

CONCRETO  
CONCRETO REFORZADO  
CON FIBRAS

CONSTRUYENDO CONFIANZA





# CONTENIDO

|           |                                                                           |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------|
| <b>4</b>  | Fisuración del concreto y refuerzo secundario. Consideraciones iniciales. |
| <b>6</b>  | Introducción a las fibras                                                 |
| <b>7</b>  | Clasificación de las fibras                                               |
| <b>13</b> | Principales aplicaciones                                                  |
| <b>20</b> | Mitos y leyendas al rededor de las fibras en el concreto                  |
| <b>22</b> | Normas actuales que rigen el empleo de las fibras                         |
| <b>23</b> | Bibliografía                                                              |

# FISURACIÓN DEL CONCRETO Y REFUERZO SECUNDARIO. CONSIDERACIONES INICIALES

LA FISURACIÓN DEL CONCRETO ES UN FENÓMENO INDESEABLE CUYAS CAUSAS VAN DESDE VARIACIONES EN LA COMPOSICIÓN DEL MATERIAL, HASTA EFECTOS DE CAMBIOS TÉRMICOS. UNA FISURA DELATA REALMENTE LA “COMPETENCIA PERDIDA” ENTRE LA CAPACIDAD DEL MATERIAL DE RESISTIR UN ESFUERZO FRENTE AL EFECTO DE UN ESFUERZO ACTUANTE.

La ingeniería sin embargo, muchas veces cuenta de partida con la fisuración del material y digamos que en algunos casos la provoca. De esta forma, los elementos de concreto reforzado diseñados para trabajar en flexión (vigas, placas etc), dan por descontado en su diseño inicial, que el concreto de recubrimiento en la cara inferior se fisurará y se despreja la resistencia a la tensión del material. El material exigido en este caso es el acero, en la parte inferior de la viga. El que el concreto de recubrimiento se fisure es normal y para algunos ingenieros estructurales prueba de que el acero ha asumido la mayor parte de la carga a tensión.

Por supuesto las fisuras tienen un ancho máximo permitido tanto por consideraciones estéticas como de durabilidad de los elementos, en el caso de algunos códigos europeos y otros, éste ancho de fisura máxima, depende del medio ambiente y la durabilidad calculada para la estructura, sin embargo el ancho permitido oscila entre 0 mm - 0.3 mm.

La fisuración es así un mal con el que hemos aprendido a convivir como lo demuestra también el caso de los pavimentos donde la controlamos simplemente anticipándonos a las fisuras, con las juntas; que son como se ha dicho en muchas ocasiones, fisuras controladas. Las juntas son así los lugares donde las placas tienen el espacio para llevar a cabo los cambios dimensionales sin mayor restricción. Estos cambios dimensionales son producidos principalmente por la retracción del material en el tiempo (horizontal), por las dilataciones y contracciones de origen hídrico y térmico (alabeo, giro, horizontal-vertical) y claro por los movimientos verticales y horizontales producidos por las cargas.

Por supuesto en la medida en que una estructura de concreto no se fisure es mejor en cuanto a su durabilidad, la transmisión y continuidad de las cargas, la no concentración de esfuerzos y la estética de un concreto cada vez más a la vista.

En algunos casos simplemente no se permite fisuramiento alguno, en la mayoría de estas circunstancias por consideraciones funcionales o estéticas.

Si hemos diseñado una placa sobre terreno, calculado el espaciamiento entre las juntas, espesores y refuerzos y además hemos curado debidamente el material una vez ha sido colocado, lo último que queremos es que dichas placas entre las juntas, presenten cualquier tipo de cuarteo.

Aún así cuando el material inicia su proceso de retracción, la restricción del terreno (incluso con plásticos o aislantes) hace que se generen esfuerzos aleatorios, dentro del material (que es joven y débil), que en muchos casos terminan generando una red de fisuras indeseadas.

La generación de estos cambios dimensionales a edad temprana, que se convierten en esfuerzos, tiene como causas más frecuentes:

- Pérdida prematura de agua por evaporación en superficie.
- Pérdida prematura de agua por un sustrato absorbente.
- Cambios térmicos (oscilación día-noche), o estacional.

En una estructura de concreto a mayor edad, estos esfuerzos generados por cambios dimensionales, pueden tener causas similares como:

- Retracción del material por secado.
- Cambios térmicos (oscilación estacional o día noche)
- Ciclos de humedecimiento y secado.
- Cargas externas de trabajo.

El refuerzo estructural está destinado a controlar y asumir las cargas externas (estructurales) para las que se diseñó el elemento (momentos, cortantes, torsión), pero los esfuerzos generados por cargas producidas por retracción por secado, ciclos de humedecimiento y secado, los ingenieros estructurales los han resuelto usualmente empleando cuantías adicionales de refuerzo o mallas electrosoldadas.

En el caso particular de placas y elementos de grandes superficies expuestas, el refuerzo más usualmente empleado para resolver los esfuerzos generados por retracción y temperatura son las mallas electrosoldadas.



La malla electrosoldada empleada como refuerzo secundario en placas sobre terreno (pisos y pavimentos) se posiciona en la mayoría de los casos en la mitad de la altura del elemento. A edades tempranas (horas) en la mayoría de las ocasiones la parte superior de la placa es la que se retrae más al desecarse y la malla se encuentra muy lejos de esta zona donde se generan los esfuerzos iniciales. Resulta así usual que con la malla electrosoldada se presente una fisuración desordenada antes de las 24 horas (Tabla 1).

Este es el caso de algunas placas para pisos y la mayor parte del concreto lanzado. Por ello algunos constructores, posicionan la malla en el tercio superior de la placa. Eso no elimina la existencia de un debate alrededor de la colocación de ésta malla que otros constructores prefieren incluso localizarla en el tercio inferior del espesor.

En estado endurecido la malla electrosoldada es más eficiente que en estado plástico, puesto que existe una mejor transmisión de esfuerzos a lo largo de la sección del elemento de modo que la malla puede asumir rápidamente esfuerzos inducidos por cambios hídricos o cambios térmicos, generados en la superficie.

Aun así las mallas empleadas como refuerzo secundario tienen algunas limitaciones en cuanto a que su colocación es dispendiosa (tiempo y mano de obra) pero más allá de esto, es el lugar sobre el que todos caminan en la obra y su colocación teórica en el plano termina siendo muy diferente cuando se vacían los elementos en la realidad. No es así extraño ver las mallas "calcadas" en la parte inferior de placas elevadas (donde se puede examinar por debajo) o mallas "calcadas" cerca de la superficie. Podríamos incluso atrevernos a afirmar que el que las mallas queden exactamente posicionadas donde las queremos corresponden a los casos menos frecuentes.



De esta manera el refuerzo secundario (que no está destinado a asumir o resolver esfuerzos de flexión y cortante) queda alejado de los lugares que pretendemos proteger. Una placa alabeada sobre un terreno de forma convexa (día caluroso) con una malla lejos de la superficie no contribuye para nada a la cara expuesta a tensión por lo que podría fisurarse por el esfuerzo inducido.

Debido justamente a las dificultades de colocación y eficiencia en el destino final de estos refuerzos secundarios, hizo su irrupción en el concreto el uso de las fibras.

# INTRODUCCIÓN A LAS FIBRAS

**LAS FIBRAS SIEMPRE ESTUVIERON** presentes en materiales que tuvieron usos estructurales similares al concreto como el adobe, la tapia pisada y los morteros de cal entre otros.

Las fibras vegetales son de uso obligado en la tapia pisada y el adobe debido a que les ayudan a asumir esfuerzos de tensión y le confieren así un mayor monolitismo (no fisuración) a los elementos.

El uso de las fibras naturales como un componente más en materiales de relleno o aglomerantes, no es así nuevo y se remonta varios siglos atrás. En concreto existen referencias tempranas de experimentación con un refuerzo discontinuo (clavos, segmentos de cable, ganchos) que se remontan a 1910.

Probablemente el uso más extendido de las fibras como un componente mas en materiales aglomerantes haya sido su uso en elementos como tejas o prefabricados de asbesto-cemento. En este caso las fibras de asbesto le conferían al material el monolitismo y la resistencia a la tensión buscada, sin embargo por consideraciones de salud estas fibras de asbesto han sido sustituidas por otras de diferentes materiales que no tienen ningún efecto sobre la salud humana.



# CLASIFICACIÓN DE LAS FIBRAS

**LAS FIBRAS COMO REFUERZO** secundario para concreto en general pueden clasificarse según diferentes consideraciones, (ASTMC 1116, EN 14889. EN 14889-2 ver normas actuales que rigen el empleo de las fibras pág.26) hoy en día se emplean principalmente dos tipos de clasificación, así:

## 1. POR MATERIAL

### FIBRAS METÁLICAS

Secciones discretas de metal que tienen una relación de aspecto (relación entre la longitud y el diámetro) que va desde 20 hasta 100. Estas fibras son de acero (en general de bajo contenido de carbón).

### FIBRAS SINTÉTICAS

Secciones discretas que se distribuyen aleatoriamente dentro del concreto que pueden estar compuestas por Acrílico, Aramid, Carbón, Polipropileno, Poliéster, Nylon, Poliestéer etc.

### FIBRAS DE VIDRIO

Secciones discretas de fibra de vidrio resistentes al álcali.

### FIBRAS NATURALES

Secciones discretas de origen como coco, sisal, madera, caña de azúcar, yute, bambú, etc. Cuyos diámetros varían entre 0.5 y 0.2 mm, con valores de absorción superiores al 12%.

## 2. POR FUNCIONALIDAD, GEOMETRÍA Y DOSIFICACIÓN

### MICROFIBRAS

Estas fibras están destinadas a evitar la fisuración del concreto en estado fresco o antes de las 24 horas. Se dosifican en el concreto para volúmenes entre 0.03% a 0.15% del mismo. Las más frecuentes son las fibras en polipropileno (Tipo **SikaFiber®AD**) cuya dosificación en peso oscila entre 0.3 a 1.2 kg/m<sup>3</sup> de concreto. Se trata de dosificaciones extremadamente bajas pero muy eficientes que previenen la fisuración del concreto por retracción plástica. Estas fibras tienen diámetros entre 0.023 mm a 0.050 mm, pueden ser monofilamento o fibriladas. Las microfibras al tener diámetros tan pequeños se califican con un parámetro denominado Denier. Denier es el peso en gramos de 9.000 metros de una sola fibra.

La Tabla 1. expone los resultados de una reciente investigación<sup>[1]</sup> donde se compararon varios tipos de fibras (microfibras) frente a un concreto sin refuerzo (Patrón) y frente a ese mismo concreto reforzado con una malla electrosoldada (150 x 150, 3.4 mm de diámetro).

Esta investigación hecha sobre placas de un espesor de 50 mm, desarrollada bajo condiciones atmosféricas controladas, permite apreciar la altísima eficiencia de las microfibras para controlar la fisuración antes de las 24 horas. Así el número total de fisuras en el concreto sin reforzar fue de 166 mientras que, en el mismo concreto con apenas 900 g/m<sup>3</sup> (45 g/m<sup>2</sup>), de microfibras A se redujo el número de fisuras a 9 y con las microfibras B a 2 junto con áreas de fisuración despreciables<sup>[1]</sup>.

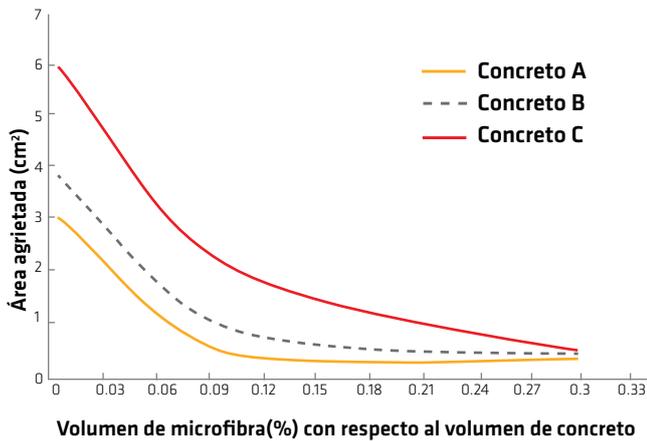
| Tipo de Especimen                      | Área total de agrietamiento | Ancho de fisura promedio | Número total de fisuras | % total de área de agrietamiento con respecto al espécimen de referencia |
|----------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Patrón                                 | 994                         | 0.10                     | 166                     | 100                                                                      |
| Malla                                  | 824                         | 0.11                     | 102                     | 83                                                                       |
| Microfibra A (0,45 k/gm <sup>3</sup> ) | 108                         | 0.09                     | 21                      | 11                                                                       |
| Microfibra A (0,9 k/gm <sup>3</sup> )  | 34                          | 0.09                     | 9                       | 3                                                                        |
| Microfibra B (0,60 k/gm <sup>3</sup> ) | 59                          | 0.08                     | 20                      | 6                                                                        |
| Microfibra B (0,9/ k/gm <sup>3</sup> ) | 4                           | 0.08                     | 2                       | 0                                                                        |

\* todas las medidas en mm.

**Tabla 1.** Valores de fisuración a las 24 horas para un mismo concreto sin reforzar y con diferentes alternativas de reforzamiento. (Fisuración Plástica). Entendiendo área de fisuración el producto entre la longitud de la fisura y su ancho.

<sup>[1]</sup> Trottier, J. F., Mahoney, M., y Forgeron D. "¿PUEDEN LAS FIBRAS SINTÉTICAS REEMPLAZAR LA MALLA ELECTROSOLDADA EN LOSAS SOBRE TERREROS?". Concrete International, Noviembre 2002. ACI- Seccional Colombiana. Boletín No. 11 2008 ACI Publicaciones Técnicas

Figura 1. Áreas de fisuración a las 24 horas para concretos con diferentes niveles de reforzamiento de microfibras de polipropileno (Tipo SikaFiber®AD)



La Figura 1. expone igualmente los resultados de otro estudio independiente [2] donde se aprecia como un 0.09% de microfibras (equivalente a 1 kg/m³ v.g. SikaFiber®AD) reduce el área de fisuración de 3 cm² a menos de 0.5 cm² y con 0.12% de dosificación prácticamente desaparece todo rastro de fisuración.

Como vemos las microfibras son una excelente y muy económica forma de prevenir la fisuración antes de las 24 horas. Es por ello que su uso resulta muy extendido sobre todo en pisos, pavimentos, prefabricados y en general a todos los materiales cementicios, con una relación superficie expuesta/volumen alta.

Si bien las microfibras en general reducen dramáticamente la tendencia a la fisuración o simplemente la eliminan antes de las 24 horas (retracción plástica), en la mayoría de las ocasiones hacen que el concreto en estado fresco, en apariencia, pierda manejabilidad o asentamiento. Es decir que el concreto reforzado con fibras puede generar problemas frente a a supervisiones e interventorías a la hora de aceptar el concreto.

Sika Colombia entendiendo esta dificultad, diseñó SikaFiber®AD, esta microfibra en particular cuenta con un componente que le restituye a la mezcla de concreto el asentamiento perdido por la adición de la microfibra. SikaFiber®AD, le otorga al concreto todos los beneficios de una microfibra sin que el concreto pierda un mm en el cono de Abrams.

Las figuras 2 y 3 muestran la eficiencia de SikaFiber®AD, luego de 24 horas de exposición a una velocidad de viento de 2 m/s. Se trata del mismo concreto solo que a una fracción de éste se le agregó 1 kg/m³ de SikaFiber®AD. (Laboratorio Sika-Colombia / 2009, Estudio de retracción plástica)



Figura 2. Concreto 4000 psi a las 24 hrs, expuesto a viento de 2 m/s



Figura 3. Concreto 4000 psi a las 24 hrs con SikaFiber®AD, expuesto a viento de 2 m/s

[2] Batai Z., McIntyre M., Application of Fibrillated Polypropylene Fibers for Restraint of Plastic Shrinkage Cracking in Silica Fume Concrete, ACI Materials Journal July-August 2002 )

## MACROFIBRAS

Estas fibras están destinadas a prevenir la fisuración en estado endurecido, a reducir el ancho de la fisura si ésta se presenta y a permitir el adecuado funcionamiento de la estructura fisurada. Las dosificaciones más frecuentes oscilan entre 0.2% a 0.8% del volumen del concreto. Las macrofibras más usadas son las sintéticas y las metálicas cuyos diámetros varían entre 0.05 mm a 2.00 mm. La relación de aspecto (L/d) de las macrofibras varía entre 20 a 100.



Diferentes tipos de macrofibras

Las macrofibras pueden ser metálicas (Tipo **SikaFiber® CHO 65/35**), sintéticas (Tipo **SikaFiber®Force PP/PE 700-55** y **SikaFiber® Force PP65**) o naturales.

Las dosificaciones en términos de peso varían así de acuerdo con la densidad del material, las fibras de acero requieren entre 20 a 50 kg/m<sup>3</sup> de concreto y las fibras sintéticas (polipropileno) entre 2 a 9 kg/m<sup>3</sup>. Las macrofibras actúan en estado endurecido, es decir antes de las 24 horas no tienen mayor efecto.

Las macrofibras se incluyen y mezclan en el concreto como si fuesen un agregado más, normalmente exigen un tiempo de mezclado adicional entre 3 a 5 minutos para garantizar su completa dispersión. Para las dosificaciones y volúmenes antes mencionados, las macrofibras metálicas o sintéticas no alteran la resistencia a la compresión y lo hacen de una manera muy leve (o despreciable) sobre las resistencias a la tensión y flexión.

Es oportuno preguntarnos **¿entonces las macrofibras para qué se usan?**

En realidad las macrofibras se incluyen en el concreto para aumentar la **tenacidad** del material, es decir para hacer que las estructuras, incluso después del agrietamiento de la matriz, puedan seguir siendo cargadas.

La tenacidad es una propiedad que describe de una manera más completa la capacidad de un material para soportar cargas antes de colapsar.

El ejemplo que puede ilustrar el concepto de tenacidad lo constituye un alambre y un caucho de la misma geometría (v.g. 10 cm de longitud). Si se toman los extremos de un caucho con dos dedos de cada mano y se separan las manos el caucho se tensiona, si les aplican más carga separando aun más las puntas, el caucho se tensiona un poco más, pero al mismo tiempo

su deformación crece increíblemente. Si se continua y separo aun mas los extremos (equivalente a la aplicación de una carga externa) el caucho se deforma aún mas. Si se tensiona al extremo y se estiran completamente los brazos, el caucho se deformará mucho más y el nivel de tensión crecerá en el también (es decir, al mismo tiempo crecen tensión y deformación).

Así el nivel de esfuerzo interno que alcanza el caucho al momento de la falla es bajo (la resistencia a la tensión del material es baja) pero la deformación ha sido gigantesca en este caso abriendo completamente los brazos.

Al repetir el mismo ejercicio con un alambre de iguales medidas, se aplicará la misma acción (o carga externa) es decir una fuerza equivalente que trata de estirar los brazos completamente, mientras se sujeta el alambre de ambos extremos. El alambre se tensionará igual pero en vez de permitir una gran deformación se resiste y convierte dicha acción en un esfuerzo interno creciente hasta que falla sin haberse deformado mas de 0.5 mm.

En este caso el esfuerzo interno en el material al momento de la falla es muy alto, pero la deformación es muy baja.

**¿Que material resistió más?** Si solo hablamos en términos de esfuerzo ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) sin duda el material mas resistente fue el acero, puesto que el caucho incrementó su nivel de esfuerzo lentamente (todo era deformación) y falló a un nivel muy bajo de tensión. Para el nivel de tensión que el caucho falló, el acero apenas si es exigido, sin embargo para llegar a ese nivel de esfuerzo, el caucho tuvo que deformarse mucho, había tenido lugar una enorme acción sobre el material (prácticamente los brazos estaban totalmente extendidos), eso hace que el caucho sea capaz de resistir cargas muy grandes sin fallar, puesto que las transforma en deformación. Es decir el caucho tiene una gran capacidad de “absorber” cargas externas sin fallar convirtiéndolas en deformación. El acero también tiene una enorme capacidad de “absorber” cargas sin fallar pero no las transforma principalmente en deformación sino en un esfuerzo interno que es capaz de soportar.

Así para describir un material y su capacidad de “absorber” cargas externas es necesario tener en cuenta simultáneamente la capacidad del mismo tanto para deformarse como para resistir el esfuerzo frente a la acción de dicha carga.

La propiedad que cuantifica la doble acción de deformación y capacidad de resistir un esfuerzo es la **tenacidad**, que es exactamente el producto de la resistencia y la deformación. En un plano cartesiano de Carga y Deformación es entonces el producto o el área bajo la curva. (Fig. 4 y 5)

Esto nos lleva a la vieja definición donde una fuerza aplicada (carga) por distancia (deformación) en un tiempo dado, es justamente Energía [ $F \times d / t$ ]. La tenacidad es la capacidad de absorción de energía de un material.<sup>[3]</sup>



El concreto fibroreforzado (con macrofibras) tiene una tenacidad muy superior al mismo concreto sin fibras. Sin embargo, si ambas matrices tienen la misma resistencia (prácticamente igual), para ser mas tenaz, el concreto fibroreforzado no le queda otra alternativa que deformarse más antes de la falla (hacer las veces un poco del caucho).

Esta deformación adicional con la que cuenta el concreto fibroreforzado, después del agrietamiento. Una vez la matriz del concreto se ha fisurado, el concreto sin fibra simplemente falla, colapsa (y la estructura también) es decir, no hay continuidad en la estructura y los pedazos pueden caer, como en el recubrimiento de concreto lanzado en un túnel o saltarse como en la placa de un piso.

Como vemos el concepto de falla en la estructura cambia. En un concreto no fibroreforzado la falla y colapso ocurren con la primera fisura principal; mientras que en un concreto microreforzado, la falla y colapso de la estructura tienen lugar mucho después de la aparición de la fisura principal.

El concreto fibroreforzado le permite a la estructura, después de la fisuración, continuar “absorbiendo” carga (ya sea de las llantas de una tractomula, la pata de una estantería, o el empuje de un terreno) sin colapsar. Le permite a la estructura continuar funcionando.

La Figura 4 expone la relación Carga vs. Deformación de cuatro placas que se cargan paulatinamente con un gato hidráulico cuya deformación se mide como la deflexión bajo el elemento en el centro de la luz.

Como puede verse la curva roja correspondiente a un concreto sin refuerzo falla definitivamente y la estructura colapsa para un nivel de carga y deformación dados (los más bajos del gráfico). En el caso del mismo concreto con  $3 \text{ kg}/\text{m}^3$  de macrofibra sintética (**SikaFiber®Force PP/PE 700-55**), la falla de la matriz

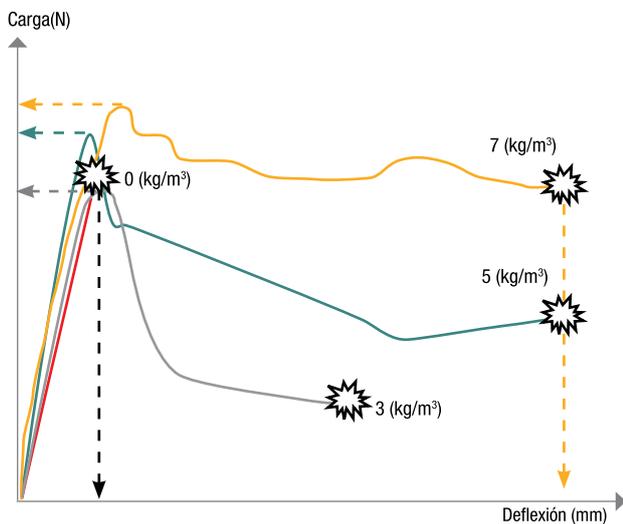


Figura 4.

(aparición de la primera grieta) tiene lugar al mismo nivel de carga pero la estructura libera la carga y la “absorbe” como una gran deflexión repentina (en el pistón del gato se libera igualmente la carga) y continúa funcionando. El pistón en esta curva gris continúa empujando pero el nivel de carga (esfuerzo) no se puede elevar porque se transforma principalmente en deformación hasta que el elemento colapsa (se separa).

Si al mismo concreto se le agrega 5 kg/m³ de macrofibra (**SikaFiber®Force PP/PE 700-55**), la aparición de la primera fisura tiene lugar a un nivel de carga similar a las anteriores; la primera absorción de energía importante tiene lugar (gran deflexión) y luego mantiene un alto nivel de esfuerzo deformándose hasta colapsar. Idéntico caso tiene lugar con 7 kg/m³ solo que la estructura luego de la primera fisura es capaz de seguir deformándose con un nivel de esfuerzo aún más alto. (Carga-Deflexión).

En términos de tenacidad podemos ver Figura 5 que el material más tenaz es el que contiene 7 kg/m³ puesto que es el que encierra la mayor área bajo la curva.

La tenacidad es una propiedad altamente apreciada en estructuras como pisos, pavimentos, recubrimientos de concretos lanzados en taludes y túneles, elementos expuestos a cargas altas en tiempos cortos (explosiones).

Algunos códigos (EN 14487) de diseño de concreto lanzado ya consideran la tenacidad (energía) en el diseño del recubrimiento (Grimstad-2002).

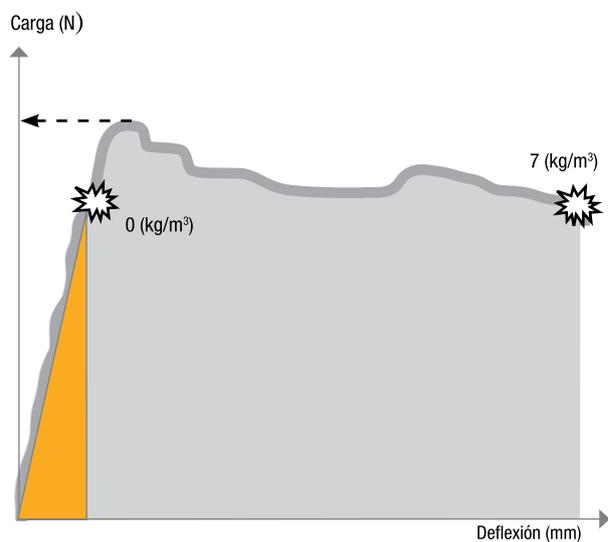


Figura 5. Tenacidad de concreto fibroreforzado y sin reforzar

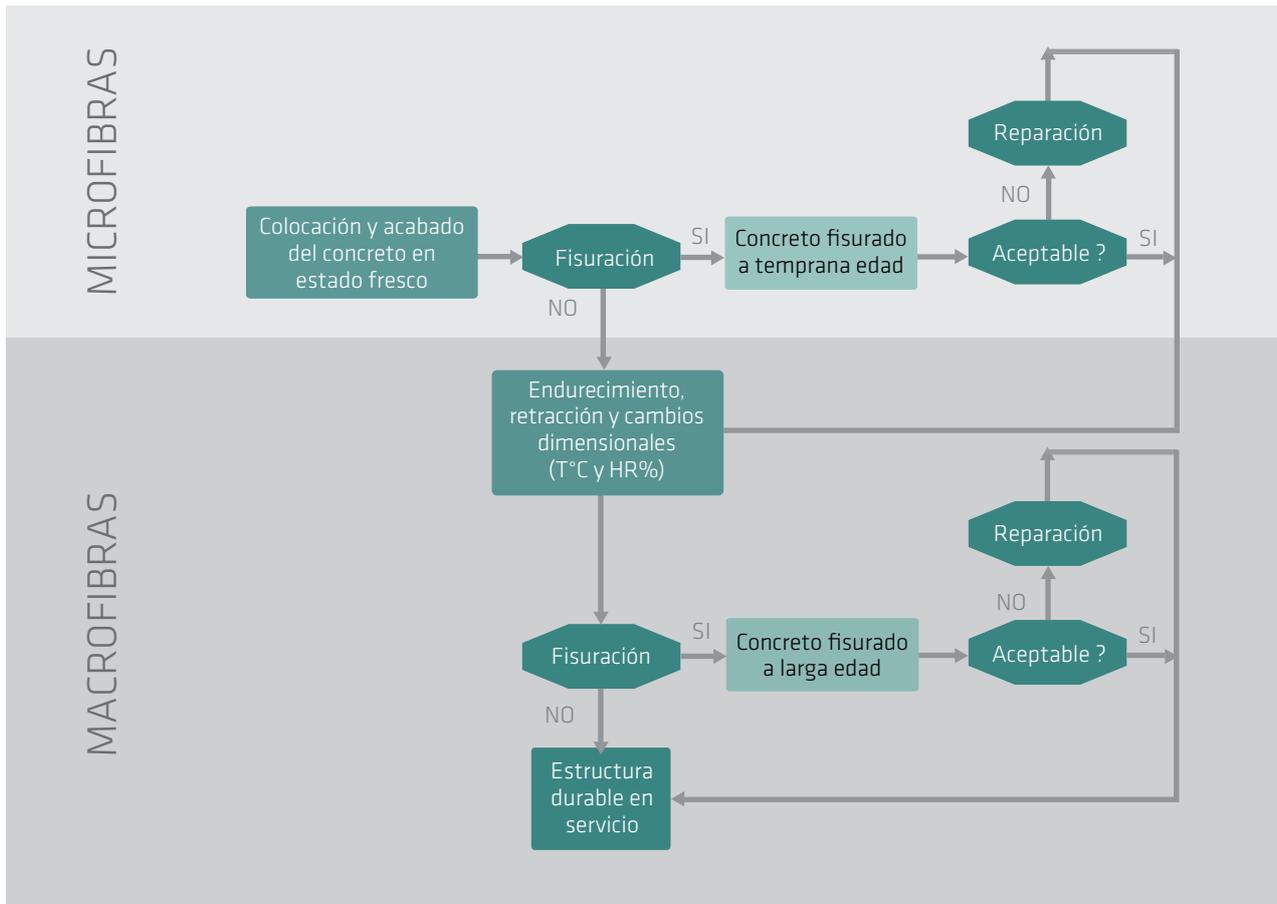
Los concretos con fibras son capaces de “absorber” enormes cantidades de energía y para cuantías de dosificación muy altas (> 1% del volumen) se usan como disipadores sísmicos (columnas con más de 100 kg/m³ de fibras metálicas o más de 10 kg/m³ de fibras sintéticas) que pueden actuar como “amortiguadores” en bases de edificaciones. Estas aplicaciones sin embargo no son las más frecuentes pero prometen aplicaciones nuevas y diversas para los próximos años.

Las fibras hoy en día se emplean en aplicaciones donde sus dosificaciones aumentan la tenacidad del material y reducen la tendencia a la fisuración tanto a primeras edades (**SikaFiber®AD**) como a larga edad (**SikaFiber®Force PP/PE 700-55**).



En la actualidad se emplean como un refuerzo secundario para reemplazar la malla electrosoldada en la mayoría de los casos.

## ¿EN DÓNDE ACTÚAN LAS FIBRAS?



# PRINCIPALES APLICACIONES

## PISOS Y PAVIMENTOS

Las microfibras (**SikaFiber®**, **SikaFiber®AD**) han encontrado su campo natural de uso y aplicación en estructuras donde la relación superficie/volumen es muy alta. De alguna forma si estamos interesados en “secar” concreto existen pocas configuraciones que sean mas eficientes para evaporar, diferentes a las de extender el material dándole un bajo espesor. Esto hace que pavimentos, pisos y morteros de nivelación sean estructuras muy susceptibles a fisurarse durante las primeras etapas de fraguado y endurecimiento.

Las microfibras a pesar de su baja dosis en masa (< 1 kg/m<sup>3</sup> de concreto) representan una verdadera dispersión de millones de fibras dentro de la matriz del concreto que absorben los microesfuerzos generados por la retracción plástica e impiden que nazca o se propague la fisuración. Entre más delgada sea la aplicación menos costosa será la inclusión por metro cuadrado y mas eficiente será su funcionamiento.

El uso de las microfibras no exige al constructor de curar el concreto (su costo por metro cuadrado puede ser similar), pero se constituye en un factor de seguridad adicional muy apreciado en la construcción.

Mindess et al<sup>[4]</sup>, a comienzo de la década reportaron en el caso de las microfibras, que el 60% de las aplicaciones de las fibras se emplean en placas sobre terreno como refuerzo secundario.

Las macrofibras en pisos y pavimentos reemplazan la malla electrosoldada que es colocada en el centro del espesor (otros autores prefieren localizarla en el centro del tercio superior), destinada a absorber los esfuerzos de temperatura y retracción en dichos elementos.

Las mallas electrosoldadas se han usado para resolver los esfuerzos secundarios en pisos y pavimentos. Sin embargo su almacenamiento, transporte y colocación (correcta!) ha sido una fuente de dificultades en las obras, por no mencionar la inversión en mano de obra y tiempo. Justamente para resolver estos inconvenientes las macrofibras logran reemplazar el efecto de la malla.

Las macrofibras en pisos y pavimentos previenen la aparición de fisuras a larga edad (en estado endurecido), si la fisuración tiene lugar impiden el incremento en el ancho de la misma, pero más importante aun permiten que la estructura continúe en servicio al aumentar su tenacidad. Este hecho multiplica la vida útil de la estructura.

### Tabla de equivalencias para SikaFiber®Force PP/PE 700-55 en placas sobre terreno.

Malla **5.250 kg/cm<sup>2</sup>**

FS **0.9**

**Fc (concreto) 210 kg/cm<sup>2</sup>**

CONCRETO 210 kg/cm<sup>2</sup> para aplicaciones comerciales y placas sobre terreno en aplicaciones industriales de carga moderada

|                          |     | Malla 15 cmx<br>15 cm<br>W 2.0 x W 2.0 | Malla 15 cmx<br>15 cm<br>W 2.9 x W 2.9 | Malla 15 cmx<br>15 cm<br>W 4.0 x W 4.0 | Malla 10 cmx<br>10 cm<br>W 1.4 x W 1.4 | Malla 10 cmx<br>10 cm<br>W 2.0 x W 2.0 | Malla 10 cmx<br>10 cm<br>W 2.9 x W 2.9 | Malla 10 cmx<br>10 cm<br>W 4.0 x W 4.0 | Barras #3<br>30 X 30 cm | Barras #3<br>45 X 45 cm | Barras #4<br>60 X 60 cm |
|--------------------------|-----|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Diámetro del<br>refuerzo |     | 4 mm                                   | 4.9 mm                                 | 5.8 mm                                 | 3.3 mm                                 | 4 mm                                   | 4.9 mm                                 | 5.8 mm                                 | 10 mm                   | 10 mm                   | 13 mm                   |
|                          |     | kg/m <sup>3</sup>                      | kg/m <sup>3</sup>       | kg/m <sup>3</sup>       | kg/m <sup>3</sup>       |
| Espesor de la Placa (cm) | 10  | 2.4                                    | 3.0                                    |                                        | 2.4                                    | 3.3                                    |                                        |                                        |                         | 3.2                     |                         |
|                          | 11  | 2.4                                    | 2.4                                    | 4.6                                    | 2.4                                    | 2.5                                    |                                        |                                        |                         | 2.4                     | 4.6                     |
|                          | 13  | 2.4                                    | 2.4                                    | 3.7                                    | 2.4                                    | 2.4                                    | 3.7                                    |                                        | 4.6                     | 2.4                     | 3.7                     |
|                          | 14  | 2.4                                    | 2.4                                    | 3.0                                    | 2.4                                    | 2.4                                    | 3.7                                    |                                        | 3.7                     | 2.4                     | 3.0                     |
|                          | 15  | 2.4                                    | 2.4                                    | 2.5                                    | 2.4                                    | 2.4                                    | 2.4                                    |                                        | 3.1                     | 2.4                     | 2.5                     |
|                          | 17  | 2.4                                    | 2.4                                    | 2.4                                    | 2.4                                    | 2.4                                    | 2.4                                    |                                        | 2.6                     | 2.4                     | 2.4                     |
|                          | 18  | 2.4                                    | 2.4                                    | 2.4                                    | 2.4                                    | 2.4                                    | 2.4                                    | 4.3                                    | 2.4                     | 2.4                     | 2.4                     |
|                          | 19  | 2.4                                    | 2.4                                    | 2.4                                    | 2.4                                    | 2.4                                    | 2.4                                    | 3.7                                    | 2.4                     | 2.4                     | 2.4                     |
| 20                       | 2.4 | 2.4                                    | 2.4                                    | 2.4                                    | 2.4                                    | 2.4                                    | 3.3                                    | 2.4                                    | 2.4                     | 2.4                     |                         |

<sup>[4]</sup>Mindess, S., Vondran, G., "Properties of Concrete Reinforced with fibrillated polypropylene fibers under impact loading". Cement and Concrete Research., V. 8, pp. 109-115.

**Fc (concreto) 280 kg/cm<sup>2</sup>**

**CONCRETO 280 kg/cm<sup>2</sup> para aplicaciones comerciales y placas sobre terreno en aplicaciones industriales de carga moderada**

|                          |     | Malla 15 cmx 15 cm<br>W 2.0 x W 2.0 | Malla 15 cmx 15 cm<br>W 2.9 x W 2.9 | Malla 15 cmx 15 cm<br>W 4.0 x W 4.0 | Malla 10 cmx 10 cm<br>W 1.4 x W 1.4 | Malla 10 cmx 10 cm<br>W 2.0 x W 2.0 | Malla 10 cmx 10 cm<br>W 2.9 x W 2.9 | Malla 10 cmx 10 cm<br>W 4.0 x W 4.0 | Barras #3<br>30 X 30 cm | Barras #3<br>45 X 45 cm | Barras #4<br>60 X 60 cm |
|--------------------------|-----|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Diámetro del refuerzo    |     | 4 mm                                | 4.9 mm                              | 5.8 mm                              | 3.3 mm                              | 4 mm                                | 4.9 mm                              | 5.8 mm                              | 10 mm                   | 10 mm                   | 13 mm                   |
|                          |     | kg/m <sup>3</sup>                   | kg/m <sup>3</sup>       | kg/m <sup>3</sup>       | kg/m <sup>3</sup>       |
| Espesor de la Placa (cm) | 10  | 2.4                                 | 3.0                                 |                                     | 2.4                                 | 3.3                                 |                                     |                                     |                         | 3.2                     |                         |
|                          | 11  | 2.4                                 | 2.4                                 | 4.6                                 | 2.4                                 | 2.5                                 |                                     |                                     |                         | 2.4                     | 4.6                     |
|                          | 13  | 2.4                                 | 2.4                                 | 3.7                                 | 2.4                                 | 2.4                                 | 3.7                                 |                                     | 4.6                     | 2.4                     | 3.7                     |
|                          | 14  | 2.4                                 | 2.4                                 | 3.0                                 | 2.4                                 | 2.4                                 | 3.7                                 |                                     | 3.7                     | 2.4                     | 3.0                     |
|                          | 15  | 2.4                                 | 2.4                                 | 2.5                                 | 2.4                                 | 2.4                                 | 2.4                                 |                                     | 3.1                     | 2.4                     | 2.5                     |
|                          | 17  | 2.4                                 | 2.4                                 | 2.4                                 | 2.4                                 | 2.4                                 | 2.4                                 |                                     | 2.6                     | 2.4                     | 2.4                     |
|                          | 18  | 2.4                                 | 2.4                                 | 2.4                                 | 2.4                                 | 2.4                                 | 2.4                                 | 4.3                                 | 2.4                     | 2.4                     | 2.4                     |
|                          | 19  | 2.4                                 | 2.4                                 | 2.4                                 | 2.4                                 | 2.4                                 | 2.4                                 | 3.7                                 | 2.4                     | 2.4                     | 2.4                     |
| 20                       | 2.4 | 2.4                                 | 2.4                                 | 2.4                                 | 2.4                                 | 2.4                                 | 3.3                                 | 2.4                                 | 2.4                     | 2.4                     |                         |

**Fc (concreto) 350 kg/cm<sup>2</sup>**

**CONCRETO 350 kg/cm<sup>2</sup> para aplicaciones comerciales y placas sobre terreno en aplicaciones industriales de carga moderada**

|                          |     | Malla 15 cmx 15 cm<br>W 2.0 x W 2.0 | Malla 15 cmx 15 cm<br>W 2.9 x W 2.9 | Malla 15 cmx 15 cm<br>W 4.0 x W 4.0 | Malla 10 cmx 10 cm<br>W 1.4 x W 1.4 | Malla 10 cmx 10 cm<br>W 2.0 x W 2.0 | Malla 10 cmx 10 cm<br>W 2.9 x W 2.9 | Malla 10 cmx 10 cm<br>W 4.0 x W 4.0 | Barras #3<br>30 X 30 cm | Barras #3<br>45 X 45 cm | Barras #4<br>60 X 60 cm |
|--------------------------|-----|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Diámetro del refuerzo    |     | 4 mm                                | 4.9 mm                              | 5.8 mm                              | 3.3 mm                              | 4 mm                                | 4.9 mm                              | 5.8 mm                              | 10 mm                   | 10 mm                   | 13 mm                   |
|                          |     | kg/m <sup>3</sup>                   | kg/m <sup>3</sup>       | kg/m <sup>3</sup>       | kg/m <sup>3</sup>       |
| Espesor de la Placa (cm) | 10  | 2.4                                 | 3.1                                 |                                     | 2.4                                 | 3.4                                 |                                     |                                     |                         | 3.3                     |                         |
|                          | 11  | 2.4                                 | 2.4                                 |                                     | 2.4                                 | 2.6                                 |                                     |                                     |                         | 2.5                     |                         |
|                          | 13  | 2.4                                 | 2.4                                 | 3.9                                 | 2.4                                 | 2.4                                 | 4.6                                 |                                     | 4.7                     | 2.4                     | 3.9                     |
|                          | 14  | 2.4                                 | 2.4                                 | 3.2                                 | 2.4                                 | 2.4                                 | 3.8                                 |                                     | 3.9                     | 2.4                     | 3.2                     |
|                          | 15  | 2.4                                 | 2.4                                 | 2.6                                 | 2.4                                 | 2.4                                 | 2.4                                 |                                     | 3.2                     | 2.4                     | 2.6                     |
|                          | 17  | 2.4                                 | 2.4                                 | 2.4                                 | 2.4                                 | 2.4                                 | 2.4                                 |                                     | 2.7                     | 2.4                     | 2.4                     |
|                          | 18  | 2.4                                 | 2.4                                 | 2.4                                 | 2.4                                 | 2.4                                 | 2.4                                 | 4.5                                 | 2.4                     | 2.4                     | 2.4                     |
|                          | 19  | 2.4                                 | 2.4                                 | 2.4                                 | 2.4                                 | 2.4                                 | 2.4                                 | 3.9                                 | 2.4                     | 2.4                     | 2.4                     |
| 20                       | 2.4 | 2.4                                 | 2.4                                 | 2.4                                 | 2.4                                 | 2.4                                 | 3.4                                 | 2.4                                 | 2.4                     | 4.7                     |                         |

NOTAS:

- Los valores representan las dosis de fibras basadas en un esfuerzo de fluencia (fy), donde fy= 5250 Kg/cm<sup>2</sup> para la malla y 4200 Kg/cm<sup>2</sup> para las barras.
- El refuerzo se asume a la mitad del espesor de la placa.
- El espaciamiento en las juntas de retracción debe seguir las guías del ACI ( ver ACI 302 y ACI 360 ).
- El espesor de la placa debe estar basada en los requerimientos del diseño del ACI y la PCA para placas de contrapiso.
- La dosis mínima de **SikaFiber®Force PP/PE 700-55** es de 2.4 Kg/m<sup>3</sup> y máxima de 5 Kg/m<sup>3</sup>. (Para cantidades fuera de este rango consulte con el Departamento Técnico de Sika Colombia).
- Los valores que están en blanco en la tabla están basados en los valores de esfuerzo residual promedio de la ASTM C 1399
- Para placas de un espesor mayor a 20 cm consulte el Departamento Técnico de Sika Colombia.

**No especifique SikaFiber®Force PP/PE 700-55 para:**

- Incrementar el espaciamiento mas allá de las guías del ACI o del PCA
- Reemplazar acero de refuerzo para niveles estructurales

## PREFABRICADOS

Para elementos prefabricados cuyas dimensiones y espesores están optimizadas, las fibras han sido desde la década de los setenta un elemento común. El transporte, la colocación de estos elementos hacen que sean susceptibles a desportillamientos, agrietamientos y descascamientos. Las fibras (micro y macro) en estos casos resultan muy útiles debido a que el agrietamiento de los elementos se reduce y si tiene lugar, le permiten a la unidad continuar funcionando sin desecharla.

En el caso particular de elementos aligerados de bajas densidades, las microfibras se han usado históricamente para disminuir su fisuración en estado fresco pero también para mejorar el monolitismo del material y hacerlo menos "frágil", es decir para aumentar su capacidad de deformación, hacerlo más "dúctil" antes de que se produzca la falla.

Las aplicaciones de fibras en tuberías, vigas, prelosas, micro como macro son un hecho cotidiano puesto que le permiten a dichos elementos eliminar o convivir con la fisuración. Las fibras de asbesto empleadas en la fabricación de elementos tan esbeltos como tejas o láminas, se usaron durante muchos años hasta que surgieron inquietudes acerca de consideraciones de salud por la presencia de este material.

Hoy en día las fibras de polipropileno, nylon, polietileno, metal etc, que son inocuas frente a la salud humana, se emplean con fines similares en la producción de prefabricados. Tanto en la prefabricación pesada (pilotes, postes, dovelas, vigas) como en la prefabricación liviana (ladrillos, láminas, etc).

Elementos de prefabricación pesada como dovelas para túneles hechos con TBM, han incorporado macrofibras para reemplazar parte del acero secundario, aumentando los volúmenes de producción.



## CONCRETO LANZADO

Al igual que en pisos y pavimentos en concreto lanzado las macrofibras sustituyen la malla electrosoldada, que en este caso se constituye en parte de la ruta crítica de un ciclo de excavación. Los tiempos de ahorro que representan eliminar la colocación y fijación de la malla justifican ampliamente la diferencia en costo por metro cuadrado del material colocado.

Sin embargo más allá del aumento en el rendimiento de excavación, el uso de las fibras como refuerzo permite un ahorro muy importante en la cantidad de concreto lanzado debido a que pueden seguirse estrictamente los espesores del concreto colocado (Ver Fig. 6).

La condición de seguir estrictamente el perfil de la excavación sin preocuparse por el cubrir (sepultar) la malla, no solo se convierte en un ahorro evidente de material sino al mismo tiempo en un ahorro de tiempo.



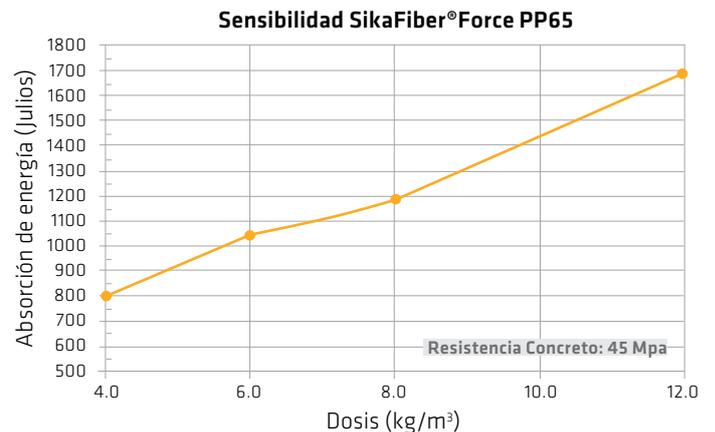
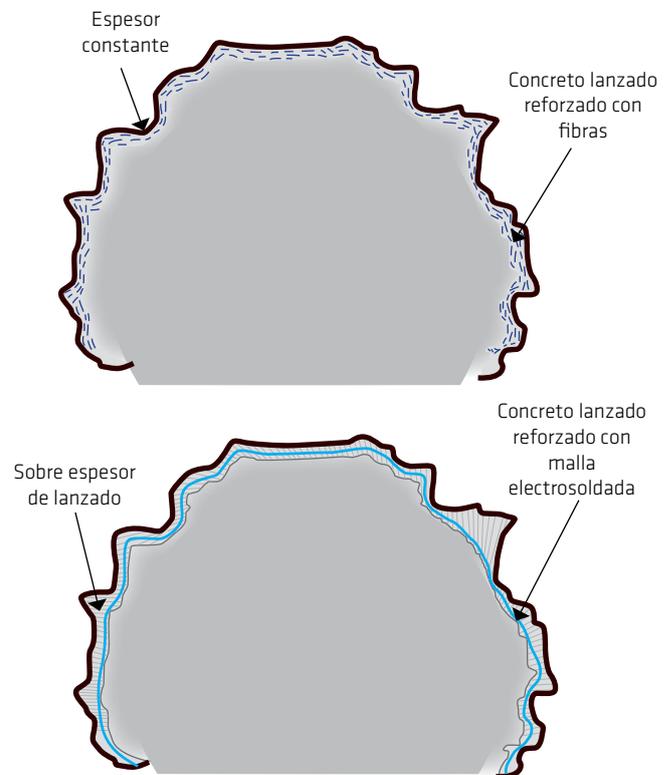
Ensayo EFNARC para determinar la absorción de energía en concreto lanzado. EN (14488-5) ver normas actuales que rigen el empleo de las fibras pág.26

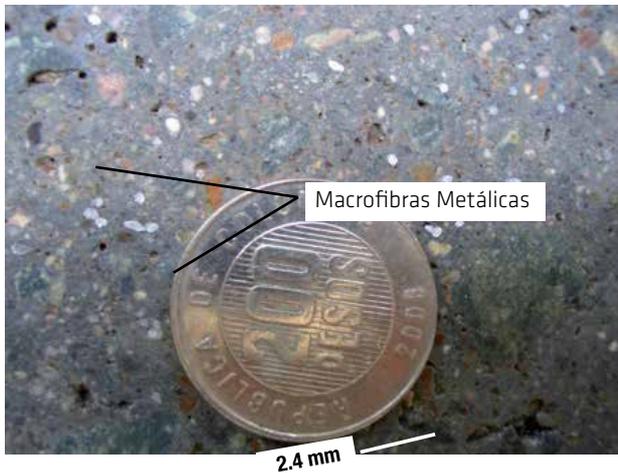


Interior de la falla, nótese las fibras perpendiculares al plano de falla cuyo anclaje se perdió.

El interés de cualquier constructor de túneles es disminuir la excavación al máximo y sin duda el control de espesores es un capítulo de vital interés en la concepción y construcción de estas obras subterráneas.

Las macrofibras metálicas o sintéticas (**SikaFiber® CHO 65/35, SikaFiber® Force PP65**) han sido profusamente usadas en el mundo como refuerzo en el concreto lanzado para todas las aplicaciones (taludes, túneles, reparación, reforzamiento etc).





Fibra metálica en concreto lanzado rodeada completamente por la matriz del concreto.



Prueba de resistencia al fuego de paneles de concreto reforzado con fibras <sup>[6]</sup>

En aplicaciones hidráulicas las fibras sintéticas han logrado una acogida importante debido a que no se oxidan<sup>[5]</sup>, ni generan residuos de óxido que en algunas ocasiones manchan la superficie del concreto.

Particularmente en aplicaciones tuneleras, las microfibras de polipropileno, han demostrado una ventaja adicional que va más allá del comportamiento mecánico del material, la resistencia al fuego.

Los incendios en un túnel corresponden probablemente a una de las situaciones de riesgo más complejas para este tipo de estructuras debido a la difícil renovación del aire, a la acumulación de calor y al hecho de que el concreto a partir de cierta temperatura (350 °C dependiendo de la porosidad y la humedad presente en el material), empieza a “disparar” a gran presión trozos superficiales de material.

Los catastróficos incendios ocurridos en el túnel del Gran Cinturón en Dinamarca (1994), en el túnel bajo la Mancha (1996) y el de Dartfort (1999) entre otros, obligaron a la construcción a buscar alternativas que hiciesen estas estructuras más seguras.

Las microfibras específicamente de polipropileno en dosificaciones de 1 kg/m<sup>3</sup> de concreto han demostrado una disminución o eliminación del descascaramiento explosivo de la superficie del concreto, debido a que a una temperatura de 160 °C el material se funde y permite al vapor atrapado al interior del material salir al exterior eliminando o disminuyendo las presiones que genera este vapor al interior del material.



<sup>[5]</sup> Aunque esta oxidación se ha demostrado solo es superficial.

<sup>[6]</sup> Tatnall P. (2002) “Shotcrete in Fires: Effects of fibers on explosive spalling” Shotcrete ASA, Fall p10-12.

## CONCRETOS RESISTENTES A EXPLOSIONES

Todas las explosiones funcionan bajo un mismo principio. Un material inestable líquido o sólido se expande dentro de un gas en un lapso de tiempo extremadamente corto (milisegundos), de modo que ocupa un volumen entre cientos a miles de veces mayor de su volumen original. Los gases empujados por la explosión impactan la atmosfera alrededor del punto de detonación creando un importante y muy rápido frente de presión, algunos llaman este frente, onda de choque.

Esta sorpresiva y extremadamente rápida carga impacta las estructuras y materiales con una magnitud que depende de la distancia y claro, del tamaño de la detonación.

Un elemento de concreto al recibir este tipo de cargas (dinámicas y cíclicas) podría evitar colapsar apelando tanto a su capacidad de resistencia mecánica como a su capacidad de deformación. Ambas respuestas (generación de esfuerzos internos y generación de deformaciones) absorben la energía (carga\*distancia/tiempo) de esta súbita carga hasta sus límites. Un concreto reforzado de la manera convencional cederá fácilmente el concreto de recubrimiento y aun más material dependiendo de la magnitud de la explosión. Esto se debe justamente a que la capacidad de deformación del concreto en general es muy limitada (v.g. 0.02%), un concreto reforzado con fibras le permite al material llegar a su máxima resistencia a la tensión fallar y seguir funcionando deformandose (fisurado) de modo que el elemento no colapsa.

Una vez más se aprovecha el incremento en la tenacidad del material para mejorar la resistencia del mismo en la fase post-fisuración.

Los depósitos de explosivos o polvorines, las estructuras que pueden ser susceptibles a ataques externos, tanto de explosiones como de proyectiles suelen incorporar fibras (macrofibras) a la composición del concreto mejorando la resistencia al impacto del material.

La figura 7<sup>[7]</sup> expone la relación Carga vs. Deflexión de una viga sometida a impacto (a diferentes velocidades). La figura muestra que a la misma velocidad de carga  $1 \times 10^{-6}$  microdeformaciones/segundo, el concreto reforzado con fibras (volumen de 1.5%) de acero no solo fue capaz de deformarse mas antes de la primera fisura (de 75  $\mu\text{m}$  a 150  $\mu\text{m}$ ) sino que a su vez su resistencia a la primera fisura se multiplicó por un factor cercano a 1.5 (de 1500 N a 2300 N). Igualmente el comportamiento después de fisuración es muy superior al concreto que no cuenta con las fibras, la tenacidad y la absorción de energía se incrementan de una forma dramática.

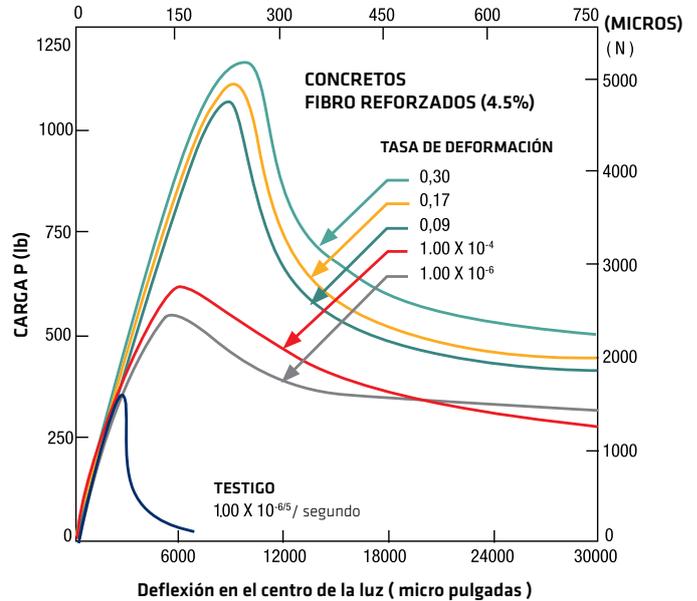


Figura 7. Relación Carga vs. Deflexión de una viga sometida a impacto (a diferentes velocidades)

A medida que se aumenta la velocidad de carga, la resistencia dinámica del concreto reforzado con fibras aumenta en más de un 100% y su capacidad de absorción de energía con ella hasta en un 70% para la velocidad más alta de 300.000 microdeformación/seg (0.3).

Las fibras son un refuerzo tridimensional cuya repartición es aleatoria y le permiten a la carga atacar la estructura en cualquier dirección sin que tenga que estar direccionado en un plano como el uso del refuerzo convencional.



<sup>[7]</sup>Gopalratnam V.S. Shah S.P (1986) "Properties of steel fiber reinforced concrete subjected to impact load" ACI Materials Journal, January, February, pp.117-126

## CONCRETOS DE ULTRA-ALTA RESISTENCIA

Los concretos de ultra-alta resistencia o concretos de polvo reactivos son aquellos cuya resistencia se encuentra entre  $1200 \text{ kg/cm}^2$  a  $1800 \text{ kg/cm}^2$ . Estos concretos de resistencias extremas al fallar lo hacen de una manera explosiva puesto que su capacidad de deformación es baja (son frágiles), si se considera que sus módulos elásticos están por encima de los  $500.000 \text{ kg/cm}^2$ .

El uso de fibras en los concretos de polvos reactivos elimina la falla súbita y le confiere al material una mayor ductilidad. Las fibras que se emplean en los concretos de ultra alta resistencia o BPR (Béton des Poudres Reactives) tienen en general una longitud entre 4 mm y 15 mm con un diámetro cercano a 0.2 mm de acero de alto carbono. La cantidad es muy superior a la empleada para aplicaciones normales considerando que por metro cúbico de concreto se utilizan cuantías cercanas a los  $160 \text{ kg/m}^3$ , es decir para un volumen aproximado del 2%. Para semejantes niveles de dosificación las fibras tienen un aporte importante tanto en la resistencia a la flexión, como a la compresión y corte<sup>[8]</sup>



Falla de concreto de ultra alta resistencia, sin fibras



Falla de concreto de ultra alta resistencia, con fibras



Prueba a la flexión de concreto con fibras para un Módulo de Ruptura de  $200 \text{ kg/cm}^2$ .

[8] Hermida G., Garzón O., Lamilla G. (2006) "Concreto de 190 MPa (27685 psi) nuevo record de resistencia en Colombia" Boletín del ACI #7 pp.4-9.

# MITOS Y LEYENDAS ALREDEDOR DE LAS FIBRAS EN EL CONCRETO

LAS FIBRAS INCLUIDAS EN UN MORTERO O EN UN CONCRETO TANTO COMO MICRO O MACROREFUERZO, HAN GENERADO UNA SERIE DE CREENCIAS QUE SE HAN CONVERTIDO EN COMPLEJAS CONFUSIONES O MALINTERPRETACIONES. EL SIGUIENTE RÁPIDO CONTRAPUNTEO ACLARA ALGUNOS DE ESTOS MITOS.

## MICROFIBRAS

### 1. Las microfibras disminuyen la retracción del concreto (en estado plástico como endurecido).

No lo hacen, incluso pueden aumentarla, sin embargo lo que hacen es absorber los esfuerzos internos que estos cambios dimensionales provocan y minimizan o eliminan la fisuración.

### 2. Las microfibras previenen las fisuras a largo plazo en el concreto.

No lo hacen, su principal acción tiene lugar en estado plástico o hasta pocas horas después del fraguado final. Estas fibras evitan o disminuyen las fisuras por retracción plástica, no las generadas por retracción a largo plazo la misma que obliga a hacer juntas en pavimentos y pisos. Las microfibras no influyen así sobre la existencia o espaciamiento de las juntas.

### 3. Disminuyen la manejabilidad y/o la trabajabilidad del concreto.

Esta idea está relacionada con el hecho de que en el cono de Abrams disminuye el asentamiento. En realidad un concreto fibroreforzado (CFR), se "rasga" al efectuar la medida de asentamiento. Este ensayo no es adecuado para calificar la trabajabilidad de un CFR, por ello se han diseñado otros (como el cono invertido con vibrador- ASTM C 995), claro con menos éxito y menos conocidos. Sin embargo si bien es cierto que la mezcla se "amarrá" no es más difícil colocarla y consolidarla dentro del encofrado, un poco de energía y fluirá igual que el mismo concreto, el CFR aumenta su valor de "cohesión" o "flujo" para salir del reposo y fluir. Aunque claro existen

fibras especialmente adicionadas que eliminan este efecto y fluyen igual en la prueba del cono de Abrams facilitando el control de calidad y pasar el examen de un supervisor.

### 4. Reemplazan la malla electrosoldada.

Las microfibras no reemplazan la malla electrosoldada, diseñada como refuerzo secundario para asumir, en estado endurecido esfuerzos generados por retracción, temperatura y cambios en la humedad dentro de un elemento de concreto.

### 5. Reemplazan el curado.

No. Si bien es cierto que en caso de ausencia de éste minimizan o eliminan la fisuración temprana, el curar tiene un efecto hidratante sobre la superficie que la sella contra gases y líquidos. El curado y las microfibras se complementan.

### 6. Aumentan la resistencia a la abrasión.

Las microfibras no están diseñadas ni se usan con esa intención y en realidad no lo hacen.

## MACROFIBRAS

### 7. Se deben dosificar y comparar por peso los diferentes tipos de macrofibras.

En realidad para comparar fibras de materiales muy diferentes (acero, polipropileno, nylon, vidrio, carbono etc) lo mejor es contemplar el volumen de dosificación no su masa. Así 40 kg de fibra de acero (densidad 7.8 kg/L) ocupan por m<sup>3</sup> de concreto un volumen de 5.1 L/m<sup>3</sup>. Las fibras de polipropileno (densidad 0.91 kg/L) necesitan entonces apenas 4.65 kg/m<sup>3</sup> para ocupar el mismo volumen.

En ambos casos tendrían así una dosificación similar (relación de densidades). Aunque en realidad las dosis equivalentes no son estrictamente la relación de densidades, si se le aproximan (Acero/polipropileno = 7.8/0.91 = 8.6 veces).

### 8. Aumentan la resistencia a la flexión... y a la compresión si son metálicas.

Ni lo uno ni lo otro, cuando se dosifican en los rangos usuales para pisos y concretos lanzados (0.2% al 0.8% del volumen del concreto). Lo que falla es la matriz del concreto, la pasta de cemento.

### 9. Reemplazan el acero estructural.

Una vez más a las dosis usuales empleadas no reemplazan el acero estructural, como las barras de acero a flexión.

### 10. No pueden reemplazar ningún refuerzo.

No es cierto, las macrofibras han demostrado (a las dosis de entre 0.2% a 0.8%) que pueden reemplazar el efecto de la malla electrosoldada empleada en pisos y concreto lanzado para asumir los esfuerzos de retracción y temperatura. Las macrofibras reemplazan este refuerzo secundario (cuantías inferiores al 0.4%), con un desempeño más eficiente que la misma malla electrosoldada debido a que es un refuerzo tridimensional que permite proteger el elemento en todas las direcciones.

### 11. Las macrofibras no actúan sino luego de la fisuración.

En buena parte es cierto, la capacidad de retardar la aparición de una fisura es muy limitada, solo que después de que ha tenido lugar no permiten que se con-

tinúe abriendo. Así por un lado el patrón de fisuración (por retracción y temperatura) es el de muchas microfisuras (no el de una gran discontinuidad) que no se abren. Definitivamente el efecto más importante de las macrofibras tiene lugar post-fisuración donde continúan transmitiendo los esfuerzos en el elemento y limitan el crecimiento del ancho de la misma.

**12. Las fibras sintéticas tienen un desempeño inferior a las metálicas.**

No es cierto, las sintéticas alcanzan y pueden superar la capacidad de disipación de energía de las metálicas especialmente en altas deformaciones. Igualmente pueden lograr niveles de tenacidad más altos que las metálicas, para costos similares. Por otro lado, no desgastan los equipos, no se corren (mayor tiempo y facilidad de almacenamiento) y protegen mejor el concreto frente al fuego.

**13. Las fibras no pueden aumentar la resistencia a la compresión, flexión o corte.**

Si pueden hacerlo para cuantías de por lo menos que triplican las mas altas usadas actualmente (>1.5%) que implican otro tipo de dificultades... como mezclar dichos concretos! Aunque en el caso de resistencia al corte si pueden obtenerse algunos incrementos sin llegar a tan altas dosificaciones.

**14. Lo más importante es garantizar que el material que constituye la fibra sea el más resistente posible.**

No es cierto, si bien es importante que el material de la fibra tenga una resistencia a la tensión y corte mayores a las de la pasta de cemento entre la que se halla inmersa, lo más importante en una fibra es su capacidad de anclaje o adherencia a dicha pasta.

**15. Las macrofibras aumentan la permeabilidad del concreto.**

Al contrario, podría decirse que la disminuyen porque su función es justamente la de prevenir la aparición de fisuras pero sobre todo restringir el ancho de la fisura, que está justamente al cuadrado con el caudal que pasa.

**16. No se pueden combinar las microfibras con las macrofibras.**

Al contrario, son una excelente mezcla para evitar la fisuración en estado fresco (micro) y para limitar las de estado endurecido (macro).

**17. Es muy difícil cortar las juntas en pisos reforzados con macrofibras.**

Hay que tener claro mas cuidado, sobre todo en el caso de las metálicas y llevar el disco no a 1/4 del espesor sino ojalá a 1/3 del mismo.

**18. No se puede incrementar el espaciamiento entre juntas con las macrofibras.**

Si se puede (ACI 302) sobre todo en espacios interiores.

**19. Las macrofibras sólo se pueden usar en losas sobre terreno.**

No es cierto, el lanzado es la mejor prueba de la espacialidad de dicho refuerzo, hoy en día ya reemplazan refuerzos secundarios en losas aéreas.

**20. Las macrofibras solo aumentan la tenacidad del concreto.**

No, las contribuciones a la resistencia a la fatiga (cargas cíclicas) y al impacto son muy importantes (>50%) para las dosis de macrofibras de entre 0.2% a 0.8% del volumen del concreto.

**21. Las macrofibras son refuerzo picado o en trozos que puedo bombear junto con el concreto.**

El análisis estructural no puede ver la fibra calculando la cuantía de área acero de fibra por unidad de área de concreto, la aproximación al refuerzo es completamente diferente, de allí a que sean empleadas como refuerzo secundario.

# NORMAS ACTUALES QUE RIGEN EL EMPLEO DE LAS FIBRAS

## **ASTM C 1399 “Método de ensayo para determinar el esfuerzo residual promedio del concreto reforzado con fibra”**

Esta norma es usada sobre todo para diseño de pisos en donde se determina el esfuerzo residual promedio (post fisuración) luego de prefisurar de manera controlada una viga de concreto fibroreforzado. No requiere una máquina de falla controlada por la deflexión de la viga. (Circuito cerrado).

## **ASTM C 1609 “Método de ensayo para determinar el desempeño del concreto reforzado con fibra (Usando una viga cargada en los tercios)”**

Este ensayo similar al descrito en la ASTM C 1399 no emplea una platina de apoyo sobre la cual prefisurar el material, la deformación post fisuración es medida gracias a que la aplicación de la carga es controlada por la deflexión del espécimen.

## **EN 14488-3 “Ensayos sobre concreto lanzado- Parte 3: Resistencias a la flexión (Determinación de la resistencia al primer pico, del último y de la resistencia residual) de vigas de concreto reforzado con fibras”**

Este ensayo corresponde al tercero de los procedimientos sobre concreto lanzado descrito por la norma EN 14488, tiene como limitación que requiere una vez más que la carga de la máquina sea controlada por la medida de la deflexión a medida que se carga una viga cargada en los tercios.

## **EN 14488-5 “Ensayos sobre concreto lanzado- Parte 5: Determinación de la capacidad de absorción de energía de una placa de concreto reforzado con fibras”**

Esta norma expone el ensayo original de absorción de energía EFNARC, que obtiene sobre un espécimen cuadrado sobre el que una curva Carga vs. Deflexión a partir de la cual se calcula un valor de energía.

## **ASTM C 1550 “Método de ensayo para determinar la tenacidad a flexión del concreto reforzado con fibras (usando una carga central sobre un panel redondo)”**

Este ensayo de origen australiano, es el equivalente a la norma EFNARC 14488-5, solo que hay una mejor distribución de la carga, un espécimen circular apoyado en tres puntos no restringidos y el panel cuenta con un espesor de 75 mm.

## **EN 14889-1 “Fibras para concreto- Parte 1- Fibras de acero- Definición, especificaciones y conformidad.”**

Al igual que la parte 2 (sintéticas) esta norma europea establece las definiciones de los diferentes grupos de fibras de acero (I-V) de acuerdo a su proceso de fabricación. Define y enumera las propiedades más importantes de las fibras, así como sus tolerancias.

## **EN 14889-2 “Fibras para concreto- Parte 2- Fibras de polímeros o sintéticas- Definición, especificaciones y conformidad.”**

Esta norma europea define cuatro tipos de fibras (Clase I, II, III y IV) dependiendo de la función para la cual están destinadas. Establece igualmente las variaciones aceptables en dimensionales como en las propiedades en las fibras. Define la relación de aspecto (diámetro/longitud) y para las fibras con sección diferente a la circular permite el cálculo de un diámetro equivalente con la siguiente expresión:

$$D_c = \sqrt{\frac{4m_f 10^6}{\pi L_0 \rho}}$$

donde,

$D_e$  = diámetro equivalente (mm).

$m_f$  = masa de la fibra (g).

$L_0$  = Longitud de desarrollo de la fibra (mm).

$\rho$  = densidad de la fibra (g/cm<sup>3</sup>)

Entendiendo la longitud de desarrollo como la longitud de la fibra luego de ser estirada y puesta en línea recta (para fibras onduladas por ejemplo) sin deformar la sección transversal.

## **EFNARC “European Specification for Sprayed Concrete” [www.efnarc.org](http://www.efnarc.org)**

La asociación EFNARC se fundó en 1989 para establecer el estado del arte sobre el concreto lanzado. Este documento describe diferentes tipos de ensayos para evaluar el concreto reforzado con fibras. Sin embargo el mas celebre de ellos se constituye en el ensayo para determinar la capacidad de absorción de energía de una placa cuadrada de concreto lanzado reforzado con fibras. El documento describe el principio de este ensayo (sin entrar en mayores detalles) y establece unas categorías de desempeño de acuerdo al resultado obtenido. Así los concretos lanzados reforzados con fibras de acuerdo a esta metodología se clasifican en Tipo A, B y C para una capacidad de absorción de energía ascendente (500 julios, 700 julios y 1000 julios).

## **NTC 5214 “Fibras de acero para refuerzo de concreto” (ASTM A 820)**

Equivalente a la ASTM A 820 define las propiedades y especificaciones, de las fibras de acero destinadas a ser usadas en concreto.

## **NTC 5541 “Concretos reforzados con fibras” (ASTM C 1116)**

Constituye en la norma general de fibras, con las definiciones y clases generales de reforzamiento con fibras. Igualmente lista las propiedades del concreto modificadas por la inclusión de las fibras. Así como señala las recomendaciones de mezclado, transporte y manipulación de un concreto reforzado con fibras. Establece igualmente las tolerancias de variación sobre las propiedades más importantes de los concretos reforzados con fibras.

#### **NTC 5721 “Método de ensayo para determinar la capacidad de absorción de energía (Tenacidad) de concreto reforzado con fibras” (EFNARC)**

Esta norma describe en detalle el procedimiento de ensayo mencionado en las “Especificaciones para Contratistas” de la EFNARC, donde se mide sobre una placa cuadrada de 100 mm de espesor y 600 mm de lado la tenacidad del concreto reforzado con fibra.

Su aplicación principal se encuentra sin duda sobre el concreto lanzado. El ensayo se concentra en determinar la curva Carga vs. Deflexión de estas probetas provenientes de campo, constituyéndose en un ensayo sobre un elemento de similares dimensiones que la estructura misma. Esta norma permite evaluar no solamente el cumplimiento frente a una especificación sino además comparar el desempeño entre diferentes tipos de fibras.

#### **IIS-SF4. “Método de ensayo para determinar la tenacidad de concreto reforzado con fibra”**

Este ensayo se efectúa sobre la viga simplemente apoyada sobre la que determina el parámetro  $R_{E,3}$  resistencia residual a 3 mm de deflexión. Parámetro muy usado en el diseño de pisos.

#### **BIBLIOGRAFIA**

- BATAI Z., MCINTYRE M.**, Application of Fibrillated Polypropylene Fibers for Restraint of Plastic Shrinkage Cracking in Silica Fume Concrete, ACI Materials Journal July-August 2002.
- GOPALARATNAM V.S. SHAH S.P.** (1986) “Properties of steel fiber reinforced concrete subjected to impact load” ACI Materials Journal, January, February. pp.117-126.
- HERMIDA G., GARZÓN O., LAMILLA G.** (2006) “Concreto de 190 MPa (27685 psi) nuevo record de resistencia en Colombia” Boletín del ACI #7 pp.4-9.
- MINDESS, S., VONDRAN, G.**, “Properties of Concrete Reinforced with fibrillated polypropylene fibers under impact loading”. Cement and Concrete Research, V. 8, pp. 109-115.
- TATNALL P.** (2002) “Shotcrete in Fires: Effects of fibers on explosive spalling” Shotcrete ASA, Fall p10-12.
- TROTTIER, J. F., MAHONEY, M.**, y Forgeron D. “¿PUEDEN LAS FIBRAS SINTÉTICAS REEMPLAZAR LA MALLA ELECTROSOLDADA EN LOSAS SOBRE TERRERO?”. Concrete International, Noviembre 2002. ACI- Seccional Colombiana. Boletín No. 11 2008 ACI Publicaciones Técnicas.

# SIKA UN AMPLIO RANGO DE SOLUCIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN



**IMPERMEABILIZACIÓN**



**CONCRETO**



**REFORZAMIENTO**



**PEGADO Y SELLADO**



**PISOS**



**CUBIERTAS**

## ¿QUIÉNES SOMOS?

Sika es una compañía activa mundialmente en el negocio de los productos químicos para la construcción. Tiene subsidiarias de fabricación, ventas y soporte técnico en más de 89 países alrededor del mundo. Sika es líder mundial en el mercado y la tecnología en impermeabilización, sellado, pegado, aislamiento, reforzamiento y protección de edificaciones y estructuras civiles. Sika tiene más de 16.000 empleados en el mundo y por esto, está idealmente posicionada para apoyar el éxito de sus clientes.

## Sika Colombia S.A.S.

### BARRANQUILLA

Cll. 114 No. 10 – 415. Bodega A-2  
Complejo Industrial Stock Caribe.  
Barranquilla  
Tels.: (5) 3822276 / 3822008 /  
3822851 / 3822520 / 30  
Fax: (5) 3822678  
barranquilla.ventas@co.sika.com

### CALI

Cll. 13 No. 72 - 12  
Centro Comercial Plaza 72  
Tels.: (2) 3302171 / 62 / 63 / 70  
Fax: (2) 3305789  
cali.ventas@co.sika.com

### CARTAGENA

Albornoz - Vía Mamonal  
Cra. 56 No. 3 - 46  
Tels.: (5) 6672216 – 6672044  
Fax: (5) 6672042  
cartagena.ventas@co.sika.com

### EJE CAFETERO

Centro Logístico Eje Cafetero  
Cra. 2 Norte No. 1 – 536  
Bodegas No. 2 y 4. Vía La Romelia  
- El Pollo  
Dosquebradas, Risaralda  
Tels.: (6) 3321803 / 05 / 13  
Fax: (6) 3321794  
pereira.ventas@co.sika.com

### MEDELLÍN

Km. 34 Autopista Medellín - Btá -  
Rionegro  
PBX: (4) 5301060  
Fax: (4) 5301034  
medellin.ventas@co.sika.com

### SANTANDERES

Km. 7 - Vía a Girón  
Bucaramanga - Santander  
PBX: (7) 646 0020  
Fax: (7) 6461183  
santander.ventas@co.sika.com

### TOCANCIPÁ

Vereda Canavita  
Km. 20.5 - Autopista Norte  
PBX: (1) 878 6333  
Fax: (1) 878 6660  
Tocancipá - Cundinamarca  
oriente.ventas@co.sika.com,  
bogota.ventas@co.sika.com

La información y, en particular, las recomendaciones relacionadas con la aplicación y uso final de los productos Sika son proporcionados de buena fe, y se basan en el conocimiento y experiencia actuales de Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones actuales de la obra son tan particulares, que ninguna garantía respecto a la comercialización o a la adaptación para un uso particular, o a alguna obligación que surja de relaciones legales, puede ser inferida de la información contenida en este documento o de otra recomendación escrita o verbal. Se deben respetar los derechos de propiedad de terceros. Todas las órdenes de compra son aceptadas de acuerdo con nuestras actuales condiciones de venta y despacho publicadas en la página web: col.sika.com. Los usuarios deben referirse siempre a la edición más reciente de las Hojas Técnicas, cuyas copias serán facilitadas a solicitud del cliente.

