

Hartmut Claussen S.
 Ingeniero Civil de Minas
 Montanuniversität Leoben, Austria
 UGC Manager - MBT Cono Sur
 Degussa Construction Chemicals

Fibras de Refuerzo en Hormigón Proyectado

La incorporación de fibras estructurales al hormigón proyectado, reemplazando a la malla electrosoldada, es una realidad y su uso se expande en grandes obras de nuestro país como el metro de Santiago y túneles en las hidroeléctricas de Ralco y Alfalfal.

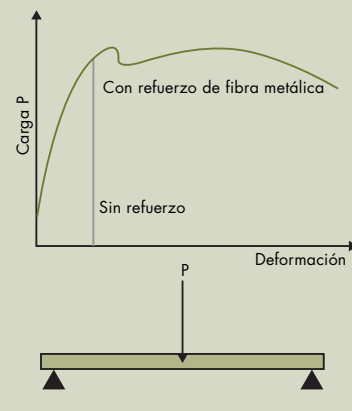
En algunas de estas obras se ha llegado a incrementar el rendimiento de avance hasta un 40%, debido al ahorro de tener que instalar la malla de refuerzo, que además implica un alto riesgo.

Las fibras se distribuyen uniformemente en todo el espesor del hormigón proyectado, impartiendo un mejor comportamiento triaxial frente a las tensiones de corte y flexión debido a la disminución drástica de las fisuras por contracción. No hay que dejar de mencionar que el efecto de sombra que se produce detrás de la malla electrosoldada puede dejar vacíos que inducen corrosión en la misma y posterior fisuración del hormigón (ver foto).

El comportamiento del hormigón proyectado frente a la absorción de esfuerzos mejora notablemente gracias a la ductilidad que le otorgan las fibras en dosis adecuadas, llegando a aumentar el valor de energía de rotura del hormigón hasta en 5 veces. La energía absorbida antes de la rotura por el hormigón es el área bajo la curva (figura 1); se le denomina igualmente "tenacidad" y se expresa en Joules. La figura 2 muestra que la absorción de energía de rotura de las fibras es mayor que la de las mallas electrosoldadas (Estudio realizado en Noruega por la Asociación de Investigación Técnica de Noruega - NTNF).

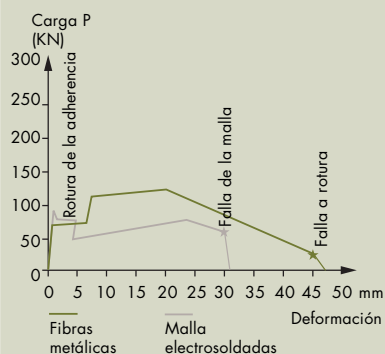


Figura 1



■ Curva característica Carga vs. Deformación.

Figura 2



■ Comparación de la energía de rotura de fibras metálicas y mallas electrosoldadas.



Ventajas

- Mayor resistencia a la abrasión y al impacto.
- Mayor estanqueidad y resistencia a la congelación.
- Mayor capacidad de adherencia.
- Reducción en el espesor promedio de shotcrete debido a que el mismo copia el perfil de la roca.

Las fibras producen además ahorros de tiempo y dinero.

- Ahorro en costos directos ya que el costo de la fibra equivale a un 50% del costo directo de la malla (contando mano de obra).
- Ahorro en el costo indirecto por evitar la colocación del shotcrete en dos capas.
- Ahorro en el hormigón utilizado ya que las fibras permiten aplicar el espesor requerido en toda la superficie, independientemente de las irregularidades del sustrato.
- Ahorro debido a la disminución del rebote provocado por la malla de refuerzo.

Figura 3

Rebote de fibra (acero)

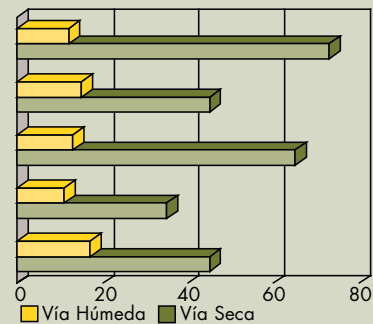
Diam. 0,5, L=28 mm

0.45x0,53, L=25 mm

0.5x1.35, L=32.5 mm

0.5x2.75, L=32.5 mm

0.25x1.12, L=25.5 mm



- Diferentes porcentajes de rebote, dependiendo de la forma y longitud de fibra y del método empleado (vía seca ó húmeda).

Recomendaciones

- El hormigón proyectado y reforzado con fibras requiere el uso de microsilice y aditivos para poder contrarrestar los efectos negativos que tienen las fibras sobre el

bombeo y la proyección. Por otro lado su uso mejora la adherencia entre la fibra y la matriz de hormigón.

- El largo de la fibra no deberá exceder el



50% del diámetro interno de la manguera de proyección y deberá como mínimo tener el triple del tamaño máximo de árido (por razones de anclaje, ver figura 4).

- El contenido de fibra por metro cúbico de hormigón y el espesor del mismo deberá ser determinado en base a los ensayos de carga sobre panel. El contenido teórico de fibra metálica varía entre 35 y 50 kg/m³ y el de fibra de polipropileno rígida es de 5 a 10 kg/m³.
- Para hormigones ubicados a la intemperie o sometidos a ataque de aguas sulfatadas (p.ej. minería subterránea) se recomienda fibras de material sintético (Masterfiber 50PS o similar).
- Tal como se aprecia en fig. 5, donde com-

parando con la fibra de acero, la fibra sintética muestra una caída más brusca después de la primera fisura, pero con un posterior aumento de resistencia a la deformación, lo que la hace estructuralmente interesante, especialmente en labores mineras donde se esperan grandes deformaciones.

La cantidad adecuada de fibra a utilizar deberá ser determinada con ensayos en obra.

Métodos de Ensayo

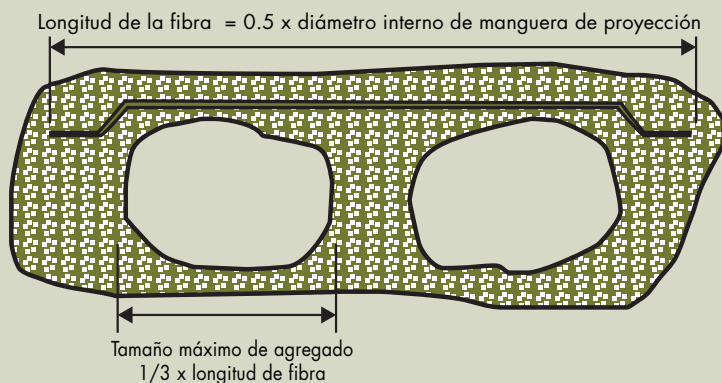
Los ensayos para determinar la capacidad de carga de los diferentes diseños de mezclas se realizan generalmente mediante el método "EFNARC Panel Test" utilizando paneles de 600 x 600 x 100 mm.

El otro método normalizado se denomina "Round Determinate Panel Test", adaptado a la minería subterránea (paneles de 800 mm de diámetro y 75 mm de espesor), y normalizado por la ASTM.

El procedimiento consiste en una aplicación sobre panel de hormigón apoyado en tres puntos de una carga puntual centrada y la medición de la deformación en cada escalón de carga.

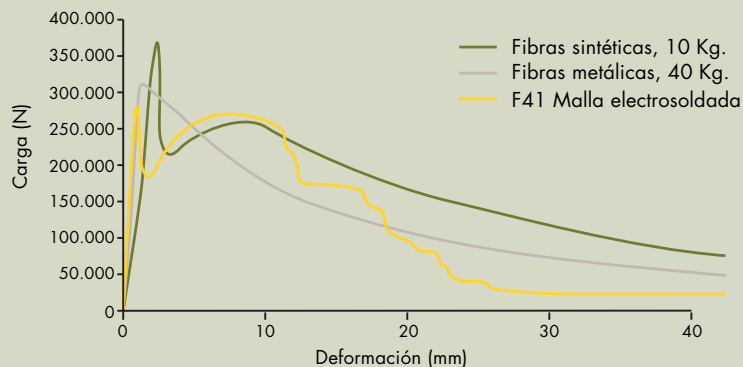
El criterio a utilizar para la comparación de resultados se puede basar en la realización de series de paneles con diferentes mezclas con diferentes contenidos de fibras, una serie de paneles patrón sin fibra ni malla y una serie de paneles con malla de refuerzo. **B**

Figura 4



■ Dimensiones óptimas de una fibra estructural.

Figura 5



■ Gráfico de comparación de energía de rotura entre fibra sintética, fibra metálica y malla de 4mm (usando método ASTM "Round Panel Test").

Bibliografía

- **E.S. Bernard**, "Correlations in the Performance of Fiber Reinforced Shotcrete Beams and Panels". School of Civil Engineering and Environment at the University of Western Sydney, Nepean, Kingswood, Australia, July 1999.
- **E.S. Bernard & S.A. Hanke**, "Age-Dependent Behaviour in Fibre Reinforced Shotcrete" 4th. International Symposium on Sprayed Concrete, Davos 2002.
- **N. Banthia and C. Yan**, "Toughness of Fiber Reinforced Shotcrete Panels (EFNARC) with Polypropylene Macrofibers". Department of Civil Engineering, University of British Columbia, Vancouver, Canada.
- **European Specification for Sprayed Concrete**, European Federation of National Associations of Specialist Contractors and Material Suppliers for the Construction Industry (EFNARC), 1996.
- **M. Clemens**, "Synthetic Concrete Reinforcement for Underground Works". World Tunneling, Sept.2002.
- **ASTM C 1550-03**, Standard Test Method for Flexural Toughness of fibres reinforced concrete.

