de fibras puede alcanzar módulos de elasticidad Young de hasta 1.000 Gpa.

Las propiedades que confiere al hormigón son: elevada resistencia a tracción y a flexión, mayor resistencia a la fisuración, gran durabilidad, menor densidad, estabilidad química, resistencia a la corrosión, a los ácidos y a los álcalis, resistencia a altas temperaturas y resistencia a las vibraciones, sismos y explosiones.

La utilización en el campo de la Ingeniería civil está limitada actualmente, por su elevado coste, a construcciones emblemáticas (puentes y edificios). En un futuro próximo se emplearán como refuerzo de revestimientos para hacerlos más resistentes, durables y resistentes a los sismos. También en reparaciones y refuerzos puntuales de revestimientos deteriorados.

La utilización de fibras de carbono en una proporción de 0.2%-0.4% en volumen en sostenimientos y revestimientos permite, por su conductividad eléctrica, convertir a estos en "inteligentes". Las variaciones de resistividad a base de una débil corriente eléctrica, permite conocer el grado de fisuración de hormigón aumentando su resistividad con el incremento de la fisuración, de la fracturación de éste.

Fibra sintética aramida

Las fibras de Aramida comenzaron a fabricarse a partir de co-polímeros a través de diferentes procesos. Hay distintos tipos de Fibra Aramida como según su composición: Technora (co-polí-(parafenileno-oxidofenileno-tereftalamida)), Twaron/Kevlar (polí-(parafenileno-tereftalamida)), (PPTA), TEIJINCONEX (polí-(metafenileno-isoftalamida))



Fig. 3. Fibra de carbono.

Las propiedades que confiere al hormigón son: elevada resistencia a tracción, gran tenacidad, comportamiento elasto plástico, dúctil, eliminación de fisuras, resistente a flexión, resistente a la corrosión y a la oxidación.

Su campo de aplicación es similar a las fibras de carbono. Por el momento, su utilización en el campo de ingeniería civil está limitada, por su coste elevado, a la fabricación de cables de anclaje, elementos de prensado y geomallas. En un futuro próximo, con la reducción de sus costes de producción, estas fibras, solas o en combinación con otro tipo de fibras, se utilizarán como refuerzo de hormigones más tenaces y dúctiles, compatibles con deformaciones superiores al 4%.

Fibra inorgánica de basalto

La fibra natural de basalto se fabrica de la roca basalto (roca volcánica solidificada), por fusión en un horno, hasta llegar a 1580°C. La roca fundida se somete mediante un proceso de centrifugación. Se producen fibras de 50 a 100 mm de longitud con un diámetro de 7 a 10 micras.



Fig. 5. Fibra de Basalto.



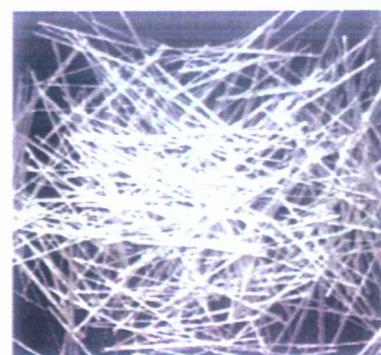
Fig. 4. Fibra de Aramida.

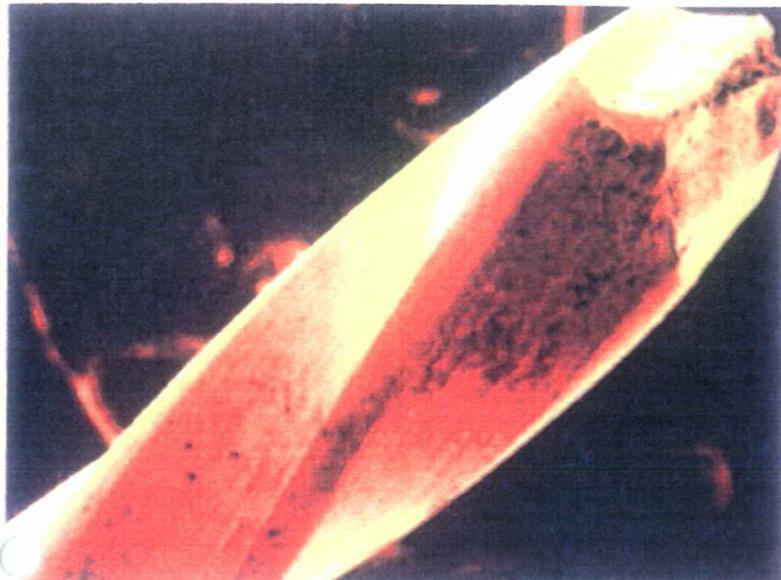
Las propiedades que aporta a los hormigones son: alta resistencia a tracción, mayor módulo de elasticidad, elevada tenacidad, alta durabilidad, resistencia a elevadas temperaturas (982°C), resistencia a los ataques químicos y a los ácidos, resistente a las vibraciones, sismos y mejor acabado superficial.

En hormigones de revestimiento como único refuerzo o como complemento a las armaduras de refuerzo en hormigones en masa o armados (dovelas), en hormigones a los que se les exija una gran durabilidad, en hormigones resistentes al fuego, a las vibraciones, a los sismos y a las explosiones.

Fibra inorgánica sintética de vidrio

Se fabrican por extrusión del vidrio fundido al hacerlo pasar por una especie de tamices. En forma pura es un molímero (SiO_2) n . En su forma más frecuente presenta una estructura tetrahedral, con los átomos de oxígeno situados en los vértices de tetraedro y el átomo de silicio situado en el centro de tetraedro.





Por su estructura amorfía, las propiedades de la fibra son las mismas en la dirección de ésta que en la dirección perpendicular.

Las propiedades que añade al hormigón son: incrementa notablemente la resistencia a flexotensión (25%), aumenta la tenacidad y ductilidad, evita la fisuración posterior del fraguado, mejora la durabilidad, mejoría el acabado superficial.

Fig. 7 Fibras Torex torsionadas triangular y cuadrada

Sé usan en la fabricación de elementos prefabricados de hormigón (GRP, GRE, GRC) y en hormigones de revestimiento para incrementar su resistencia a fuego, su durabilidad y su resistencia a los efectos sísmicos. También se está empezando a emplear en revestimientos "inteligentes", utilizando la conductividad eléctrica de los fibras para determinar el grado de fisuración en función de la variación de su resistividad.

Nuevas fibras metálicas

Nos referiremos ahora a una nueva generación de fibras metálicas diseñadas para conseguir unas propiedades óptimas mejorando la geometría, el tamaño, sus propiedades mecánicas y su compatibilidad con la matriz de cemento.

Una de las fibras desarrolladas es la denominada Torex, actualmente llamada Helix. Esta fibra está fabricada con acero de muy alta calidad y diseñada con una forma y tamaño optimizados, de forma que se consigue una gran trabazón entre ella y la matriz de cemento.

En la figura 8 se representan las curvas tensión-deformación para un hormigón reforzado con una fibra normal (a) y con una fibra Torex (b); en el segundo caso se ha desarrollado una zona (II) en la que el hormigón desarrolla una tensión creciente hasta el punto de rotura con un máximo spc y con una deformación esp; el hormigón manifiesta un comportamiento "strain hardening" y desarrolla una energía de deformación representada por el área sombreada de la zona (II), que representa la medida de su tenacidad.

Este tipo de fibra, básicamente triangular y torsionada, proporciona al hormigón las siguientes propiedades: incrementa la trabazón entre las fibras y la matriz de cemento, eleva sensiblemente la resistencia a tracción, a flexión, la ductilidad y la tenacidad. Tiene un comportamiento "determinante" (strain-hardening). Capacidad de absorción de energía de impacto. Evita las fisuraciones en el proceso de endurecimiento. Resistente a la corrosión. No resistente a la corrosión.

Especialmente indicado en hormigones sometidos a fuertes presiones y deformaciones (fluencia, squeezing, swelling severos).

Fibra sintética de alcohol de polivinilo (cva)

Es una fibra sintética fabricada a partir del alcohol de polivinilo, $(C_2H_4O)_n$, después de un proceso de endurecimiento con formal.

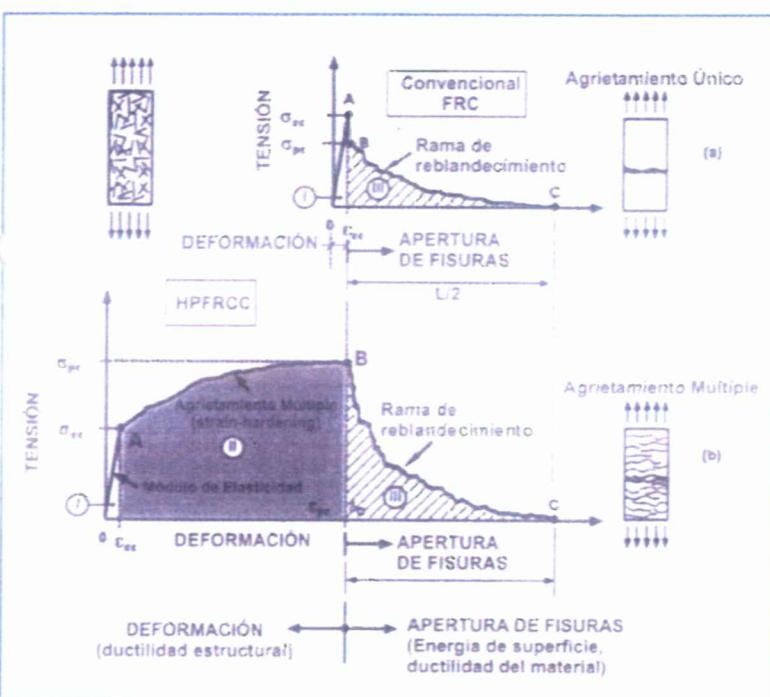


Fig. 8 Curva tensión-deformación. a) Hormigones convencionales con fibra y b) Hormigón de alta resistencia con fibra Torex



Fig. 9. Fibra PVA.



Fig. 10. Fibra Fasta-Ferro.



Fig. 11. Fibra UltraShot.

Proporciona las siguientes propiedades al hormigón: proporciona una unión molecular entre fibra y cemento mucho más fuerte que cualquier unión mecánica. Se consiguen hormigones de alta resistencia a compresión (6,5 MPa). Comportamiento deformación-tensión (strain-hardening). Alta resistencia a tracción y tenacidad. Gran ductilidad, permitiendo importantes deformaciones. Elimina o reduce las fisuraciones en el proceso de endurecimiento. Incremento muy notable de la durabilidad. Resistente a los ácidos y álcalis y a los ataques químicos. Resistente a la abrasión y a la corrosión. Proporciona muy buena resistencia pasiva al fuego (en el calor las fibras se descomponen en vapor de agua y en CO₂).

2. Fibras no estructurales

Otro tipo de fibras menos resistentes que las fibras estructurales, pero que proporcionan a los hormigones unas propiedades muy interesantes como: resistencia a la corrosión, a los álcalis y a los ácidos, incremento de su ductilidad, reducción de la fisuración de agua. Se consideran fibras no estructurales aquellas que tienen un módulo de elasticidad Young < 25 GPa. A este grupo pertenecen todas las fibras sintéticas (no-plásticas) orgánicas fabricadas fundamentalmente a partir del polipropileno.

Fibras de polipropileno

Las fibras macro-sintéticas se fabrican con polipropileno 100% puro; algún tipo de fibra, como la ENDURO 10, se refuerza con polietileno.

Existen en el mercado diferentes tipos de macro-fibras; su densidad varía entre 0,91-0,92, pudiendo llegar hasta 1,14. Tienen una forma sinusoidal que mejora su trabazón con la matriz de cemento.

Las propiedades que aportan al hormigón son: mayor ligereza, mejor adherencia, incrementa la ductilidad del hormigón, resistente a la corrosión, al ataque químico de álcalis y ácidos. Incremento importante de la durabilidad. Resistencia pasiva al fuego con dosificaciones de 2 kg/m³. Elimina o reduce las fisuraciones en el proceso de endurecimiento del hormigón con dosificaciones de 5 kg/m³-8 Kg/m³. Incremento, proporcional a la cantidad de fibras utilizadas, de la tenacidad, resistencia residual, resistencia al impacto y resistencia a la flexión. Mejor calidad de acabados superficiales. Alta capacidad de absorción de energía, superior a 1000 Julios, con una elongación máxima de 25 mm, con dosificaciones de 7 Kg/m³. Resistente a la fracturación (strain-hardening) con dosificaciones de fibra > 5 kg/m³.

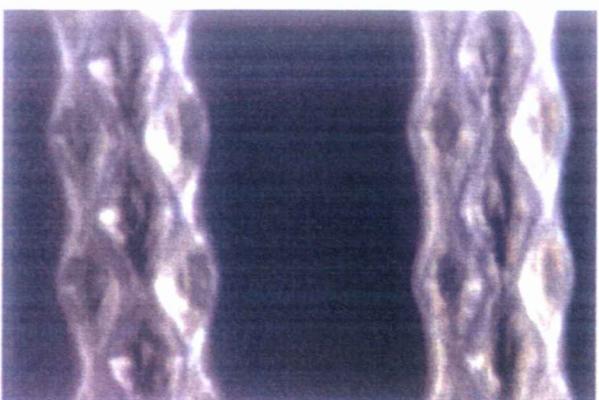


Fig. 12. Fibra Estructura-Basta.

En la actualidad se están realizando una serie de trabajos en el campo de las fibras de polímeros. A continuación se detallan los principales tipos de fibras sintéticas y sus principales características.



Fibras de poliolefinas impregnadas con resina

Este tipo de fibra se fabrica a partir del polipropileno y/o polietileno de muy alta calidad, que finalmente se impregna con una capa de resina. Se ha incorporado muy recientemente al mercado, bajo patente americana con el nombre comercial Barchip. La fibra tiene un perfil corrugado que favorece muy notablemente su trazado con el hormigón.

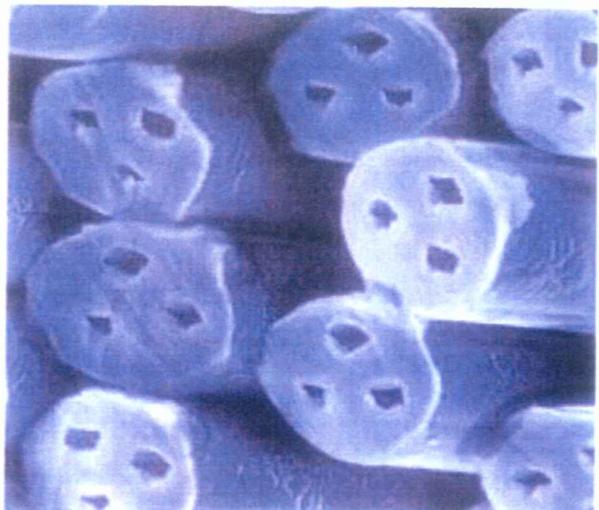
Aporta las siguientes ventajas: hormigón más ligero, elimina o reduce la fisuración en el proceso de endurecimiento del hormigón con dosificaciones de fibra de 3Kg/m³ a 5Kg/m³. Tenacidad a flexión similar al acero. Mayor durabilidad. Mayor ductilidad. Resistencia pasiva al fuego con dosificación de 1Kg/m³. Todas las demás propiedades aportadas al hormigón con la utilización de las macrofibras sintéticas de polipropileno.

El campo de utilización de este tipo de fibra es el mismo que el indicado para las macrofibras sintéticas de polipropileno.

Fibras micro-sintéticas (polipropileno)

Son fibras más cortas (entre 6 mm y 64 mm); el diámetro de la fibra también es menor que el de las macrosintéticas (34-56 micras). Esta fibra tiene un módulo de elasticidad Young y una resistencia a tracción menor que la fibra macro-sintética. Las fibras de polipropileno se fabrican con las variedades de monofilamentos y multifilamentos.

Hay diferentes tipos de fibras micro-sintéticas: fibras de resistencia pasiva al fuego y fibras contra la microfisuración.



Proporcionan las siguientes ventajas: se reduce la segregación, incremento de la hidratación. Se reduce la micro-fisuración (retracción). Aumenta la resistencia a la abrasión y al impacto. Menos permeable. Se reduce la corrosión. Se incrementa su tenacidad. Se mejora su acabado superficial. Mayor durabilidad. En la actualidad, ya se emplea en hormigones de revestimiento.

2.3. Fibras combinadas (Híbridas)

Otro ejemplo de utilización de fibras lo proporciona la utilización de fibras de diferentes materiales, con módulos de elasticidad, tamaño y forma también diferentes, como las fibras de acero, polipropileno, vidrio y PVA como refuerzo del hormigón. La utilización conjunta de diferentes tipos de fibra, permite obtener hormigones de las características deseadas:

- Resistentes y poco flexibles utilizando fibras de carbono HM
- Resistentes y flexibles utilizando fibras de Acero (o Basato), vidrio y metálicas
- Menos resistentes y más flexibles utilizando fibras de PVA, macrofibras de polipropileno y oleofinas

3. Nuevos hormigones

La utilización de nuevos hormigones en el sostenimiento y revestimiento de las obras subterráneas permitirá mejorar su seguridad y su durabilidad a la vez que propiciará una reducción de los plazos y de los costes.

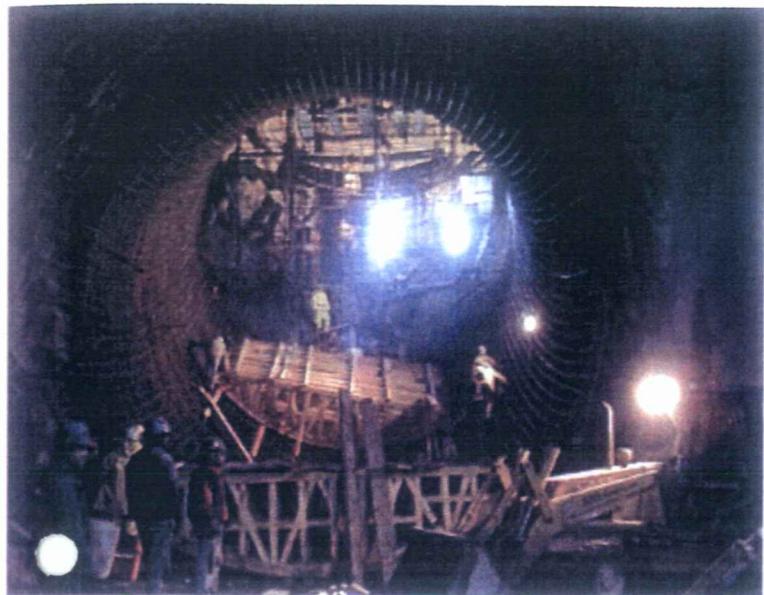


Fig. 15
Revestimiento de
hormigón
autocompactable

e construcción y de explotación, prolongando su vida útil hasta los 100 años.

1. Hormigones autocompactantes (Auto-nivelantes)

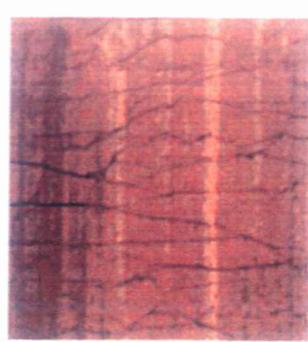
Los hormigones auto-compactantes o auto-nivelantes se vienen utilizando tradicionalmente, en la construcción de puentes y elementos prefabricados.

Varias son las ventajas que ofrece la utilización de este tipo de hormigones en el revestimiento de túneles, entre ellas destacan una mejor calidad, fiabilidad y durabilidad del hormigón con menores costes de colocación, ya que no necesita ser vibrado.

Sus principales propiedades son: autocompactable, torrefundido sin necesidad de vibrado. Buena separabilidad entre las armaduras. Alta resistencia a la



A)



B)

segregación de los áridos. Garantía de llenado, ausencia de huecos y vacíos. Más denso y compacto. Mejor calidad de hormigón. Mayor durabilidad. Textura superficial uniforme, la adición de fibras les confiere elasticidad y estabilidad.

3.2. Hormigones cementíticos (ECC)

Desde el año 1993 se viene desarrollando y utilizando un nuevo tipo de hormigón, diseñado micromecánicamente y que tiene unas propiedades muy superiores a la de los morteros y hormigones de uso habitual. Esportanto, un hormigón de tecnología avanzada. Mediante el conocimiento de la microestructura de sus componentes y su control micromecánico, es posible fabricar hormigones con unas características determinadas.

Sus principales propiedades son: más ligero (un 40% menos que un hormigón normal); 500 veces más resistente a la fisuración que un hormigón normal. Resistencias a compresión y tracción similares a la de los hormigones de alta resistencia, $>50\text{ MPa}$. Comportamiento deformación-tensión (strain-hardening). Tenacidad elevada. Muy dúctil (3% - 7%). Propiedades isotrópicas, no presenta planos débiles. Durante la fase de deformación se forman microfisuras menores de 60mm que no afectan a la permeabilidad del hormigón. Alta durabilidad y más económica a largo plazo. Muy impermeable. Químicamente estable resistente a la corrosión.

3.3. Hormigones poliméricos

Los hormigones poliméricos son aquellos en los que se sustituye parcial o totalmente el cemento Portland por un polímero. Los hormigones poliméricos tienen sustituidos el cemento Portland por un polímero que tiene una alta densidad y una alta resistencia a la tensión. Tienen una durabilidad muy alta y una alta ductilidad y resistencia a la corrosión. Se utilizan en estructuras con desordenamiento de tipo de soporte y de la cantidad utilizada, magullan muy rápidos, impermeable, mayor durabilidad, resistente a la corrosión, a los ataques ácidos, a los álcalis, al sulfato sódico y al cloruro de calcio, resistente a ciclo hielo-deshielo, muy dúctil, menor retracción. Buena adherencia a las armaduras y a los hormigones antiguos. Mejores características resistentes a tracción y a flexión. Sensible a las altas temperaturas (se funden rápidamente).

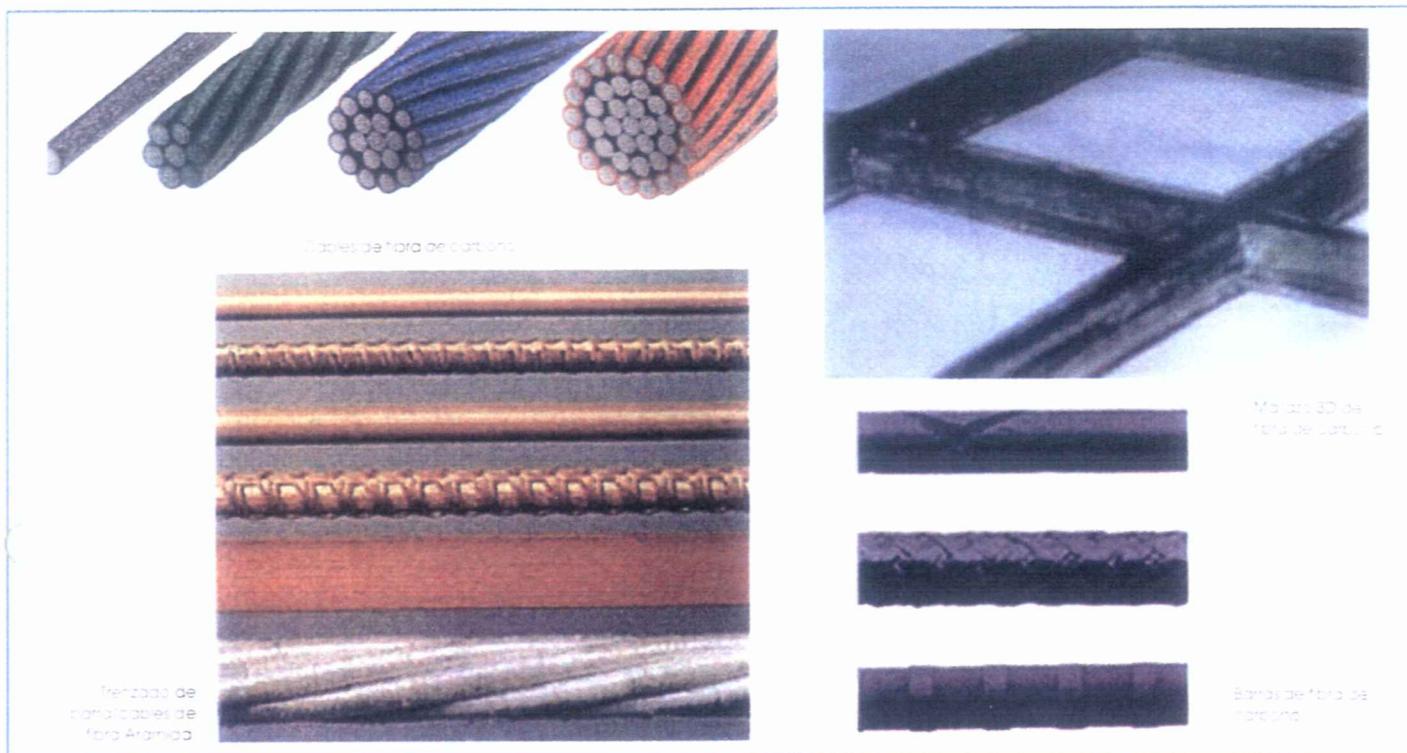


Fig. 10

4. Nuevos materiales sintéticos de aplicación en obras subterráneas

La utilización de materiales sintéticos en Obras Subterráneas como refuerzo de hormigones, así como de polímeros proyectados en forma líquida, tienen un futuro muy prometedor por las ventajas que se derivan de su utilización: menor peso, menor coste, más fáciles de transportar, de colocación más rápida y muy resistentes a la corrosión, a los álcalis, a los ácidos y a los productos químicos en general.

4.1. Materiales fabricados con fibras sintéticas continuas

Este tipo de materiales NEFMAC (New Fiber composite material for reinforcing concrete), está fabricado con fibras sintéticas continuas de vidrio, carbono, aramida, basalto y otras. Utilizadas solas o combinadas entre sí impregnadas con una resina apropiada.

Sus propiedades son: más ligeros (densidad < 2), buenas propiedades estructurales, resistentes a la corrosión, a los álcalis, a los ácidos y a los productos químicos. Facilidad de colocación, buena adaptabilidad a las irregularidades del terreno, no magnético.

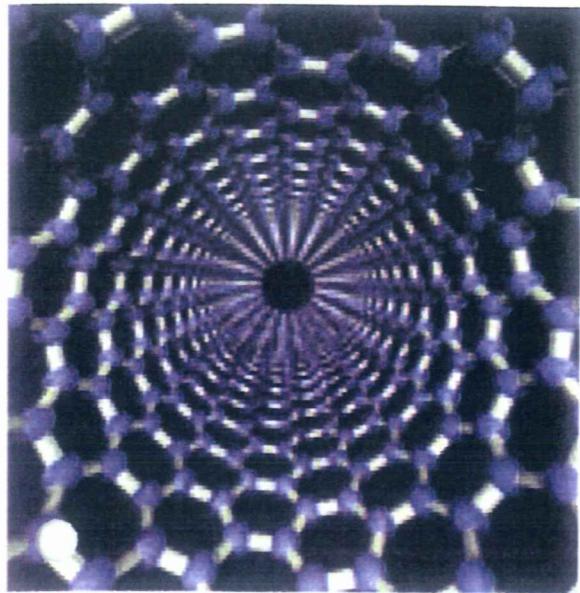
Su campo de utilización se extiende a reparación y refuerzo de hormigones, mallas anclajes, Bulones cortables. En estabilización de taludes.

4.2. Polímeros proyectados

Diversas investigaciones encaminadas a obtener un sistema rápido y eficaz para el refuerzo y el revestimiento de galerías y túneles, han dado como resultado dos materiales: el Mineguard TM y el Rockguard TM.

Se trata de un nuevo método de refuerzo de terreno con membranas poliméricas producidas in situ, por la provocación de los componentes líquidos (los componentes) polímeros que se endurecen muy rápidamente formando una membrana dura y resistente.

Este nuevo método de refuerzo abre grandes expectativas de aplicación en sostenimientos y revestimientos de las obras subterráneas por su rapidez de colocación y por la importante reducción que puede suponer de los espesores en los materiales de refuerzo y por la mayor seguridad que aportan. Su utilización en sostenimientos y revestimientos con espesores muy pequeños (de 2 mm a 20mm), de rápida y económica colocación. En reparaciones y refuerzos de sostenimientos y revestimientos deteriorados. Otras ventajas de su utiliza-



ón son: menores tiempos de colocación, mejor estabilidad y seguridad en la zona de trabajo. Menores costes de ejecución. Gran economía de materiales de refuerzo. Reducción importante de las secciones de excavación con la consiguiente reducción de los costes de construcción.

3. Nanomateriales (Nanocomuestos)

En los próximos años, en el horizonte de 2020, de la era de la Nanotecnología, se podrán sustituir las aceroas fibras para refuerzo de hormigones, por partículas de tamaño inferior a una micra (10^{-6} m) e incluso de tamaño molecular.

Las propiedades de los materiales reforzados con esas fibras serán muy superiores en resistencia mecánica y en resistencia al deterioro que los actualmente utilizados y tendrán un menor peso.

La manipulación de los átomos, uno a uno, admisibles de posición o sustituviéndolos por otros, permite fabricar compuestos moleculares, nanocomuestos, con propiedades prefiguradas y desconocidas hasta ahora. Uno de los componentes principales de los nanomateriales, serán los nanotubos de carbono puro, 10.000 veces más delgados que un cabello, que poseen unas propiedades formidables: Módulo de Elasticidad de 10^{12} veces superior al del acero, resistencia a la tracción 10 veces superior a las fibras más resistentes actualmente conocidas con una rigidez similar.

Se fabricarán nuevos cementos con unas propiedades muy superiores a las de los actualmente conocidos,

Foto: T. Vinkus. IEET/EPFL

la Nanotecnología proporcionará también la producción masiva de estos materiales con menores costes de fabricación, de transporte y distribución, en definitiva más baratos.

La utilización de los nanomateriales reducirá también el consumo energético.

5. Métodos fabricación y colocación del revestimiento

Los métodos de fabricación y colocación de los revestimientos en las obras subterráneas son los siguientes:

1. Hormigón Proyectado.
2. Hormigón Bombeado.
3. Hormigón inyectado (extrusiónado).
4. Dovelas prefabricadas con inyección de tránsito.

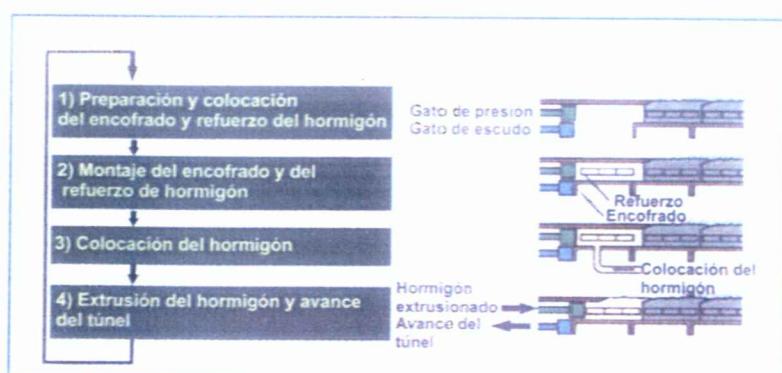
Hormigón proyectado

El material de revestimiento se proyecta contra el terreno, bien por vía seca o por vía húmeda, utilizando aire comprimido a presión. La operación se realiza con máquinas de proyectar hormigón de alto rendimiento y utilizando brazos robotizados para realizar las operaciones con facilidad y seguridad. Los materiales de revestimiento que se proyectan pueden ser hormigones tradicionales, hormigones cementíticos, hormigones poliméricos y polímeros.

Hormigón bombeado

El hormigón de revestimiento se coloca mediante una bomba con pluma especial dentro de un encofrado o llenando una trinchera perimetral de terreno (Metódo Previendo Pretrinchado).

Foto: T. Vinkus. IEET/EPFL



Cuando se utiliza un hormigón autocompactante no es necesario realizar vibrado.

El material de revestimiento que se bombea puede ser también un hormigón polimérico.

Hormigón inyectado (extrusionado)

Este método, por ser menos conocido y hasta el momento no utilizado en España, se describirá más en detalle por su interés técnico como método para reducir los asientos en túneles urbanos someros.

El método de avance continuo que consiste en colocar el revestimiento de un túnel inyectando a presión el hormigón en el interior de un encofrado, hormigón extrusionado. (extruded concrete) en una acción simultánea con los trabajos de excavación.

- 1) Preparación y colocación del encofrado y refuerzo del hormigón.
- 2) Montaje del encofrado y del refuerzo de hormigón.
- 3) Colocación del hormigón.
- 4) Extrusión del hormigón y avance del túnel.

Las cualidades de este método de hormigonado y de construcción de túneles, son las siguientes: la presión de colocación del hormigón (extrusionado) equilibra las presiones del terreno, las hidrostáticas y minimiza los asientos del terreno. Economía en coste y reducción de plazo. Reduce las deformaciones del terreno y los asientos en superficie. Reduce los momentos flectores en el revestimiento.

Dovelas prefabricadas con inyección de trasdós

Las dovelas de revestimiento prefabricado son, generalmente, de hormigón armado con o sin adición de fibras; estas pueden ser también de fundición o de acero según las características del túnel.

La fabricación de las dovelas se realiza en un parque exterior, donde se puede realizar el proceso con las mejores garantías de calidad. Transcurrido el proceso de curado, se transportan dentro del túnel en plataformas sobre vía o en plataformas con ruedas.

Su colocación se realiza de un modo semi-automático o automático, procediéndose, a continuación a llenar el espacio anular entre dovela y terreno, con una inyección de trasdós. ♦

Referencias:

- 1. Prof. VISTAP M. KARBHARI. *Use of composite materials in civil Infrastructure in Japan*. International Technology Research Institute; World Technology (WTEC) Division. 1998.
- (Kuraray PVA Fiber División Company. Página ..eb: www.kuraray-am.com
- 3. SUNARYO SUMITRO. *Intelligent Sensory Technology for Health Monitoring Based Maintenance of Infrastructures*; 2004.
- 4. D. INAUDI, B. GLISIC. *Combining Static and Dynamic deformation monitoring with long-gauge fiber optic sensors*; 2004.
- 5. DANIELE INAUDI, ET AL. *Low-coherence sensors for the monitoring of underground works*; 1995.
- 6. SHIELD TUNNELLING ASSOCIATION OF JAPAN. *Extruded Lining Method*.
- 7. RETC Proceeding 2001. *Extruded Concrete Lining*.
- 8. ANTOINE E. NAAMAN. *Engineered Steel Fibers with Optimal Properties for Reinforcement of Cement Composites*; 2003.
- 9. KAI, Kuraray America, INC; *About Fibers: Overview*.
- 10. PÁPAY ZITA JUDIT. *Poly Vinyl Alcohol Fiber Reinforced Engineered Cementitious Composites*. Budapest University of Technology and Economics Department of Construction Materials and Engineering Geology. 2004.
- 11. R. BROWN. *Fiber Reinforcement of Concrete Structures*. University of Rhode Island Transportation Center. 2002.
- 12. MASAHIRO OUCHI, MAKOTO HIBINO. *Development, Applications and Investigations of Self-Compacting Concrete*.
- 13. BENOIT DE LHONEUX. *Development of High Tenacity Polypropylene Fibres for Cementitious Composites*.
- 14. AKETOMA: Basalt fabrics, tubes, prepegs, rods, etc
- 15. A. BLAGA, J.J.BEAUDOIN. *Canadian Building Digest; Polymer Concrete*.
- 16. BOB ZELLERS. NYCON. *All Synthetic Fibers Are Not Equal*.
- 17. VICTOR C. LI. *Repair and retrofit with engineered cementitious composites*. Engineering Fracture Mechanics. 2000.
- 18. *Fibermesh: Polypropylene fibres for concrete and mortar*; The Indian Concrete Journal. 2003.
- 19. *Forfa Ferro Fiber: Synthetic Fibrous Reinforcement*.
- 20. *Synthetic Fibers: The Euclid Chemical Company*.
- 21. THOMAS GRAVER ET AL. *Growing Market Acceptance for Fiber-Optic Solutions in Civil Structures*; 2004.
- 22. ENDURO 600, SI Concrete Systems.
- 23. TUF-STRAND SF, *Synthetic Structural Fibers*. Euclid Canada.
- 24. *Acceptance criteria for concrete with synthetic fibers*; Icc Evaluation Service, INC 2003.
- 25. MBT-MBRACE FIBRE; *Carbon, Aramid and glass fibre sheeting used for structural strengthening*.
- 26. Wabo Mbrace CF530; Degussa.
- 27. HERNRIK STANG, VICTOR C.LI. *Classification of fibre reinforced cementitious materials for structural applications*; 6th RILEM Symposium on Fiber-Reinforced Concretes (FRC)-BEFIB 2004. Varennna,Italy.
- 28. *Synthetic concrete reinforcement for underground works*; World Tunnelling 2002.
- 29. JAMES F. ARCHIBALD. *Occupational Hazards of Spray-on Liner Applications in Underground Environments: Truths & Myths*; 2000.
- 30. S. SUMITRO, Y. OKADA&K. SAITO, S.TAKANASHI, D. INAUDI. *Long-gage optical fiber sensors monitoring on deteriorated structure deformational properties*.
- 31. ANDERS CAROLIN. *Carbon Fibre Reinforced Polymers for Strengthening of Structural Elements*. Doctoral Thesis, Lulea University of Technology. 2003.