



Foto 8.- Ensayando la aplicación del concreto de polímero lanzado.

CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS

George C. Hoff*

RESUMEN

La investigación y búsqueda de aplicaciones que se puedan obtener al añadir pequeñas cantidades de fibras (acero, vidrio, plástico) al cemento, mortero y concreto han ido siempre en sentido ascendente. Este trabajo da breves antecedentes, así como prácticas y aplicaciones actuales. También serán descritos los proporcionamientos más comunes y varios procedimientos para su mezclado y acabado.

La pavimentación ha sido hacia donde se dirige la actividad de investigación para lograr su mayor aplicación. Serán descritas varias instalaciones reforzadas con fibra de acero que están a prueba, y serán dados los resultados de los ensayos acelerados del pavimento a prueba, en una aeropista importante. Además de los trabajos de pavimentación serán dados detalles en otras aplicaciones varias donde se usan fibras de acero, por ejemplo: tuberías de concreto, su aplicación como refractario, paneles de concreto lanzado y unidades de protección para las costas. Serán discutidas varias aplicaciones empleando fibras de polipropileno.

En cuanto a la fibra de vidrio, ya se han realizado muchos trabajos sobre los sistemas de concreto reforzado. Las innovaciones discutidas incluirán: productos producidos por el sistema de aspersión por succión desarrollado por la Building Research Station en Inglaterra, un nuevo sistema de construcción con block de concreto, productos para techado simulando tejas, y paneles simulando muros de ladrillo.

* Investigador y Jefe de la Rama "Propiedades de los Materiales" del Laboratorio de Concreto de la U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station en Vicksburg, Mississippi.

INTRODUCCION

El concreto reforzado con fibras (FRC) ha estado recibiendo recientemente gran publicidad favorable como un novedoso material de construcción. Muchos de ustedes que regularmente reciben la revista Engineering News Record han leído probablemente un buen número de artículos acerca de trabajos en donde se ha usado este material. En muchos casos, la utilización de FRC en lugar de concreto reforzado convencionalmente puede dar como resultado un mejor comportamiento y reducción de los costos. El objetivo de este trabajo es familiarizar al lector con los tipos de fibras disponibles y mostrar cómo se utilizan en el concreto, también se darán a conocer algunos tipos de proyectos donde se han utilizado estos materiales.

TIPOS DE FIBRAS

Las fibras para utilizarse en el concreto han sido producidas de acero, plásticos, vidrio y materiales naturales en varias formas y medidas. Desde un punto de vista práctico, el uso de fibras distribuidas al azar en el concreto ha estado limitado principalmente al acero, algo se ha hecho con las de vidrio y plástico.

a) Fibras de acero.

Las fibras de acero utilizadas en el concreto son generalmente de dos formas de sección transversal: circular y rectangular. Las fibras de acero donde se producen cortando o desmenuzando alambre que tiene un diámetro entre 0.1 y 0.75 mm (0.006 a 0.030 pulg.). Las longitudes de las fibras actualmente en uso varían de 1.3 a 6.4 cm (0.5 a 2.5 pulg.). Las fibras rectangulares se producen cortando tiras o aplastando alambre redondo y tienen una sección transversal de 0.15 a 0.40 mm (0.006 a 0.016 pulg) de espesor y de 0.25 a 0.90 mm (0.010 a 0.035 pulg) de ancho. Sus longitudes varían de 1.3 a 3.8 cm (0.5 a 1.5 pulg). También se han producido fibras de acero dobladas y deformadas.

b) Fibras de vidrio.

Las fibras típicas de vidrio (trazos desmenuzados) tienen diámetros de 50 a 122 micras (0.2 a 0.6 mil. de pulg), pero estas fibras pueden adherirse a los elementos de fibra de vidrio con diámetros de 0.013 a 1.3 mm (0.5 a 50.0 mil. de pulg). Solamente fibras de vidrio resistente a los alkalis deberán utilizarse en el concreto. Los alkalis del cemento atacan la fibra de vidrio común y la deterioran.

c) Fibras de plástico.

Las fibras de plástico, tales como las de nylon, polipropileno, polietileno, sarán, rayón acetato, orlón y dacrón, han sido estudiadas como un medio

para aumentar la resistencia al descascamiento e impacto del concreto.

Estos tipos de fibras varían considerablemente en diámetro (3 a 630 denier) pero generalmente no son más largas de 7.5 cm (3 pulg).

d) Otras.

Otros tipos de fibras, como las de cerámica, carbón o fibras naturales como las de algodón, sisal o yute han sido usadas en el concreto, pero en la mayoría de los casos no son costeables o no satisfacen el requisito de durabilidad a largo plazo del concreto.

El asbesto es una fibra comúnmente usada en productos de cemento pero no cae dentro del alcance de este trabajo.

COMPORTAMIENTO

Ventajas.- Es un acuerdo general que pequeñas adiciones de algún tipo de fibras al concreto produce muchas ventajas sobre el concreto simple, algunas de éstas se muestran en la tabla siguiente:

VENTAJAS DEL CONCRETO CON FIBRA DE ACERO

Propiedad	Ventaja sobre el concreto simple (veces mayor)
Resistencia a la flexión, al aparecer la primera grieta	1-1/2
Máximo módulo de ruptura	2
Máxima resistencia a la compresión	1-1/4
Máxima resistencia al cortante	1-3/4
Límite de resistencia a la fatiga por flexión	2-1/4
Resistencia al impacto	3-1/4
Índice de resistencia a la abrasión por chorro de arena	2
Índice de resistencia al descascamiento por calor	3
Índice de durabilidad por congelamiento y deshielo	2

VENTAJAS GENERALES

Mucho mayor resistencia al agrietamiento.
 Muy superior resistencia a los cambios bruscos de temperatura.
 Secciones significativamente más delgadas para un diseño dado.
 Eliminación o reducción de otros tipos de materiales para refuerzo.
 Aumento en la velocidad de producción con menor mantenimiento y mayor duración.

MEJORAMIENTOS TÍPICOS DE LA RESISTENCIA PARA CEMENTO
REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO

Propiedad de resistencia	Relación de resistencia comparada con cemento sin refuerzo			
	% de fibra en volumen			
	0.5	1.0	1.5	2.0
Primer grieta	1.22	1.42	1.63	1.85
Máxima	1.25	2.00	2.75	3.50
Impacto	2.30	3.60	4.90	6.20

El comportamiento del concreto que contiene fibras de acero depende de la concentración en volumen, relación de aspecto, tipo y clase de la fibra utilizada. La relación de aspecto se define como la longitud de la fibra dividida por el diámetro equivalente de la fibra basado en una sección transversal circular. Relaciones de aspectos de 30 a 140 han sido utilizados exitosamente, sin embargo relaciones de 50 a 70 son más prácticas. Entre mayor sea la longitud de la fibra y mayor la relación de aspecto, mejor será la adherencia y comportamiento viéndose que pueda lograrse una docilidad y compactación satisfactorias. La docilidad del concreto depende grandemente de la concentración en volumen de las fibras.

Para las fibras de vidrio, existe en general una relación lineal entre el aumento en porcentaje en volumen de fibras de vidrio y la resistencia a que aparece la primera grieta de flexión, la máxima resistencia a la flexión y la resistencia al impacto.

Los tipos y cantidades de fibras plásticas utilizadas en el concreto se han obtenido en bases intuitivas y empíricas.

Ensayes.

Existe poca normalización en el ensaye de elementos de FRC, y los datos publicados del comportamiento y propiedades del mismo, debiendo ser cuidadosamente analizados antes de hacer cualquier comparación. Las diferencias en los datos pueden deberse al tamaño de los especímenes de ensaye, a las condiciones de carga y a las condiciones de curado.

Proporcionamiento.

El proporcionamiento de revolturas de concreto con fibras no tiene una base real teórica, aunque se han desarrollado algunas teorías. Para uso en campo, en la mayoría de los casos, el criterio ha sido establecer la cantidad de fibra que puede agregarse a una revoltura de concreto convencional antes de que pierda su docilidad. Una vez que se conoce esto, se hacen pequeños ajustes en otros ingredientes para producir una revoltura dócil. En los últimos años, los aspectos del proporcionamiento del concreto con fibras, repetidas veces se han considerado como evidentes. En primer lugar, entre mayor sea el tamaño máximo del agregado, más áspera y menos dócil será la revoltura. Una parte substancial de FRC utilizado en los Estados Unidos se ha fabricado con agregado de tamaño máximo de 10 mm (3/8 pulg). En segundo lugar, las revolturas deberán ser ligeramente bre-arenadas; esto es, la relación agregado fino-agregado grueso debe estar entre 50-50 y 70-30. El agregado fino mejora ligeramente la docilidad y ayuda a prevenir la aglomeración de fibras durante el mezclado. En tercer lugar, altos contenidos de cemento arriba de 505 kg/m³ (850 lb/y³) son usualmente necesarios para alcanzar la docilidad requerida. El tercer aspecto ha originado revoltras más sofisticadas que reemplazan parte del cemento con ceniza. Concentraciones de fibras de acero arriba de un 4% en volumen de la fracción de mortero del co-

to se han utilizado exitosamente, pero es más común utilizar de un 2 a 3 por ciento. Concentraciones de fibra de vidrio hasta un 3 por ciento han sido utilizadas aunque es más común usar de 1 a 2 por ciento. Todas las fibras de plásticos tienden a incrementar la viscosidad de las revolturas de concreto en mayor o menor grado. El aumento en viscosidad es el factor que limita la cantidad de fibras que puede añadirse a una revoltura dada. Algunas variedades de nylon, polipropileno, polietileno y sarán tienen un efecto menor y pueden añadirse en mayores cantidades. En general, el porcentaje en volumen de nylon, polipropileno y sarán no excede de 3 por ciento, mientras que el polipropileno no excede de 7 por ciento.

MEZCLADO

Tipos de revolventoras.- Todos los tipos de revolventoras (de tambor, cepo, turbina, para mortero o de bandeja) han sido utilizadas exitosamente y la elección dependerá en los requisitos del trabajo en especial.

Secuencia de mezclado.- Con fibras de acero, la secuencia del mezclado de los materiales, es importante para prevenir la aglomeración de las fibras en la revolventora. Es importante que las fibras se dispersen uniformemente en toda la revoltura, esto puede hacerse durante la fase de mezclado, preferentemente antes de agregar el agua. Para mezclas que se hacen en revolventoras en planta o en camiones revolventores, las secuencias de mezclado en orden de preferencia son:

- Mezclado de la fibra y agregado antes de cargarlos en la revolventora, se puede lograr mezclando la fibra y el agregado en un transportador de banda o en una canaleta, utilizando procesos normales de mezclado.
- Mezclar los agregados fino y grueso en la revolventora. Después añadir las fibras a la velocidad de mezclado (típicamente 12 rpm). Por último, añadir simultáneamente el cemento y el agua o el cemento seguido del agua y los aditivos.
- Añadir la fibra al agregado previamente cargado y agua. Posteriormente añadir el cemento y el resto del agua.
- Añadir todos los ingredientes mezclados en seco a la revolventora que ha sido cargada previamente con agua.

Para las fibras de vidrio, deberán seguirse procedimientos de mezclado convencionales añadiendo la fibra al final. Estas pueden vaciarse o esparcirse directamente en el camión o mezcladora.

Introducción de la fibra.- En la actualidad las fibras se empaquetan en recipientes de 18 a 22.5 kg (40 a 50 lb) para operación manual. Estos recipientes pueden vaciarse en las canaletas de los camiones revolventores; generalmente puede utilizarse algún método para dispersar las fibras que vienen empacadas en cajas. Es satisfactorio el vaciado y esparcimiento manual de las fibras del recipiente a una banda transportadora de baja velocidad; también funciona el vaciado de las fibras en una mesa vibratoria o canaleta y a través de una reja de barras de 7.6 x 7.6 cm a 10.2 x 10.2 cm (3 x 3 pulg a 4 x 4 pulg), a una banda en movimiento.

Es altamente recomendable que el método que se pretenda utilizar pa-

ra introducir la fibra en la revoladora se pruebe en el campo mediante mezclas de tanteo. Es esencial evitar la entrada a la revoladora de grumos de fibra compactos.

COLADO Y COMPACTACION

Una revoltura con fibras generalmente requerirá algo más de vibrado para moverla y compactarla en la cimbra. Es aceptable un vibrado interno controlado adecuadamente, pero un vibrado externo de las cimbras y superficial es preferible para prevenir la segregación de la fibra. La naturaleza fibrosa de la mezcla hace difícil el uso de palas o azadones. Bioldos y rastrillos son preferibles para manejar revolturas de bajo revenimiento. Métodos normales para el engrasado son aceptables, tales como planas de madera, vibradores portátiles montados en tablonés, o por métodos mecánicos de formas deslizantes para pavimentos y cordones de banquetas.

Llanas metálicas, flotadores tubulares y máquinas flotadoras giratorias pueden utilizarse para acabar el concreto con fibras. Una superficie con textura puede obtenerse escobillando con un cepillo duro, pero deberá demorarse su aplicación tanto como sea posible para evitar la extracción de fibras de la superficie. También puede lograrse un acabado con textura cuando sangra el concreto empleando trabajadores con experiencia. El uso de arpilleras húmedas como rastrillos no es recomendable ya que las fibras pueden agarrarse en la arpillera. El concreto con fibras deberá curarse y protegerse utilizando los mismos métodos y técnicas que para el concreto convencional.

Cimbras fijas y máquinas para pavimentar con cimbra deslizante, bobinas para concreto, y aplicadores neumáticos han sido utilizados en el colado de concreto reforzado con fibras.

APLICACIONES

Las aplicaciones potenciales del FRC dependerán del ingenio del usuario tomando ventaja de las propiedades que se mejoran en el concreto. Debido a las enormes oportunidades del mercado, se ha llevado a cabo un considerable trabajo en los Estados Unidos en pavimentos de pistas y carreteras, recubrimientos y bacheo.

a) Recubrimientos.- El ejemplo clásico de la nueva construcción de recubrimientos fue la construcción de un pavimento de prueba FRC con fibra de acero de 15 cm (6 pulg) de espesor en el U. S. Army Waterways Experiment Station, en Vicksburg, Miss. La revoltura por yarda cúbica de concreto utilizó 383 kg (846 lb) de cemento, 192 kg (423 lb) de agua, tamaño máximo del agregado de 10 mm (3/8 pulg) una relación agregado fino-agregado grueso de 75-25 y 2 por ciento en volumen de fibras. También fue colada una losa de control sin fibras de 25 cm (10 pulg) de espesor. Las losas de prueba fueron cargadas aplicando un eje móvil sencillo de 12

das simulando al de un avión de carga militar CrA, con un peso de 16.344 ton. (360 kips). Después de 700 pasadas de la carga, la losa de prueba sin fibras quedó completamente resquebrajada. Después de 8735 pasadas de la carga el ensaye se suspendió en la losa FRC. En ese momento la losa tenía muchas grietas del espesor de un cabello. Luego la losa resquebrajada de concreto simple fue recubierta con una capa de 10 cm (4 pulg) de espesor de FRC parcialmente adherida. Después de 6900 pasadas de la carga, la cubierta tenía solamente una grieta definida y algunas grietas con espesor de un cabello.

b) Dolos.- Un dolo es el nombre que se da a un elemento armado --prevaciado que se utiliza en la protección de los muelles de la acción de las olas. En 1972, un pequeño número (20) de dolos FRC experimentales fueron vaciados como una parte de aproximadamente 5500 dolos reforzados convencionalmente que fueron --usados para rehabilitar los muelles en la bahía Humboldt en California, U.S.A. La forma estructural de los dolos era de aproximadamente 4.6 m (15 pies) de largo y --de 0.91 a 1.52 m (3 a 5 pies) de diámetro en su sección transversal. Cada dolo pesaba de 42 a 43 ton. El concreto contenía fibras de 2.5 cm (1 pulg) de largo y tamaño máximo del agregado de 3.8 cm (1.5 pulg). El contenido de fibra variaba de 47.5 a 119 kg/m³ (80 a 200 lb/y³) de concreto. La mayoría de estos elementos fueron colocados en el océano y están siendo evaluados. Algunos elementos fueron sujetos a carga estática completa hasta la falla.

c) Resistencia a la cavitación.- En enero de 1973, una sección de prueba de FRC con acero se aplicó en los 45 cm (18 pulg) superiores y sobre la mitad del ancho de un vertedor deflector en la presa Lower Monumental en Washington. La finalidad de esto era mejorar la resistencia a la cavitación. La revoltura utilizó de 130.5 kg/m³ (220 lb/y³) de concreto de fibra de 2.5 cm (1 pulg) de largo --por 0.406 mm (16 mil-pulg) de diámetro. El tamaño máximo del agregado fue de 10 mm (3/8 pulg). El concreto fue llevado a la obra en camiones revoladores, descargado en una bomba para concreto y bombeado a través de manguera y tubería de 55 m (180 pies) y 12.7 cm (5 pulg) de diámetro. Esta sección está ahora en estudio.

d) Nuevas construcciones.- Como una regla general, el FRC no debe ser considerado actualmente para cualquier construcción nueva que pueda hacerse --económicamente con refuerzo convencional. La adición de un bajo porcentaje de fibras a una revoltura aumenta el costo del concreto en unos \$653.00 a \$981.00 pesos por m³* (\$40.00 a \$60.00 dólares por y³) solamente en materiales. Generalmente se incrementa el costo por el manejo de los mismos. En casos especiales, tales como los dolos y la reducción del espesor de pavimentos para pistas de aviación, puede justificarse la elevación del costo si además se logra ganar durabilidad a largo plazo o reducir las cargas muertas. En general, no existen datos a largo plazo que apoyen esta justificación.

CONCLUSIONES

Ha sido la finalidad de este trabajo dar a conocer los principales tipos de fibras que se usan en el concreto, como son las de acero, vidrio y plástico, y mostrar cómo su implementación difiere de las prácticas de construcción usu

* Costos para los Estados Unidos.

les en el concreto. Los usos del FRC son muchos y variados. Los usos principales son en trabajos de reparación y de mantenimiento. La decisión para utilizar FRC en nuevas construcciones deberá estar basada en su mayor parte en una justificación económica a largo plazo. La mayoría de los esfuerzos que se han hecho relacionados con el FRC en términos de habla inglesa están coleccionados y resumidos en cuatro excelentes documentos.1-4

REFERENCIAS

- 1.- ACI Committee 544, "Fiber-Reinforced Concrete, State-of-the-Art," Proceedings Journal of the American Concrete Institute, Diciembre de 1973.
- 2.- Gray, G. H., et al, "Fibrous Concrete-Construction Material for the Seventy Conference Proceedings M-28, U. S. Army Construction Engineering Research Laboratory, Champaign, Illinois, Diciembre 1972, (14 trabajos).
- 3.- Fiber-Reinforced Cement Composites, Technical Report 51.067, The Concrete Society, Cement and Concrete Association, London, Julio 1973.
- 4.- Fiber-Reinforced Concrete, ACI Publication SP-44, 1974 (30 trabajos).

Traducción: Raymundo Rivera Villarreal.
Revisión de traducción: Oscar González Garza.

MAMPOSTERIA DE CONCRETO A FLEXION.

Horacio Ramírez de Alba*

RESUMEN.

Investigación encaminada a detectar los mejores procedimientos constructivos y las características más apropiadas del mortero, refuerzo y concreto -- fluido en la mampostería de concreto.

Para esto se parte del estudio experimental de 54 vigas de bloques de concreto con refuerzo interior solicitadas por carga concentrada en el centro -- del claro. Los bloques usados cumplen con las normas de la DGN y se pretende que sean representativos de los comúnmente usados en México.

Con el propósito de aportar datos para el diseño de este tipo de -- elementos, se hace una comparación de los datos obtenidos en los ensayos con respecto a los obtenidos mediante el cálculo.

* Investigador del Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C.