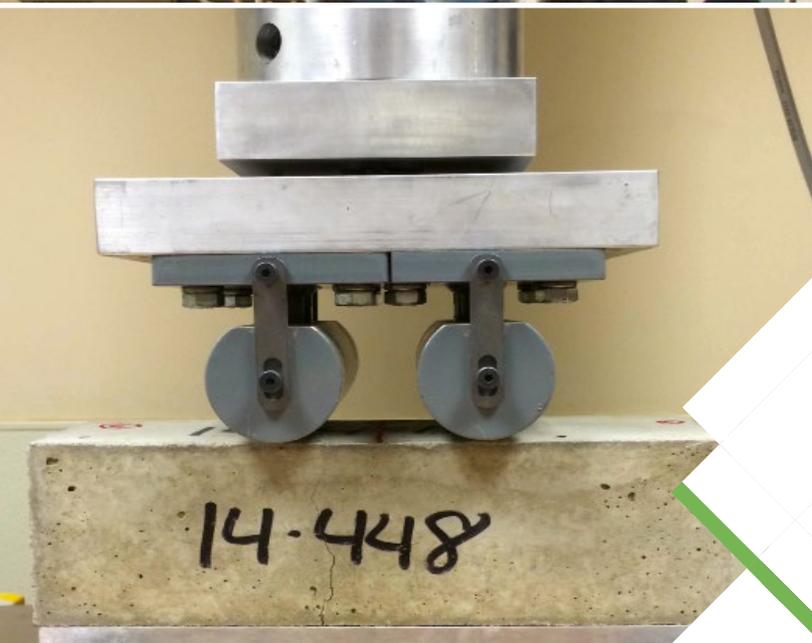


GUÍA DE INGENIERÍA CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS

Historia, Propiedades, Diseño y Aplicaciones exitosas de Concreto Reforzado con Fibras (CRF) para Construcciones de Concreto



EUCLID GROUP
EUCOMEX

GUÍA DE INGENIERÍA CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS

Historia, Propiedades, Diseño y Aplicaciones exitosas de
Concreto Reforzado con Fibras (CRF) para construcciones
de concreto

Eucomex

2da Edición



EUCLID GROUP
EUCOMEX



Capítulo 1

Introducción a fibras y de refuerzo de fibra	1
1.1 Historia y Desarrollo	2
1.2 Tipos de Fibras	3
1.3 Fundamentos de la fibra de refuerzo	4
1.4 Fenómeno de agrietamiento	6
1.5 Beneficios de CRF durante la construcción	7
1.6 Beneficios de CRF en servicio	8
1.7 Beneficios económicos y ambientales	10

Capítulo 2

Propiedades RFC y métodos de diseño	11
2.1 Características CRF	12
2.2 Métodos de ensayo de CRF	13
2.3 Consideraciones de diseño para CRF	16
2.4 Concepto de diseño convencional para Concreto Armado	18
2.5 Design Concept for Conventional Reinforced Concrete (2 mats)	19
2.6 Concepto de diseño para los CRF	20
2.7 Concepto de diseño de refuerzos híbridos (Acero de refuerzo+Fibras)	21
2.8 Diseño para contracción, temperatura y control de agrietamiento	24
2.9 Cálculo y Diseño Momento para una sección suspendida	26
2.10 Cálculo y Diseño Momento para una sección Apoyada	27
2.11 Herramientas de diseño de Eucomex	31
2.12 Los códigos de diseño , guías y recomendaciones	32

Capítulo 3

Aplicaciones y ejemplos	33
3.1 Aplicaciones y ejemplos de la losa de sobre rasante (Basado en el ACI 360)3	33
3.2 Sistemas Losa-acero(basado en SDI)	<?>
3.3 Elementos prefabricados	<?>
3.4 Muros de cimentación residenciales	39
3.5 Concreto lanzado	40
3.6 Concreto Decorativo	42
3.7 Otros Temas: juntas de control y transferencia de carga	42
3.8 Otros Temas: Losas de baja contracción RFC	43

Capítulo 4

Recomendaciones Prácticas RFC	47
4.1 Adición y mezcla con fibras (Para los productores de concreto premezclado)	48
4.2 Vaciado y el acabado RFC (Para los contratistas de concreto)	49
4.3 Especificación de RFC (para Ingenieros / Arquitectos)	51

Terminologías	52
---------------	----

Referencias	<?>
-------------	-----



La compañía Eucomex

La compañía Eucomex es un fabricante de productos de fibras sintéticas para la industria de la construcción de concreto con una planta de producción y equipos modernos de análisis. Eucomex emplea a ingenieros y otros especialistas de la industria del concreto para apoyar y diseñar conjuntamente con profesionales del concreto, la adecuada selección, aplicación y uso del concreto reforzado con fibras en general y específicamente con PSIFiberstrand, TUF-Strand SF y productos PSIfibra de acero. Durante más de un siglo, Eucomex ha servido al mercado de la construcción global como proveedor mundial de calidad de productos especializados y servicios de apoyo técnico para la industria de la construcción del concreto y mampostería.

Eucomex diseña y fabrica aditivos de concreto y mampostería de concreto, fibras, compuestos de curado y sellado, lechadas estructurales, adhesivos epóxicos, endurecedores de piso y coberturas, rellenos de juntas, recubrimientos industriales y arquitectónicos, sellos decorativos, y una amplia selección de materiales de restauración. Comercializado bajo Euco, Eucon, Tufstrand, Fiberstrand, Dural, Vandex, Incretey Speed Cretes en algunos de los nombres de marca, una línea completa de productos para la nueva construcción y la reparación de concreto están disponibles a través de una red nacional e internacional de construcción de proveedores de materiales. Junto con productos de calidad superior, Eucomex ofrece una amplia gama de servicios de apoyo técnico INCLUYENDO: investigación y desarrollo, seminarios y programas de formación, diseño, consultade instalaciones para los contratistas, arquitectos, ingenieros y propietarios.

Hoy en día, Eucomex es un grupo empresarial compuesto por unidades con base en los EE.UU. (HQ), Canadá, México, Colombia, Chile y Brasil, así como numerosas relaciones de joint venture y licenciatarios consocios en toda América Latina, Asia Pacífico y Oriente Medio. Operando dentro de la RPM Group, Eucomex es propiedad exclusiva de RPM International, Inc., una sociedad anónima abierta situada en Medina, Ohio. El grupo se enorgullece de suministrar los productos y servicios de mayor calidad a la construcción de la comunidad mundial.

Nuestra pasión

Persecución inflexible de crecimiento de la empresa y el empleado.

Nuestra identidad

Somos el mejor proveedor de productos químicos de especialidad de concreto y materiales de construcción para la industria en todo el mundo.

Nuestras creencias

- La confianza se gana. Vamos a ser profesionales, éticos y confiables.
- El éxito de nuestros clientes es nuestro éxito. Vamos a medir nuestro desempeño a través de la experiencia de nuestros clientes.
- Hacer negocios con nosotros debe ser fácil. Seremos implacables en nuestra búsqueda de la excelencia en los procesos y la sencillez.
- Nos esforzamos por ser el empleador preferido. Vamos a proporcionar un lugar de trabajo seguro y crear una cultura que atrae, desarrolla y retiene el talento mejor en su clase, premia alto rendimiento, e inspira lealtad.
- Elegimos para enriquecer las comunidades en las que operamos. Vamos a participar a través de la inversión, el servicio y la acción responsable.
- Debemos generar resultados consistentemente superiores. Vamos a conseguir un crecimiento sostenible y un atractivo retorno de la inversión.

Aviso de Privacidad

Este documento es una propiedad exclusiva de Eucomex. El contenido de este documento ha sido recopilado de las guías publicadas y/o escritos de ingenieros profesionales y expertos en el concreto reforzado con fibras. El propósito de este manual es proporcionar recomendaciones y puntos de vista de ingeniería para el diseño y la práctica de fibras, con un énfasis en concreto reforzado con fibras macro-sintéticas. Esta guía está dirigida a ingenieros y arquitectos que están familiarizados con el concreto el cual contiene fuerza de acero convencional, pero que pueden necesitar una mayor orientación sobre el diseño y las especificaciones para el concreto reforzado con fibras.

Eucomex se exime de toda responsabilidad que pudiera derivarse de la utilización de la información contenida en este documento, siempre que no asuma el control de la misma. El usuario acepta y está de acuerdo en las consideraciones de uso y deberá hacerse responsable por uso de esta información.

Authors' Biographies



Amir Bonakdar, Ph.D., P.E.

Amir Bonakdar es un ingeniero profesional y el Gerente de Ingeniería para la Euclid Chemical Company en Cleveland, Ohio. Recibió su maestría en ingeniería estructural en 2006 por la Universidad de Teherán, y su Ph.D. en 2010 de la Universidad del Estado de Arizona (ASU). Su investigación académica incluye la durabilidad del concreto, la integridad estructural, ensayos mecánicos y concretos reforzados con fibras. Es miembro miembro de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE), American Concrete Institute (ACI), y la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM). Él es un miembro activo y votante del ACI 544 (concreto reforzado con fibras) y tiene un rol importante en concreto reforzado con fibras en ACI. El Dr. Bonakdar ha estado involucrado en el diseño de varios proyectos utilizando la tecnología del concreto reforzado con fibras.



Mike Mahoney, P.Eng.

Michael Mahoney es un ingeniero profesional y el Director de Mezclas y Marketing de la fibra para el Euclid Chemical Company en Cleveland, Ohio. En 1997, obtuvo el grado de Master en Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Nueva Escocia (Halifax), Nueva Escocia, Canadá, donde ayudó a desarrollar y patentar una fibra sintética innovadora para el refuerzo del concreto. También ha estado involucrado en proyectos de concreto permeable, vigilancia de la salud estructural de puentes utilizando métodos de ensayos no destructivos y ha realizado la caracterización de materiales y pruebas de concreto y mezclas de concreto lanzado. El Sr. Mahoney es un miembro del American Concrete Institute, Asociación Nacional de Prefabricados de Concreto y la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, y más recientemente fue el presidente de ACI subcomité 544 A en la producción y aplicación de concreto reforzado con fibras. El Sr. Mahoney también es presidente de la Asociación de concreto reforzado con fibra y co-autor de varios trabajos sobre los temas de CRF, concreto lanzado, la huella de carbono de los materiales de fibras y sistemas innovadores de puentes.

Introducción a fibras y refuerzo de fibras

- 1.1 Historia y Desarrollo
- 1.2 Tipos de Fibras
- 1.3 Fundamentos de la fibra de refuerzo
- 1.4 Fenómeno de agrietamiento
- 1.5 Beneficios de RFC durante la construcción
- 1.6 Beneficios de RFC en servicio
- 1.7 Beneficios económicos y ambientales

Capítulo 1



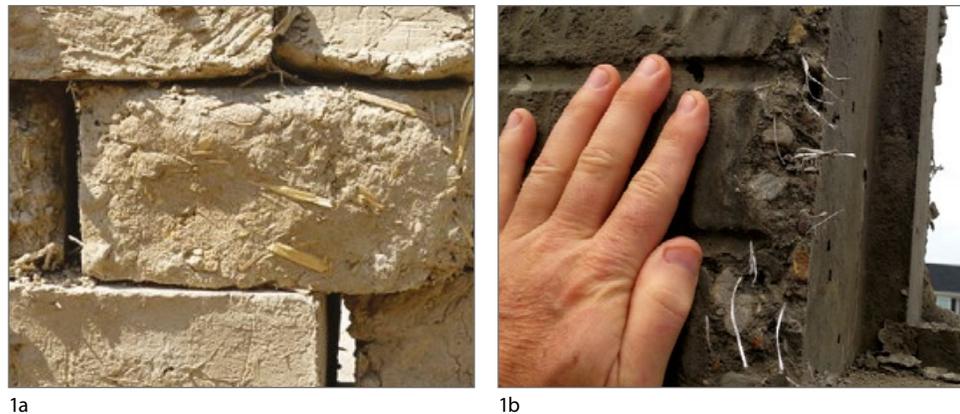
EUCLID GROUP
EUCOMEX

1.1 Historia y Desarrollo

Desde la antigüedad, las fibras se han utilizado para reforzar materiales frágiles, tales como ladrillos de barro que se refuerzan con paja (FIGURA 1-a). Esta forma de refuerzo fibroso está todavía en uso en algunas partes del mundo. Los primeros estudios sobre el uso de fibras dan fecha concreta en la década de 1950 con fibras de acero y fibras de vidrio mientras que las fibras sintéticas se utilizaron por primera vez en concreto en la década de 1960. Para prevención de grietas, y capacidad de carga después del agrietamiento como función principal de estas fibras (FIGURA 1-b). Con el fin de establecer las recomendaciones de uso de fibra y directrices para la industria, el Comité ACI 544 (concreto reforzado con fibras) se formó en 1965. Desde entonces, los avances considerables se han hecho a la tecnología de fibras para obtener un mejor acabado de mezcla de características, así como mejorar las propiedades mecánicas del concreto.

FIGURA 1

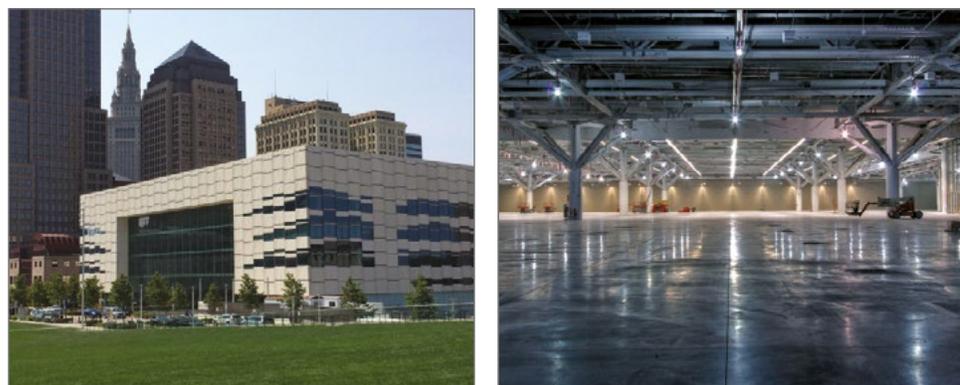
a) La paja fue utilizada en ladrillos de barro para el control de grietas; b) Macrofibras sintéticas se utilizan ahora en concreto para el control de agrietamiento, así como proporcionar la capacidad de flexión adicional post-agrietamiento.



A medida que la tecnología mejora y las aplicaciones se expanden, las instituciones técnicas en Norteamérica y otras partes del mundo están desarrollando directrices y códigos para el uso de la fibra en una variedad de aplicaciones. Macrofibras sintéticas son la novedad de la vanguardia en la tecnología de la fibra y se comercializaron a finales de 1990. Mientras que las fibras de acero se utilizan en una gama más amplia de aplicaciones estructurales, las macrofibras sintéticas se están convirtiendo rápidamente en la opción viable para ciertos proyectos. El concreto reforzado con fibras (CRF) es una tecnología de rápida evolución en el sector de la construcción por sus beneficios técnicos, económicos y ambientales. Las aplicaciones de CRF incluyen losas sobrerasante, sistemas losa-acero, concreto prefabricado, concreto lanzado y para proyectos nuevos de reparación en construcción. FIGURA 2 muestra un ejemplo de donde se utilizaron macrofibras sintéticas para reemplazar barras de acero como el único medio de refuerzo.

FIGURA 2

Centro Mundial de Salud e Innovación y Centro de Convenciones, Cleveland, OH. Macrofibras sintéticas fueron utilizadas en lugar de las varillas de acero (# 4 @ 12 ") Para reforzar la losa sobre rasante.



Eucomex es un importante productor de fibras sintéticas y proporciona las recomendaciones de ingeniería, revisión de las especificaciones y pruebas para apoyar la industria de la construcción.

1.2 Tipos de Fibras

Fibras para refuerzo de concreto están hechas con diferentes materiales y se producen en varios tamaños y geometrías. ACI-544 y ASTM C1116 categorizan las fibras basadas en la composición: acero, vidrio, fibras sintéticas y naturales. Las fibras de acero y fibras sintéticas son las fibras más utilizadas en la industria de la construcción. Cuando se considera el tamaño y la funcionalidad de las fibras, que se pueden clasificar en "microfibras" y "macrofibras" (FIGURA 3). Las microfibras se utilizan generalmente para el control de agrietamiento por contracción plástica y por lo general no añaden ninguna capacidad estructural a una sección de concreto. Estas fibras son relativamente finas con un diámetro en el intervalo de 0,0008 a 0,002 pulgadas (0,02 a 0,05 mm) y una longitud en un intervalo típico de ¼-1 pulgada (6-25 mm). Las Macrofibras de acero o sintéticas se utilizan para controlar las grietas por contracción/temperatura, así como proporcionar capacidad de carga post-agrietamiento de los elementos de concreto sometidos a flexión y tensión para reemplazar malla de alambre y barras de refuerzo de acero ligero para ciertas aplicaciones. Estas fibras son relativamente gruesas con diámetros en el intervalo de 0,02 hasta 0,03 pulgadas (0,5-0,7 mm) y una longitud en un intervalo típico de ¾-2 pulgadas (19-50 mm). La decisión sobre el tipo, tamaño, geometría, y la tasa de dosificación de las fibras depende de la aplicación y el tipo de condiciones de carga y la exposición. Eucomex produce una amplia gama de fibras que incluyen la línea "Fiberstrand" de microfibras, "TUF-Strand" línea de macrofibras y fibras de acero; todos ellos cumplen con la norma ASTM C1116 (TABLA 1). Eucomex proporciona herramientas de ingeniería y oportunidades de pruebas para optimizar un diseño de la mezcla con fibras para aplicaciones específicas.

FIGURA 3

- a) PSI Fiberstrand microfibra
- b) TUF-STRAND macrofibra y
- c) Concreto Reforzado con Fibras producidas por Eucomex.



3a



3b



3c

TABLA 1

Productos producidos y proporcionados por Eucomex sus aplicaciones y dosificaciones.

TIPO DE FIBRA	NOMBRE DEL PRODUCTO	MATERIAL	LONGITUD (PULG)*	APLICACIONES	DOSIS TÍPICAS [†]
Micro Fibras Sintéticas	PSI Fiberstrand 100	Polipropileno (Monofilamento)	¼, ½, ¾	Contracción plástica y control de fisuramiento por temperatura	1.0 lb/yd ³
	PSI Fiberstrand 150	Polipropileno (Monofilamento)	¼, ¾, multi-length		0.67-1.0 lb/yd ³
	PSI Fiberstrand Multi-Mix 80	Polipropileno (Monofilamento)	¼, ½		0.5 lb/yd ³
	PSI Fiberstrand F	Polipropileno (Fibrilado)	¼, ½, ¾, multi-length		1.5 lb/yd ³
	PSI Fiberstrand P	Polipropileno (Monofilamento)	¾		1.0 lb/yd ³
	PSI Fiberstrand N	Nylon (Monofilamento)	½, ¾, 1½		1.0 lb/yd ³
Macro Fibras Sintéticas	TUF-STRAND MaxTen	Polipropileno/ Mezcla de Polietileno	¾, 1½	Control de fisuras por contracción y temperatura	3-5 lb/yd ³
	TUF-STRAND SF	Polipropileno/ Mezcla de Polietileno	2	Control de fisuras por contracción, temperatura estructural	3-15 lb/yd ³
Fibras de Acero y Mezclas	PSI Steel Fiber Crimped MB & FB	Acero (rizado) + Polipropileno (Monofilamento y Fibrilado)	1½ acero + ½ & ¾ PP	Control de fisuras por contracción y temperatura + limte estructural	24-96 lb/yd ³
	PSI Steel Fiber C6560	Acero (hooked-end)	2 ¾ acero	Control de fisuras por contracción y temperatura + limte estructural	25-100 lb/yd ³

* Longitudes de fibra personalizadas pueden estar disponibles para proyectos especiales.

† Para encontrar una dosis de ingeniería macro-fibras, póngase en contacto con Eucomexl. Los factores de conversión: 1 pulgada = 25 mm; 1 lb / yd³ = 0,6 kg / m³

1.3 Fundamentos del Refuerzo con Fibras

Concreto Reforzado con Fibras contiene materiales fibrosos, además de ingredientes de la mezcla de concreto estándar. Como el concreto es fuerte en compresión, pero relativamente débil en tensión, se necesita un mecanismo de refuerzo para llevar a los esfuerzos de tensión y flexión causados por cargas últimas de contracción así como tensiones térmicas después del agrietamiento. Las fibras pueden proporcionar la capacidad de tensión y flexión después del agrietamiento en el concreto al igual que el acero de refuerzo en malla. El acero de refuerzo es continuo y se coloca específicamente en concreto para un rendimiento optimizado. Las fibras son discontinuas y se distribuyen al azar y homogénea en todo el concreto. El acero de refuerzo proporciona un refuerzo de dos dimensiones y requieren mano de obra para la colocación y posicionamiento. Las macro fibras proporcionan un refuerzo tridimensional y se introducen en el concreto en la planta de producción por lotes en la revolvedora. El refuerzo para el concreto, en general, se puede clasificar en varios niveles basados en la aplicación y las cantidades de acero ($\rho = A_s / A_c$) en la que A es el área de acero y A_c es el

área de hormigón para un pie lineal (o metros) de la sección transversal. Las dosis exactas de macrofibras se calculan en base al desempeño del concreto reforzado con fibras como un material compuesto en comparación con varillas de refuerzo de acero o malla. Esto se puede hacer mediante la realización de pruebas estándar de vigas de concreto armado. Varios niveles de refuerzo se podrían definir para una sección de concreto como:

- a) Refuerzo para el control de grietas por contracción plástica ($\rho < 0.05\%$)
[microfibras o macrofibras en dosis mínimas]
- b) Refuerzo para el control de agrietamiento por temperatura y contracción ($0.05\% < \rho < 0.1\%$)
[macrofibras - baja dosificación]
- c) Refuerzo para el control de agrietamiento, con bajos niveles de momento ($0.1\% < \rho < 0.35\%$)
[macrofibras - dosificación media]
- d) Refuerzo para el control de agrietamiento, con niveles medianos de momento ($0.35\% < \rho < 0.7\%$)
[macrofibras de alta dosificación]
- e) Refuerzo para el control de grietas, con altos niveles de momento ($\rho > 0.7\%$)
[sólo varillas o un híbrido de varillas de refuerzo y macrofibras]

Cabe señalar que las fibras en las dosis moderadas no aumentan la resistencia a la flexión del concreto como tampoco las varillas de acero de refuerzo o la malla electro-soldada. La resistencia a la flexión es principalmente una función de diseño de mezcla de concreto y el curado. La principal función del refuerzo de cualquier tipo está en la etapa posterior al agrietamiento proporcionando la capacidad de soportar cargas y momentos finales. En las dosis elevadas, sin embargo, las fibras pueden proporcionar endurecimiento por deformación y aumentar la resistencia a la flexión final. Este comportamiento se explica con más detalle en el capítulo 2. La comparación de la respuesta a la flexión en el hormigón reforzado con fibras vs. refuerzo de acero se basa en un ensayo de la viga que permite la captura de la respuesta post-grieta (FIGURA 4).

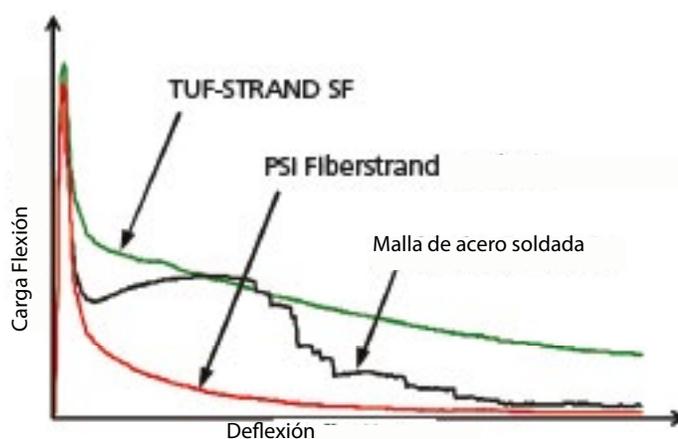


FIGURA 4

Los resultados típicos de la prueba de vigas (carga de flexión contra la deflexión) para malla (WWF) en comparación con TUF-Strand SF fibras macro y micro fibras PSI Fiberstrand. Tenga en cuenta que el desempeño depende del tamaño de malla y la dosis de fibra.

Ha habido miles de proyectos exitosos en los que el refuerzo de acero ha sido reemplazado con fibras macro de acero o fibras macro (sintéticas). Los sistemas estructurales son comúnmente estáticamente indeterminados; es decir, el sistema tiene más que el número mínimo de apoyos necesarios para la estabilidad. En la mayoría de los casos, estos sistemas son de hecho, continuamente apoyado, por ejemplo, el suelo.

Donde las fibras sintéticas macro pueden reemplazar refuerzo de acero:

- Losas sobre-rasante (pisos residenciales, estacionamientos, pisos industriales)
- Pavimentos (carreteras, calles, aceras)
- Sobre capas (overlay) (coberturas para losas de puentes, los revestimientos de cubierta de aparcamiento)
- Sistemas Losa-acero (losas elevadas en sistema losa-acero)
- Concreto lanzado (túneles, taludes, piscinas, reparación)
- Paredes (muros de cimentación de baja profundidad y paredes ICF)
- Algunas unidades prefabricadas (tanques sépticos, bóvedas de servicios públicos, decorativos)

Donde las fibras sintéticas macro no pueden sustituir a un refuerzo de acero:

- Losas de entrepisos
- Vigas suspendidas
- Columnas estructurales
- Muros de carga
- Muros de cortante

Hay que añadir que el uso de refuerzos híbridos (varillas corrugadas + macrofibras) podría ser una alternativa en las aplicaciones anteriormente mencionadas. Refuerzo de acero puede reducirse (es decir, mayor espaciado entre varillas) si las fibras macro pueden compensar el refuerzo y proporcionar capacidad de flexión similar. Se ha demostrado que las fibras de macro pueden mejorar la capacidad de corte del concreto. A dosis elevadas, macrofibras pueden realmente sustituir el refuerzo de cortante. De hecho, ACI-318 permite el uso de fibras de acero macro como el refuerzo de corte alternativo si se satisfacen ciertos criterios. Si se utilizan fibras, mejora, la ductilidad se mejora en el material compuesto.

1.4 Fenómeno de Agrietamiento

La razón más común para las primeras grietas en el concreto es la contracción plástica, especialmente en aplicaciones de pavimento de concreto. El agrietamiento a temprana edad se produce cuando la humedad superficial se evapora más rápido de lo que puede ser reemplazado por el aumento de agua de purga, haciendo que la superficie para reducir el tamaño más que el hormigón interior. Esto crea la moderación en la superficie con el desarrollo de las tensiones que exceden la resistencia a la tracción baja en concreto plástico, dando lugar a grietas en la superficie. Estas grietas en cogimiento de plástico pueden ser reducidos o eliminados con el diseño de la mezcla adecuada y buenas prácticas de curado. Las grietas de contracción se forman más significativamente en esquinas reentrantes, como resultado de la concentración de tensión (FIGURA 5). Debido a que el hormigón no se puede reducir en una esquina, el estrés provoca grietas para formar y propagar desde el punto de esa

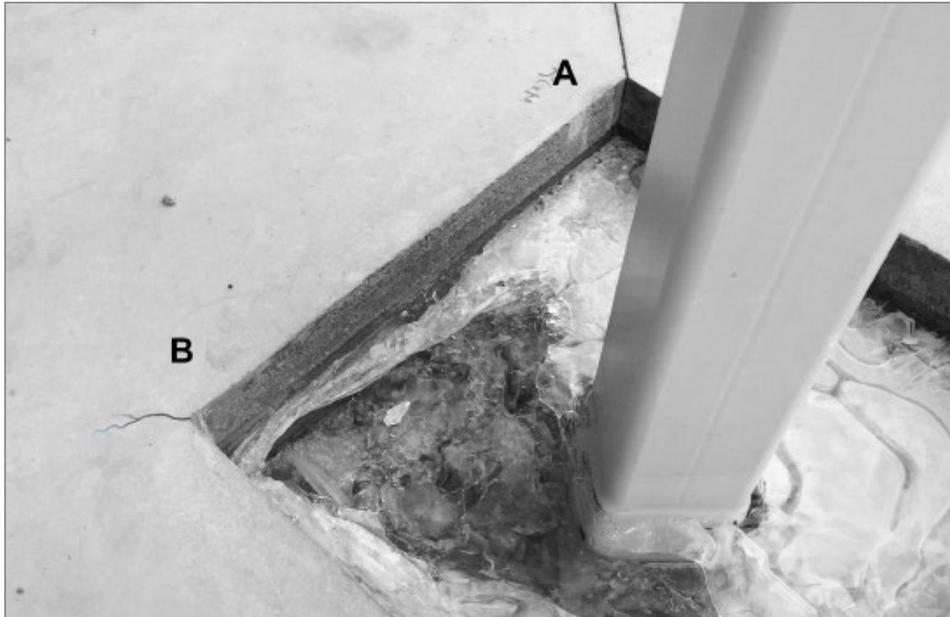


FIGURA 5

El agrietamiento puede ocurrir en el concreto cuando las tensiones superan la resistencia del concreto. En las esquinas crean concentración de tensiones, que pueden conducir al agrietamiento.

esquina. Un objeto redondeado en el medio de una placa (por ejemplo, boca de inspección, drenaje u otro empotramiento circular) crea el mismo problema. El concreto no se puede reducir el tamaño más pequeño que el objeto se vierte alrededor y esto provoca el agrietamiento.

Si las tensiones generadas durante el proceso de secado superan la resistencia a la tensión del concreto, las grietas se forman para liberar el exceso de energía. El agrietamiento en el estado elástico (concreto endurecido), se debe al cambio dimensional debido al gradiente de temperatura, la contracción debido al secado, así como de ciclo de congelación-descongelación, movimiento de tierra, la solución de suelo, carga excesiva y el impacto podría dar lugar a la formación de grietas en el hormigón endurecido. La resistencia a la tracción del hormigón es típicamente 10-15% de su resistencia a la compresión. Por ejemplo, hormigón con 28 días de resistencia a la compresión de 4000 psi (28 MPa), tendrá una resistencia a la tracción aproximada de 400 psi (2,8 MPa) a los 28 días. Estos valores son mucho más bajos para el hormigón plástico. Las microfibras pueden proporcionar la resistencia a la tracción necesaria dentro de la matriz cuando el hormigón está todavía en estado plástico, prevenir o reducir la aparición de grietas por contracción plástica. Las fibras sintéticas de macro en una tasa de dosificación mínima de 3,0 lb/yd³ (1,8 kg/m³) también se pueden utilizar para el control de estas grietas y para proporcionar resistencia y durabilidad adicional para el hormigón endurecido.

1.5 Beneficios durante la construcción

El refuerzo convencional con malla de acero o varillas de refuerzo requiere entrega en el lugar de trabajo, el almacenamiento y la mano de obra para la instalación. Y a ser que se usen losas sobre el rasante, sistema de acero, concreto lanzado, o elementos prefabricados de concreto, el acero de refuerzo debe estar posicionado en la sección con usos de silletas o espaciadores. La colocación incorrecta de acero, especialmente la de

FIGURA 6

Las dificultades en la colocación de la malla de electro-soldada de acero en el suelo y una instalación inadecuada típico que puede resultar en formación de grietas a pesar del uso de refuerzo.



FIGURA 7

El concreto reforzado con fibras se puede colocar fácilmente en el suelo cuando la malla o las varillas de refuerzo de acero se eliminan.



malla electro-soldada, da como resultado el agrietamiento del concreto no deseado a pesar de la utilización de refuerzo (FIGURA 6). Sustitución de malla de alambre o barras de refuerzo con fibras de acero macro (o sintéticas) elimina el tiempo y los costos asociados con la compra, fabricación, entrega e instalación de refuerzo. refuerzo de fibras es llevado al lugar de trabajo en el camión de concreto premezclado y se vierte en el lugar junto con hormigón (FIGURA 7). Eliminación de la malla de alambre instalado o barras de refuerzo también puede reducir el riesgo de tropiezo para el personal, la mejora de las medidas de seguridad en el lugar de trabajo.

1.6 Beneficios del CRF en Servicio

El refuerzo convencional con malla electro-soldada de acero o varillas de refuerzo proporciona un refuerzo de dos dimensiones en una ubicación específica en el concreto. El refuerzo de fibra proporciona un refuerzo tridimensional a lo largo de la sección de concreto. Homogéneamente distribuidos y las fibras orientadas aleatoriamente controlan las grietas en el hormigón en todas las direcciones, dando como resultado grietas

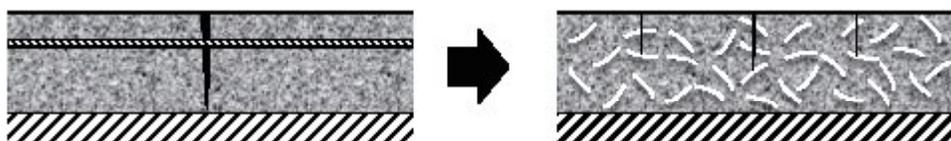


FIGURA 8

Malla y varillas de refuerzo proporcionan control de la fisuración en dos dimensiones mientras que las macrofibras proporcionan refuerzo tridimensional en el concreto que queda como resultado de grietas delgadas.

más cortas y más delgadas, la mejora de la durabilidad a largo plazo del concreto (FIGURA 8). Anchos de fisura más pequeños limitan la penetración de los productos químicos potencialmente dañinos en el concreto. Los daños provocados por la penetración de cloruro, ataques de sulfatos y la reacción álcali-sílice comienzan con la difusión de productos químicos solubles en agua en contacto con el concreto. La reacción de estos componentes con productos de hidratación, áridos y/o resultados de refuerzo de acero, que se manifiestan como grietas. El refuerzo de fibra también reduce el desgaste y el pistillamiento en concreto causado por sobrecarga o fuerzas de impacto. Para aplicaciones de pavimento de concreto, tales como los asobrerantes, losas y pavimentos elevados, el tráfico y cargas vehiculares crean una carga de tipo fatiga. El uso de fibras en el concreto aumenta la resistencia a la fatiga del concreto, lo que resulta en la vida de servicio más larga y costes de mantenimiento reducidos.

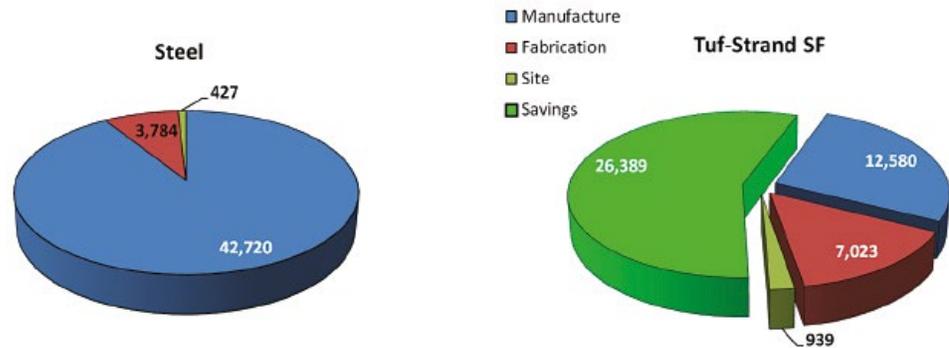
FIGURA 9

Eucomex puede proporcionar hojas de cálculo para la estimación de costos de concreto reforzado con fibras para una variedad de aplicaciones.

START HERE		START HERE		Typical WWM and rebar reinforcement for slab-on-grade								
For the typical dosages shown on the right, fill these two yellow cells to find the price. (will be shown in the grey tables on the right)		For the typical dosages shown on the right, fill these three yellow cells to find the price. (will be shown in the grey tables on the right)		Recommended TSSF Dosage (lb/yd ³)								
TSSF Unit Price Sold (\$/lb)	Total Slab Area (ft ²)	Metal Deck Height (inches)	TSSF Unit Price Sold (\$/lb)	Steel Wire Mesh				Steel Rebar				
				Slab Thickness	6in - 10/10	6in - 6/6	6in - 4/4	#3 @ 3.2"	#3 @ 16"	#4 @ 3.2"	#4 @ 16"	#4 @ 24"
				4								
				6								
				8								
				10								
For any other dosage and thickness in design, fill these two yellow cells to find the price. (will be shown in the grey cells below)		For any other dosage and thickness in design, fill these two yellow cells to find the price. (will be shown in the grey cells below)		TSSF Price per Square Foot of Slab (\$/ft ²)								
TSSF Dosage (lb/yd ³)	Slab Thickness (in)	TSSF Dosage (lb/yd ³)	Total Slab Thickness (in)	Steel Wire Mesh				Steel Rebar				
				Slab Thickness	6in - 10/10	6in - 6/6	6in - 4/4	#3 @ 3.2"	#3 @ 16"	#4 @ 3.2"	#4 @ 16"	#4 @ 24"
				4								
				6								
				8								
				10								
TSSF Price (\$/ft ²)		TSSF Price (\$/ft ²)		Total TSSF Price in the Slab (\$)								
Total TSSF Price (\$)		Total TSSF Price (\$)		Slab Thickness	6in - 10/10	6in - 6/6	6in - 4/4	#3 @ 3.2"	#3 @ 16"	#4 @ 3.2"	#4 @ 16"	#4 @ 24"
				4								
				6								
				8								
				10								

FIGURE 10

Comparación de kg de (CO₂) de emisión equivalente para la construcción de un piso convencionalmente reforzado vs. un suelo reforzado con fibras macrosintéticas TSSF.



1.7 Beneficios Económicos y ambientales

Además de los beneficios técnicos, en sustitución de la malla de electro-soldada de acero o varillas de refuerzo con macrofibras puede dar lugar a ahorros de tiempo y costos. Al eliminar la necesidad de la instalación de sillas y refuerzos, el tiempo de colocación del concreto se reduce junto con los ahorros potenciales en los gastos iniciales asociados con el material, transporte, almacenamiento, y la instalación de acero. El uso adecuado de CRF mejora el ciclo de vida de estructuras de concreto con ahorros potenciales en futuras reparaciones. Mejora la ductilidad, incrementa la duración a la fatiga y resistencia al impacto. La Compañía Eucomex puede proporcionar hojas de cálculo para calcular y comparar los costos relacionados con el refuerzo de fibra expresado en \$ / m² (\$ / m²) o \$ / yd³ (\$ / m³) de concreto (FIGURA 9).

Eucomex ha completado recientemente un proyecto de investigación que investiga iniciativas sostenibles para el uso de concreto reforzado con fibras con las losas de concreto armado convencionalmente. Este estudio fue realizado en colaboración con la Universidad de Akron (Ohio), en el que se estima que las emisiones de gases de invernadero para un proyecto grande que comparó el uso de refuerzo de acero convencional y fibras sintéticas macro TUF-STRANDSF. El análisis realizado utilizó un enfoque en el que todos los materiales utilizados para el proyecto fueron fabricados y transportados al lugar del proyecto; una vez finalizada la construcción, se concluyó el análisis. Los resultados mostraron una reducción de las emisiones de CO₂ de más de 50% al comparar la parte del refuerzo del proyecto sólo con la consideración de proporcionar materiales reciclados en lugar de acero y la disponibilidad local (FIGURA 10). Cuando se combina con otras actividades y materiales de construcción, tales como la colocación del concreto y el trabajo en sitio, la reducción global de las emisiones de CO₂ que estaba en el rango de 3-4%, lo que sería una considerable al aplicar este análisis a una escala más amplia de múltiples edificios y proyectos más grandes.

CRF Propiedades y Métodos de diseño

Capítulo 2

- 2.1 CRF Características
- 2.2 CRF Métodos de ensayo
- 2.3 Consideraciones de diseño para CRF
- 2.4 Concepto de diseño convencional para concreto reforzado con acero
- 2.5 Concepto de diseño convencional para concreto reforzado con acero (2 mats)
- 2.6 Concepto de diseño para Concreto Reforzado con Fibras
- 2.7 Concepto de diseño híbrido (acero y fibras)
- 2.8 Diseño por contracción y temperatura (control de agrietamiento)
- 2.9 Cálculo de momento y diseño para una sección simplemente apoyada
- 2.10 Cálculo de momento y diseño para una sección continuamente soportada
- 2.11 Herramientas de diseño de Eucomex
- 2.12 Códigos de diseño, guías y recomendaciones



EUCLID GROUP
EUCOMEX

2.1 CRF Características

Abajas dosificaciones o moderadas, el efecto de las fibras en la resistencia a la compresión y a la flexión del concreto (en agrietamiento) es insignificante. Sin embargo, la adición de macrofibras en el concreto puede mejorar significativamente la resistencia a la rotura y la resistencia a la flexión del material (después del agrietamiento). El agrietamiento podría tener lugar en concreto bajo condiciones de carga última o en condiciones relacionadas con estados de servicio, tales como la contracción. En un ensayo de unaviga típica, no se observan ningún cambio importante hasta el punto de fisuración del concreto. Resistencia a la flexión (módulo de rotura) y módulo elástico son principalmente funciones del diseño de la mezcla de concreto. Después del agrietamiento del concreto, los refuerzos de acero transfieren los esfuerzos a través de los anclajes al concreto y de su unión al mismo. Las fibras de refuerzo también funcionan de una manera similar, pero a una escala diferente, a igual que cientos de mini refuerzos. Cuando el concreto se carga en tensión (o por flexión), estas fibras se extienden debido a las fuerzas de tensión y absorben los esfuerzos producidos. Cuando el concreto se agrieta, estas fibras no necesariamente fallan; empiezan a llevar más tensiones a través de la acción de las uniones. Las etapas implicadas en la insuficiencia CRF se muestran esquemáticamente en la FIGURA 11: 1) En la matriz del cemento se forman grietas, 2) despegado y deslizamiento entre fibras y matriz, 3) la fibra que se adhirió hace un puente para las grietas, 4) deslizamiento por fricción y jalón de la fibra y 5) falla de la fibra bajo tensión. El nivel de carga (o nivel de esfuerzo) que llevan las fibras en una sección de concreto agrietado es conocido como carga residual (o esfuerzo residual). El área bajo las gráficas de carga-deflexión es la energía absorbida por el sistema CRF y se conoce como dureza de flexión.

FIGURA 11

Esquema del mecanismo en el cual trabaja el refuerzo de la fibra en el concreto.



Unaviga de concreto reforzada con fibra probada en cuanto a la flexión no se rompe repentinamente a la carga pico (es decir, cuando se agrieta el concreto), ya que todavía puede soportar una carga residual. El jalón de fricción disipa energía; como resultado, se requiere carga externa para generar la energía que se absorbe en el proceso. La capacidad de absorción de energía (también llamada ductilidad o dureza) es muy importante cuando la estructura está soportando carga cíclica, sísmica, de impacto, de fatiga y explosiva. Por lo tanto, realizar unaviga de flexión apropiada para obtener una respuesta posterior al agrietamiento, es de suma importancia para CRF.

Las características del concreto reforzado con fibras en una región posterior al grietamiento, depende de la dosificación del refuerzo de la fibra (contenido de la fibra) que puede expresarse en peso por volumen de concreto (lb/yd^3 o kg/m^3) o como volumen de porcentaje (%). A dosis de fibras medias, la respuesta posterior al grietamiento, se encuentra en modo de "relajamiento de la tensión". Durante una prueba de flexión o tensión, las fibras unirá con eficacia una grieta principal con una reducción gradual en la capacidad de soportar carga posterior al grietamiento. Por otra parte, cuando se utilizan fibras a dosis más altas, la respuesta posterior al grietamiento se encuentra en modo de "endurecimiento de la tensión". Durante una prueba de flexión o tensión, el contenido de la fibra es suficientemente alto para redistribuir todos los esfuerzos y unir con eficacia varias grietas más pequeñas con un incremento gradual en la capacidad de soportar carga (FIGURA 12).

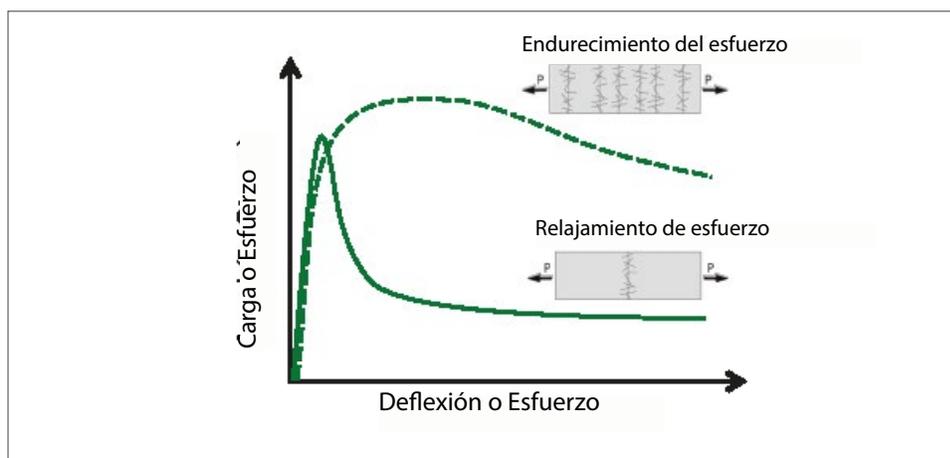


FIGURA 12

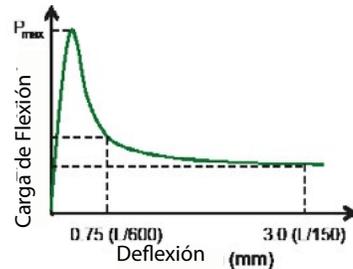
Esquema del relajamiento de esfuerzo para fibras de dosis bajas (una grieta principal) y endurecimiento de esfuerzo para fibras de dosis alta (agrietamiento múltiple).

2.2 Métodos de Prueba CRF

Dado que las fibras afectan principalmente a la respuesta posterior al grietamiento del concreto, la realización de una prueba adecuada para obtener la respuesta completa es esencial para el CRF. La realización de una prueba de tensión directa es la mejor manera de caracterizar fibra de refuerzo; sin embargo, una prueba de tensión apropiada es extremadamente difícil de ejecutar para el concreto. Como una alternativa aceptada, las pruebas de flexión se llevaron a cabo y los resultados se utilizan para respaldar a calcular las propiedades de tensión. Estas pruebas se introducen brevemente aquí. En todas estas pruebas, se obtienen plena carga y deflexión y se miden los parámetros relativos a la "fuerza residual" o "resistencia a la flexión". Se requiere un equipo de prueba servo-hidráulico para realizar algunas de estas pruebas bajo control de bucle cerrado para obtener resultados adecuados.

ASTM C1609 - 12: Método de prueba estándar para desempeño de flexión en concreto reforzado con fibras (utilizando una viga con tres cargas puntuales)

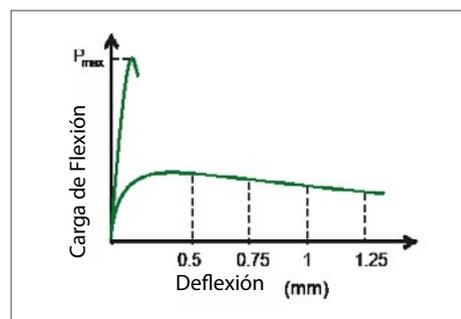
Esta prueba fue originalmente conocida como ASTM C1018 con dos décadas de historia. El principal parámetro obtenido a partir de esta prueba se denomina resistencia residual equivalente ($R_{e,3}$ o $R_{T,150}$), que es un parámetro utilizado con frecuencia en el diseño. Esta prueba se realiza normalmente en $6" \times 6" \times 20"$ ($150 \times 150 \times 500$ mm) CRF vigas con un claro de carga de $18"$ (450 mm) (FIGURA 13). La viga se pone a prueba continuamente bajo control de bucle cerrado hasta alcanzar un punto medio equivalente de desviación neta a $1/150$ de la extensión ($0,12"$ o 3 mm). El parámetro $R_{T,150}$ es la relación de Resistencia a la flexión equivalente en (porcentaje) en el punto de la tenacidad (área bajo la curva de la gráfica) carga-deflexión. Alternativamente $f_{e,3}$, en el post-agrietamiento asociado con $R_{e,3}$ Resistencia Residual se puede utilizar en el proceso de diseño. Un valor mínimo de $R_{e,3}$ o $f_{e,3}$ se puede determinar en una especificación cuando las fibras macro se sustituyen por barras de refuerzo de acero o malla. Tenga en cuenta que $f_{e,3} = R_{e,3} \times f_r$ donde f_r es la resistencia a la flexión del concreto.



ASTM C1399 – 10: Método Estándar de Prueba para Obtener Resistencia Residual Promedio de Concreto Reforzado con Fibras

Esta prueba fue desarrollada más recientemente para permitir la prueba de CRF con un equipo menos sofisticado y con menores costos. El parámetro obtenido de esta prueba se denomina resistencia residual promedio (ARS). Los resultados de esta prueba son típicamente menos consistentes que los obtenidos a partir de C1609. Esta prueba se realiza en $4" \times 4" \times 14"$ ($100 \times 100 \times 350$ mm) CRF vigas con un claro de carga de $12"$ (300 mm) (FIGURA 14). Una placa de acero se coloca inicialmente bajo la viga para evitar el fallo repentino y la carga comienza hasta que se produce el agrietamiento (carga máxima), se descarga y entonces se retira la placa de acero. Una prueba de bucle abierto se lleva a cabo a continuación, con el método de control de desplazamiento hasta llegar a una deflexión neta de $0,05"$ ($1,25$ mm). El ARS es un parámetro en (psi o MPa) se encuentra promediando la tensión de flexión de cuatro puntos ($0,5, 0,75, 1, 1,25$ mm de

FIGURA 14
Prueba general de viga y resultados para método de prueba ASTM C1399.



desviación) en la curva de carga-deflexión posterior a la grieta. Un valor mínimo de ARS se puede determinar de una especificación cuando las fibras macro se reemplazan las barras de refuerzo de acero/malla. El valor de ARS de C1399 es normalmente ligeramente superior que el $f_{e,3}$, obtenido a partir de C1609.

ASTM C1550 - 12: Método de prueba estándar para la flexión tenaz de concreto reforzado con fibras (Uso de panel redondo cargado en el centro)

Esta prueba es uno de los métodos de prueba estándar más recientes y es más aplicable a los proyectos de concreto lanzado y algunas veces los asobreras ante. El parámetro obtenido a partir de esta prueba es la energía absorbida durante la carga de un panel de determinador onda (RDP). Esta prueba se realiza en un panel de CRF con un diámetro de 3 pies (900 mm) y un espesor de 3 pulgadas (75 mm) que se sientan en tres soportes (FIGURA 15). El panel se prueba bajo el control de bucle abierto hasta llegar a una deflexión neta puntomedio de 1,6 pulgadas (40 mm). La energía absorbida se encuentra de la tenacidad (área bajo la gráfica) de la curva de carga-deflexión. Este valor de la energía (por ejemplo, 400 jules) se puede determinar de una especificación cuando las fibras macro se reemplazan las barras de refuerzo de acero/malla.

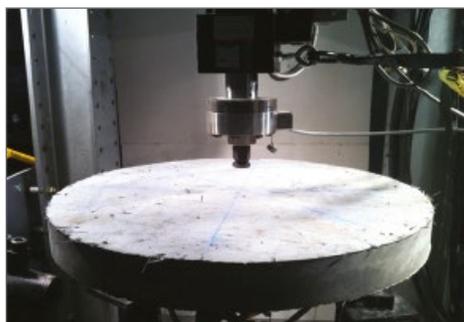
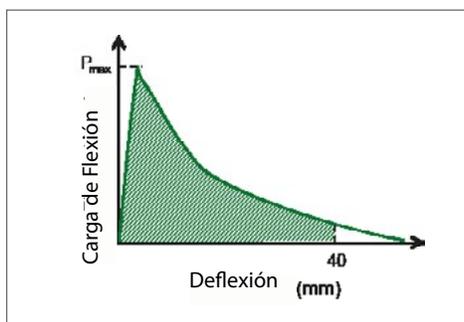


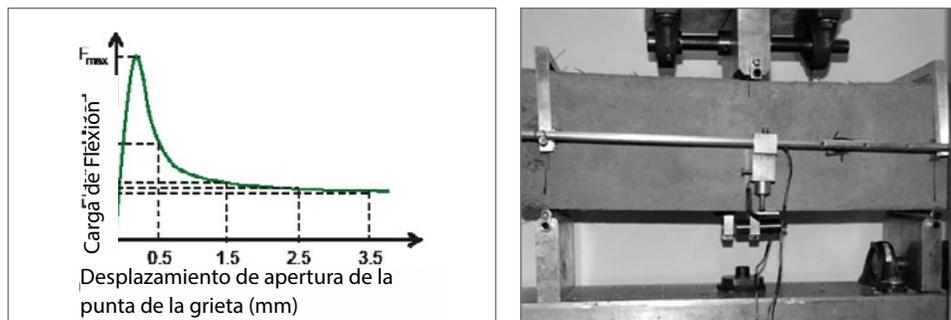
FIGURE 15 Prueba general de panel Redondo y resultados para el método de prueba ASTM C1550.

RILEM TC 162 – 02 (EN 14651): Métodos de Prueba y Diseño para Concreto Reforzado con Fibra de Acero

Este es un método de prueba europeo y los parámetros de prueba se utilizan ampliamente para el diseño en muchos países. Esta prueba se lleva a cabo en vigas CRF de 6" x 6" x 22" (150 x 150 x 550 mm) y en un tramo de carga de 20" (500 mm) con una pequeña muestra en el tramo medio (FIGURA 16). Esta muestra se utiliza como un iniciador de grieta y la deflexión y el desplazamiento de apertura de la punta de la grieta (CMOD) se miden en el tramo medio durante la prueba. La viga se prueba bajo control de bucle cerrado hasta que alcanza una apertura de grieta de 0.14" (3.5 mm). El parámetro $f_{R,i}$ es la resistencia residual a la flexión (psi o MPa) que se encuentra en la tenacidad (área debajo de la gráfica) de la curva carga-CMOD hasta un CMOD o valor de deflexión de i , por ejemplo $f_{R,1}$ cuando CMOD es 0.5 mm o $f_{R,3}$ cuando CMOD es 2.5 mm. Los valores mínimos de $f_{R,1}$ y $f_{R,3}$ pueden determinarse en una especificación cuando las macrofibras se reemplazan por barras de refuerzo/malla de acero. El primer parámetro se refiere al estado límite de funcionamiento (SLS) y el segundo parámetro tiene que ver con el estado límite final (ULS), ya que el ancho permisible de grieta es el factor determinante para los dos estados límite.

FIGURA 16

Prueba general de viga con muesca y resultados para el método de prueba EN 14651.



2.3 Consideraciones de Diseño para CRF

Las siguientes son algunas notas importantes a considerar antes del proceso de diseño:

- Ambas fibras de acero y fibras sintéticas macro podrían ser utilizados como materiales para elementos de concreto que están soportados de forma continua, las macrofibras sintéticas se prefieren a menudo sobre las fibras de acero debido a la facilidad en el manejo en la mezcla, así como a la eliminación de la corrosión potencial de las fibras expuestas.
- Actualmente, el refuerzo de fibra como el único tipo de refuerzo para las secciones suspendidas sólo es posible con las fibras de acero en las dosis muy altas que proporcionarían una resistencia residual que supera la resistencia a la fisuración del concreto. Los sistemas híbridos de refuerzo (es decir, las varillas de acero + macrofibras) también es una opción viable si se cumplen los requisitos de diseño y las consideraciones económicas.
- Si se desea un diseño completo (desde acero), todas las cargas y combinaciones de cargas deben ser considerados para el cálculo de los momentos. El momento factorizado se utiliza entonces para calcular la resistencia residual a la flexión requerida. Las condiciones de apoyo (por ejemplo, el módulo de sub-base) deben ser conocidos también. La tasa de dosificación de la fibra será entonces determinada para proporcionar la resistencia requerida. Factores de seguridad o reducción apropiados deben ser utilizados para explicar las incertidumbres con material y construcción.
- Si el diseño se basa en la conversión de refuerzo de acero a las fibras, el momento de flexión (o resistencia a la tensión) proporcionado por las varillas de refuerzo de acero o malla de acero primero deben ser calculadas. El tamaño de la varilla, el espaciado y profundidad de refuerzo deben ser conocidas. La capacidad de momento (o tensión) debe ser provisto por el refuerzo de fibra en la dosis correcta. Macrofibras de (acero y sintéticas) también se han usado para mejorar la capacidad de corte de secciones de concreto.
- Una vez que los requisitos de diseño se calculan en términos de resistencia residual o parámetros similares, la dosificación de fibra se puede encontrar a partir de los métodos de ensayo normalizados mencionados anteriormente. Como ejemplo, los resultados de pruebas presentan aquí para TUF-STRAND SF probado a diferentes dosificaciones. La FIGURA 17 y FIGURA 18 muestran los resultados típicos ASTM C1609 (para vigas CRF) y C1550 (para paneles redondos CRF) de prueba, respectivamente. Las TABLA 2 y TABLA 3 muestran el resumen de los parámetros de prueba. Hay que señalar que estos resultados pueden cambiar con el diseño de la mezcla y la resistencia del concreto.

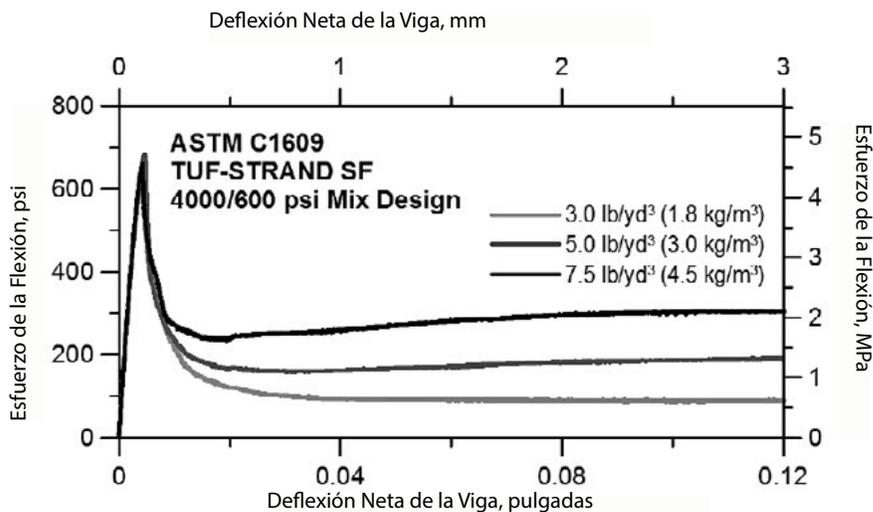


FIGURA 17
Resultados generales de prueba para ASTM C1609.

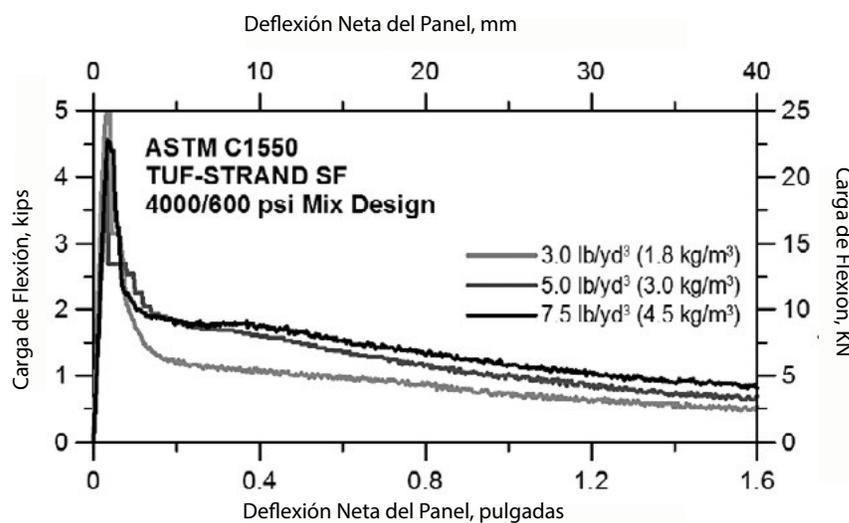


FIGURA 18
Resultados generales de prueba para ASTM C1550.

Dosis lb/yd ³ (kg/m ³)	f _{cs} psi (MPa)	R _{cs} %
3.0 (1.8)	128 (0.9)	22±3
5.0 (3.0)	203 (1.4)	30±2
7.5 (4.5)	288 (2.0)	44±4

TABLA 2
Parámetros generales de prueba ASTM C1609.

Dosis lb/yd ³ (kg/m ³)	Energía (J) a Deflexión (mm)				
	5	10	20	30	40
3.0 (1.8)	43	67	109	144	171
5.0 (3.0)	48	83	138	178	208
7.5 (4.5)	58	107	190	254	302

TABLA 3
Parámetros generales de prueba ASTM C1550.

2.4 Concepto de Diseño para Concreto Reforzado Convencional

El momento de flexión nominal para una sección de hormigón armado (RC), M_n -RC se calcula según las siguientes ecuaciones de equilibrio de fuerza en la sección transversal (FIGURA 19). Tenga en cuenta que todos los esfuerzos de compresión son transportados por el hormigón y todas las fuerzas de tracción se realizan por el acero. La capacidad de tracción del hormigón es insignificante y no se tiene en cuenta en estos cálculos.

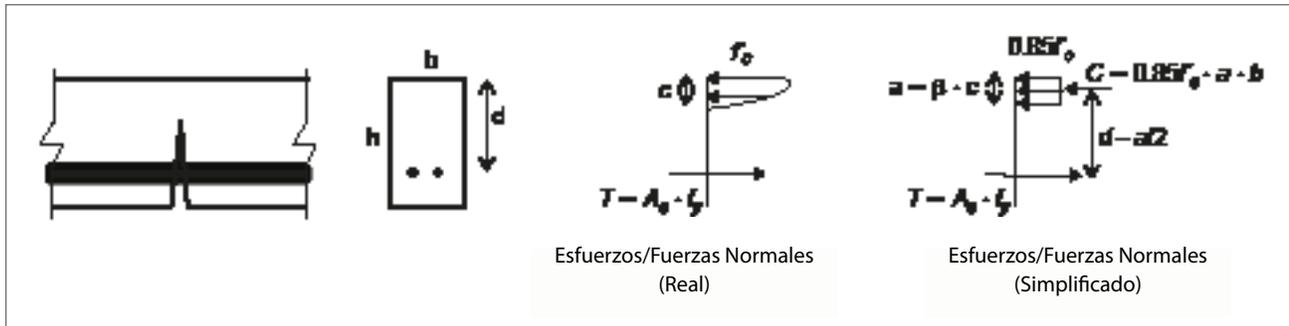


FIGURA 19

Esquema de bloque de esfuerzos en unavigadeconcreto reforzada con barras de acero.

$$M_{n-RC} = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$\text{donde: } a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \beta \cdot f'_c \cdot b}$$

h: altura de sección

b: amplitud de sección (ancho)

d: profundidad de refuerzo

a: profundidad de la zona de compresión

f'_c : resistencia a la compresión específica del concreto

f_y : sresistencia a la cedencia específica del concreto

A_s : área de acero en la sección transversal

T & C: fuerzas de tensión y compresión concentradas equivalentes

β : Parámetro relacionado con la zona de compresión, típicamente igual a 0,85 para el concreto de resistencia normal

Observe que una vez que se alcanza la resistencia a la flexión en el concreto, se agrietará y el refuerzo de acero proporcionará toda la capacidad del momento. Cuando se diseñaba según LRFD, la capacidad reducida de momento de la sección RC, $\phi \cdot M_{n-RC}$, llamada el momento de diseño, debe ser mayor que el momento del factor, M_u , applied to the section. El factor de reducción ϕ depende del tipo de miembro y debe determinarse sobre la base de ACI-318 o de otros códigos de construcción, por lo general entre 0.7 y 0.9.

$$\phi \cdot M_{n-RC} \geq M_u$$

2.5 Concepto de Diseño para Concreto Reforzado Convencional (2 losa)

Las losas superior de refuerzo en las vigas estructurales por lo general se localiza en la zona de compresión; por lo tanto, se llama acero de compresión. Este tipo de refuerzo puede utilizarse para resistir los momentos negativos y grietas en vigas y losas suspendidas. No obstante, en aplicación de losas sobreesante, la relación de refuerzo es baja y ambas losas se encuentran en la zona de tensión. El momento de flexión nominal para una sección de concreto reforzado (RC), M_{n-RC} se calcula de acuerdo con las siguientes ecuaciones de la fuerza de equilibrio en la sección cruzada (FIGURA 20). Podrían esperarse dos casos: 1) ambas esteras de acero van por debajo de la cedencia, es decir, $f'_s = f_y$, lo que representa una suposición más conservadora y 2) únicamente la estera inferior presenta cedencia y la superior alcanza esfuerzos de tensión inferiores al esfuerzo de cedencia, es decir, $f'_s < f_y$, puede asumirse un número tal como $f'_s = 0.5f_y$. Deberá observarse que en muchos casos, el tamaño y espaciamiento de la barra son iguales y en ese caso: $A_s = A'_s$.

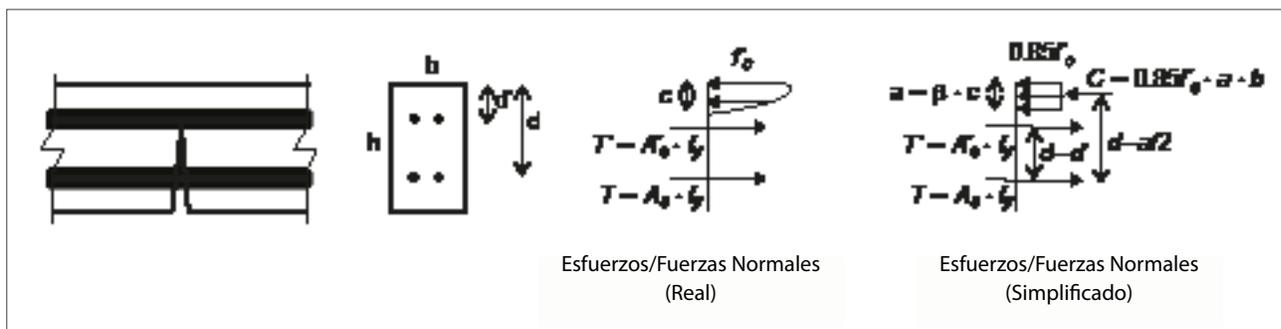


FIGURA 20

Esquema de bloque de esfuerzos en una viga de concreto reforzado con dos esteras de barras de refuerzo.

$$M_{n-RC} = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s \cdot f'_s \cdot \left(d' - \frac{a}{2} \right)$$

$$\text{donde: } a = \frac{A_s \cdot f_y + A'_s \cdot f'_s}{0.85 \beta \cdot f'_c \cdot b}$$

d : profundidad de refuerzo, capa inferior

d' : profundidad de refuerzo, capa superior

A_s : área de acero, capa inferior

A'_s : área de acero, capa superior

f_y : resistencia a la cedencia del acero

f'_s : esfuerzo a la tensión del acero, estera superior ($f'_s < f_y$)

Se reitera, una vez que se alcanza la resistencia a la flexión en el concreto, se agrietará y el refuerzo de acero proporcionará toda la capacidad del momento. Cuando se diseña sobre la base de LFRD, la capacidad reducida de momento de la sección RC, $\phi \cdot M_{n-RC}$ llamada el momento de diseño, deberá ser mayor al momento de factor, M_u , aplicado a la sección.

$$\phi \cdot M_{n-RC} \geq M_u$$

2.6 Concepto de Diseño para CRF

El momento de flexión nominal para una sección de concreto reforzado con fibras, M_{n-CRF} se calcula de acuerdo con las siguientes ecuaciones de equilibrio de la fuerza en la sección transversal (FIGURA 21). Observe que todos los esfuerzos a la compresión los lleva a cabo el concreto y que todas las fuerzas de tensión las realiza el concreto reforzado con fibras. La resistencia a la tensión del concreto reforzado con fibras, f_{t-CRF} , de hecho se toma en cuenta en estos cálculos y es igual a 0.37 veces la resistencia residual a la flexión del concreto reforzado con fibras, f_{e3} , que se encuentra en la prueba ASTM C-1609.

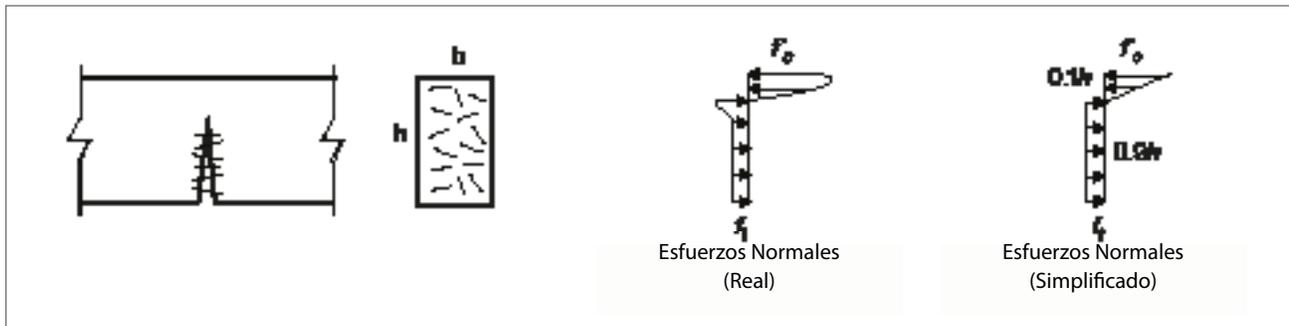


FIGURA 21
Esquema de un bloque de esfuerzo en una viga de concreto reforzada con macrofibras.

$$\begin{cases} f_{t-CRF} = 0.37f_{e3} \\ f_{e3} = R_{e3} \cdot f_r \end{cases} \rightarrow f_{t-FRC} = 0.37R_{e3} \cdot f_r$$

$$M_{n-CRF} = (f_t) \cdot (0.9h) \cdot (0.5h) \cdot b = (0.37R_{e3} \cdot f_r) \cdot (0.9h) \cdot (0.5h) \cdot b = 0.166R_{e3} \cdot f_r \cdot h^2 \cdot b$$

$$M_{n-CRF} \approx R_{e3} \cdot f_r \cdot \frac{b \cdot h^2}{6}, \text{ or } = (f_{e3}) \cdot \frac{b \cdot h^2}{6}$$

f_{t-CRF} : Resistencia a la tensión del CRF

f_r : resistencia a la flexión del CRF (resistencia al agrietamiento o módulo de ruptura)

f_{e3} : Resistencia residual a la flexión equivalente del CRF (sigual a f_{150}^D)

R_{e3} : F: relación de resistencia residual a la flexión equivalente del CRF (igual a R_{150}^D)

Al igual que en el caso anterior, una vez que se alcanza la resistencia a la flexión en el concreto, éste se agrieta y el refuerzo de fibra proporciona a toda la capacidad de momento. Cuando se diseñaba basándose en LRFD, la capacidad reducida de momento de la sección RC, $\phi' \cdot M_{n-CRF}$, llamada el momento de diseño, deberá ser mayor que el momento de factor, M_u , aplicado a la sección. El factor de reducción ϕ' depende del tipo de miembro y aplicación, por lo general entre 0.7 y 0.9.

$$\phi' \cdot M_{n-CRF} \geq M_u$$

2.7 Concepto de Diseño para Refuerzo Híbrido (Barra de Refuerzo + fibras)

El refuerzo híbrido podría ser una opción viable cuando el adosis para fibras es demasiado alta y no práctica. El momento de flexión nominal para una sección de concreto reforzado con fibra híbrido (CRF*), M_{n-CRF^*} se calcula de acuerdo con las siguientes ecuaciones de equilibrio de la fuerza en la sección transversal (FIGURA 22). Observe que todos los esfuerzos a la compresión los lleva a cabo el concreto y que las fuerzas de tensión las realiza la barra de refuerzo de acero, así como el concreto reforzado con fibras. Tal como se explicó anteriormente, la resistencia a la tensión del concreto reforzado con fibras, f_{t-FRC} , de hecho se toma en cuenta en estos cálculos y es igual a 0.37 veces la resistencia residual a la flexión del concreto reforzado con fibras, f_{e3} .

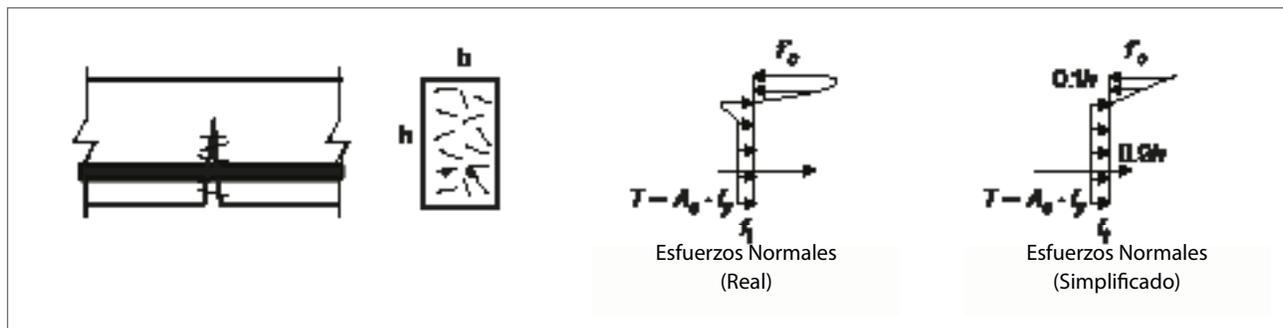


FIGURA 22
Esquema de bloques de fuerzas en una viga de concreto reforzada con barras de refuerzo y macrofibras.

$$\begin{cases} f_{t-CRF} = 0.37f_{e3} \\ f_{e3} = R_{e3} \cdot f_r \end{cases} \quad \rightarrow \quad f_{t-CRF} = 0.37R_{e3} \cdot f_r$$

$$M_{n-CRF^*} = R_{e3} \cdot f_r \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} + A_s \cdot f_y \cdot (d - 0.03h)$$

$$\text{or} = (f_{e3}) \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} + A_s \cdot f_y \cdot (d - 0.03h)$$

f_r : resistencia a la flexión del CRF (resistencia al agrietamiento o módulo de ruptura)

f_{e3} : resistencia residual a la flexión equivalente del CRF (igual a f_{150}^D)

R_{e3} : relación de resistencia residual a la flexión equivalente CRF (igual a R_{150}^D)

Lo mismo que el caso anterior, una vez que se alcanza la resistencia a la flexión en el concreto, se agrietará y el refuerzo de fibra proporcionará toda la capacidad del momento. Cuando se diseñe basándose en LRFD, la capacidad reducida de momento de la sección, $\phi^* \cdot M_{n-CRF^*}$, llamada el momento de diseño, deberá ser mayor que el momento de factor, M_u , aplicado a la sección. El factor de reducción ϕ^* depende del tipo de miembro y aplicación, por lo general entre 0.7 y 0.9.

$$\phi^* \cdot M_{n-CRF^*} \geq M_u$$



EJEMPLO: USO DE CRF PARA REEMPLAZAR LA BARRA DE REFUERZO

Supongamos que hay una sección de concreto de 4" de espesor, $f'_c = 5,000$ psi, $f_r = 750$ psi, originalmente diseñada con una barra #3@12" ubicada en medio de la sección. Los siguientes cálculos muestran el momento proporcionado por el acero y la dosis de fibra para proporcionar la misma capacidad de momento. Nota: $A_s = 0.11$ in²/ft, $d = 2$ ", y $f_y = 60$ ksi.

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \beta_1 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{0.11 \times 60}{0.85 \times 0.85 \times 5 \times 12} = 0.15"$$

$$\phi \cdot M_{n-RC} = \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) = 0.9 \times 0.11 \times 60,000 \times \left(2 - \frac{0.15}{2}\right) = 11,428 \text{ lb} \cdot \text{in}$$

Este es el momento proporcionado por las barras de refuerzo de acero en esta sección. Ahora, el mismo momento deberá ser proporcionado por el concreto reforzado con fibras (es decir, $\phi \cdot M_{n-RC} = \phi' \cdot M_{n-CRF}$). Para dicho cálculo puede utilizarse f_{e3} o R_{e3} . Observe que utilizamos un factor de reducción conservador de 0.8 para ϕ' que toma en consideración la incertidumbre e inconsistencias potenciales en CRF.

$$\phi' \cdot M_{n-CRF} = \phi' \cdot (f_{e3}) \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} = \phi' \cdot (R_{e3} \cdot f_r) \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} = 11,428 \text{ lb} \cdot \text{in}$$

$$\text{Solución } f_{e3}: 11,428 = \phi' \cdot f_{e3} \times \frac{12 \times 4^2}{6} \rightarrow f_{e3} = \frac{11,428 \times 6}{0.8 \times 12 \times 4^2} = 446 \text{ psi [3.1 MPa]}$$

$$\text{Solución } R_{e3}: R_{e3} = \frac{446}{750} = 0.60 \text{ ó } 60\%$$

Los datos de la prueba ASTM C1609 deberán verificarse para determinar la dosis para las fibras que proporcionarán la misma capacidad de momento posterior a la grieta que las barras de refuerzo de acero originales.

Si el refuerzo de acero original era más ligero, digamos mallado de alambre de W2.9 x W2.9 - 6" x 6" y está colocada en el 1/3 superior del espesor, A_s se convierte en 0.058 in²/ft y $d = 1.3$ ". Para esta sección, $\phi \cdot M_{n-RC}$ se convierte en 3,946 lb·pulgadas y sigue el mismo procedimiento f_{e3} y R_{e3} serán de 154 psi [1.1 MPa] y 20%, respectivamente.

EJEMPLO: USO DE CRF PARA REEMPLAZAR BARRA DE ACERO (2 LOSAS)

Supongamos que hay una sección de concreto de 10" de espesor, $f'_c = 4,000$ psi, $f_r = 600$ psi, originalmente diseñada con dos losas de barras de #4@12" ubicada a 2.5" de la parte superior y a 2.5" de la parte inferior. Los siguientes cálculos muestran el momento proporcionado por el acero y la dosis de fibra para proporcionar la misma capacidad de momento. Nota: $A_s = A'_s = 0.196$ in²/ft, $d = 7.5$ ", $d' = 2.5$ ", $f_y = 60$ ksi y supongamos $f'_s = 0.5f_y = 30$ ksi.

$$\phi \cdot M_{n-RC} = \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) + \phi \cdot A'_s \cdot f'_s \cdot \left(d' - \frac{a}{2}\right) =$$

$$= 0.9 \times 0.196 \times 60 \times \left(7.5 - \frac{0.51}{2}\right) + 0.9 \times 0.196 \times 30 \times \left(2.5 - \frac{0.51}{2}\right) = 88,572 \text{ lb} \cdot \text{in}$$

$$\text{donde: } a = \frac{A_s \cdot f_y + A'_s \cdot f'_s}{0.85 \beta_1 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{0.196 \times 60 + 0.196 \times 0.5 \times 60}{0.85 \times 0.85 \times 4 \times 12} = 0.51''$$

Este es el momento proporcionado por las barras de refuerzo de acero en esta sección. Ahora, el concreto reforzado con fibras deberá proporcionar el mismo momento (es decir, $\phi \cdot M_{n-RC} = \phi' \cdot M_{n-FRC}$). Para dicho cálculo, puede utilizarse ya sea f_{e3} o R_{e3} . Observe que utilizamos un factor de reducción conservador de 0.8 para ϕ' que toma en cuenta la incertidumbre e inconsistencias potenciales en el CRF.

$$\phi \cdot M_{n-CRF} = \phi' \cdot (f_{e3}) \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} = \phi' \cdot (R_{e3} \cdot f_r) \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} = 88,572 \text{ lb} \cdot \text{in}$$

$$\text{Solving for } f_{e3}: 88,572 = \phi' \cdot f_{e3} \times \frac{12 \times 10^2}{6} \rightarrow f_{e3} = \frac{88,572 \times 6}{0.8 \times 12 \times 10^2} = 554 \text{ psi [3.8 MPa]}$$

Los datos de prueba de ASTM C1609 deberán verificarse para determinar la dosis para las fibras que proporcionarán la misma capacidad de momento posterior al agrietamiento que las barras de refuerzo de acero originales.

EJEMPLO: USO DE UN SISTEMA HÍBRIDO (BARRA DE REFUERZO + CRF)

En el ejemplo anterior, conserve la losa inferior en la sección y reemplace la superior con CRF. Nota: $h = 10''$, $A_s = 0.196 \text{ in}^2/\text{ft}$, $d = 7.5''$, $f_y = 60 \text{ ksi}$.

El momento proporcionado por dos esteras de barras de acero deberá ser proporcionado por los momentos combinados que brinda la estera inferior de acero y la sección de concreto reforzado con fibra (es decir, $\phi \cdot M_{n-RC} = \phi' \cdot M_{n-FRC}$). Para dicho cálculo, se puede utilizar ya sea f_{e3} o R_{e3} . Observe que utilizamos un factor de reducción conservador de 0.9 para ϕ y 0.8 para ϕ' que toma en cuenta la incertidumbre e inconsistencias potenciales en RC y CRF.

$$\phi^* \cdot M_{n-CRF^*} = \phi' \cdot (f_{e3}) \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} + \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot (d - 0.03h) = \phi \cdot M_{n-RC} = 88,572 \text{ lb} \cdot \text{in}$$



$$\rightarrow 0.8 \times f_{e3} \times \frac{12 \times 10^2}{6} + 0.9 \times 0.196 \times 60,000 \times (7.5 - 0.03 \times 10) = 88,572 \text{ lb} \cdot \text{in}$$

$$f_{e3} = \frac{1}{0.8} \times [88,572 - 0.9 \times 0.196 \times 60,000 \times (7.5 - 0.03 \times 10)] \times \frac{6}{12 \times 10^2} = 77 \text{ psi [0.5 MPa]}$$

Los datos de prueba de ASTM C1609 deberán verificarse para determinar los datos para las fibras que proporcionarán la misma capacidad de momento posterior al agrietamiento que las barras de refuerzo de acero originales.

2.8 Diseño para Control de Grietas por Contracción/ Temperatura

La ecuación de resistencia de subrasante se utiliza tradicionalmente para determinar la cantidad de acero distribuido necesario para controlar las grietas provocadas por contracción/temperatura en losas/pavimentos enrasante, para calcular los datos de fibras con el propósito de proporcionar el mismo nivel de resistencia residual posterior al agrietamiento que el refuerzo de acero. Para contracción, deberá calcularse el esfuerzo a la tensión del acero (f_{st}), los factores de conversión se utilizan para convertir el esfuerzo a flexión. Si el diseño ya se realizó y se conoce el refuerzo de acero, el área de acero (A_s) puede utilizarse directamente para calcular el esfuerzo a la tensión del acero. De lo contrario, A_s puede encontrarse en la siguiente ecuación sobre la base de las propiedades de la losa y subrasante:

$$A_s = \frac{F_f \cdot L \cdot W}{2f_{ws}}$$

$$f_{st} = \frac{s \cdot A_s \cdot F_y}{b \cdot h}$$

A_s : área de acero (conocida o calculada)

F_f : coeficiente de fricción del subrasante (por lo general 1.5–2.0)

L : longitud de la losa entre las juntas

W : peso muerto de la sección de la losa

f_{ws} : esfuerzo permisible para refuerzo de acero (por lo general 0.67–0.75 F_y)

f_{st} : esfuerzo en el acero por la contracción (en tensión)

F_y : resistencia a la cedencia del acero

ϕ_s : ractor de reducción

b : ancho de la unidad de la losa

h : altura de la sección de la losa

Para esfuerzos de temperatura, el esfuerzo a la flexión puede calcularse basándose en el espesor y gradiente de temperatura, así como en las propiedades del concreto. Puede considerarse que el gradiente de temperatura es de aproximadamente 1.5–2.5 °F por cada pulgada de losa de concreto.

$$\sigma_T = \frac{C \cdot E \cdot \alpha \cdot \Delta T}{2}$$

σ_T : esfuerzo por gradiente de temperatura (en la flexión)

C : coeficiente (0.8 para base granular y 0.65 para base estabilizada)

E : módulo de elasticidad del concreto

α : coeficiente de expansión térmica



ΔT : gradiente de temperatura (superficie superior a superficie inferior)

EJEMPLO: USO DE CRF PARA REEMPLAZAR BARRA/MALLA POR CONTROL DE AGRIETAMIENTO POR CONTRACCIÓN/TEMPERATURA

Supongamos que hay una sección de concreto de 8" de espesor, $f'_c = 4,000$ psi, $f_r = 550$ psi, diseñada originalmente con malla de alambre de W2 x W2 - 6" x 6". Los siguientes cálculos muestran el refuerzo que se obtiene por el acero y la dosis de fibra para proporcionar el mismo rendimiento. Nota: $A_s = 0.04 \text{ in}^2/\text{ft}$ y $f_y = 60 \text{ ksi}$. Supongamos un diferencial de temperatura 10°F (entre las superficies superiores e inferiores) y una sub-base granular.

$$f_{st} = \frac{s \cdot A_s \cdot F_y}{b \cdot h} = \frac{0.9 \times 0.04 \times 60,000}{12 \times 8} = 23 \text{ psi (tensión)} \quad \div 0.37 \quad 62 \text{ psi (flexión) [0.43 MPa]}$$

$$\sigma_T = \frac{C \cdot E \cdot \alpha \cdot \Delta T}{2} = \frac{0.8 \times (4 \times 10^6) \times (5.5 \times 10^{-6}) \times 10}{2} = 88 \text{ psi [0.60 MPa]}$$

El mayor de los dos esfuerzos, en este caso 88 psi, es la resistencia residual de flexión posterior al agrietamiento proporcionada por la malla de acero. El concreto reforzado con fibra deberá proporcionar la misma resistencia residual.

$$f_{e3} = f_{st}$$

Solución para f_{e3} : $f_{e3} = 88 \text{ psi}$ [0.60 MPa]

Solución para R_{e3} : $R_{e3} = 88 \cdot 550 = 16\%$

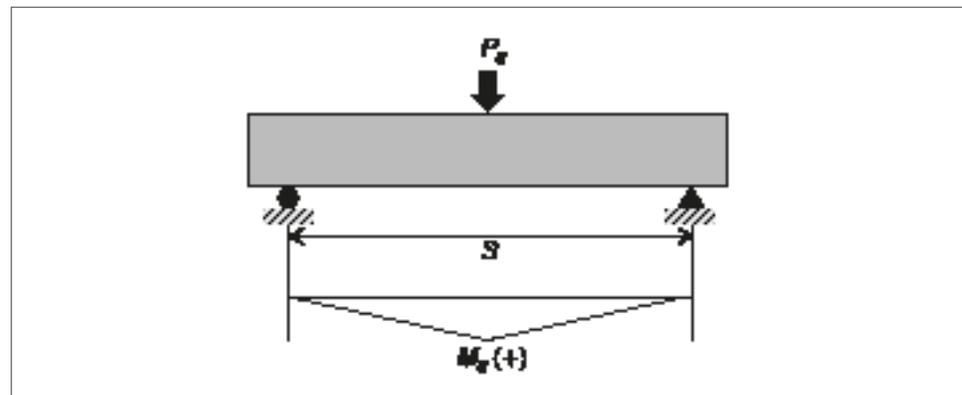
Los datos de prueba de ASTM C1609 deberán verificarse para determinar la dosis para las fibras que proporcionarán la misma capacidad de momento posterior al agrietamiento que las barras de refuerzo de acero originales.

Note: the sub-grade drage equation was developed decades ago to estimate the required steel in a concrete slab to provide sufficient crack control for tensile cracks generated from shrinkage. A minimum cover is always required to prevent the corrosion of steel. When macro fibers are used instead of continuous steel, cracks are controlled and held tight at the onset of forming everywhere in concrete, including the surface cracks. Therefore, the dosage rate of fibers calculated to provide the same level of tensile strength as steel may be too conservative and a lower dosage may provide a better crack control when shrinkage and thermal stresses are the main causes of cracking in concrete.

2.9 Cálculo del Momento y Diseño para una Sección Suspensa

Si se desea un diseño completo para una sección de concreto, deberán proporcionarse las cargas para calcular el momento de flexión para la sección. El procedimiento para calcular el momento depende del tipo y distribución de las cargas, así como del tipo y ubicación de los soportes. Para un elemento independiente o para excluir la dependencia de algún soporte continuo, podemos calcular el momento máximo aplicado. A manera de ejemplo, a continuación se ilustra un viga con soportes sencillos con una carga de punto a la mitad del tramo (FIGURA 23).

FIGURA 23
Esquema de una viga con soporte sencillo con una carga de punto.



$$M_u = \frac{P_u \cdot S}{4}$$

M_u : Momento de flexión en factor

P_u : Carga de factor

S: Tramo (distancia entre soportes)

También pueden considerarse otras configuraciones de carga (una o más cargas de punto en varias ubicaciones, cargas uniformes y combinaciones de cargas diferentes) y para estas situaciones puede calcularse el momento de flexión. La capacidad de momento del diseño de la sección CRF debe ser mayor que el momento aplicado en factor:

$$\phi' \cdot M_{n-FRC} \geq M_u$$

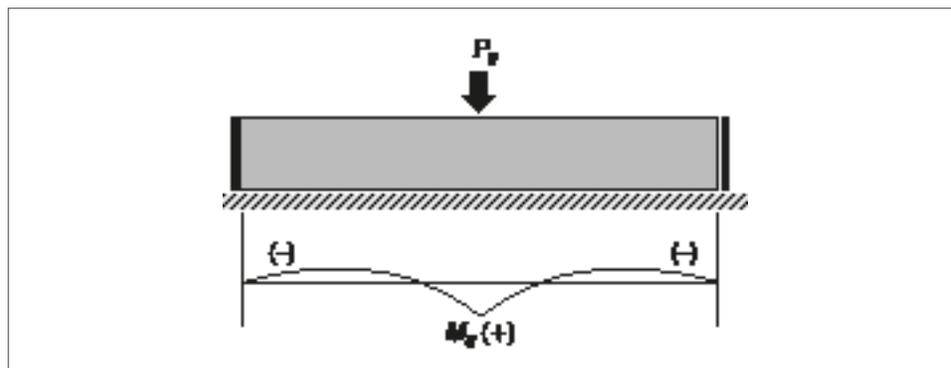
Este método puede utilizarse para determinar la capacidad de momento de una sección de concreto reforzado con fibra, independientemente del soporte continuo de suelo o fondo de roca. Se observa que el diseño de miembros independientes determinados y estáticamente suspendidos, con fibras, que representan el único medio de refuerzo, no se recomienda en general. No obstante, es posible utilizar fibras de acero a dosis más altas para obtener resistencia residual posterior al grietamiento que sea más alta que la resistencia al grietamiento del concreto. Los sistemas híbridos (barras de refuerzo + fibras) pueden utilizarse para macrofibras sintéticas.

2.10 Cálculo del Momento y Diseño para una Sección con Soporte continuo

Para aplicaciones con soporte continuo, tales como losas sobrerasantas, losas sobre plataforma, lanzado de concreto, etc.; el cálculo del momento de flexión en la sección del concreto se lleva a cabo de forma diferente por la naturaleza distinta de la distribución de esfuerzos bajo la losa. En el caso de losas sobrerasantas (SOG), que es una de las principales aplicaciones del concreto reforzado con fibra, la información necesaria para el diseño incluye el tamaño de la losa, resistencia del concreto, módulo de reacción del suelo, ubicación, tipo de las cargas y espaciamiento de juntas. Tradicionalmente, las ecuaciones Westergaard se utilizan para determinar el espesor de la losa para las cargas determinadas. Este método no asume ningún grietamiento bajo cargas finales o esfuerzos por contracción/temperatura en las abajocargas de servicio. Otro enfoque que es más realista, es utilizar la teoría de la línea de cedencia que asume que el grietamiento podría ocurrir y debe controlarse; este método puede utilizarse para SOG o losas suspendidas. Basándose en este enfoque, ACI 360 Capítulo 11 proporciona algunas ecuaciones para calcular el momento para las sobrerasantas. Estas ecuaciones se proporcionan para diversas ubicaciones de la carga (es decir, centro de la losa, cerca de extremo de la losa, cerca de la esquina de la losa). TR-34, un guía de diseño británico para SOG también utiliza este enfoque para pisos industriales (FIGURA 24).

FIGURA 24

Esquema de una losa sobrer rasante con una carga de puntual.



$$M_u = \frac{P_u}{6 \times \left[1 + \frac{2a}{L} \right]} \quad L = \sqrt[4]{\frac{E \cdot h^3}{12(1 - \nu^2) \cdot K}}$$

M_u : Momento de flexión en factor; P_u : Carga de factor

a : Radio de un círculo con área igual a la de la carga de punto

L : Radio de rigidez relativa

E : Módulo de elasticidad del concreto

h : Espesor de la sección de la losa

ν : Coeficiente de Poisson del concreto (por lo general 0.15–0.2)

K : Módulo de sub-rasante (lb/in³)

También se pueden considerar otras configuraciones de carga (una o más cargas de puntuales en diversas ubicaciones, cargas uniformes y combinaciones de cargas distintas) y el momento de flexión puede calcularse para estas situaciones. La capacidad del momento de diseño de la sección CRF deberá ser mayor al momento aplicado con factor:

$$\phi' \cdot M_{n-CRF} \geq M_u$$

EJEMPLO: USO DE CRF PARA UN DISEÑO COMPLETO (SECCIÓN SUSPENDIDA)

Diseño de un escalón de concreto precolado, hecho con CRF con las dimensiones, cargas y propiedades que se ilustran en la FIGURA 25.

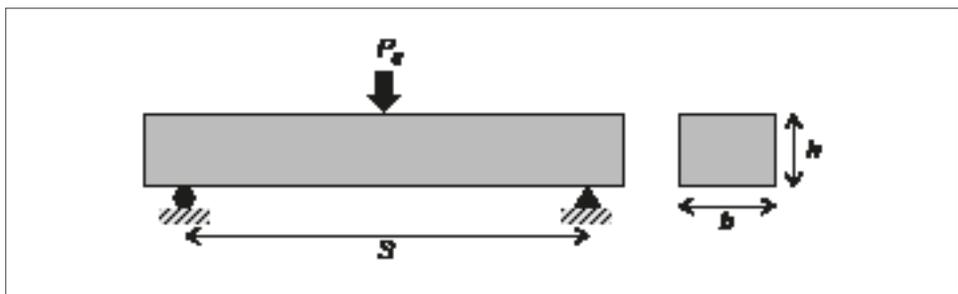


FIGURA 25
Esquema de una viga soportada de forma sencilla con una carga de punto.

- S: tramo libre entre los soportes = 2' = 48"
- b: extensión de la sección (ancho) = 10"
- h: altura de la sección = 3"
- P_u: carga de punto máxima con factor = 400 lb
- f'_c: resistencia a la compresión del concreto = 4,000 psi

El momento máximo de flexión con factor y el esfuerzo a la flexión correspondiente, son de la siguiente forma. También se calcula la resistencia a la flexión del concreto (módulo o ruptura).

$$M_u = \frac{P_u \cdot S}{4} = \frac{400 \times 48}{4} = 4,800 \text{ lb} \cdot \text{in (momento ultimo de flexión)}$$

$$\sigma_u = \frac{M_u \cdot c}{I} = \frac{4,800 \times 1.5}{22.5} = 320 \text{ psi [2.2 MPa] (esfuerzo ultimo a la flexión)}$$

$$f_r = 7.5 \sqrt{f'_c} = 7.5 \sqrt{4000} \approx 475 \text{ psi [3.2 MPa] (resistencia a la flexión / MR para concreto)}$$

Esto significa que bajo el momento máximo de flexión, el esfuerzo a la flexión en esta sección pre-colada, 320 psi es menor que la resistencia a la flexión del concreto de 475 psi y teóricamente, el concreto no se agrietará. No obstante, si el concreto se agrieta por razones de durabilidad o sobrecarga, necesitamos refuerzo para controlar las grietas y para evitar una falla repentina. El refuerzo mínimo requerido por ACI 318 para miembros de flexión se basa en la misma justificación. El refuerzo debe proporcionar la misma capacidad de momento que una sección no agrietada.

$$\phi' \cdot M_{n-CRF} \geq M_u \rightarrow 0.8 \times M_{n-CRF} \geq 4,800$$

Solución $f_{e3}: f_{e3} = \frac{4,800 \times 6}{0.8 \times 10 \times 3^2} = 400 \text{ psi [2.7 MPa]}$

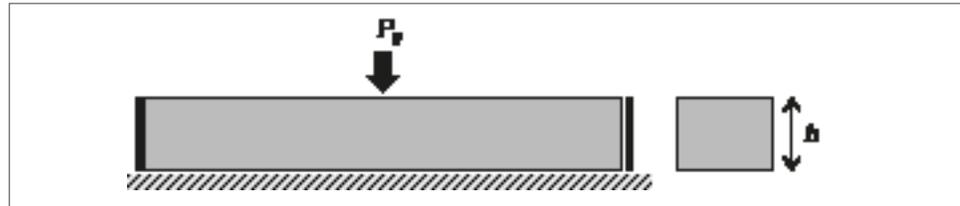
Los datos de la prueba ASTM C1609 deberán verificarse con el propósito de determinar los datos para las fibras que proporcionarán la misma capacidad de momento posterior a la grieta, que las barras de refuerzo de acero originales.

EJEMPLO: USO DE CRF PARA UN DISEÑO COMPLETO (MIEMBRO CON SOPORTE CONTINUO)

Diseño de una losa sobrerresante de concreto, hecha con CRF con las dimensiones, cargas y propiedades que se ilustran en la FIGURA 26.

FIGURA 26

Esquema para una losa sobre rasante con una carga puntual.



P_u : Carga de puntual con factor (rack) = 10,000 lb

a : Radio de un círculo para el rack de carga = 2"

E : Módulo de elasticidad del concreto = 4×10^6 psi

h : Espesor de la sección de la losa = 4"

ν : Coeficiente de Poisson del concreto = 0.15

K : Módulo de sub-rasante = 100 pci

$$\text{Rigidez relativa del subrasante: } L = \sqrt[4]{\frac{E \cdot h^3}{12(1 - \nu^2) \cdot K}} = \sqrt[4]{\frac{4 \times 10^6 \times 4^3}{12(1 - 0.15^2) \times 100}} = 10.8''$$

$$M_u = \frac{P_u}{6 \times \left[1 + \frac{2a}{L}\right]} = \frac{10,000}{6 \times \left[1 + \frac{2 \times 2}{10.8}\right]} = 1,216 \text{ lb} \cdot \text{in}$$

$$\phi' \cdot M_{n\text{-CRF}} \geq M_u \rightarrow 0.8 \times M_{n\text{-CRF}} \geq 1,216$$

$$\text{Solución } f_{e3}: f_{e3} = \frac{1,351 \times 6}{0.8 \times 12 \times 4^2} = 52 \text{ psi [0.35 MPa]}$$

Esto significa que bajo el momento máximo de flexión, el esfuerzo de flexión en este SOG será de 52 psi, que es mucho menor que la resistencia a la flexión del concreto, que es de aproximadamente 475 psi. Teóricamente, esta sección de concreto no va a fallar bajo las cargas determinadas y, ya que la losa está continuamente soportada por el suelo, no ocurrirá ninguna falla repentina. El refuerzo puede utilizarse únicamente para controlar las grietas provocadas por la contracción, temperatura y grietas relacionadas con la durabilidad. Aquí se recomendará un adosismo mínimo de 3.0 lb/yd³ de TUF-STRANDS FO. Observe que para un diseño real, deberán considerarse las demás condiciones críticas de carga (por ejemplo, carga de extremo, carga de la esquina, carga uniforme, etc.).

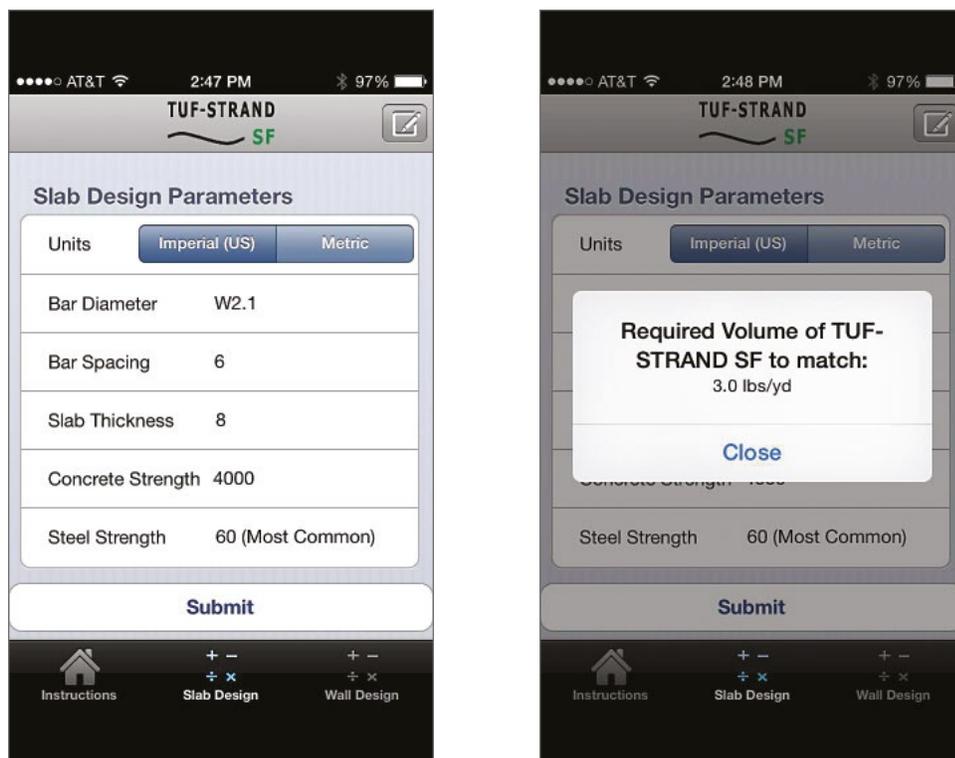


FIGURA 27
Eucomex ha desarrollado hojas de cálculo y aplicaciones de smart phone para calcular con rapidez la dosis de macro fibras cuando se conoce el refuerzo de acero.

2.11 Herramientas de Diseño de Eucomex

Eucomex ha desarrollado herramientas de diseño en forma de hojas de cálculo, paquetes de software y aplicaciones de smart-phone para calcular la dosis de sus productos de macro fibras sintética, con el propósito de cotejar el refuerzo de acero típico en el concreto, sobre la base del desempeño. La información que se necesita para realizar esos cálculos incluye resistencia a la compresión del concreto y/o resistencia a la flexión, espesor de la sección de la losa y detalles del refuerzo de acero (tamaño de la malla o barra, espaciamiento y profundidad del refuerzo en la sección del concreto). Se han desarrollado aplicaciones de smart-phone, basadas en las mismas ecuaciones para calcular con rapidez la dosis de la fibra y reemplazar el refuerzo de acero. Esta aplicación gratuita se conoce como "FiberCalc" y está disponible para teléfonos iPhone y Android, así como para tabletas y en actualizaciones futuras se mejorará. A continuación, se presentan brevemente algunos ejemplos de estas herramientas de diseño. Las unidades deseadas (SI o Imperial) y el refuerzo de acero (que

se reemplazará con fibras) podrá seleccionarse desde los menús desplegables. La dosis de fibra diseñada por los ingenieros se calcula y presenta al usuario (FIGURA 27).

Eucomex ha desarrollado un paquete de software para un diseño completo de pisos de concreto con macro fibras sintéticas, basándose en ACI 360 y TR 34. La información requerida para dichos cálculos incluye resistencia a la compresión y/o a la flexión del concreto, espesor de la sección de la losa, tipo y módulo de sustitución, así como las cargas aplicadas. El software permite considerar una diversidad de cargas aplicables a pisos de concreto, tales como cargas uniformes, cargas lineales, cargas de montacargas, cargas de vehículos, camiones y cargas de racks. Se publicó un manual separado para explicar los detalles de los cálculos e instrucciones paso a paso para utilizar el software de diseño. En la siguiente página se presentan brevemente

FIGURA 28

Eucomex ha desarrollado software de diseño para realizar cálculos detallados de la dosis de macro fibras, basándose en las propiedades de la sub-base, propiedades del concreto y en las cargas aplicadas.

ejemplos de estas herramientas de diseño. (FIGURA 28).

2.12 Códigos, Guías y Recomendaciones de Diseño

ACI-318 es el código de construcción para concreto estructural y actualmente no incluye metodologías de diseño con fibras. No obstante, este documento permite “soluciones alternativas” en el proceso de diseño, previa autorización del ingeniero. Los fundamentos del diseño para el momento de flexión para control de grietas de ACI 318 puede extenderse al concreto reforzado con fibras. Existen otros documentos ACI que recomiendan el uso de macrofibras para una diversidad de aplicaciones y en este momento se están elaborando más documentos.

ACI-544 (Concreto Reforzado con Fibras) cuenta con varias publicaciones sobre la especificación, dosis y producción de CRF, así como reportes sobre métodos de prueba, aspectos de durabilidad y algunas filosofías de diseño. ACI 360 (Losas sobre Terreno) reconoce específicamente las macrofibras (de acero y sintéticas) como refuerzo para losas sobre rasante. Esta guía presenta algunas metodologías existentes para el diseño con CRF. ACI 506 (Concreto lanzado) también permite el uso de macrofibras (de acero y sintéticas) para reemplazar refuerzo de acero para aplicaciones de lanzamiento de concreto. SDI/ANSI C1.0 es un documento publicado por Steel Deck Institute que permite el uso de macrofibras (de acero y sintéticas) en sistemas losa de acero elevadas (losa sobre plataformas de metal) para controlar las grietas, en lugar del acero.

- ACI 544-3R (2008): Guía para Especificar, Dosificar y Producir Concreto Reforzado con Fibras
- ACI 360R (2010): Guía para el Diseño de Losa sobre Terreno
- ACI 506-5R (2009): Guía para Especificar Concreto lanzado Subterráneo
- TR 34 (2014): Pisos Industriales de Concreto
- SDI/ANSI C1.0: Diseño de CRF Sistemas Losa de Acero

Capítulo 3

Aplicaciones y Ejemplos

- 3.1 Losa sobre Rasante (Basado en ACI 360)
- 3.2 Sistemas Losacero (Basada en SDI)
- 3.3 Elementos Prefabricados
- 3.4 Muros de Cimentación para uso Residencial
- 3.5 Concreto Lanzado
- 3.6 Concreto Decorativo
- 3.7 Otros Temas: Juntas de Control y Transferencia de Carga
- 3.8 Otros Temas: Losas CRF de Baja Contracción



EUCLID GROUP
EUCOMEX



3.1 Losa sobre rasante (Basado en ACI 360)

LOSAS DE CONCRETO SIN REFUERZO: Estas losas están diseñadas sobre la base del espesor requerido y no incluyen ningún refuerzo para controlar el ancho de las aberturas de grietas, ni para soportar cargas aplicadas. Están diseñadas para permanecer sin grietas debido a las cargas aplicadas en la superficie. Es de suma importancia controlar los efectos de la contracción plástica y por secado para el desempeño de las losas de concreto sin refuerzo. Dos objetivos principales del diseño de la losa sobre terreno no reforzada, son evitar la formación de grietas aleatorias (fuera de la junta) y mantener una estabilidad adecuada de la junta. Habiendo dicho lo anterior, la aplicación de la tecnología actual permite únicamente una reducción en el agrietamiento y en el alabeo, debido a la contracción restringida, pero no su eliminación. ACI-302.1R sugiere que el agrietamiento en hasta 3% de los paneles de la losa en un piso con juntas normales es una expectativa realista. Las microfibras sintéticas pueden agregarse a estas losas no reforzadas para reducir el agrietamiento provocado por contracción plástica y para mejorar algunas propiedades, tales como la fatiga y la durabilidad. Por lo general, estas fibras se utilizan en un rango de dosis de 0.5–1.5 lb/yd³ (0.3–0.9 kg/m³) en el concreto. Las losas que únicamente tienen microfibras sintéticas, todavía se consideran no reforzadas. La reducción en el agrietamiento y la durabilidad del largo plazo mejorada que brindan estas fibras, disminuirá los costos relacionados con el mantenimiento en estas losas.

LOSAS REFORZADAS: El espesor de las losas reforzadas está diseñado de manera similar a las losas de concreto no reforzadas. El refuerzo puede utilizarse en losas sobre terreno para mejorar el desempeño de la losa, bajo ciertas condiciones. Éstas incluyen: limitar el ancho de las grietas por contracción; utilizar espaciamiento de juntas más extenso que el de las losas no reforzadas; y proporcionar capacidad y estabilidad de momento en las secciones agrietadas. El uso del refuerzo no impedirá el agrietamiento, sino que en realidad incrementará la frecuencia del agrietamiento, a la vez que reducirá el ancho de las grietas. El ancho de la grieta se controla mediante la redistribución de los esfuerzos. Los refuerzos apropiadamente proporcionados y posicionados, limitarán el ancho de las grietas, de manera tal que éstas no afectarán la capacidad funcional de la losa. El refuerzo de la losa puede consistir en barras de refuerzo, malla de acero o macrofibras (de acero o sintéticas). Las barras y la malla de acero deben ser suficientemente rígidas para poder ubicarlas con precisión en el 1/3 superior de la losa (pero no más de 2" de las superficies superior) para lograr un control apropiado de las grietas. El refuerzo (refuerzo de acero, malla o macrofibras) también imparten a la losa, resistencia residual posterior al agrietamiento. Las macrofibras se utilizan a índices de dosis requeridos para proporcionar resistencia residual posterior al agrietamiento equivalente al del refuerzo de acero o malla que se esté reemplazando. Estos índices de dosis por lo general varían desde 3.0–12 lb/yd³ (1.8–7.2 kg/m³) para macrofibras sintéticas para losas sobre rasante.

Dependiendo de la cantidad de refuerzo requerido, pueden utilizarse diversos niveles de resistencia residual posterior al agrietamiento para calcular el índice de dosis de la fibra. Por ejemplo, malla de acero de W1.4 x W1.4–6" x 6" en una losa de 6" sobre rasante proporciona una relación de refuerzo de 0.04% que sólo sirve para controlar grietas por contracción/temperatura. En este caso, la relación de resistencia residual, $R_{e,3}$ es de aproximadamente 6%. El índice mínimo de dosis para macrofibras sintéticas es de 3.0 lb/yd³ (1.8 kg/m³) que puede proporcionar el mismo control de grietas (de hecho, mejor). No obstante, si el refuerzo designado es barras No. 4 @ 12" o.c., entonces la relación de refuerzo es de 0.27%. La relación de resistencia residual,

$R_{e,3}$ es de aproximadamente 38%. En este caso, el índice de dosis para fibras TSSF sería de aproximadamente 6.0 lb/yd³ (3.6 kg/m³). ASTM C1399, C1550 y C1609 proporcionan medidas cuantitativas que son útiles para evaluar el desempeño de CRF sintética en estado endurecido. Los resultados de estos métodos de prueba pueden utilizarse para optimizar las proporciones de concreto reforzado con fibra. La adición de macrofibras sintéticas a las losas de concreto, también brinda los beneficios de mayor durabilidad y desempeño a largo plazo, así como un incremento en la resistencia de las losas de concreto a la fatiga, al impacto y a la abrasión. El concreto con fibra sintética no requiere una cubierta para refuerzo, y por lo tanto, el espesor puede reducirse potencialmente sobre la base de los cálculos del diseño (FIGURA 29).

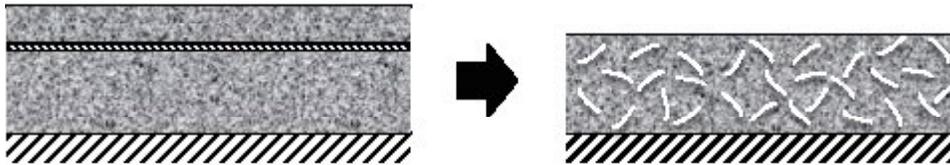


FIGURA 29

Reducción potencial en espesor de losas cuando las macrofibras se utilizan a índices de dosis más altas.

En las FIGURAS 30–32 se muestran algunos ejemplos de proyecto con macrofibras sintéticas TUF-STRAND SF para aplicaciones de losa sobre rasante.



FIGURA 30

Centro de distribución FedEx (piso de la almacén y plataforma de carga), Bell, CA. Más de 200,000 pies cuadrados de losa sobre rasante se reforzaron con 5 lb/yd³ (3.0 kg/m³) de TUF-STRAND SF.



FIGURA 31

Yankee Stadium, Bronx, NY. Losa sobre rasante y losas elevadas reforzadas con 4 lb/yd³ (2.4 kg/m³) TUF-STRAND SF (400,000 pies cuadrados).



EUCLID GROUP
EUCOMEX

FIGURA 32

Revestimiento del canal, Bakersfield, CA. El concreto vaciado en 6" se reforzó con 9 lb/yd³ (5.4 kg/m³) TUF-STRAND SF para reemplazar # 5 @ barras de 12" (Construcción fast-track).



Sistemas Losacero (Basadas en SDI)

Cuando se utiliza refuerzo de acero para el concreto en sistema losacero compuesto, se requiere una cubierta mínima de 2" (50 mm). Este refuerzo se considera por lo general para controlar las grietas por contracción/temperatura ($A_s < 0.075\%$) y pueden reemplazarse con macrofibras (de acero o sintéticas). De acuerdo con SDI, las fibras de acero se permiten a un índice mínimo de dosis de 25 lb/yd³ (15 kg/m³) y las macrofibras sintéticas a un índice de dosis mínimo de 4 lb/yd³ (2.4 kg/m³). En muchos proyectos, se requiere una aprobación UL para resistencia al fuego de 2 horas, para sistema losacero compuesto. La fibra TUF-STRAND SF ha sido probada bajo cargas para la clasificación de resistencia al fuego y se certificó con una aprobación UL a un mínimo de 4 lb/yd³ para diseño de plataforma serie D900.

Es importante observar que el sistema losacero no funciona como una compresión que refuerza el acero en áreas de momento negativo. Si se desea un losa continua, deberá diseñarse el refuerzo negativo utilizando refuerzo convencional basado en ACI-318 u otros códigos de construcción. Los resultados publicados de las pruebas a escala completa han demostrado que el acero que se contrae por temperatura no contribuye al desempeño estructural de los diafragmas de cortante (a menos que estén conectados con los pernos de cortante). Estos estudios también muestran que las macrofibras pueden proporcionar desempeños similares esperados (o incluso mejor) al del acero que se contrae por temperatura. Otro beneficio importante de utilizar CRF en lugar de mallado de acero para sistemas losacero compuesto, es la mejor seguridad en el trabajo y menor riesgo de tropezones para los trabajadores de la construcción.

En 2015, International Building Code, IBC se ha referido a SDI para las consideraciones de diseño de refuerzo en cubiertas de metal compuesto.

En las FIGURAS 33–34 se muestran algunos ejemplos de proyectos con Macro Fibras Sintéticas TUF-STRAND SF para aplicaciones de sistema losacero compuesto.



FIGURA 33
Mercedes Benz- Scottsdale, AZ.
TUF-STRAND SF a 5 lb/yd³
(3.0 kg/m³).

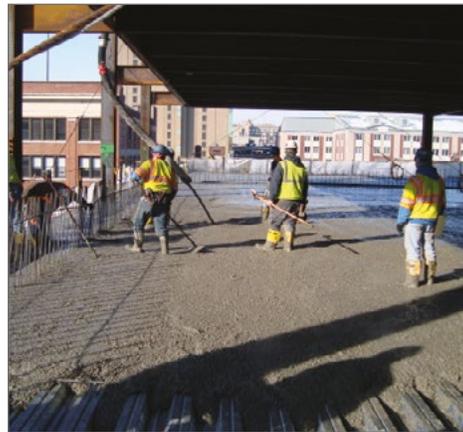


FIGURA 34
Prudential Tower- Newark, NJ
TUF-STRAND SF a 4 lb/yd³
(2.4 kg/m³).

Elementos prefabricados

El uso de fibras en elementos prefabricados es una elección popular de muchos productores, debido a sus beneficios técnicos y económicos. Con el concreto reforzado con fibra, puede hacerse una diversidad de elementos prefabricados. Estos incluyen, pero no están limitados a: segmentos estructurales (muros sólidos, paneles de plataformas, revestimiento de túneles), unidades utilizadas en el manejo de agua/desechos (tuberías, tanques sépticos, tanques de desperdicios nucleares, retención de inundaciones), contenedores (criptas, refugios contra tormentas, cajas de herramientas, espacios para estacionamiento/almacenamiento) y unidades decorativas (mueblado urbano, mueblado para el hogar, paneles de muros, protecciones contra el sol). Al elegir fibras para las aplicaciones para las que se utilicen, deberán considerarse los requerimientos de capacidad estructural y resistencia al fuego. En algunos casos con refuerzo pesado, si bien podrían ser posible reemplazar por completo el refuerzo de acero, puede existir el potencial de reducir la cantidad de acero cuando se utilicen sistemas híbridos (barras de acero + fibras).



EUCLID GROUP
EUCOMEX

FIGURA 35

Refuerzos de armado de acero típicos para elementos prefabricados (segmentos y paneles de túneles).



El refuerzo en unidades de concreto precoladas puede clasificarse en dos tipos: no estructural (sólo para control de grietas por contracción/temperatura) y estructural (basado en la capacidad del momento de flexión). Pueden utilizarse microfibras sintéticas o índices de dosis bajas de macrofibras sintéticas para reemplazar el refuerzo de acero que se contrae por temperatura. Para refuerzos más pesados y aplicaciones estructurales, pueden utilizarse macrofibras o índices de dosis más altas para reemplazar las barras de refuerzo de acero. Muchos elementos prefabricados tienen secciones relativamente delgadas y/o grandes refuerzos de acero (FIGURA 35). Por lo tanto, colocar acero de refuerzo/mallas de acero y colar concreto de buena calidad puede llevar mucho tiempo y presentar un desafío. Reforzar con fibras permite una mejor automatización del proceso de producción, mejor control de calidad y mejores características de los productos finales. Asimismo, al realizar cálculos de ingeniería para la capacidad de flexión equivalente, el espesor de las unidades más pesadas puede disminuir, cuando se utilizan fibras de dosis elevadas. Otro potencial para reducir el espesor, es la eliminación de la cubierta mínima de concreto que se requiere para evitar la corrosión del refuerzo de acero.

Pueden utilizarse superplastificantes para producir concreto autoconsolidante con el propósito de eliminar la necesidad de vibración y consolidación. Estos aditivos facilitan la colocación y también le brindan al concreto alta resistencia temprana, permitiéndole desmoldar antes y producir con mayor rapidez. El uso de macrofibras sintéticas con un diseño de mezcla apropiado (incluyendo aditivos reductores de agua) puede asegurar un colado fácil y acabado de calidad para los elementos prefabricados hechos con CRF. En la FIGURA 36 se ilustran algunos ejemplos de macrofibras en elementos prefabricados.



FIGURA 36

Unidades típicas de concreto precolado hechas con macrofibras en lugar de refuerzos de acero.

3.4 Muros de Cimentación para uso Residencial

El refuerzo en muros de cimiento para uso residencial, puede ser más complicado que las aplicaciones anteriores y depende de muchos parámetros, tales como la altura y espesor del muro, altura del relleno y presión del suelo. Si el muro está diseñado como no reforzado, pueden agregarse microfibras o índices de dosis bajas de macrofibras sintéticas para mejorar la calidad del concreto contra el agrietamiento por contracción plástica y durabilidad a largo plazo bajo exposición a agua freática y sustancias químicas. Las macrofibras pueden utilizarse para reemplazar todo o algunos refuerzos de acero en estos muros de cimiento (FIGURA 37). Se observa que las barras de pasajuntas que conectan el cimiento (o apoyos) a los muros, deben permanecer como un medio de transferencia de carga y mecanismo anti-colapso. Asimismo, los refuerzos de acero alrededor de las aberturas deberán permanecer en los muros. El concreto reforzado con fibras también puede utilizarse en muros con cimbras aisladas de concreto (ICF) para eliminar o reducir los refuerzos de acero en el núcleo del concreto (FIGURA 38). Pueden utilizarse las tablas proporcionadas por el Código Internacional de Construcción (IBC) para encontrar el refuerzo de acero requerido y posteriormente, podrá calcularse el índice de dosis de fibra para proporcionar la misma capacidad de flexión contra cargas y momentos aplicados.

FIGURA 37

Los muros residenciales pueden reforzarse con macrofibras en lugar de refuerzos de acero.



FIGURA 38

Muros ICF para uso residencial, reforzados con macrofibras, Seton Catholic High School, Chandler, AZ TUF-STRAND SF at 6 lb/yd³ (3.6 kg/m³) para reemplazar refuerzos de acero horizontales



Eucomex puede proporcionar herramientas y documentos de ingeniería para calcular el índice de dosis de fibra para reemplazar refuerzos de acero en muros de uso residencial, basándose en códigos de ingeniería. También pueden proporcionarse hojas de cálculo para la estimación de los ahorros correspondientes al uso de concreto reforzado con fibras en estas aplicaciones. Otras ventajas del uso de concreto reforzado con fibras en muros, es la mejor integridad/elasticidad en exposición a impacto y explosión en condiciones de sismos, así como el mejor desempeño de durabilidad en exposición a interacciones ambientales de largo plazo (intemperismo, corrosión, ataque de sulfatos, etc).

3.5 Concreto lanzado

El Concreto lanzado es uno de los procesos más deseados disponibles para el uso de concreto en trabajo subterráneo, construcción nueva y proyectos de reparación. A menudo, la construcción con Concreto lanzado reforzado con fibras puede concluirse más rápido y de forma más económica que con técnicas convencionales de construcción, por el menor tiempo relacionado con la instalación, inspección y construcción de perfiles de acero. Por esta razón, cada vez más proyectos de construcción nueva eligen este método, por los costos reducidos, mayor seguridad y construcción fast-track cuando se elimina el refuerzo de acero. La capacidad para construir superficies rectas, curvas y de forma irregular, a la vez que se proporciona una estructura de concreto resistente y durable, ha hecho del Concreto lanzado el material de elección para un número cada vez mayor de aplicaciones arquitectónicas y de paisajismos.

Las excavaciones en suelo y roca pueden estabilizarse eficazmente con Concreto lanzado reforzado con fibras. El Concreto lanzado es ideal para soportar el suelo en construcción de túneles y minería. Cuenta con desarrollo temprano de resistencia a la compresión y a la flexión y tenacidad, por lo que el Concreto lanzado reforzado con fibra proporciona un soporte temprano del suelo después de la detonación o excavación. Esto puede proporcionar flexibilidad para permitir la estabilización del suelo y la capacidad para adaptarse a perfiles irregulares naturales del suelo y cimbra. El Concreto lanzado reforzado con fibras puede utilizarse como un revestimiento final permanente para estructuras subterráneas. El uso de Concreto lanzado reforzado con fibra para eliminar la mayor parte del refuerzo de acero para piscinas, es un desarrollo más reciente en la industria. Este material es especialmente adecuado para piscinas y parques de patinaje con muchas curvas, ya que se lanza contra el suelo excavado, eliminando el costo de cimbrado e instalación de acero. La flexibilidad de la colocación que permite el Concreto lanzado reforzado con fibras, le brinda a todo propietario de una piscina la posibilidad de contar con una piscina de forma única (FIGURA 39).

El Concreto lanzado reforzado con fibras es una técnica ideal cuando se están contemplando la reparación y restauración. Desde canales y piscinas, hasta muros de retención y estructuras hidráulicas, las oportunidades son incontables. En muchos casos, cuando se utilizan fibras en Concreto lanzado de reparación, se elimina la necesidad de cortar y colocar refuerzos de acero para las áreas de reparación y el trabajo puede hacerse más rápido y a un menor costo (FIGURA 40).



FIGURA 39
Concreto lanzado reforzado con fibras, utilizado para la construcción de una nueva piscina, Jacksonville, FL TUF-STRAND SF a 6 lb/yd³ (3.6 kg/m³).



FIGURA 40
Concreto lanzado reforzado con fibras utilizado para la reparación de un canal de agua, Phoenix, AZ. TUF-STRAND SF fue usado a dosis de 5 lb/yd³ (3 kg/m³).

3.6 Concreto Decorativo

El concreto con fibras puede utilizarse para una diversidad de aplicaciones decorativas que implican el uso de colores integrales, estampado, coloración y pulido (FIGURAS 41–42). Deberá tener cuidados si se apulido para las superficies de concreto con macrofibras; deberá utilizar un esmerilado profundo con una remoción mínima de ¼ de pulgada (6 mm) de la superficie superior.

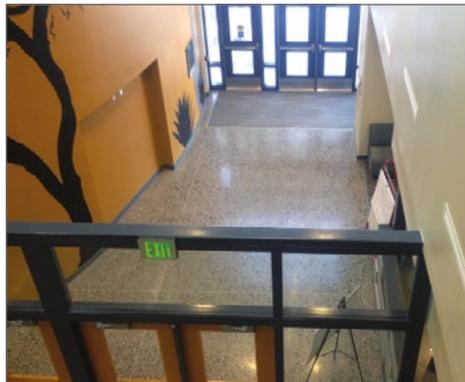
FIGURA 41

Losadeconcretosobrerantecon color/estampado. Cleveland State University, Cleveland OH. TUF-STRAND SF a 4 lb/yd³ (2.4 kg/m³)



FIGURA 42

Concreto Pulido con agregados de vidrio. Fireside Elementary School, Phoenix, AZ. TUF-STRAND SF fue usado a dosis de 3 lb/yd³ (1.8 kg/m³).



3.7 Otros Temas: Juntas de Control y Transferencia de Carga

Las juntas de control (también llamadas juntas de corte de sierra o juntas de contracción), sencillamente son ranuras que se hacen sobre el concreto joven, o se cortan con sierra en la losa, poco tiempo después de que el concreto alcanza su fraguado inicial. Las juntas de control crean un punto débil en la losa, de manera que cuando el concreto se contrae, se agrieta en la junta, en lugar de agrietarse aleatoriamente a través de la losa (lo que se conoce como junta activada). Para que una junta de control sea efectiva, puede hacerse un corte de sierra oportuno con un corte temprano a una profundidad de 1" para losas de hasta 9" de espesor. Las profundidades mínimas para cortes de sierra hechos con sierras convencionales, deben ser de por lo menos ¼ de espesor de la losa. Para altos índices de dosis de macrofibras (más de aproximadamente 7 lb/ yd³), deberá cortarse un mínimo de 1/3 de espesor de la losa para que la junta sea eficaz. Pueden utilizarse

varillas de refuerzo y selladores de juntas elastoméricos apropiados para sellar las juntas cortadas con sierra, para propósitos estéticos y para sellar contra humedad y desechos. Pueden emplearse rellenos de juntas semi-rígidos para llenar toda la profundidad de las juntas y proteger los extremos de la junta contra el tránsito de montacargas con ruedas duras.

ACI-302 recomienda utilizar espaciado de juntas de contracción de 24-36 veces el espesor de la losa para losas no reforzadas. PCA recomienda que el espaciado de las juntas no exceda 15 pies (cuando la transferencia de la carga depende únicamente de un trabazón de agregado). El uso de concreto reforzado con macrofibras, junto con mezclas de baja contracción puede permitir potencialmente incrementar el espaciado de juntas a distancias mucho mayores. Los detalles de juntas de construcción y contracción, así como el espaciado para Concreto Reforzado con Fibras micro-sintéticas, son los mismos que aquellos utilizados para concreto no reforzado. Las macrofibras sintéticas a índices de dosis de media a alta, es decir, 5.0 lb/yd^3 (3 kg/m^3) y más altas, incrementan la resistencia residual del concreto posterior al agrietamiento. Este comportamiento del material permite utilizar espaciado más largo de juntas de contracción cortadas con sierra, siempre que se sigan apropiadamente todos los demás atributos.

En la FIGURA 43 se ilustra esquemáticamente distintos mecanismos de transferencia de carga en juntas cortadas con sierra. La transferencia de carga en juntas cortadas con sierra en losas no reforzadas, se hace por lo general mediante trabazón de agregado y puede mejorarse con pasajuntas de acero. Las macrofibras hacen un puente con las grietas en las juntas cortadas con sierra y mejoran el trabazón de agregado para transferir las cargas cortantes de un lado de la losa al otro. Para las reforzadas con macrofibras, la transferencia de carga en juntas cortadas con sierra, se hace mediante una combinación de trabazón de agregado y puenteo de fibras (FIGURA 44). La eliminación de pasajuntas de acero en la junta de contracción, puede ser posible cuando se utilizan dosis más altas de macrofibras (es decir, >6 or 7 lb/yd^3 para macrofibras sintéticas). Sin embargo, esto debe confirmarse con las pruebas previas y las aprobaciones de ingeniería.

FIGURA 43
Esquema de métodos de refuerzo para transferencia de carga de cortante en juntas cortadas con sierra.



3.8 Otros Temas: Losas de Concreto Reforzado con Fibras de Baja Contracción

El refuerzo (malla, varillas de acero o fibras) no reduce el nivel de contracción del concreto, más bien, controla el agrietamiento una vez que éste ocurre. Las mezclas normales de concreto tienen valores de contracción en el rango de 0.05%-0.06% después de 28 días. Las recomendaciones sobre espaciamiento de juntas de ACI-302 y de PCA, se basan en estos valores de contracción. A manera de ejemplo, estos valores limitarían



EUCLID GROUP
EUCOMEX

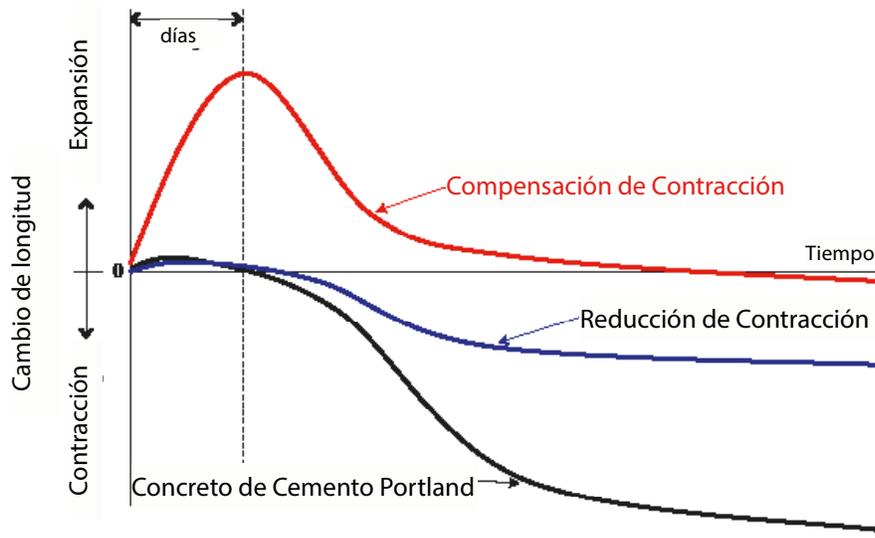
FIGURA 44

Esquema de transferencia de esfuerzo en la junta con y sin macro fibras.



el espaciamiento de juntas cortadas con sierra en aproximadamente 15 pies (4-5-6m) para un aloso de 6 pulgadas (150mm) de espesor. El concreto de menor contracción puede hacerse utilizando bajo contenido de cemento, baja relación de agua cemento, alto contenido de agregado grueso y técnicas de curado apropiadas. Los aditivos reductores de contracción (SRAs) o aditivos que compensan la contracción (SCAs), también pueden utilizarse para producir mezclas de concreto con valores de contracción en el rango de 0.02%-0.04%. Estos valores inferiores permitirían un espaciamiento de juntas mayor en el rango de 25-30 pies o más (7.5-9 m) para un aloso de concreto de 6" (150mm) de espesor. Los SRAs utilizan la tensión hidrostática/desuperficie de agua del poro para reducir la cantidad de esfuerzo de contracción que se muestra en el muro de los poros capilares, a medida que el agua sale del sistema. SCA crea una expansión temprana en el concreto para compensar la contracción que ocurre.

Los valores de contracción de menos de 0.02% después de 28 días, permiten que el espaciamiento de juntas cortadas con sierra sea de más de 40 pies (12m). Es posible obtener valores de contracción de cero o cercanos al cero por ciento (concreto de contracción compensada), utilizando aditivos de contracción compensada (SCAs). Algunas formas de refuerzo (varillas de acero o macrofibras equivalentes) por lo general requieren concreto de contracción compensada para proporcionar restricción contra la expansión inducida (consulte ACI 223, Concreto de Contracción Compensada). Deberá utilizar una relación mínima de área de refuerzo para el área bruta de concreto de 0.15%, en cada dirección en la que se desea compensación de contracción. Cuando utilice concreto de contracción compensada, las losas podrán colocarse en áreas de hasta 10,000 ft² (930m²) con espaciamiento de juntas de 100ft (30m) con grietamiento minimizado. Consulte ACI 223 Concreto de Contracción Compensada con respecto a las relaciones de aspecto permisibles y juntas en esquinas reentrantes. Las losas de concreto con fibras TUF-STRANDS y aditivos para compensar contracción o para reducir la contracción permiten construir losas grandes con un número mínimo de juntas cortadas con sierra y juntas. La investigación realizada por Eucomex ha demostrado que una combinación de SRA, SCA y macrofibras puede dar por resultado ceromezclas de contracción que pueden utilizarse en losas de concreto sin juntas y sin grietas. En la FIGURA 45, se ilustra el comportamiento de contracción del concreto con distintos sistemas. Como ejemplo, cuando se utiliza una mezcla de baja contracción con macrofibras, pueden eliminarse las juntas cortadas con sierra y hacer losas grandes como puede hacerse el espaciamiento de la columna, tal como se ilustra en la FIGURA 46.



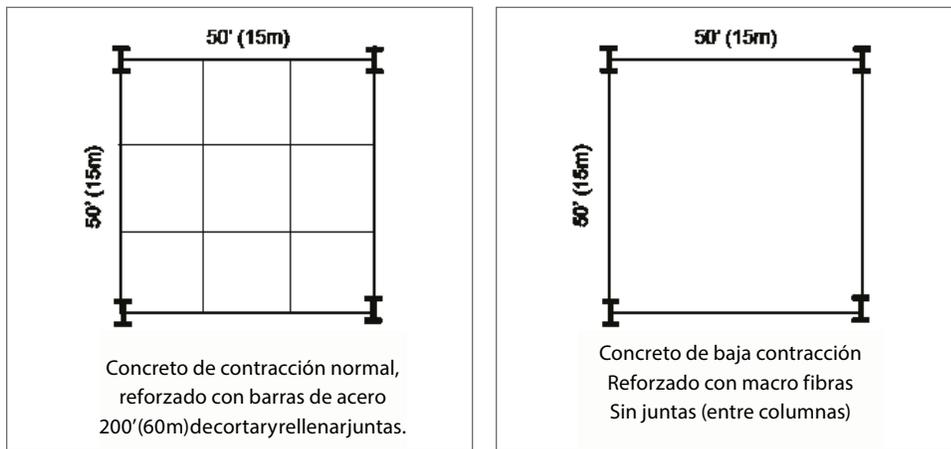
Base de la gráfica de **ACI 223R-10**

FIGURA 45

Ilustración del cambio de longitud a medida que transcurre el tiempo para el concreto de cemento Portland, en comparación con SRA, SCA y combinación de SRA/SCA/fibra.

FIGURA 46

Comparación de dos sistemas de pisos: Izquierda: bahía de 50' x 50' con 4 cortes de 200' de longitud total con contracción normal. Derecha: bahía de 50' x 50' sin cortes, con baja contracción.



No hay una ecuación específica para el cálculo de espaciamiento de juntas basado en parámetros, tales como valores de contracción o tipos de refuerzo. No obstante, los lineamientos generales presentados en ACI-360 pueden utilizarse como un punto de partida para este cálculo (FIGURA 47). En general, el espaciamiento de juntas está inversamente relacionado con el valor de contracción y la gráfica de la siguiente página muestra la relación obtenida en la literatura existente. Esta gráfica puede utilizarse para la aproximación de espaciamiento de la junta como una herramienta comparativa (FIGURA 48). Por ejemplo, si el espaciamiento original de la junta para un losa de 6" con contracción de 0.06%, es de 18 pies, al utilizar mezclas de baja contracción y obtener una contracción del 0.02%, el espaciamiento de la junta puede extenderse potencialmente a 40 pies. No obstante, existen otros factores para este proceso y se necesitaría experiencia real en campo para la determinación final de espaciamiento de juntas. Eucomex investigó el uso de las macro fibras sintéticas, conjuntamente con materiales de concreto mejorado (tales como resistencia a la flexión y graduación del agregado), así como técnicas de colocación para desarrollar patrones de juntas optimizados, sobre la base de valores de contracción del concreto. Estas mezclas de concreto por lo general requieren desarrollo adicional



FIGURA 47

Espaciamento recomendado de juntas en losas sobre rasante, como una función del espesor del concreto (ACI 360).

durante la fase de construcción y pueden incluir pruebas de materiales localmente disponibles y a menudo requerirán del uso de aditivos químicos, tales como SRA's y SCA's.

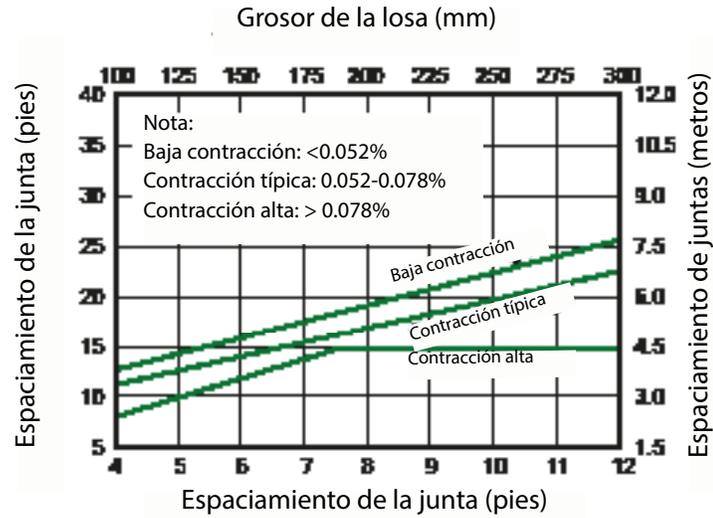
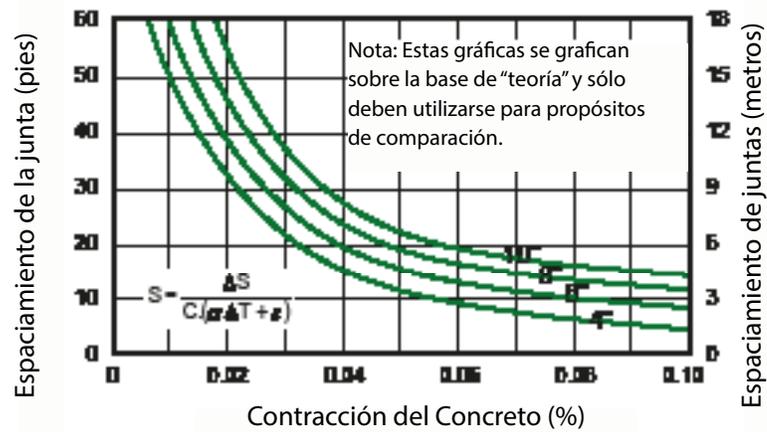


FIGURA 48

Esquemas de espaciamento de las juntas recomendadas en losas en el suelo en función de la contracción del concreto.



Recomendación de la Práctica del Concreto Reforzado con Fibra

Capítulo 4

- 4.1 Agregar y Mezclar Fibras (para productores de premezclado)
- 4.2 Colocar y Terminar CRF (Para contratistas de concreto)
- 4.3 Especificar CRF (Para Ingenieros/Arquitectos)



EUCLID GROUP
EUCOMEX



4.1 A Agregar y Mezclar Fibras (Para productores de premezclado)

La adición de fibras al concreto puede o no requerir equipo especial, dependiendo del tipo y dosis de fibras. Los dispositivos tales como banda transportadoras, rampas, despachadores con merma de peso, ventiladores y tubos neumáticos pueden utilizarse para agregar fibras a la mezcladora en el sitio del trabajo o en la planta central de dosificación. Las fibras sintéticas (micro y macro) son relativamente ligeras (gravedad específica de 0.9) y se venden típicamente en bolsas solubles al agua de 1 – 5 libras (0.45 – 2.3 kg) (FIGURA 49). Estas bolsas pueden agregarse a la mezcladora central o alarevolvedora, manualmente o con un despachador. No obstante, las fibras de acero son relativamente pesadas (gravedad específica de 7.8) y por lo general se venden en bolsas de 50 libras (23 kg). Por lo tanto, no es fácil agregar manualmente estas fibras y es posible que se necesarioutilizarsistemasdebanda transportadoras u otras formas de despachadores. Para lograr un desempeño óptimo, deberán dispersarse de manera uniforme en toda la mezcla. Por lo general se utiliza una velocidad de mezcladode 10-12 rpm para mezclar fibras con concreto en un camión. Siempre se recomienda un mínimo de 40 revoluciones (4 a 5 minutos) para lograr un mezclado y dispersión apropiada de las fibras en los camiones. En caso de mezclar en una mezcladora central, el mezclado se lleva a cabo de la misma forma que el concreto solo (sin fibra).

FIGURA 49

a) Las macro fibras sintéticas vienen en bolsas ligeras y pueden agregarse fácilmente a la revolvedora. b) Una "buena mezcla que puede bombearse" acepta fibras con poco o ningún ajuste. Es posible que sea necesario utilizar plastificantes para proporcionar una trabajabilidad deseada para Concreto Reforzado con Fibras.



49a



49b

Todos los tipos de fibras (fibras de acero y micro/macrofibras sintéticas) tienen el potencial de "formar pelotas" en el concreto. Por lo general, este fenómeno es provocado por la adición de fibras en las mezclas de concreto que están demasiado secas (el revenimiento disminuye o se reduce) o en mezclas que no tienen suficientes partículas finas (cemento, arena, materiales suplementarios, etc.) para cubrir las fibras. En estos casos, la falta de pasta suficiente puede provocar que el revenimiento disminuya o se reduzca. Las fibras sueltas en un tambor vacío pueden aglomerarse y las fibras que son demasiado grandes también pueden provocar problemas. Siempre se recomienda hacer una mezcla de prueba para garantizar que la mezcla soporte el tipo/dosis de fibras y que la secuencia de dosificación no provoque ningún problema. Si es necesario, podrían utilizarse aditivos plastificantes para mantener la trabajabilidad deseada para la colocación. Las macrofibras con dosis mayores a 3–4 lb/yd³ (1.8–2.4 kg/m³) necesitarán cierto tipo de aditivo plastificante para compensar la pérdida de revenimiento.

El Concreto Reforzado con Fibras es más cohesivo (más grueso) que el concreto no reforzado; no obstante, esto no significa que no se consolidará bien. Es por ello que la prueba estándar de revenimiento no es el mejor indicador de trabajabilidad del Concreto fresco Reforzado con Fibras. Aun así, la regla general es que por cada 2–3 lb/yd³ (1.4–1.8 kg/m³) de macrofibras TUF-STRANDSF, se espere aproximadamente 1 pulgada de pérdida de revenimiento. La vibración mecánica puede ayudar a romper la red 3-D en concreto fresco, para proporcionar la consolidación apropiada.

En la mayoría de los casos una “buena mezcla que puede bombearse” acepta fibras con pocos o ningún ajuste (FIGURA 50). Es frecuente que en el campo, debido a que el Concreto Reforzado con Fibras es más cohesivo que el concreto solo, los usuarios deseen agregar agua para hacer que el concreto “fluya mejor”. Esto puede empeorar la situación, ya que demasiada agua en realidad provocará que la mezcla se segregue y bloquee la manguera de bombeo, además de disminuir la resistencia. Cuando descargue una mezcla de Concreto Reforzado con Fibras en un atolva en un camión de bombeo, eleve la rampa del camión de premezclado de 12 a 18” (300–450 mm) sobre la rejilla (si hay una rejilla presente) en la bomba para permitir que las fibras “impacten” la rejilla y la ayude a pasar a través de ella. Un vibrador sobre la rejilla también mejorará la capacidad del Concreto Reforzado con Fibras de pasar a través de la rejilla.

4.2 Colocación y Terminado del Concreto Reforzado con Fibras (Para contratistas de concreto)

El uso de refuerzo de fibras no siempre requiere técnicas especiales de colocación, ya que este material se presta a colocación y acabado convencionales. Para Concreto Reforzado con Fibras pueden utilizarse todos los métodos convencionales para colocar concreto. Si bien la consolidación puede hacerse con un vibrador mecánico, deberá prestar atención a las bolsas vacías de fibras que podrían quedar al apartar con rapidez el vibrador, del concreto fresco. Si se utiliza Concreto Reforzado con Fibras en forma de concreto auto-consolidante (SCC), se elimina la necesidad de vibración. Es posible utilizar todos los métodos convencionales para dar terminado al Concreto Reforzado con Fibras, incluyendo acabado con escoba, llana manual, escantillón láser, etc. (FIGURA 50).



FIGURA 50

El concreto reforzado con fibras puede determinarse con herramientas similares a las utilizadas para concreto no reforzado; deberá prestar atención especial para obtener una superficie con acabado apropiado.



EUCLID GROUP
EUCOMEX



Debido a la naturaleza auto-fibrilante y a la longitud del TUF-STRANDSF, la macrofibra sintética de Eucomex no tiene tanta tendencia a “jalarse” en la superficie durante las operaciones de acabado, lo que hace que esta fibra sea un candidato ideal, incluso sobre fibras de acero que son más rígidas y pueden provocar problemas a lo largo de las juntas cuando se realizan operaciones de corte de sierra. Cuando se requiere acabado con escoba, asegúrese que el equipo utilizado para aplicar el acabado de escoba se conserve limpio y que el ángulo de la escoba sea bajo, pasándola siempre en la misma dirección. Por lo general, los acabados con escoba jalan las fibras de cualquier tipo hacia la superficie del concreto, pero la experiencia ha demostrado que “la práctica hace al maestro”. Si es necesario, haga una prueba o simulación antes de colocar el concreto, para ayudar al contratista a obtener la apariencia deseada en la superficie.

No hay garantía absoluta de que las fibras no quedarán visibles en un piso de concreto pulido cuando se utiliza Concreto Reforzado con Fibras, pero hay “sugerencias” que pueden emplearse para mejorar las posibilidades de reducir la cantidad de fibras que quedan visibles. Es importante empezar con una mezcla de concreto apropiadamente dosificada para aceptar fibras, así como asegurarse de no “agregar demasiada agua” a la mezcla para mejorarla fluidez. Siempre se recomienda el uso de aditivos reductores de agua para conservar la resistencia, a la vez que se mejora la trabajabilidad. Ocasionalmente, los tiempos de operación de acabado pueden ser engañosos, debido a que el Concreto Reforzado con Fibras es más cohesivo, podría verse como si el concreto estuviera fraguando más rápido, debido a la naturaleza cohesiva del material. Simular colocación y acabados puede ayudar a prepararse para un proyecto exitoso (FIGURA 51).

FIGURA 51

Simular colocación puede ayudar a solucionar problemas y prepararse para una colocación exitosa de Concreto Reforzado con Fibras.



4.3 Especificar Concreto Reforzado con Fibras (Para Ingenieros/ Arquitectos)

Notodas las fibrasson iguales; esto significa que dos productos de fibra diferentes, llamémosles fibra A y fibra B con la misma longitud y dosificación en el concreto pueden presentar distintos valores de resistencia residual. Por lo tanto, desde el punto de vista de aseguramiento de la calidad, es indispensable especificar el “desempeño” del concreto reforzado con fibra y no la “dosificación” de las fibras. Porello, el ingeniero/arquitecto y el propietario del proyecto podrán estar seguros de que el producto final tendrá las propiedades deseadas para el proyecto diseñado. Los parámetros utilizados para una especificación basada en desempeño para el Concreto Reforzado con Fibras, se relaciona con la resistencia residual del Concreto Reforzado con Fibras. La resistencia residual promedio (ARS) de la prueba ASTM C1399, equivalente a resistencia residual o relación ($f_{e,3}$ or $R_{e,3}$) de la prueba ASTM C1609 y la resistencia residual f_{Ri} de la prueba RILEM/EN 14651 pueden utilizarse para especificar Concreto Reforzado con Fibras. En América del Norte, actualmente, ASTM C1609 es la norma más utilizada para caracterizar y especificar concreto reforzado con fibras. Una especificación típica de concreto reforzado con fibra puede ser de la siguiente forma: Las macrofibras sintéticas (Polioléfinas) cumplirán con ASTM C1116/C1116M, Tipo III, y ASTM D7508. Las macrofibras sintéticas estarán diseñadas para utilizarse en concreto y mostrarán un valor de resistencia residual posterior al agrietamiento ($f_{e,3}$) igual a los requerimientos mínimos de diseño de acero de refuerzo y probados, de conformidad con ASTM C1609. La macrofibra sintética será de una longitud mínima de 1½ pulgadas (38mm), una relación mínima de aspecto de 70 y proporcionará una resistencia a la tensión mínima de 70 KSI.

Es responsabilidad del fabricante de fibras, proporcionar datos de prueba que muestren que sus fibras pueden cumplir con estos requerimientos de desempeño. Es posible aplicar limitaciones respecto a la longitud y diámetro de la fibra, dependiendo de la aplicación; no obstante, la mayoría de las macrofibras comercialmente disponibles se encuentran dentro de un rango razonable, en términos de dimensiones. Es necesario observar que no puede utilizarse un valor de resistencia residual para cada proyecto o cada parte de un proyecto y similar al refuerzo de acero, este valor puede variar dependiendo de los pesos del concreto y de las cargas aplicadas. Por ejemplo, un valor de $R_{e,3}$ de 15% puede ser suficiente para reforzar una losa sobre rasante de 6” para control de grietas por contracción/temperatura, pero este número puede incrementarse a 35% para soportar los momentos de flexión aplicados por cargas de vehículos.



TERMINOLOGÍAS

ARS: Resistencia Residual Promedio obtenida de ASTM C1399, que es representativa de la resistencia residual posterior al agrietamiento en una viga agrietada, proporcionado por fibras.

RELACIÓN DEL ASPECTO: la relación de la longitud del diámetro de una sola fibra. El diámetro puede ser el diámetro real o equivalente, tal como se define a continuación.

FORMACIÓN DE PELOTAS O ABULTAMIENTO: la formación de grandes aglomeraciones de fibras enredadas que puede ocurrir durante el proceso de mezclado.

DUCTILIDAD: la capacidad del material para absorber energía y sostener carga más allá de un punto de cedencia que defina el límite del comportamiento elástico (inicio del agrietamiento), es decir, o puesto a un material que bradizo que demuestre pérdida abrupta de resistencia, más allá del rango elástico.

RESISTENCIA RESIDUAL A LA FLEXIÓN EQUIVALENTE (f_{e3}): el esfuerzo a la flexión promedio medido en ASTM C1609 (o JSCE-SF4) basándose en la dureza, hasta una deflexión específica (3mm) superior a la deflexión requerida para provocar agrietamiento.

RELACIÓN DE RESISTENCIA RESIDUAL A LA FLEXIÓN EQUIVALENTE (R_{e3}): la relación de la resistencia residual a la flexión equivalente y la resistencia a la flexión del concreto.

DOSIFICACIÓN DE FIBRAS: el peso total de la fibra en un volumen unitario del compuesto (por lo general expresado como kg/m^3 or lb/yd^3).

FIBRAS FIBRILADAS: una configuración de fibras que tiene secciones de fibra que se dividen para formar ramas de fibras.

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN: el esfuerzo máximo a la tensión de flexión que se logra en una prueba de viga, también conocido como módulo de ruptura (MR).

FIBRAS MONO-FILAMENTO: una sola fibra que puede no ser prismática en sección transversal.

DUREZA: la capacidad del concreto reforzado con fibras para sostener carga después del agrietamiento del concreto, es decir, su capacidad de absorción de energía.

REFERENCIAS

- ACI 360R: Guía para diseñar losas sobre terreno. American Concrete Institute, 2010
- ACI 506-IR: Guía para Concreto lanzado reforzado con fibra. American Concrete Institute, 2008
- ACI544-3R: Guía para especificar, dosificar y producir concreto reforzado con fibra. American Concrete Institute, 2008
- ACI544-5R: Reporte sobre las propiedades físicas y durabilidad del concreto reforzado con fibras. American Concrete Institute, 2010.
- TR-63: Guía para el diseño de concreto reforzado con fibra de acero. The Concrete Society, 2011
- TR-65: Guía para el uso de concreto reforzado con macro fibra sintética. The Concrete Society, 2007
- TR-34: Pisos industriales de concreto. The Concrete Society, 2013
- Código de modelo FIB: Sección 5.6: Fibras/concreto reforzado con fibras. International Federation for Structural Concrete (fib), 2010
- ASTM C-1116: Especificación estándar para concreto reforzado con fibras. American Society for Testing and Materials, 2010
- ASTM C-1609: Método Estándar de Prueba para Desempeño de Flexión del Concreto Reforzado con Fibras (Utilizando Viga con Carga de Tres Puntos). American Society for Testing and Materials, 2010
- ASTM C-1399: Método Estándar de Prueba para obtener Resistencia Residual Promedio del Concreto Reforzado con Fibras. American Society for Testing and Materials, 2010
- ASTM C-1550: Método Estándar de Prueba para Dureza a la Flexión del Concreto Reforzado con Fibras (Utilizando un Panel Redondo Cargado Centralmente). American Society for Testing and Materials, 2012
- EN14651: Productos de concreto precolado – método de prueba para concreto de fibras metálicas – medición de la resistencia a la tensión de flexión. European Committee for Standardization, 2003
- Concreto Reforzado con Fibras. SP-44; American Concrete Institute, 1974
- Aplicaciones Estructurales del Concreto Reforzado con Fibras. SP-182 American Concrete Institute, 1999
- Yield Line Theory, K.W. Johansen, Cement and Concrete Association, 1962
- Pavement Analysis and Design. Y.H. Huang, Prentice-Hall Inc. 1993
- Concrete Microstructure, Properties, and Materials. K. Mehta and P.J.M. Monteiro, McGraw-Hill, 2006
- Mechanics of Fiber and Textile Reinforced Cement Composites. B. Mobasher, CRC Press. 2012
- Carbon Footprint Assessment of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete Floors. T. Cutright, M. Mahoney, K. Franey, A. Patnaik, The International of Constructed Environment, V. 3, 2013
- Rational Approach for Replacement of Conventional Reinforcement with Macro Synthetic Fibers in Bridge Deck Overlays. M. Mahoney and D. Forgeron, Proceeding of the National Concrete Bridge Council, St. Louis, MO. 2008
- Manual to Slab on Grade Software Program, Euclid Chemical Company, 2006
- Innovative Synthetic Fibers. J.F. Trottier and M. Mahoney, Concrete International, Junio, 2006
- Can Synthetic Fibers Replace Welded Wire Fabric in Slab on Grade? J.F. Trottier, M. Mahoney, D. Forgeron, Concrete International, Noviembre, 2012
- Physical and Mechanical Properties of Fiber Reinforced Aerated Concrete. A. Bonakdar, F. Babbitt, B. Mobasher, Cement & Concrete Composites, V.38, 2013
- Joint Repair Methods for Portland Cement Concrete Pavements. NCHRP Report No. 281, M.I. Darter, E.J. Barenberg W.A. Yrjanson, 1985
- Project Story: Global Center for Health Innovation. Donley's Report, 2013



GUÍA DE INGENIERÍA PARA CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS

Eucomex proporciona claramente mejores sustancias químicas y materiales de construcción para concreto de especialidad, para la industria de la construcción en todo el mundo. Nuestro mandato para el mercado de construcción de concreto reforzado con fibras es capacitar y auxiliar a los profesionales en el diseño con la selección apropiada, aplicación y uso de fibras en general, y específicamente, con los productos PSIFiberstrand y TUF-STRAND. Con nuestro equipo de apoyo técnico, ventas, administración y profesionales en el desarrollo de negocios, nos esforzamos por ofrecer el mejor soporte de tecnología e ingeniería, marketing y servicio en campo, así como por ser líderes en refuerzo con fibras para la industria de la construcción con concreto premezclado, precolado y Concreto lanzado. Esta guía es para ingenieros y arquitectos en pleno ejercicio de su profesión y que estén familiarizados con el diseño de concreto que contiene refuerzo de acero convencional, pero que necesiten una guía adicional para el diseño y especificación para concreto reforzado con fibras (CRF).

© 2017 Eucomex, Todos los derechos reservados.

Vía José López Portillo No. 69 • Tultitlán, Estado de México
Tel. 01 (55) 5864 9970 • Fax 01 (55) 5531 0998
www.eucomex.com.mx



EUCLID GROUP
EUCOMEX