

USO DE CONCRETO LANZADO REFORZADO CON FIBRAS METÁLICAS EN TÚNELES

Obtención de los valores para diseño

La capacidad del CLRF posterior al primer agrietamiento puede ser determinada mediante una gran variedad de métodos reconocidos internacionalmente

Las pruebas de viga se utilizan generalmente se utilizaban para obtener solamente índices de tenacidad, pero ahora tenemos normas para pruebas que nos dan mayores datos para determinar la fuerza flexional residual a una deflexión determinada o una resistencia a la flexión equivalente sobre un rango de deflexión. Las normas ahora más comúnmente utilizadas por la calidad y tipo de resultados son la EN-14651 (Fig. A), EN-14488-1, EN-14488-3, EN-14488-5 y cada vez en menor medida la ASTM C 1609 y la norma Japonesa JSCE SF4.

Las mediciones ahora se deben efectuar entre 0.5 mm y hasta 2.5 mm de deflexión de la viga para obtener los SLS y ULS. Estos métodos de prueba actualmente ya no son difíciles de repetir y ahora nos brindan los valores de ingeniería requeridos por el Model Code 2010 y/o la Rilem en sus métodos de diseño de estructuras reforzadas con fibras de acero.

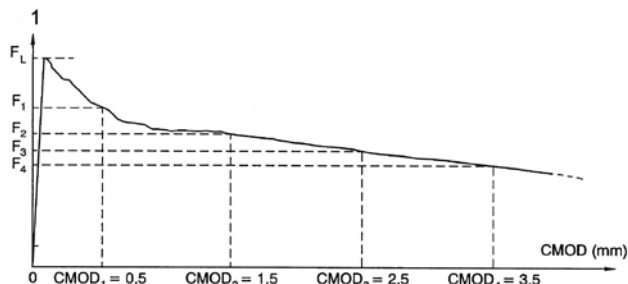
Estas pruebas, como se mencionó en el párrafo anterior nos brindan valores de ingeniería que fácilmente pueden ser utilizados dentro de los parámetros de diseño de los concretos lanzados reforzados con fibras.

Otra prueba para determinar el comportamiento del CLRF es la prueba de paneles cuadrados EN14488-5 (antes EFNARC desarrollada por Legrand en 1984) que consiste en obtener paneles de 600 mm x 600 mm con 100 mm de espesor. Estos paneles se soportan perimetralmente y se aplica una carga al centro. Se mide la carga al centro vs la deflexión y se calcula la energía absorbida en Jules a una deflexión de 25 mm.

El mecanismo de falla del panel es representativo del comportamiento del sistema del revestimiento y es una prueba es más fácil de efectuar, sin embargo al estar el panel soportado perimetralmente, si existen diferencias en el asentamiento, se pueden generar inconsistencias (Fig. D). Derivado de lo anterior las pruebas de panel siempre se recomiendan para certificar la calidad del concreto lanzado y nunca como elemento para diseño.

Figura (A)

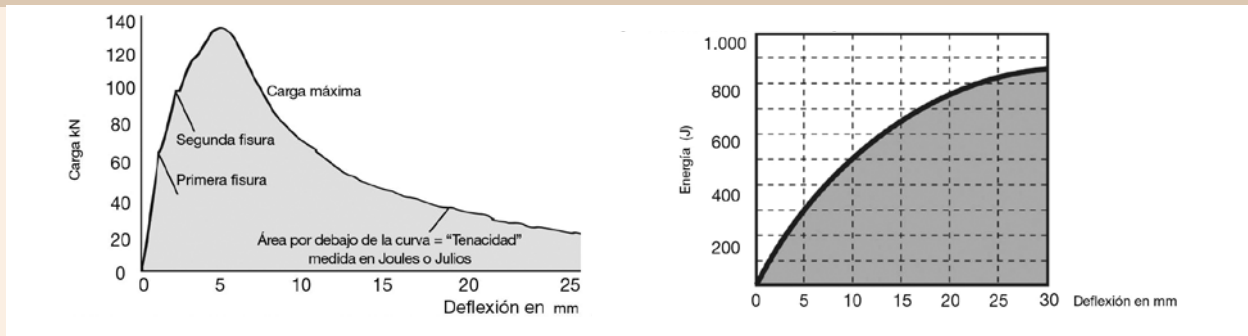
EN-14651 "Test method for metallic fibered concrete - Measuring the flexural tensile strength (limit of proportionality (LOP), residual)"



DISEÑO

El diseño del soporte mediante concreto lanzado para excavaciones subterráneas es generalmente impreciso y empírico. La compleja interacción entre la masa rocosa fallando alrededor de una abertura subterránea y la capa de concreto lanzado con diferentes espesores (Fig. E) y con propiedades cambiantes al endurecer desafía casi todos los intentos de análisis teórico. Es importante reconocer que el concreto lanzado

Figura (D) Paneles



es rara vez utilizado sin refuerzo, y su uso combinado con pernos, anclas y otros tipos de reforzamiento al macizo rocoso complica aún más el análisis de su contribución al soporte. Las metodologías y teorías actuales de diseño de soporte mediante concreto lanzado se basan ampliamente en métodos prácticos y experiencia previa. Grimstad y Barton (1993) publicaron una gráfica actualizada que relaciona diferentes sistemas de soporte incluyendo concreto lanzado y concreto lanzado reforzado con fibras de acero y sintéticas. (4) (Fig. F).

También en el ACI-560 (Design Considerations, Chapter 8, Comparable Moment Capacity, par. 8.3). La comparación se hace entre la capacidad de carga de las capas del concreto lanzado, basado en la equivalencia de los momentos de flexión. Los momentos de flexión sólo tienen que ser considerados como la estructura total se estabiliza mediante pernos en la roca y si es necesario por marcos de acero adicionales. La capa de concreto lanzado actúa como un elemento de soporte con el apoyo de pernos y arcos. Para evaluar el desempeño del diseño original, tenemos que comprobar las propiedades mecánicas en flexo-tracción, se propone una estructura equivalente utilizando como refuerzo para el concreto las fibras de acero.

CONCRETO LANZADO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO

Las fibras de acero se adicionan a la mezcla del concreto lanzado para dar una mejor capacidad de absorción de energía, redistribución de esfuerzos, menores deformaciones, cuando así se requiere y resistencia al impacto así como proveer de ductilidad acorde a la aplicación y necesidades de proyecto. Esta última propiedad es la habilidad que tendrá el concreto lanzado de continuar resistiendo cargas después de que su matriz se ha fisurado. Es evidente que las tres propiedades anteriores, son de gran importancia para los sistemas de soporte diseñados para las condiciones especiales a que están sometidas las excavaciones en minas, túneles (civiles y mineros) y lumbreras.

La longitud de la fibra debe de ser por lo menos dos veces el tamaño máximo del agregado, sin exceder bajo ningún motivo los 35 mm de longitud, esto con el fin de ligar el espacio cementante entre uno y otro, y proveer la suficiente adherencia de las fibras de acero a la matriz de concreto. Entre menor sea el diámetro de la fibra de acero el número de fibras por unidad de peso se incrementa y la longitud de la red de fibras se incrementa. El espaciamiento entre fibras se reduce en tanto la fibra sea más delgada por lo que el reforzamiento se hace más eficiente. Siempre se debe de buscar tener una longitud de refuerzo por metro cúbico nunca inferior a 10,000 ml de fibras de acero para garantizar un adecuado traslape entre ellas según las fórmulas de McKee (4).

Figura (F)

Gráfica de Barton modificada

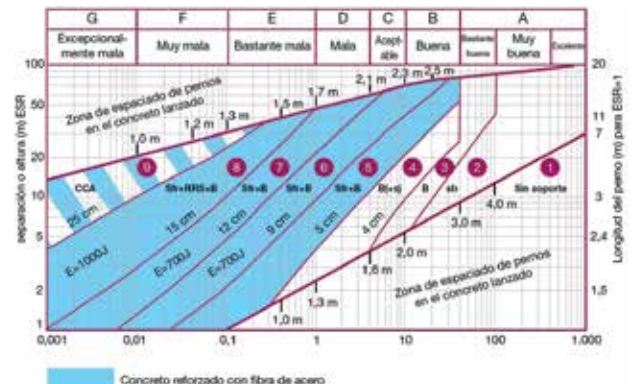
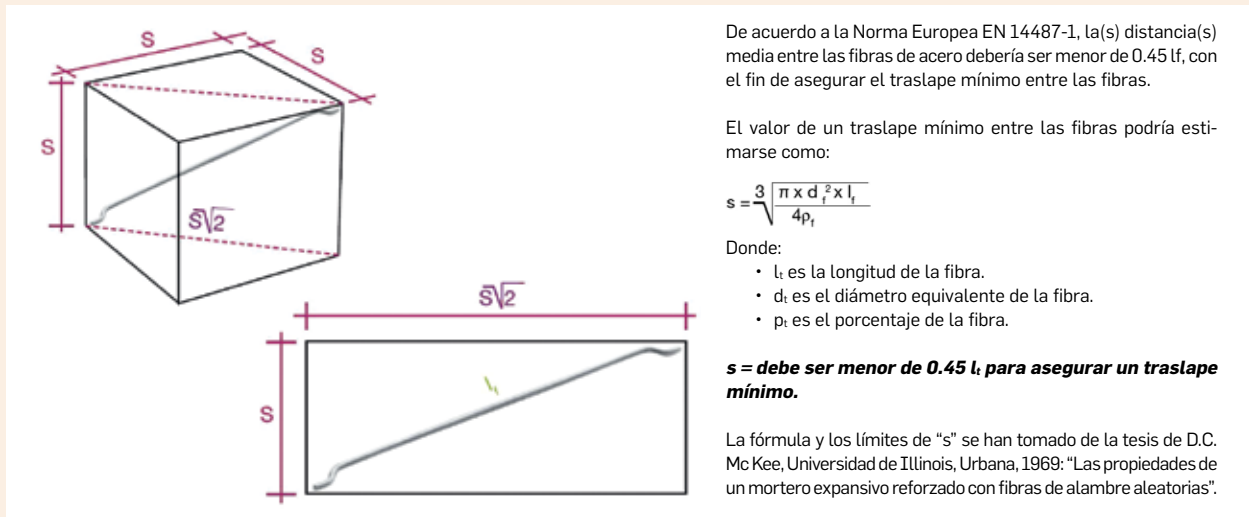


Figura 1: Dosificación mínima basada en la longitud mínima total



Los esfuerzos de tensión inducidos al concreto lanzado son transferidos a las fibras de acero mediante la adherencia entre ambos materiales; sin embargo la adherencia se puede mejorar notoriamente mediante los anclajes mecánicos que proveen las diferentes formas de las fibras, las cuales se recomiendan sean extremos doblados o aplanados aunque existen las de forma ondulada. Por otra parte, para que se logre una eficiente transferencia de cargas se requiere que las fibras de acero tengan una alta resistencia a la tensión para evitar que estas se rompan. La alta capacidad de resistencia de cargas de las fibras de acero una vez fracturada la matriz de concreto, garantizará el grado de ductilidad.

El uso de recubrimientos finales de larga vida construidos con concretos lanzados de alta resistencia en obras subterráneas, ha ampliado la necesidad de desarrollar fibras de acero de alta resistencia a la tensión lo cual llevado a los líderes del mercado a desarrolla tres grandes familias de fibras dependiendo de las necesidades a la tensión del acero que van en una primera familia en acero de resistencias no menores a 1,345 N/mm², una segunda que va en los 1,800 N/mm² y una tercera que tiene 2,300 N/mm².

Cada fibra de acero dependiendo de su forma y tamaño tendrá un efecto diferente en el comportamiento y calidad del concreto lanzado. La dosificación requerida de fibras de acero para cumplir con los requerimientos estructurales y de diseño está necesariamente relacionado con el desempeño de esta. (5) Este desempeño debe de estar regido en función de "veces la dosis mínima certificada" según la norma EN-14889-1 para fibras sistema 1 para uso estructural para de esta forma poder conocer el desempeño en el SLS y el ULS.

Para una misma matriz de concreto la cantidad de absorción de energía es influenciada significativamente por el tipo de fibra (Ej. Relación de aspecto longitud / diámetro) y dosificación. Entre mayor sea la relación de aspecto y la dosificación, mejor será el desempeño del CLRFA. (Lambrecht 1996).

Otra gran ventaja del CLRFA es su composición homogénea. Como tal, es capaz de resistir esfuerzos de tensión y de cortante en cada parte de la sección transversal. Más aún, al poder efectuar una la aplicación inmediata del recubrimiento de consolidación, se provee de una adecuada protección contra la caída de rocas. **C**

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Design Guidelines for The Use Of Fiber Reinforced Shotcrete In Ground Support. F. Papworth. 2002.
- 2) Slope Stabilized with Steel Fibrous Shotcrete. Kaden R. Western Construction April 1974 pp. 30 – 33.
- 3) High Volume Syntetic Fiber Reinforced Shotcrete. Morgan D.R. First Annual Syntetic Fiber Reinforced Shotcrete Symposium. Jan 1998 pp. 115 – 132.
- 4) The Use Of Steel Fiber Reinforced Shotcrete For The Support Of Mine Openings. Marc Vandewalle. Shotcrete Magazine August 2002 pp 10 – 14.