

PROBLEMAS, CAUSAS Y SOLUCIONES

Febrero ■ 2007



EDITADO POR EL INSTITUTO MEXICANO
DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO

Concreto reforzado con **fibras**



Ilustraciones: Felipe Hernández

13

SECCIÓN
COLECCIONABLE

Concreto reforzado con fibras



El concreto hecho con cemento Portland tiene ciertas características: es relativamente resistente en compresión pero débil en tensión y tiende a ser frágil. La debilidad en tensión puede ser superada por el uso de refuerzo convencional de varilla y, en cierta medida, por la inclusión de un volumen suficiente de ciertas fibras.

El uso de fibras

Para el uso efectivo de fibras en el concreto endurecido se deben tener contempladas las siguientes características:

- Las fibras deben ser significativamente más rígidas que la matriz, es decir, un módulo de elasticidad más alto.
- El contenido de fibras por volumen debe ser adecuado.
- Debe haber una buena adherencia entre la fibra y la matriz.
- La longitud de las fibras debe ser suficiente.
- Las fibras deben tener una alta relación de aspecto; es decir, deben ser largas con relación a su diámetro.

El concepto de tenacidad

La tenacidad se define como el área bajo una curva carga-deformación (o esfuerzo-deformación).

En la Figura 1 se puede ver que, al agregar fibras al concreto se incrementa en forma importante la tenacidad del material; es decir, el concreto reforzado con fibras es capaz de soportar cargas bajo flexiones o deformaciones mucho mayores que aquellas a las cuales aparece el primer agrietamiento en la matriz.

Debe de hacerse notar que la información publicada tiende a tratar con concentraciones con un alto volumen de fibras. Sin embargo, por razones económicas, la tendencia actual en la práctica es la de minimizar el volumen de las fibras, en cuyo caso los mejoramientos en las propiedades pueden ser marginales.

Para las cantidades de fibra típicamente usadas (menos del 1% por volumen para el acero y aproximadamente 0.1%

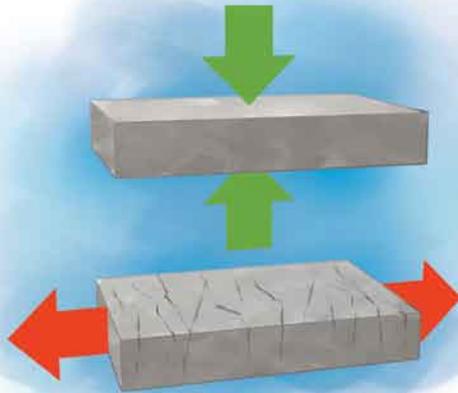
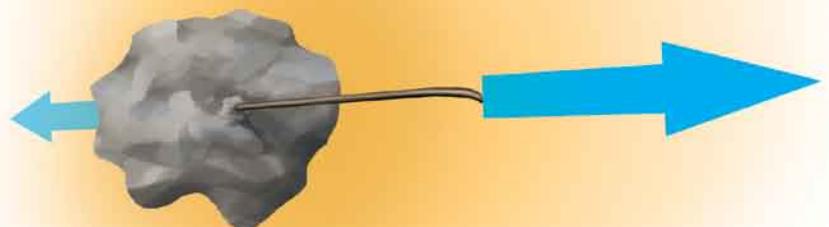
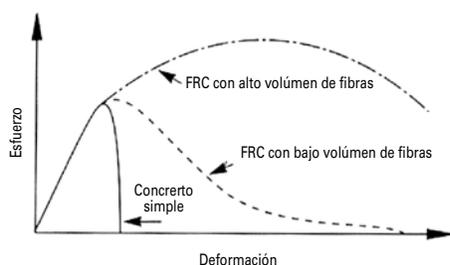


Figura 1. Curvas típicas de esfuerzo-deformación para concreto reforzado con fibras.



por volumen para el polipropileno) las fibras no tendrán un efecto significativo en la resistencia o el módulo de elasticidad del compuesto. También debe de hacerse notar que las concentraciones en un alto volumen de ciertas fibras pueden hacer que el concreto fresco no pueda trabajarse.

Tipos de fibras

Vidrio

Se descubrió que las fibras de vidrio en la forma en que se usaron primero, eran reactivas a álcalis, y los productos en los que eran usados se deterioraban rápidamente. El vidrio resistente a los álcalis con un contenido de 16% de circonita fue formulado exitosamente entre 1960 y 1971. Otras fuentes de vidrio resistentes a álcalis fueron desarrolladas durante los años setentas y ochentas, con contenidos más altos de circonita. La fibra de vidrio resistente a los álcalis se usa en la fabricación de productos de cemento reforzado con vidrio (GRC: *glass-reinforced concrete*), los cuales tienen un amplio rango de aplicaciones.

La fibra de vidrio está disponible en longitudes continuas o en trozos. Se utilizan longitudes de fibra de hasta 35 mm en aplicaciones de rociado y las longitudes de 25 mm en aplicaciones de premezclado. Esta fibra tiene alta resistencia a tensión (2–4 GPa) y alto módulo elástico (70–80 GPa) pero tiene características quebradizas en esfuerzo-deformación (2.5–4.8% de alargamiento a la rotura) y poca fluencia a temperatura ambiente. Se han hecho afirmaciones en el sentido de que se ha usado exitosamente hasta 5% de fibra de vidrio por volumen en el

mortero de arena-cemento sin formar bolas.

Los productos de fibra de vidrio expuestos a ambientes a la intemperie han mostrado una pérdida de resistencia y ductilidad. Las razones para esto no son claras y se especula que el ataque de los álcalis o la fragilidad de las fibras son causas posibles. Debido a la falta de datos sobre la durabilidad a largo plazo, el GRC ha sido confinado a usos no estructurales en donde tiene amplias aplicaciones. Es adecuado para usarse en técnicas de rociado directo y procesos de premezclado; ha sido usado como reemplazo para fibras de asbesto en hojas planas, tubos y en una variedad de productos prefabricados.

Acero

Las fibras de acero se han usado en el concreto desde los primeros años del siglo XX. Las primeras fibras eran redondas y lisas y el alambre era cortado en pedazos a las longitudes requeridas. El uso de fibras derechas y lisas casi ha desaparecido y las modernas tienen, ya sea superficies ásperas, extremos en gancho, o son rizadas u onduladas a través de su longitud. Típicamente las fibras de acero tienen diámetros equivalentes (con base en el área de la sección transversal) de 0.15 a 2 mm y longitudes de 7 a 75 mm. Las relaciones de aspecto generalmente varían de 20 a 100. (La relación de aspecto se define como la relación entre la longitud de la fibra y su diámetro equivalente, que es el diámetro de un círculo con un área igual al área de la sección transversal de la fibra).

Algunas fibras son juntas para formar manojos usando goma soluble al agua para facilitar el manejo y el mezclado.

Las fibras de acero tienen alta resistencia a tensión (0.5–2 GPa) y alto módulo de elasticidad (200 GPa), una característica dúctil y plástica en esfuerzo-tensión y una baja fluencia.





**OPTIMA
RESISTENCIA**



Impermeabilizantes ■

Soluciones para el Concreto ■

Tratamiento de Superficies ■

Producto Químico S. Pasa Imper 4T - Pasa Imper



PASA

Atención a clientes:

01800 7272 444 / 5870 0715

info@pasaimper.com / www.pasaimper.com

Tabla 1. Tipos y propiedades de fibras sintéticas seleccionadas

Tipo de fibra	Diámetro equivalente um	Densidad relativa	Resistencia a tensión MPa	Módulo de elasticidad GPa	Alargamiento último %	Temperatura de ignición °C	Temperatura de fusión, oxidación o descomposición, °C	Absorción del agua según ASTM D 570, % por masa
Acrílico	13-104	1.16-1.18	270-1000	14-19	7.5-50.0	-	220-235	1.0-2.5
Aramida I	12	1.44	2900	60	4.4	alta	480	4.3
Aramida II+	10	1.44	2350	115	2.5	alta	480	1.2
Carbón PAN HM •	8	1.6-1.7	2500-3000	380	0.5-0.7	alta	400	nula
Carbón, PAN HT §	9	1.6-1.7	3450-4000	230	1.0-1.5	alta	400	nula
Carbón, brea GP **	10-13	1.6-1.7	480-790	27-35	2.0-2.4	alta	400	3-7
Carbón, brea HP ≈	9-18	1.8-2.15	1500-3100	150-480	0.5-1.1	alta	500	nula
Nylon >	23	1.14	970	5	20	-	200-220	2.8-5.0
Poliéster	20	1.34-1.39	230-1100	17	12-150	600	260	0.4
Polietileno >	25-1000	0.92-0.96	75-590	5	3-80	-	130	nula
Polipropileno >	-	0.90-0.91	140-700	3.5-4.8	15	600	165	nula

*No todos los tipos de fibras se usan actualmente para producción comercial de FRC

+ Módulo alto

• A base de poliacrilonitrilo, módulo alto.

§ A base de poliacrilonitrilo, alta resistencia a tensión

** A base de brea isotrópica, para propósitos generales.

≈ A base de brea mesofase, alto desempeño

> Los datos se enlistan sólo para fibras comercialmente disponibles para FRC.

Ciertas fibras han sido usadas en mezclas convencionales de concreto, concreto lanzado y concreto con fibras infiltradas de lechada. Típicamente, el contenido de la fibra de acero varía de 0.25 a 2% por volumen. El contenido de las fibras en exceso de 2% por volumen generalmente da como resultado una pobre trabajabilidad y distribución de la fibra, pero se pueden usar exitosamente en donde el contenido de la pasta de la mezcla se incrementa y el tamaño del agregado grueso no es mayor que aproximadamente 10 mm.

El concreto reforzado con fibras de acero que contiene hasta 1.5% de fibras por volumen ha sido bombeado exitosamente usando tuberías de 125 a 150 mm de diámetro. Los contenidos de fibra de acero de hasta 2% por volumen se han usado en aplicaciones de concreto lanzado utilizando tanto el proceso húmedo como el seco. Se han obtenido contenidos de fibras de acero de hasta 25% por volumen en concreto con fibras infiltradas de lechada.

Se reporta que el módulo elástico en compresión y el módulo de rigidez en torsión no son diferentes antes del agrietamiento cuando se compara con el concreto simple probado bajo condiciones similares. Se ha reportado que el concreto reforzado con fibras de acero, debido a la ductilidad mejorada, podría encontrar aplicaciones en donde es importante la resistencia al impacto.

También se informa que la resistencia a fatiga del concreto se ha incrementado hasta en un 70%.

Fibras sintéticas

Las fibras sintéticas son artificiales; resultan de la investigación y desarrollo en las industrias petroquímica y textil. Existen dos formas físicas diferentes de fibras: la de monofilamentos, y las producidas de cintas de fibrilla. La mayoría de las aplicaciones de las fibras sintéticas están

en el nivel de 0.1% por volumen. A ese nivel, se considera que la resistencia del concreto no se ve afectada y se buscan las características de control de las grietas.

Los tipos de fibras que han sido ensayados en las matrices de concreto de cemento incluyen: acrílico, aramida, carbón, nylon, poliéster, polietileno y polipropileno. La Tabla 1 resume el rango de propiedades físicas de algunas fibras sintéticas.

Acrílico

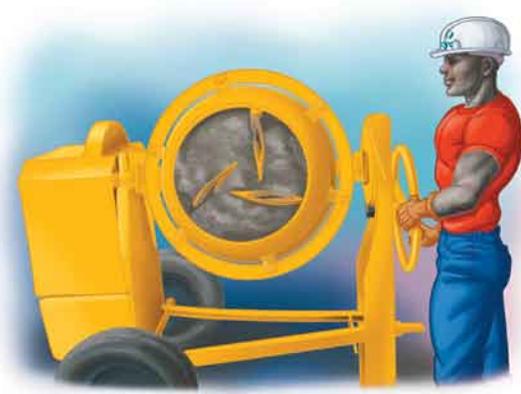
Las fibras acrílicas han sido usadas para reemplazar la fibra de asbesto en muchos productos de concreto reforzado con fibras. También se han agregado fibras acrílicas al concreto convencional a bajos volúmenes para reducir los efectos del agrietamiento por contracción plástica.

Aramida

Las fibras de aramida son dos y media veces más resistentes que las de vidrio y cinco veces más que las de acero, por unidad de masa. Debido al costo relativamente alto de estas fibras, el concreto reforzado con fibras de aramida se ha usado principalmente como un reemplazo del asbesto en ciertas aplicaciones de alta resistencia.

Carbón

Las fibras de carbón son sustancialmente más costosas que los otros tipos de fibras. Por esta razón su uso comercial ha sido limitado.



Las fibras de carbón son fabricadas carbonizando materiales orgánicos adecuados en forma fibrosa a altas temperaturas y luego alineando los cristales de grafito resultantes por medio de estiramiento. Tienen alta resistencia a tensión y alto módulo de elasticidad y una característica quebradiza bajo esfuerzo-deformación. Se requiere de investigación adicional para determinar la viabilidad del concreto con fibra de carbón en una base económica. Las propiedades de resistencia al fuego de los compuestos de fibras de carbón necesitan ser evaluadas, pero ignorando el aspecto económico, las aplicaciones estructurales parecen ser prometedoras.

Nylon

Es el nombre genérico que identifica una familia de polímeros. Las propiedades de las fibras de nylon son impartidas por el tipo a base de polímeros, la adición de diferentes niveles de aditivos, las condiciones de fabricación y las dimensiones de las fibras. Actualmente sólo dos tipos de fibras de nylon se comercializan para el concreto. El nylon es estable en el calor, hidrófilo, relativamente inerte y resistente a una gran variedad de materiales. Es particularmente efectivo para impartir resistencia al impacto y tenacidad a flexión y para sostener e incrementar la capacidad para soportar cargas del concreto después de la primera grieta.

Poliéster

Las fibras de poliéster están disponibles en forma de monofilamentos y pertenecen al grupo de poliéster termoplástico. Son sensibles a la temperatura y a temperaturas por encima del servicio normal sus propiedades pueden ser alteradas. Las fibras de poliéster son algo hidrófobas. Se han usado a bajos contenidos (0.1% por volumen) para controlar el agrietamiento por contracción plástica en el concreto.

Polietileno

El polietileno ha sido producido para el concreto en forma de monofilamentos

con deformaciones superficiales parecidas a verrugas. El polietileno en forma de pulpa puede ser una alternativa a las fibras de asbesto. El concreto reforzado con fibras de polietileno a contenidos de entre 2 y 4% por volumen exhibe un comportamiento de flexión lineal bajo cargas de flexión hasta la primera grieta, seguido por una transferencia de carga aparente a las fibras, permitiendo un incremento en la carga hasta que las fibras se rompen.

Polipropileno

Las fibras de polipropileno primero fueron usadas para concreto reforzado en los años sesentas. El polipropileno es un polímero de hidrocarburo sintético cuya fibra está hecha usando procesos de extrusión por medio de estiramiento en caliente del material a través de un troquel.

Las fibras de polipropileno son hidrófobas y por lo tanto tienen como desventajas el tener pobres características de adherencia con la matriz del cemento, un bajo punto de fusión, alta combustibilidad y un módulo de elasticidad relativamente bajo. Las largas fibras de polipropileno pueden resultar difíciles de mezclar debido a su flexibilidad y a la tendencia a enrollarse alrededor de las orillas extremas de las hojas de la mezcladora.

Las fibras de polipropileno son tenaces, pero tienen baja resistencia a tensión y bajo módulo de elasticidad; tienen una característica plástica de esfuerzo-deformación. Se asegura que se han usado exitosamente contenidos de fibras de polipropileno de hasta 12% por volumen, con técnicas de fabricación de empaquete manual, pero se ha reportado que volúmenes de 0.1% de fibras de 50 mm en el concreto han causado una pérdida de revenimiento de 75 mm.

Según reportes, las fibras de polipropileno reducen la contracción no restringida, plástica y por secado del concreto a contenidos de fibra de 0.1 a 0.3 % por volumen. ☉

BIBLIOGRAFÍA

- ACI 544.1R-96, *State-of-the-art report on fiber reinforced concrete*, Farmington Hills, Michigan: American Concrete Institute.
- Concrete Society, *Fibre-reinforced cement composites*, London: The Society, 1973. (Technical report 51-067)
- Majumdar, A.J., *Fibre cement concrete—a review*, Garston: Building Research Establishment, 1975. (BRE current paper 26/75)
- Mindess, S., *Why fibre reinforced concrete? High performance concrete: selected papers from the Network of Centres of Excellence on High Performance Concrete*, Sherbrooke, Quebec, 1993.
- Portland Cement Association, *Fibre reinforced concrete*, Skokie: PCA, 1991. (SP 039.0IT).
- Beaudoin, J.J., *Handbook of fibre-reinforced concrete: principles, properties, developments and applications*, Park Ridge, New Jersey: Noyes, 1990.
- American Concrete Institute, *An International symposium: fibre reinforced concrete*, Detroit: ACI, 1974, (ACI Special Publication SP-44).
- American Concrete Institute, *ACI Convention seminar for design with fiber reinforced concrete*, Detroit: ACI, 1985, (ACIU SCM-10).
- Bentur, A. and Mindess, S., *Fibre reinforced cementitious composites*, London: Elsevier, 1990.
- Fibre reinforced cement and concrete, fourth RILEM international symposium*, Sheffield, England, July 1992.
- Maidi, B.R., *Steel fibre reinforced concrete*, Berlin: Ernst & Sohn, 1995.

REFERENCIA:

Cement & Concrete Institute, Portland Park, Old Pretoria Road, Halway House, Midrand.