



CONCRETO MANUAL DE CONCRETO REFORZADO SikaFiber®

CONSTRUYENDO CONFIANZA



Editor
Sika Services AG
Tüffenwies 16
CH-8048 Zürich

Autores
David Taylor BEng, Sika Services AG
Dr Carsten Rieger, Sika Services AG
Trevor Atkinson, Sika Europe Management AG (retired)

Layout
Sika Services AG
Corporate Marketing Service

© por Sika AG
Todos los derechos reservados

Edición 2022

Manual de concreto reforzado SikaFiber®

PREFACIO

Este manual está destinado a brindar orientación sobre los beneficios prácticos y técnicos del uso de refuerzo de fibra en una variedad de aplicaciones de concreto.

El concreto es reconocidamente el material más utilizado en la tierra después del agua, por ser un material versátil altamente rentable, utilizado para la construcción de viviendas, sanidad, educación, transporte, energía, industrial y muchas más aplicaciones. Sin ello, muchas estructuras de concreto serían simplemente imposibles de construir. A pesar de la versatilidad, el concreto se ve afectado con varios inconvenientes que son inherentes a su composición. Si bien tiene una resistencia a la compresión muy alta, según los estándares de ingeniería generalmente aceptados, el concreto tiene una capacidad de tracción significativamente menor y se considera relativamente frágil y carente de resistencia a la flexión. Además, el concreto tiende a agrietarse tanto en el estado plástico (edad temprana) como en el estado endurecido (a largo plazo).

Las grietas de edad temprana se definen como grietas que generalmente se desarrollan dentro de las primeras horas y días después de la colocación del concreto e incluyen la contracción plástica y el agrietamiento por asentamiento plástico. El agrietamiento a largo plazo, por otro lado, es causado en parte por la contracción que ocurre durante varios meses, tal vez incluso años de secado que sigue. En cualquier caso, estas fisuras pueden poner en peligro la integridad general del concreto y no permitirle mantener o incluso alcanzar su máxima capacidad de rendimiento.

La introducción del refuerzo de fibra no solo mejora la resistencia a la flexión y la tenacidad del concreto, sino que también proporciona una resistencia excepcional al agrietamiento temprano y a largo plazo, lo que permite que el concreto alcance una durabilidad a largo plazo.

Si bien el concreto reforzado con fibra ahora es ampliamente aceptado en la industria de la construcción y el concreto premezclado, hay muchos países que aún no están convencidos de sus beneficios prácticos, técnicos y comerciales. Quizás algunos aún vean el refuerzo de fibra como una tecnología relativamente nueva y no probada cuando, de hecho, se ha utilizado durante muchos siglos. De hecho, nuestros antiguos antepasados fueron los primeros en utilizar una tecnología similar incorporando paja en bloques de arcilla y pelo de animales en yesos/morteros con el propósito de prevenir el agrietamiento durante el proceso de secado.

La tecnología de fibra se aplicó inicialmente al concreto en la década de 1950 basada en la idea de dosificar acero como refuerzo en la hormigonera en lugar de fijarlo dentro del encofrado.

El refuerzo de acero era cortado en piezas discontinuas discretas para permitirles encajar en el mezclador, en lo que se conoció como refuerzo de fibra de acero. Desde entonces se han llevado a cabo un gran número de actividades de investigación para desarrollar nuevos tipos de fibra de refuerzo. En el mercado actual, los materiales más utilizados para las fibras en el concreto son acero, polipropileno y otros materiales como el vidrio y materiales naturales como la celulosa.

Afortunadamente, los estándares de diseño que permiten el reemplazo del refuerzo tradicional de barras de acero con concreto reforzado con fibras (FRC) son ahora más prominentes e innumerables documentos disponibles cubren los méritos de FRC, haciéndolo más aceptable para los ingenieros, contratistas y propietarios. El método tradicional de reforzar el concreto con barras de acero es predominantemente enseñado en las escuelas de ingeniería civil, pero sin duda hay un aumento de interés e investigación sobre los méritos de FRC.

Sin embargo, el uso de concreto reforzado con fibra es todavía relativamente bajo, lo que significa que existe un gran potencial de crecimiento en el mercado de FRC.

Con este manual el lector tiene una guía de los temas más relevantes relativos al concreto Reforzado con Fibras. Se espera que esto proporcione respuestas a las preguntas relacionadas con la selección, beneficios y el uso de las fibras, sin profundizar demasiado en los respectivos detalles científicos.

También en esta serie de Manuales de Sika:



Manual del Concreto



Manual de Concreto Proyectado

CONTENIDO

PRÓLOGO	4
<hr/>	
1 CONCEPTOS BÁSICOS	9
1.1 ¿Qué es el concreto reforzado con fibra?	9
1.2 Características de las fibras	10
1.2.1 Materiales	11
1.2.2 Geometría	12
1.2.3 Forma	12
1.2.4 Anclaje	13
1.2.5 Dispersión	14
1.2.6 Matriz del Cemento	16
<hr/>	
2 SUSTENTABILIDAD	18
2.1 Sustentabilidad	18
2.2 Ciclo de vida	19
2.3 Material excedente	21
2.4 Durabilidad	22
2.5 Asociaciones	23
2.5.1 EFCA	23
2.5.2 LEED	23
2.5.3 MFSA	23
2.5.4 FRCA	23
<hr/>	
3 NORMAS	24
3.1 Orientación	25
3.2 Certificación	27
3.2.1 EN 14889: Partes 1 y 2	27
3.2.2 ASTM D7508/D7508M	32
3.2.3 ASTM A820/A820M	34
<hr/>	
4 PROPIEDADES DE LAS FIBRAS	35
4.1 Terminología	35
4.2 Clasificación	37
4.3 Propiedades físicas	37
4.3.1 Longitud	37

4.3.2	Diámetro	37
4.3.3	Área de la sección transversal	38
4.3.4	Densidad	38
4.4	Resistencia	39
4.4.1	Resistencia a la tracción	39
4.4.2	Módulo E	40
4.4.3	Elongación	41
4.4.4	Creep/Fluencia	41
4.5	Propiedades químicas sintéticas	41
4.5.1	Temperaturas	41
4.5.2	Humedad /Absorción	42
4.5.3	Resistencia química	42
4.5.4	Resistencia Ultravioleta	42
4.5.5	Recubrimientos surfactantes	42

5	TIPOS DE FIBRA	43
----------	-----------------------	-----------

5.1	MicroFibras	43
5.1.1	Tipos de microfibras sintéticas	44
5.1.2	Impacto en concreto fresco	44
5.1.3	Influencia en fisuración	46
5.2	Beneficios micro PP	46
5.2.1	Reducción del asentamiento plástico	47
5.2.2	Reducción de la contracción plástica	48
5.2.3	Resistencia al spalling	49
5.2.4	Reducción de permeabilidad	52
5.2.5	Resistencia a la abrasión	52
5.2.6	Resistencia al impacto	52
5.3	Macrofibras	53
5.3.1	Contracción plástica	54
5.3.2	Impacto en concreto fresco	54
5.4	Macrofibras de acero	55
5.4.1	Impacto en las propiedades frescas de un Concreto de Referencia	56
5.4.2	Impacto en la resistencia de un Concreto de Referencia	56
5.5	Beneficios Macrofibra	57
5.5.1	Aumento de la resistencia	57
5.5.2	Aumento de la ductilidad	58
5.5.3	Reemplazo refuerzo tradicional	58
5.5.4	Reducción de tiempos de construcción	58
5.6	Guía de aplicación de fibra	59
5.7	Dosis mínima de fibra	60

6	CONCRETO REFORZADO CON FIBRA	62
----------	-------------------------------------	-----------

6.1	Inicios	62
6.2	Filosofía	63
6.2.1	Ablandamiento y endurecimiento por tensión	64
6.3	Propiedades mecánicas	67

6.3.1	Fibra estructurales y no estructurales	67
6.3.2	Estructural Según Normas Europeas	67
6.3.3	Estructural Según ACU	67
6.4	Conceptos de diseños	68
6.4.1	Diseño concreto reforzado	68
6.5	SikaFiber® Software	71
<hr/>		
7	APLICACIÓN EN CONCRETO	75
7.1	Losas sobre Suelo / Terreno	75
7.2	Revestimiento de túneles	79
7.3	Soporte de rocas	84
7.4	Fabricación prefabricado de concreto	90
7.5	Concreto bombeado	92
7.6	FRC de ultra alto rendimiento	93
<hr/>		
8	ENSAYOS	94
8.1	Ensayos de viga	94
8.1.1	Pruebas norma europea	94
8.1.2	Pruebas normas ASTM	110
8.2	Energía de Absorción	114
8.2.1	Panel cuadrado	115
8.2.2	Panel redondo	118
8.3	Resistencia de la fibra	120
<hr/>		
9	ENVASADO Y DOSIFICACIÓN	124
9.1	Embalaje	124
9.2	Dosificación	126
9.2.1	Dosificación manual	126
9.2.2	Dosificación automatizada	126
<hr/>		
10	TERMINACIÓN DEL CONCRETO	128
10.1	Buenas prácticas del concreto	128
10.2	Métodos de terminación	130
<hr/>		

1 FIBRA LO ESENCIAL

1.1 ¿QUÉ ES EL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA?

El concreto reforzado con fibra (FRC) es un material compuesto que combina concreto y fibras de pequeñas dimensiones que se distribuyen uniformemente por todo el concreto para crear un sistema tridimensional de refuerzo. La inclusión de fibras en el concreto y otros materiales cementicios, como morteros y revoques, mejora muchas propiedades de los materiales, entre ellas:

- ductilidad
- tenacidad
- resistencia al agrietamiento
- resistencia
- reducir el desconchado explosivo
- reducir permeabilidad
- resistencia al impacto / rotura
- resistencia a la fatiga



Los materiales adoptados principalmente para FRC son acero, polipropileno, vidrio y fibras naturales. En el mercado actual de la construcción, el FRC es a menudo el refuerzo de primera elección para muchas aplicaciones importantes que incluyen losas sobre suelo o terreno, cubiertas de metal compuesto y revestimientos de túneles. A menudo se utiliza como una alternativa rentable y fácil de usar al refuerzo de acero tradicional o para mejorar otras propiedades.

Las fibras se agregan fácilmente al concreto/mortero ya sea en la planta dosificadora o en el sitio. Cuando se utiliza como reemplazo del refuerzo de acero, FRC elimina la necesidad de pedir barras o mallas de acero y, al mismo tiempo, no tener que almacenar estos materiales voluminosos en el sitio. El FRC también reduce el proceso intensivo de mano de obra de cortar, colocar y fijar el refuerzo. En general, la colocación de concreto con fibras es más rápida, más segura y ahorrará dinero.

FRC es un interés creciente para los propietarios de infraestructura civil en lograr una mayor durabilidad y longevidad del concreto y ha visto más y más proyectos avanzar hacia el uso de

concreto de alto rendimiento (HPC) y concreto de ultra alto rendimiento (UHPC).

El uso de HPC/UHPC conlleva un riesgo adicional de daños por desprendimiento explosivos en caso de incendio grave. Particularmente en aplicaciones de túneles, las microfibras de polipropileno son reconocidas como una medida efectiva para reducir el peligroso desprendimiento spalling. Este aumento en el interés ha llevado a muchos ingenieros a considerar seriamente los beneficios de mayor durabilidad de FRC, ya sea en combinación con el refuerzo de acero tradicional o como reemplazo de ciertas aplicaciones.

1.2 CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA

Hay varias características básicas que influyen en el comportamiento de las fibras en el concreto.

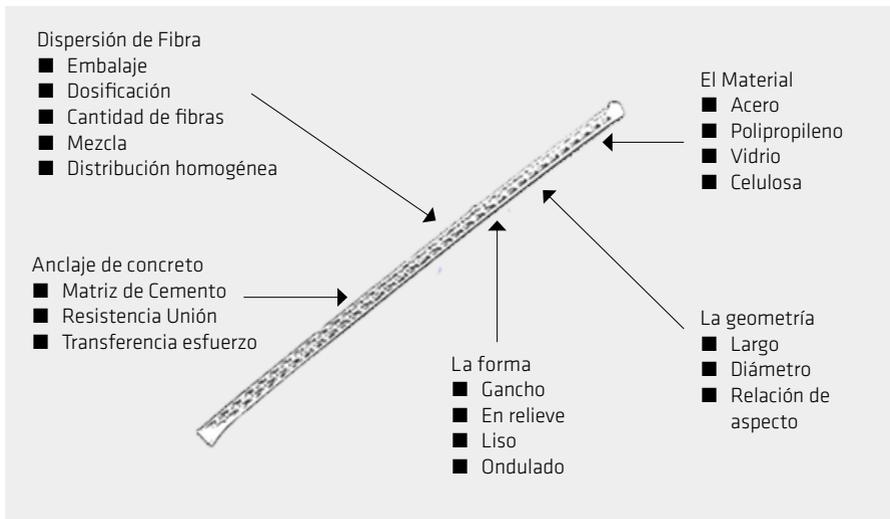


Figura 1.2: Las características básicas de una fibra que determinan el rendimiento en FRC

Es importante comprender que el desempeño de FRC no depende únicamente de la característica de una fibra, como la resistencia a la tracción, sino también de la calidad de la pasta de cemento y la cantidad de fibras por volumen cúbico de material. En resumen, es el rendimiento del material compuesto y no simplemente una característica de la fibra el criterio principal.

1.2.1 MATERIALES

En el mercado se puede encontrar una gran variedad de fibras fabricadas en diferentes materiales y con diferentes geometrías. Los materiales más utilizados para las fibras en el concreto son el acero, las poliolefinas (polipropileno, polietileno o una combinación de ellos), u otros materiales sintéticos, vidrios (resistentes a los álcalis) y materiales naturales como la celulosa. Los principales materiales a los que se hace referencia en este manual serán fibras sintéticas de polipropileno y acero.

Tabla 1.2.1.1: Principales propiedades de los materiales utilizados para fabricar fibras en el concreto

Material de fibra	Módulo E [kN/mm ²]	Fuerza de Tensión [N/mm ²]	Esfuerzo para rotura [%]	Densidad [g/cm ³]
Acero (normal)	210	400-2500	3 - 4	7.8
Acero (no corrosivo)	170	2100	3	7.8
Polipropileno (PP)	1-8	165-600	20	0.9 - 0.91
Alcohol polivinílico (PVA)	30	880 -1600	6	1.31
Sisal Natural	9 -38	400 - 700	4	1.3 - 1.5
Fibras vegetales	4 - 40	0 - 1000	5 - 10	1.5
Fibras de vidrio	80	2500	5	2.7
Fibras de carbono	300	450 - 400	1.5	1.7

Las poliolefinas son un término general para polipropilenos y polietilenos. Según la norma ASTM D7508/D7508M, poliolefina es cualquier polímero sintético de cadena larga compuesto de al menos 85% en peso de etileno, propileno u otras unidades de olefinas (monómeros), excepto poliolefina amorfa (no cristalina).

Tabla 1.2.1.2: Principales propiedades del material de matriz de fibra

Material de matriz	Módulo E [kN/mm ²]	Fuerza de Tensión [N/mm ²]	Esfuerzo para rotura [%]	Densidad [g/cm ³]
Piedra de cemento	7 - 28	< 8	0.04	2.0
Mortero	20 - 45	< 6	0.01	2.3
Concreto	20 - 45	< 4	0.01	2.4

En principio, el material utilizado para reforzar otro material debe tener un mayor módulo de elasticidad, una mayor resistencia a la tracción y una mayor tensión de ruptura. Sin embargo, en el caso del concreto reforzado con fibras esto no necesariamente tiene que cumplirse pues:

- Las dosis de fibra utilizadas para FRC normal son generalmente demasiado bajas para influir en la resistencia a la tracción o el módulo elástico del material compuesto.
- Las fibras actúan en diferentes etapas del proceso de endurecimiento del concreto. El concreto en las primeras horas después de la colocación tiene una resistencia a la tracción mucho menor y un módulo elástico mucho menor que después de unos días
- Las fibras para concreto están diseñadas para extraerse de la matriz de concreto y aumentar la resistencia del concreto reforzado en el estado fisurado.

1.2.2 GEOMETRÍA



La geometría de la fibra juega un papel importante para el anclaje de la fibra, especialmente la relación entre la longitud y el diámetro de la fibra, esto se denomina **relación de aspecto**.

$$\text{Relación de aspecto} = \frac{l_f}{d_f}$$

La experiencia demuestra que las relaciones de aspecto entre 40 y 80 tienen un buen rendimiento.

El factor de forma es un factor importante para el comportamiento de las fibras en estado fresco y endurecido del concreto. Por ejemplo, fibras muy largas y delgadas (alto factor de forma) generalmente muestran un mejor desempeño en el concreto endurecido debido a que tiene una mayor longitud incrustada y más fibras traspasando la grieta. Sin embargo, esto puede crear dificultades en la mezcla de las fibras y puede tender a formar bolas, lo que resulta en una mala distribución. El otro extremo son fibras con un factor de forma demasiado pequeño. Por ejemplo, fibras muy cortas y gruesas puede proporcionar una buena distribución en la pasta de cemento pero no incrustarían de manera adecuada dentro de la matriz, lo que significa que el desempeño en el estado endurecido del concreto sería reducido.

1.2.3 FORMA

Muchos tipos diferentes de fibras pueden usarse potencialmente para FRC, los tipos principales son:

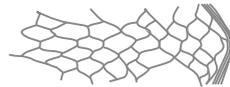
1. MICROFIBRAS SINTÉTICAS

- Fibras monofilamento lineales
- Fibras fibriladas

Polipropileno (PP) Micromonofilamento



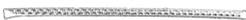
Polipropileno (PP) fibrilado



2. MACROFIBRAS SINTÉTICAS

- Fibras rígidas rectas
- Fibras rígidas onduladas con superficie lisa
- Fibras blandas planas u ovaladas
- Fibras retorcidas suaves y delgadas

Macro PP en relieve

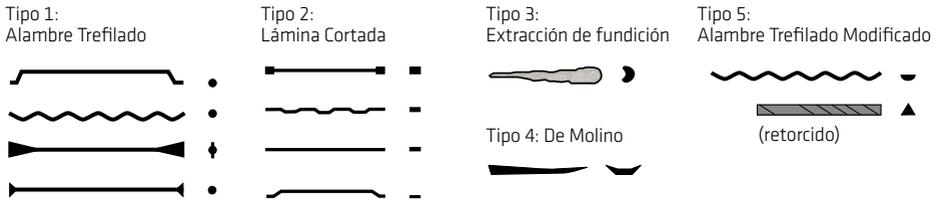


Macro PP ondulado



3. MACROFIBRAS DE ACERO

- Extremo en forma de gancho
- Extremo plano
- Ondulado (Continuamente deformado)
- Fibras rectas



1.2.4 ANCLAJE

Para transferir fuerzas entre el concreto fisurado y la fibra, es importante demostrar que existe suficiente anclaje, o unión, entre la fibra y el material de la matriz. Esto se puede hacer de diferentes maneras.

- a) una superficie rugosa en relieve
- b) formas onduladas rígidas
- c) suave y flexible
- d) extremo en forma de gancho

Se puede aplicar un enlace químico a la superficie de las fibras de PP para promover la interacción química con el concreto. Por lo general, muchas fibras de acero tienen extremos en forma de gancho o planos para un mejor anclaje o pueden estar onduladas (deformadas continuamente) para una mayor resistencia a la tracción.

Para un buen anclaje y un buen comportamiento en el concreto endurecido sería ideal una fibra larga y fina. La fibra estaría bien incrustada y no se deslizaría. Sin embargo, si la unión de la fibra a la matriz es demasiado buena, puede provocar la ruptura de la fibra. La ruptura de la fibra es cuando se excede la resistencia a la tracción de la fibra.

Conociendo la relación de la fuerza de unión entre la fibra y la matriz, se puede calcular la longitud crítica de la fibra en relación con el diámetro y la resistencia a la tracción de la fibra. La longitud crítica es la longitud de la fibra en la que la fuerza de unión es igual a la resistencia a la tracción de la fibra. Al puentear una fisura, se espera un máximo de la mitad de la longitud de la fibra para empotrar en el concreto.

$$l_{\text{critico}} = \frac{d_f}{4} \times \frac{f_{tf}}{\tau_{fm}}$$



donde: f_{tf} = Resistencia a la tracción fibra (MPa)
 τ_{fm} = Resistencia al corte entre fibra y matriz (MPa)

Figure 1.2.4.1 Cálculo de largo crítico

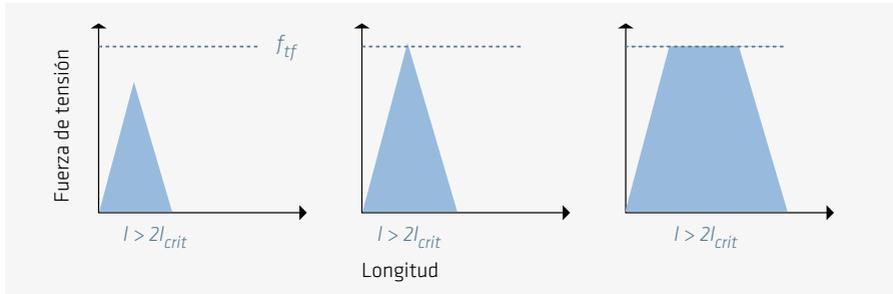


Figura1.2.4.2 La longitud crítica de la fibra depende de la resistencia a la tracción del material de la fibra.

La longitud de fibra crítica de las fibras lisas puede dar como resultado longitudes de fibra que no se pueden mezclar con el concreto, ya que tienden a formar bolas con relaciones de aspecto superiores a 100. Disminuir la longitud de la fibra ayudará a dispersarlas más fácilmente.

1.2.5 DISPERSIÓN

Además de tener un buen anclaje en el concreto endurecido, es fundamental lograr una distribución completa de las fibras para lograr una mezcla homogénea y beneficiarse de todos los beneficios de rendimiento de FRC. La dispersión total de las fibras puede verse influenciada por la correcta selección de las fibras según la mezcla de concreto/mortero y el proceso de mezclado. La adición/mezcla de fibras puede variar según el tipo de fibra utilizado, es decir, acero, microfibras sintéticas o macrofibras sintéticas y para productos sueltos y colados (fibras pegadas).



Las fibras largas y delgadas pueden tender a juntarse y causar problemas con la mezcla, lo que resulta en una mala distribución y características de rendimiento mucho más bajas. Las fibras cortas y gruesas generalmente tienden a mostrar pocos problemas con la mezcla y tienen mejores cualidades de dispersión, aunque el rendimiento general se verá afectado ya que es probable que la fibra tenga una longitud mucho menor que la crítica. Las fibras muestran un buen rendimiento en concreto endurecido con una relación de aspecto de entre 40 y 80. El objetivo principal es garantizar que las fibras se dispersen por completo lo más rápido posible en el material base sin que se formen bolas (erizos de fibra).



El embalaje también es muy importante para una distribución rápida y homogénea de las fibras. Muchos fabricantes afirman que las fibras deben agregarse al mezclador como primer material. Sin embargo, cuando las fibras se suministran en pequeños discos, que se unen con una película soluble en agua, los discos se pueden incluir en el mezclador una vez que se hayan agregado todos los demás materiales (incluida el agua).

Las fibras se pueden suministrar en bolsas o cajas degradables. Las fibras empaçadas en bolsas degradables se agregan directamente a la mezcla, lentamente. Cuando las fibras se suministren sueltas, en cajas, el contenido debe vaciarse lenta y uniformemente en el concreto y las cajas deben desecharse.

El tiempo de mezcla para FRC depende en última instancia de la eficiencia y la acción de corte de la mezcladora de concreto. Los mezcladores de acción forzada de alta calidad ofrecerán períodos de mezcla más rápidos. La mezcla en camión es a veces menos eficiente y, como regla general, el concreto con fibra debe mezclarse durante un mínimo de 5 minutos a velocidad máxima una vez que se hayan agregado todos los ingredientes del concreto. O agregando 1 minuto por metro cúbico de tiempo de mezcla si las fibras se agregan después de cargado camión.

El desempeño de las bolsas degradables puede verse afectado por ciertos aditivos de concreto, por ejemplo, microsílíce líquida. Por lo tanto, es importante comprobar la compatibilidad con el fabricante.

En todas las situaciones, es importante que se sigan completamente las recomendaciones del fabricante para la adición y mezcla de fibras. Si se encuentran dificultades al seguir dichas instrucciones, se recomienda buscar ayuda y más orientación del fabricante.



1.2.6 MATRIZ DE CEMENTO

La calidad de la matriz de cemento es un factor importante que influye en la resistencia de la unión con la fibra y, en última instancia, en el rendimiento del FRC. La misma fibra puede mostrar un rendimiento muy diferente cuando se incrusta en una matriz porosa en comparación con la incrustación en una matriz densa.

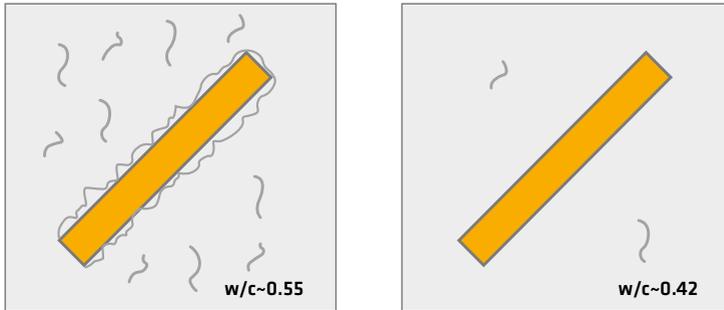


Figura 1.2.6: Fibra en relación con el material de la matriz

La resistencia del concreto es esencialmente una medida de la porosidad, que también se puede relacionar con la fuerza de unión de las fibras dentro del concreto. Esto significa que una fibra específica puede no tener el mismo desempeño en diferentes tipos de concreto. Por lo general, una fibra tendrá un rendimiento óptimo con una determinada resistencia del concreto, y es muy posible que el mismo rendimiento de la fibra sea menor cuando se utiliza un concreto de mayor resistencia.

Si la resistencia del concreto se reduce, el anclaje de la fibra a la matriz también disminuye, lo que facilita la extracción de la fibra. Cuando la resistencia del concreto aumenta, el anclaje de la fibra puede ser demasiado bueno y la fibra se romperá antes de que pueda extraerse. Ambos dan como resultado un menor rendimiento del concreto reforzado con fibras.



2 SUSTENTABILIDAD

2.1 SUSTENTABILIDAD

A medida que la sustentabilidad ambiental se vuelve más relevante y urgente cada día, la industria de la construcción está abordando este tema al volverse más eficiente en áreas clave:

- Mejorar la eficiencia energética y de los recursos
- Reducción de la demanda de agua
- Construir edificios e infraestructuras eficientes
- Uso de productos seguros y libres de riesgos

El estudio LCA presentado en este capítulo concluye que el concreto armado con fibras ofrece beneficios de sustentabilidad en comparación con el concreto armado tradicional con tejido de alambre de acero.

La evaluación del ciclo de vida (LCA) proporciona un método para cuantificar y evaluar los impactos ambientales potenciales a lo largo del ciclo de vida del producto. En este estudio, se evaluaron las materias primas para dos mezclas de losas de concreto. Contiene impactos del ciclo completo para cada componente en el diseño de mezcla. Se excluyen del estudio los impactos de la mezcla y aplicación del concreto, así como los impactos en la fase de uso, tratamiento al final de la vida, reciclaje y hasta el disposición final.

PRUEBA DE PRODUCTO

La evaluación del ciclo de vida (LCA) es un método estandarizado para evaluar y comparar las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de los productos y sistemas durante su vida útil. Los LCA son reconocidos como una forma conveniente de evaluar el desempeño de la sustentabilidad.

Los LCA realizados por Sika se realizan de acuerdo con la norma ISO 14040. La metodología de evaluación de impacto utilizada es CML 2001. Los datos para los LCA de Sika se basan en bases de datos públicas como ecoinvent, GaBi by Sphera y datos específicos recopilados de la producción de plantas y productos Sika.

Software y base de datos: GaBi 10 software, ecoinvent 3.7.1 y Sphera CUP2021.2

Método LCIA: Método CML 2001 (CML 2001 - Aug. 2016)

2.2 EVALUACIÓN DEL CICLO DE VIDA

Para el ejemplo del concreto reforzado con fibra, se utilizan tres categorías de impacto como indicadores para calificar el efecto ambiental.

- Potencial de calentamiento global (GWP 100 años)
- Demanda de energía acumulada (CED)
- Potencial de creación de ozono fotoquímico (POCP)

En este ejemplo, se compara una losa de concreto reforzado con fibra sobre suelo, con carga ligera y un buen estrato portante, con una solución tradicional de refuerzo de acero, que consta de mallas o láminas de estera. Solo se evalúan las materias primas para cada losa de concreto y no se consideran los impactos de la aplicación.

El tamaño de la losa de concreto es el mismo para ambos escenarios y se toma como área rectangular o cuadrada de 1000 m² x 150 mm de espesor. El proceso básico de vaciado de la losa es, en primer lugar, preparar el suelo e instalar los servicios auxiliares, etc. En este ejemplo, no se consideran las penetraciones, las esquinas entrantes, etc. A efectos de la LCA, el ejemplo es verter el concreto en el suelo utilizando dos técnicas.

1. Concreto con 4 kg/m³ de SikaFiber® Force-50
2. Concreto armado con malla ligera en la parte superior de la losa.

La malla ligera está abierta a interpretación y, para este ejemplo, se supone que es de 3,0 kg/m² con un 10 % adicional para el traslape, por lo tanto, 3,10 kg/m². Para estimar los impactos de la malla de acero, se utilizó un conjunto de datos para malla de acero.

El rendimiento del concreto es el mismo, con la excepción de que en el caso del FRC, el superplastificante se ha ajustado para que tenga la misma trabajabilidad que una solución de concreto sin fibras.

Tabla 2.2.1: Diseños de mezclas de concreto para el análisis ACV

Parámetros	Reforzado con fibra	Refuerzo de acero tradicional		
Mezcla diseño	Cemento	350 kg/m ³	Cemento	350 kg/m ³
	Contenido de agua	182 litros	Contenido de agua	182 litros
	Grava de	857 kg/m ³	Grava de	857 kg/m ³
	Arena	1007 kg/m ³	Arena	1007 kg/m ³
	Sika® ViscoCrete®	4.2 kg/m ³	Sika® ViscoCrete®	2.8 kg/m ³
Aditivos	SikaFiber® Force-50	4 kg/m ³	Ninguno	
	Cantidad Total	600 kg		



Potencial de calentamiento global [kg CO₂-eq.], CML 2001

Contribución potencial al cambio climático debido a la emisión de gases de efecto invernadero

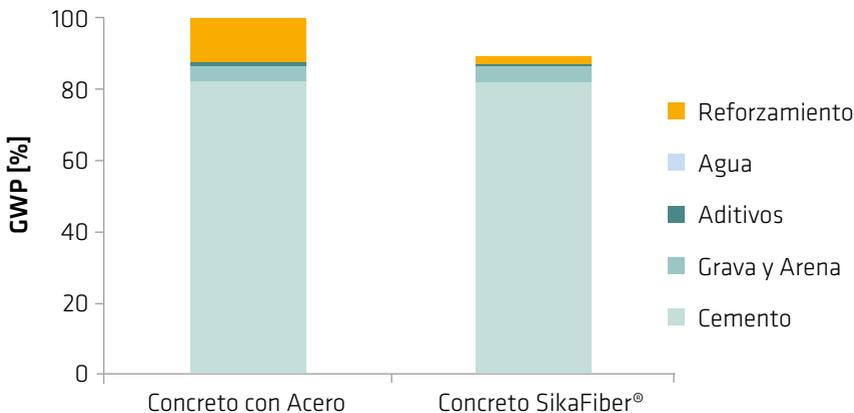


Figura 2.2.1: Potencial de calentamiento global con y sin SikaFiber®



Acumulativo demanda de energía [MJ]

Cantidad total de energía primaria procedente de recursos renovables y no renovables

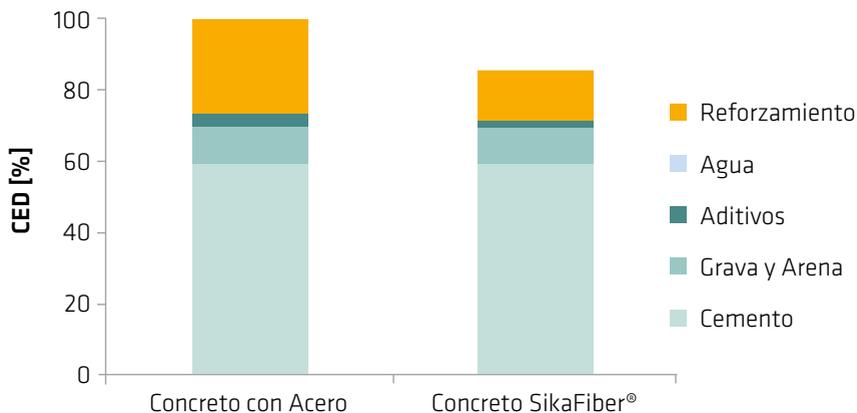


Figura 2.2.2: Demanda de energía acumulada con y sin SikaFiber®



Potencial de creación de ozono fotoquímico [POCP]

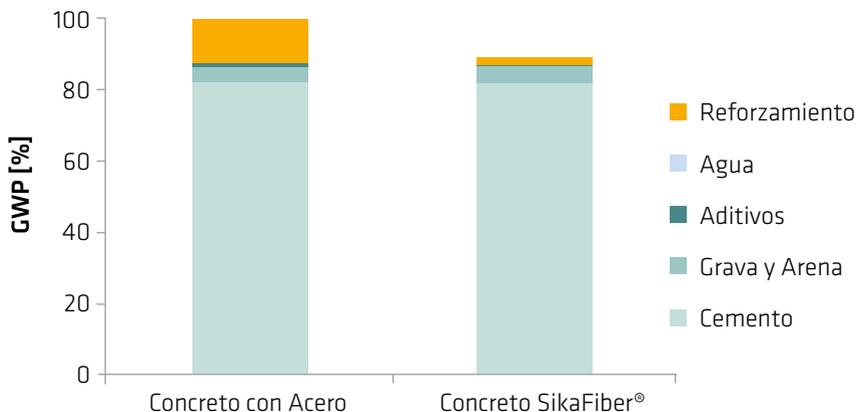


Figura 2.2.3: Potencial de creación de ozono fotoquímico con y sin SikaFiber®

2.3 EXCESO DE MATERIAL

El exceso de material no debe eliminarse en vías fluviales, desagües o alcantarillas y debe eliminarse de manera responsable a través de una empresa de eliminación de residuos autorizada de acuerdo con la legislación pertinente y los requisitos de las autoridades locales/regionales.

Las fibras pueden extraerse del exceso de concreto fresco utilizando un equipo de filtración adecuado. Las fibras de polipropileno flotarán en el agua y se pueden quitar, mientras que las partículas más pesadas se sedimentan hacia abajo. Las fibras de polipropileno no son materiales peligrosos y, en teoría, pueden reciclarse como plásticos, si están limpias y son aceptadas por el reciclador correspondiente. Las fibras de acero se pueden eliminar utilizando equipos magnéticos. Las fibras de acero también se pueden reciclar si también son aceptadas por la planta de reciclaje correspondiente.

2.4 DURABILIDAD

La durabilidad se puede definir como capacidad de durar mucho tiempo sin un deterioro significativo. A lo largo de la historia, el concreto ha demostrado ser el material de construcción más flexible y duradero. Los proyectos modernos de construcción e ingeniería civil dependen en gran medida del uso del concreto. Sin embargo, el concreto convencional es susceptible al agrietamiento debido a que tiene una capacidad de tensión y ductilidad relativamente bajas. Las grietas son vías de entrada de gases, líquidos y soluciones nocivas en el concreto, que conducen al inicio temprano de un proceso de deterioro en el concreto y el acero de refuerzo donde esté presente.



La característica principal que mejora la durabilidad del concreto reforzado con fibra (FRC) es su capacidad para minimizar y controlar el agrietamiento. Esto limita efectivamente la velocidad a la que sustancias espesas como el agua, los cloruros y el dióxido de carbono pueden penetrar en los elementos de concreto, prolongando así la vida útil de la estructura. Las fibras micro y macro son las más adecuadas para ayudar a proporcionar esta durabilidad a largo plazo.

Una ventaja de las fibras sintéticas es su alta resistencia a los ambientes ácidos y alcalinos, por lo que no se ven afectadas por los álcalis en la pasta de cemento. No son atacadas por sales o cloruros en ambientes agresivos y por lo tanto están libres de corrosión. Las fibras sintéticas se ablandarán y derretirán a altas temperaturas, entre 150 y 160 °C, perdiendo así sus propiedades mecánicas. Si bien esto puede ser un problema para las fibras sintéticas en aplicaciones estructurales, donde existe riesgo de incendio, se descubrió que las microfibras ayudan a reducir el potencial de desprendimiento explosivo y se describen más adelante en este manual.

Se sabe que el acero es susceptible a la corrosión. Si el concreto reforzado con fibra de acero se coloca en un ambiente corrosivo, entonces la contribución de las fibras ubicadas en la superficie generalmente debe ignorarse. Se requiere especial atención al considerar el uso de fibras de acero en ambientes muy corrosivos, por ejemplo, marino, sales de deshielo; donde se espera que el concreto se agriete, por ejemplo, concreto proyectado. El proceso de corrosión se acelerará especialmente si el concreto está bajo tensión. En algunas situaciones, el factor primordial es el efecto de tinción de las fibras corrosivas en la superficie, que pueden ser estéticamente desagradables. Generalmente, las fibras de acero están protegidas por la alta alcalinidad de la pasta de cemento, como el acero de refuerzo tradicional. A diferencia del refuerzo de acero, se considera poco probable que el pequeño volumen de fibra produzca tensiones suficientes para causar problemas importantes de agrietamiento, a menos que las secciones de concreto sean muy delgadas. Como concreto carbonatado, se debe tener en cuenta que las fibras de acero ya no están protegidas en un entorno pasivo. En presencia de aire y agua, estas fibras también tienen el potencial de corroerse. Como las fibras son discontinuas, la corrosión galvánica no debería ser un problema.

2.5 ASOCIACIONES

Sika está trabajando en todo el mundo con diferentes asociaciones de concreto y aditivos, para apoyar y promover un desarrollo cada vez más sostenible utilizando aditivos para concreto.

2.5.1 AECF



Sika es miembro de EFCA, la Federación Europea de Asociaciones de Aditivos para el Concreto. EFCA se formó en 1984 a partir de una asociación de 12 Asociaciones Nacionales de Aditivos y ahora representa a todos los principales fabricantes de aditivos. EFCA representa los intereses de los miembros con la creciente legislación y estandarización de la construcción europea.

2.5.2 LEED



LEED significa Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental y se originó en EE. UU. en 1993. El primer LEED v1.0 se publicó en 1998 y la última actualización v4.1 se lanzó en 2019. El objetivo de LEED es proporcionar un marco para la salud, edificios ecológicos eficientes y económicos, y la certificación LEED es aceptada en muchos países. LEED cubre todos los tipos de edificios, fases de construcción y es relevante para construcciones nuevas, remodelaciones y mantenimiento.

2.5.3 MFSA



MFSA son las siglas de Macro Synthetic Fiber Association y es un grupo de empresas que se unieron para avanzar en el conocimiento del refuerzo de concreto con macro fibras sintéticas (MSF).

Desde los inicios han surgido dos grupos distintos que la MFSA ha reunido. Estos son principalmente los fabricantes de fibra y los diversos grupos de usuarios de fibra. Los objetivos son promover los beneficios, el uso seguro y responsable de MSF, así como desarrollar estándares, códigos y directrices relevantes.

2.5.4 FRCA



La Asociación de Concreto Reforzado con Fibras se centra en promover el desarrollo, el conocimiento y el mercado del concreto reforzado con fibras (FRC), tanto fibras sintéticas como de acero. Se compone de los principales fabricantes, proveedores y comercializadores de las soluciones FRC más populares del mundo en la industria del concreto.

3 ESTÁNDARES

Esta sección identifica muchos de los documentos de orientación que están disponibles para comprender las fibras y el concreto reforzado con fibras.

Los principales estándares relacionados con el desempeño a los que se hace referencia en este manual son de Europa.an-UE y América del Norte-ASTM.

DOCUMENTO REFERENCIA	EDITOR	TÍTULO	UTILIZAR
EN 14889-1	Norma europea	Fibras para concreto-Parte 1- Fibras de Acero	Definiciones, especificaciones y conformidad
EN 14889-2	Norma europea	Fibras para concreto-Parte 2- Fibras poliméricas	
ASTM A820 / A820M	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales	Especificación Norma para Fibras de Acero para Concreto Reforzado con Fibras	Materiales, fabricación, propiedades, certificación de mano de obra y embalaje
ASTM D7508 / D7508M	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales	Especificación Norma para hebras cortadas de poliolefina para uso en concreto	



3.1 GUÍA

Hay muchos otros documentos relevantes para las fibras y el concreto reforzado con fibras. Es posible que algunos documentos se redactaran originalmente para las fibras de acero, aunque desde entonces se han adoptado para las fibras sintéticas. También se hará referencia a algunos de estos documentos en este manual.

El objetivo de estos documentos es brindar consejos prácticos sobre los tipos de fibras, las propiedades de los materiales, los métodos de prueba para la caracterización, los conceptos de diseño, la colocación de las mezclas y la aplicación. Al usar estos documentos, el lector debe tener experiencia con los refuerzos de acero.

Instituto Americano del Concreto

DOCUMENTO REFERENCIA	EDITOR	TÍTULO	UTILIZAR
ACI 209.2R	Instituto Americano del Concreto	Guía para el Modelado y cálculo de la contracción y la fluencia en concreto endurecido	Utilizado para losas sobreesuelo/grado
ACI 318M	Instituto Americano del Concreto	Requisitos del Código para Concreto Estructural	Aspectos generales de FRC
ACI 360R	Instituto Americano del Concreto	Guía de Diseño de Losas sobre suelo	Diseño, especificación y métodos de construcción
ACI 506.1R	Instituto Americano del Concreto	Guía de concreto proyectado	Productos, aplicación, equipo, mano de obra
ACI 544.4R-18	Instituto Americano del Concreto	Guía de Diseño con Concreto reforzado con fibras	Diseño y especificación

Normas Nacionales

DOCUMENTO REFERENCIA	EDITOR	TÍTULO	UTILIZAR
CNR-DT 204/2006	Asesoramiento del Consejo Nacional de Investigación de Italia Comité de Recomendaciones Técnicas para Construcción	Guía para el Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto Reforzado con Fibras	Materiales, conceptos de diseño, construcción
DAfStB	Comité Alemán de Concreto Armado	Parte 1: Dimensionamiento y construcción Parte 2: Definición, propiedades, fabricación y conformidad Parte 3: Instrucciones de ejecución	Diseño FRC usando fibras de acero
JSCE-SF 4	Norma japonesa	Resistencia a la flexión y tenacidad del concreto reforzado con fibras	Método de prueba
NZS 3101	Norma de Nueva Zelanda	Norma de estructura de concreto	SFRC diseño y resistencia al fuego
SIA 162/6	Norma suiza	Conceptos básicos de prueba y diseño.	Diseño de CRSF
SS 812310	Norma sueca	Fibrocemento - Diseño de Estructuras Fibrocemento	Diseño FRC

Referencias Europeas

DOCUMENTO REFERENCIA	EDITOR	TÍTULO	UTILIZAR
Eurocódigo 2: ES 1992-1-1:2004	Estándar europeo	Diseño de concreto Estructural Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificios	Principios de diseño de concreto.
Eurocódigo 2: ES 1992-1-2:2004	Estándar europeo	Diseño de concreto Estructuras. Parte 1-2: Reglas generales. Diseño de estructuras contra incendios.	Resistencia pasiva al fuego mediante fibras
EN 14487-1	Estándar europeo	Concreto proyectado Parte 1: Definiciones, especificaciones y conformidad	Fibras para concreto proyectado

Guía adicional

DOCUMENTO REFERENCIA	EDITOR	TÍTULO	UTILIZAR
<i>Model Code para Estructuras de Concreto</i>	Federación Internacional de Concreto Estructural	Capítulo 5 Materiales:5.6 Fibras/concreto reforzado con fibra	Diseño FRC
Informe ITAtech N°7/ Abril 2016	El International Tunneling and Under-Asociación del espacio terrestre	Guía para concreto prefabricado reforzado con fibra sSegmentos - Vol 1 Diseño aspectos	FRC para segmentos de túnel de concreto prefabricado
RILEM TC 162-TDF	Sindicato internacional de Laboratorios y Expertos en Materiales, Sistemas y Estructuras de Construcción	Concreto armado - Prueba y métodos de diseño para fibra de acero	Diseño y prueba de FRC

Informes Técnicos Sociedad del Concreto

DOCUMENTO REFERENCIA	EDITOR	TÍTULO	UTILIZAR
Informe Técnico 34	The Concrete Society, Reino Unido	Plantas bajas industriales de concreto: una guía para el diseño y la construcción	Aspectos clave de losas industriales sobre suelo
Informe Técnico 63	The Concrete Society, Reino Unido	Orientación para el Diseño de concreto reforzado con fibra y acero	Diseño SRFC
Informe Técnico 65	The Concrete Society, Reino Unido	Guía sobre el uso de Concreto Armado con Macro-fibras sintéticas	Diseño FRC sintético
Informe Técnico 66	The Concrete Society, Reino Unido	Pavimentos de concreto in situ	Aspectos clave losas sobre suelo

3.2 CERTIFICACIÓN

Desde 1985, una marca CE europea representa una declaración del fabricante de que el producto colocado en cualquier país de la UE cumple con una directiva de la UE.

La marca Conformité Européenne (CE) fue establecida por la Unión Europea (UE) para regular los bienes vendidos dentro del Espacio Económico Europeo (EEE). Todos los bienes definidos producidos o ingresados deben tener una marca de conformidad obligatoria antes de que puedan ser vendidos.



Al mostrar un logotipo CE, el fabricante confirma la conformidad del bien con las normas europeas de salud, seguridad y protección ambiental.

Por el contrario, América del Norte cuenta con las Normas ASTM mediante las cuales el fabricante declara la conformidad en la documentación del producto de acuerdo con los requisitos establecidos en la Norma.

3.2.1 EN 14889: PARTES 1 Y 2

Las normas EN 14889-1 y EN 14889-2 se aprobaron y publicaron en 2006. Ambas normas se refieren al uso estructural y no estructural de fibras en concreto, mortero o lechada. La Parte 1 especificaba los requisitos para las fibras de acero y la Parte 2 para las fibras poliméricas. La estructura del Estándar se divide en definiciones, requisitos y conformidad.

Tabla 3.2.1.1: Contenidos principales de EN14889: Partes 1 y 2

SECCIÓN	CONTENIDO	DESCRIPCIÓN
	Prefacio	Información a los estados miembros
1	Alcance	Contenido de la norma
2	Referencias normativas	Referencias a otras normas pertinentes
3	Términos y definiciones	Aclaración de redacción específica
4	Símbolos	Aclaración de abreviaturas
5	Requisitos	Cómo definir el grupo de fibras, geométrica, rendimiento y seguridad
6	Evaluación y conformidad	Definición de las pruebas iniciales de tipo y control de producción en fábrica
Anexo ZA	Informativo	Relación con la Directiva de productos de construcción de la UE (89/106/EEC)

Las Normas a las que se refiere la EN 14889-1/-2 requeridas a efectos de la CE.

NORMA	TÍTULO	Acero	Polímero
EN 10002-1 ^[1]	Materiales metálicos. Ensayos de tracción. Parte 1: Métodos de ensayo a temperatura ambiente.	✓	✓
EN 10218-1	Productos de acero y alambre. Generalidades. Parte 1: Métodos de ensayo.	✓	
EN 12350-3	Prueba fresca concreto – Parte 3: Prueba Vebe	✓	✓
ES 13392	Textiles–Monofilamentos–Determinación de la densidad lineal		✓
EN 14845-1	Métodos de prueba para fibras en concreto Parte 1: Concreto de referencia	✓	✓
EN 14845-2	Métodos de prueba para fibras en el concreto Parte 2:Efecto sobre el concreto	✓	✓
EN ISO 2062	Textiles - Hilos - Determinación de la fuerza de rotura de un solo extremo y el alargamiento a la rotura (ISO 2062:1993)		✓
EN ISO 6892 ^[2]	Materiales metálicos – Ensayos de tracción Parte 1: Método de ensayo a temperatura ambiente (ISO 6892:2019)	✓	✓
Norma ISO 11357-3	Plásticos – Calorimetría diferencial de barrido (DSC) Parte 3: Determinación de la temperatura y entalpía de fusión y cristalización		✓

^[1] Esta norma ha sido retirada, todavía se hace referencia a ella en las normas EN 14889-1:2006 y EN 14889-2:2006 y será reemplazada por EN ISO 6892:2016

^[2] Reemplazará a EN 10002-1 en la próxima actualización de EN 14889-1 y 2

Además, el método de prueba requerido se especifica en EN 14845-1

NORMA	TÍTULO	Acero	Polímero
ES 14651	Método de prueba para concreto con fibra matálica – Medición de la resistencia a la flexión (límite de proporcionalidad) (LOP), residual	✓	✓

SISTEMAS

Las fibras en EN 14889 Partes 1 y 2 se designan AVCP sistema 1 o sistema 3, según tabla ZA.2.

El sistema 1 se define como fibras estructurales y el fabricante debe contratar los servicios de un organismo notificado para evaluar el rendimiento de las pruebas de tipo iniciales, el control de producción en fábrica y la vigilancia continua del proceso.

Las fibras no estructurales se definen como sistema 3. Un organismo notificado es responsable de evaluar el rendimiento de la prueba de tipo inicial, mientras que el fabricante es responsable de su propio control de producción en fábrica y evaluación continua.

Tabla ZA.2 de EN 14889:1 y 2

Producto(s)	Usos	Nivel (s) o clase(s)	Declaración de conformidad sistema(s)
Fibras de polímero/ acero	para uso estructural en mortero de concreto o lechada	ver Table ZA.1	1
Fibras de polímero/ acero	para otros usos en concreto, mortero o lechada	ver Table ZA.1	3

Sistema 1: Ver Directiva 89/106 CEE (CPD) Anexo III.2.(i), sin pruebas de auditoría de muestras

Sistema 3: Ver Directiva 89/106 CEE (CPD) Anexo III.2.(ii), Segunda posibilidad

La Tabla ZA.1 de la Norma resume el alcance y las características del producto que son relevantes para el mercado CE, enumera las características esenciales y las cláusulas relevantes. Hay tres pruebas principales que se deben realizar para la CE.

DESCRIPCIÓN	NORMAS RELEVANTES	TIPO DE FIBRA
Propiedades de tracción (tenacidad) y módulo de elasticidad	EN ISO 2062	Clase I - micro
	EN 10002-1 (evt. EN ISO 6892)	Clase II - macro
Efecto en consistencia (Test de Vebe)	EN 14895-2	Clase I y II
Efecto sobre la resistencia del concreto (ensayo de vigas)	EN 14845- 1 /-2 ES 14651	Clase II

Tabla ZA.1 de EN 14889 Parte 2 Alcance y cláusulas relevantes

Producto	Fibras poliméricas en mortero o lechada de concreto		
Uso previsto			
Características esenciales	Requisito de esta u otra norma europea. (Esta norma a menos que se indique lo contrario)	Nivel(es) obligatorio(s) y/o clase(s)	Notas
Propiedades de tracción / Módulo de elasticidad	5.4 y 5.5	ninguno	valores declarados
Efecto sobre la consistencia del concreto	5.7	ninguno	valor declarado
Efecto sobre la resistencia de concreto	5.2, 5.3 y 5.8	ninguno	valores declarados
Liberación de sustancias peligrosas	5.10 y ZA.1	ninguno	los requisitos dependen sobre la normativa en el lugar de uso
Durabilidad	-	-	La durabilidad se relaciona con el concreto que incorpora fibras

TOLERANCIAS

Las tolerancias son un aspecto importante para que las fibras mantengan un nivel de calidad. La tabla 1 de EN 14889 estipula tolerancias para la longitud y el diámetro (equivalente) que no deben desviarse del valor declarado. Las muestras se toman de la producción para fines de prueba de tipo inicial y control de producción en fábrica y el fabricante de la fibra debe cumplir con los requisitos.

Una vez que se cumplan los requisitos del anexo de las Normas, para el sistema 3, el fabricante puede producir una Declaración de rendimiento (DOP) y colocar una marca CE en el producto de acuerdo con ZA 2.2 y ZA.3. Para los productos del sistema 1, el organismo de certificación emitirá un Certificado de Conformidad al fabricante, que autoriza al fabricante a colocar la marca CE y producir un DOP.

	
<h2>SikaFiber® Force-50</h2> <h3>DECLARATION OF PERFORMANCE</h3> <h4>No. 53568252</h4>	
1	UNIQUE IDENTIFICATION CODE OF THE PRODUCT - TYPE: 53568252
2	INTENDED USE/S: EN 14889-2:2006 Polymer Fibers for use in concrete mortar or grout
3	MANUFACTURER: Sika Services AG Tufwerkstoffe 10-22 8056 Zurich
4	AUTHORIZED REPRESENTATIVE:
5	SYSTEM/S OF AVCP: System 1
6a	HARMONISED STANDARD: EN 14889-2:2006 Notified body/ies: 0761
<p>Declaration of Performance Template for translation. Only for internal use</p> <p>SikaFiber® Force-50 53568252 2018.12, ver. 1 1/1</p>	

Ejemplo DOP SikaFiber® Force-50

7 DECLARED PERFORMANCE/S			
Essential Characteristics	Performance	AVCP	Harmonised Technical Specification
Tensile strength	450 N/mm ²	System 1	
Modulus of elasticity	7,5 kN/cm ²	System 1	
Effect on consistence (workability) of concrete	8 sec	System 1	EN 14889-2:2006
Effect on strength of concrete	4 kg/m ³	System 1	
Resistance to chloride saltcrystals	NDP		
Durability	NDP		
<small>*1) Fiber specification: length 10 mm, diameter 6/7/8 mm, shape arbitrary</small>			
8 APPROPRIATE TECHNICAL DOCUMENTATION AND/OR - SPECIFIC TECHNICAL DOCUMENTATION			
The performance of the product identified above is in conformity with the set of declared performance/s. This declaration of performance is issued in accordance with Regulation (EU) No 305/2011, under the sole responsibility of the manufacturer identified above.			
Signed for and on behalf of the manufacturer by:			
 <small>Signature of the authorised representative</small>		 <small>Signature of the manufacturer</small>	
<small>Date of information in response to Regulation (EU) No 305/2011</small>			
<p>Declaration of Performance Template for translation. Only for internal use</p> <p>SikaFiber® Force-50 53568252 2018.12, ver. 1 2/1</p>			

	
18	
Sika Services AG, Zurich, Switzerland	
DOP No. 53568252	
EN 14889-2:2006	
Notified Body 0761	
Polymer Fibers for use in concrete mortar or grout	
Tensile strength	450 N/mm ²
Modulus of elasticity	7,5 kN/cm ²
Effect on consistence (workability) of concrete	8 sec
Effect on strength of concrete	4 kg/m ³
<small>*1) Fiber specification: length 10 mm, diameter 6/7/8 mm, shape arbitrary</small>	

	
17	
Sika Services AG, Zurich, Switzerland	
49454966	
EN 14889-2:2006	
Notified Body 1136	
Polymer Fibers in concrete mortar or grout	
Tensile properties	30 cN/tex
Effect on consistence (workability)	8 sec

Ejemplo de marcado CE para SikaFiber® Force-50 y SikaFiber® PPM-12

3.2.2 ASTM D7508/D7508M

La especificación estándar ASTM D7508/D7508M para filamentos cortados de poliolefina cubre los requisitos para las fibras cortados de poliolefina en el concreto. Fue desarrollado de acuerdo con los principios de normalización establecidos en la Decisión sobre Principios para el Desarrollo de Normas, Guías y Recomendaciones Internacionales emitida por el Comité de Obstáculos Técnicos al Comercio (OTC) de la Organización Mundial del Comercio. Todas las fibras cortadas de poliolefina utilizadas en el concreto también deben cumplir con la especificación dada en ASTM C1116 / C1116M.

Tabla 3.2.2.1: Contenidos principales de ASTM D7508/D7508M

SECCIÓN	CONTENIDO	DESCRIPCIÓN
	Prefacio	Información a los estados miembros
1	Alcance	Contenido de la norma
2	Referencias	Resumen de otras normas pertinentes
3	Terminología	Definiciones utilizadas en la Norma
	ESPECIFICACIONES	
4	Filamentos cortados para FRC	Información a los fabricantes
5	Resumen	Resumen de los procedimientos de prueba
6	Significado y uso	Pruebas de aceptación y correlación
7	Muestreo y número de especímenes	Notas de guía
8	Longitud de fibra y variaciones permisibles	Notas de guía
9	Densidad lineal, área de sección transversal, diámetro equivalente de FRC	Procedimientos
10	Propiedades de tracción y tenacidad	Procedimientos
11	Conformidad	Guía de control de calidad

Las Normas adicionales referidas a ASTM D7508/D7508M, son métodos de prueba de orientación adicional.

NORMA	CONTENIDO	DESCRIPCIÓN
ASTM C1116/ C1116M	Guía	Especificación para concreto reforzado con fibras
ASTM D123	Guía	Terminología relativa a los textiles
ASTM D1776	Guía	Práctica para el acondicionamiento y ensayo de textiles
ASTM D1577	Denier	Método de prueba para densidad lineal de fibras textiles.
ASTM D1907	Densidad lineal	Densidad lineal del hilo por método Skein
ASTM D2256	Tenacidad Tracción Elongación Inicial Módulo	Método de prueba para propiedades de tracción de hilos por el método de una sola hebra
ASTM D2257	Contenido de terminación	Método de prueba para materia extraíble en textiles.
ASTM D2258	Guía	Práctica para el muestreo de hilo para pruebas
ASTM D3218	Test de aceptación	Especificación para monofilamentos de poliolefina

TOLERANCIAS

Las tolerancias del producto se definen a partir de la prueba de 30 fibras representativas de 10 muestras aleatorias seleccionadas al azar de diferentes intervalos establecidos. Las tolerancias se definen en el apartado 8.de ASTM C1116/C1116M.

CONFORMIDAD

La conformidad se puede definir entre el comprador o el proveedor o usando la tabla 1 en el Estándar. Una entrega se considera válida cuando los resultados de la prueba se ajustan a estas tolerancias acordadas.

Cuadro 3.2.2.2 Tabla 1 de ASTM D7508/7508M

Atributos de filamentos cortados	Micro hebras Picadas	Macro hebras cortadas	Hebras cortadas híbridas
Cumplimiento de la especificación C1116/ C1116M, Tipo III	Requerido	Requerido	Requerido
Denier Contenido de terminación	580 o menos 1.5 % max.	581 o mayor 1 % max.	Según lo designado: debe indicarse 1,5 % máx. en Micro Porción 1 % máx. en macro porción
Fuerza de Tensión	N/A	Más grande que 344.4 MPa [50 000 psi]	MicroPorción N/A Porción Macro - Mayorque 344.4MPa [50 000 psi]
Largo del corte	3 - 50 mm	12 - 65 mm	Según lo designado: debe indicarse

Las fibras también deben cumplir con los requisitos del Anexo B de ICC ES AC32 para álcali resistencia.

3.2.3 ASTM A820/A820M

ASTM A820/A820M es la especificación estándar para fibras de acero para concreto reforzado con fibras y cubre los requisitos mínimos para cinco tipos de acero.

Tabla 3.2.3.1: Contenidos principales de ASTM A820/A820M

SECCIÓN	CONTENIDO	DESCRIPCIÓN
	Prefacio	Información a los estados miembros
1	Alcance	Contenido de la norma
2	Documentos de referencia	Resumen de otras normas pertinentes
3	Terminología	Definiciones utilizadas en la Norma
4	Clasificación	Tipos de fibra de acero
5	Información	Información requerida
6	Materiales y fabricación	Guía - notas
7	Propiedades mecánicas	Procedimientos de prueba
8	Dimensiones y variaciones permitidas	Procedimientos
9	Mano de obra, acabado y apariencia.	Guía - notas
10	Inspección	Guía - notas
11	Rechazo y nueva audiencia	Guía - notas
12	Certificación	Guía - notas
13	Embalaje y marcado de paquetes.	Guía - notas

Las normas adicionales a las que se hace referencia en la norma ASTM A820/A820M son métodos de prueba u orientación adicional.

NORMA	TÍTULO
ASTM A370	Métodos de prueba y definiciones para ensayos mecánicos de productos de acero
ASTM A700	Guía para embalaje, marcado y métodos de carga para productos de acero para envío
ASTM C1116/C1116M	Especificación para concreto reforzado con fibras

En la norma ASTM A820/A820M, también hay referencias a documentos producidos por el American Concrete Institute (ACI).

DOCUMENTO	TÍTULO
ACI 506.1R	Guía de concreto proyectado reforzado con fibras
ACI 544.1R	Informe de concreto reforzado con fibras

4 PROPIEDADES DE LA FIBRA

4.1 TERMINOLOGÍA

Tipos de fibra

Fibras monofilamento / multifilamento	Hilo de una sola fibra que puede ser circular o irregular en sección transversal
Fibras en relieve	Fibras que han sido prensadas con muescas en la superficie.
Fibras fibriladas	Las fibras cuando se estiran tienen una estructura de rama o red.

Características de la fibra

Largo	Distancia entre extremos exteriores o longitud de una fibra deformada después de enderezar sin deformar la sección transversal	mm / pulg
Diámetro equivalente	Diámetro de un círculo con un área igual a la sección media	mm / pulg
Relación de aspecto	Longitud/diámetro equivalente	relación
Densidad lineal	Masa por unidad de longitud de filamento 1 denier = 1g/9000m	Denier
Densidad lineal	Masa por unidad de longitud de filamento 1 tex= 1g/1000m	Tex
Fuerza de ruptura	Fuerza máxima que puede resistir una fibra	kN, cN, lb, k
Fuerza de Tensión	Fuerza máxima dividida por el área transversal media	MPa/Psi
T enacidad	Fuerza de rotura dividida por densidad lineal	cN/tex
Alargamiento	Relación entre el cambio de longitud y la longitud inicial	%
Módulo E	Pendiente inicial de la resistencia a la tracción frente a la curva de elongación o pendiente de la tensión de tracción frente a la curva de deformación por tracción	GPa

Pruebas de fibra

Resistencia máxima a la flexión o módulo de ruptura MOR	El esfuerzo máximo de tracción por flexión en un ensayo de viga	MPa/ksi
Límite de proporcionalidad	El punto donde en la carga/deflexión o gráfico de tensión/deformación, la curva se aparta de la respuesta lineal inicial.	MPa/ksi
Resistencia flexión residual	La resistencia posterior a la fisuración medida a partir de una prueba de flexión después de que se haya excedido la resistencia máxima a la flexión.	MPa/ksi
R_{e3}	Relación equivalente de resistencia a la flexión determinada a partir de un ensayo de viga hasta una flecha de 3 mm	%
CMOD	Desplazamiento de la apertura de la boca de la grieta y determinado a partir de pruebas de viga. Es la distancia de apertura entre las caras opuestas de una muesca que se corta en la parte inferior de una viga.	mm/pulg
Absorción de energía	Capacidad de un FRC para soportar cargas después de la fisuración y determinada a partir de una prueba de panel de concreto de deflexión de carga	Joules
Deflexión	Medida del desplazamiento lineal de un espécimen sujeto a una carga	mm/pulg

Aplicación de fibra

Balling/bolas	Grupos o racimos de fibras que se han formado debido a varias razones
Recuento de fibras	El número de fibras en una unidad de volumen de concreto.



Figura 4.1.1: Concreto fresco formación de bolas



4.1.2. Concreto fresco con formación de bolas

4.2 CLASIFICACIÓN

EN 14889 PARTES 1 y 2

La norma europea EN 14889-Parte 2 caracteriza las fibras según su diámetro. La longitud de la fibra no se considera en la clasificación.

Clase Ia:	Micro-fibras:	< 0,30 mm de diámetro; monofilamento
Clase Ib	Micro-fibras:	< 0,30 mm de diámetro; fibrilado
Clase II	Macro-fibras:	> 0,30 mm de diámetro

Las microfibras que tienen un diámetro inferior a 0,3 mm se subdividen además según su forma, siendo éstas monofilamento o fibriladas. Las macrofibras de clase II no son más subdivididas.

ASTM D7508/D7508M

La norma ASTM D7508/D7508M también define las fibras en dos categorías según su denier y diámetro.

- (a) Fibra de macropoliolefina que tiene una densidad lineal mayor o igual a 580 deniers (diámetro equivalente $\geq 0,3$ mm)
- (b) Microfibra de poliolefina que tiene una densidad lineal de menos de 580 denier (diámetro equivalente $< 0,3$ mm)

La norma también define las fibras híbridas que incluyen una combinación de fibras de macropoliolefina y micropoliolefina, fibras de múltiples longitudes, que consisten en hebras cortadas de varias longitudes de fibra y fibras graduadas que consisten en una gradación de múltiples longitudes y fibras de denier múltiple.

4.3 PROPIEDADES FÍSICAS

4.3.1 LARGO

La longitud de la fibra debe declararse y se mide desde la extremidad de cada lado.

4.3.2 DIÁMETRO

La sección transversal de una fibra puede ser redonda, elíptica, rectangular o irregular. Las secciones transversales circulares, elípticas o rectangulares se determinan con equipo de medición óptica para diámetros de fibra inferiores a 0,3 mm y utilizando un micrómetro, con una precisión de 0,001 mm, para fibras superiores a 0,3 mm.

Se dice que las fibras con una sección transversal irregular tienen un diámetro equivalente y deben determinarse a partir de la longitud, el peso y la densidad del material de la fibra.

EN 14889-2 MÉTODO PARA DETERMINAR EL DIÁMETRO EQUIVALENTE

Procedimiento para determinar un diámetro equivalente

1. La masa de la fibra se determinará con una precisión de 0,001 g.
2. La longitud de la fibra se determinará con una precisión de 0,01 mm.
3. El diámetro equivalente se determinará a partir de la siguiente ecuación [1]
4. El área de la sección transversal se determinará de acuerdo con la ecuación [2]

$$\text{Ecuación [1]} \quad d_e = \sqrt{\frac{4 m_f \cdot 10^3}{\pi \cdot l_d \cdot \rho}} \quad \text{diámetro equivalente}$$

Donde $\rho = 0.9 \text{ g/cm}^3$ Ecuación [2] - Consulte 4.3.3
 $m_f = \text{Masa (g)}$
 $l_d = \text{desarrollo longitud mm}$

D7508/D7508M MÉTODO PARA DETERMINAR EL DIÁMETRO EQUIVALENTE

Para fibras con una sección transversal rectangular, se mide el ancho y el espesor y se calcula el diámetro equivalente.

$$d = \sqrt{\frac{4 wt}{\pi}} \quad \text{Donde } d = \text{diámetro equivalente en mm}$$

$t = \text{espesor medido de fibra en mm}$
 $w = \text{ancho medido de fibra en mm}$

Para fibras de sección transversal irregular, el diámetro equivalente se calcula a partir de la densidad lineal (tex o denier).

$$d = \sqrt{\frac{4 \left(\frac{\text{tex}}{1000} \right)}{\pi \rho}} \quad \text{or} \quad d = \sqrt{\frac{4 \left(\frac{\text{denier}}{9000} \right)}{\pi \rho}} \quad \text{Donde}$$

$d = \text{diámetro equivalente en mm}$
 $\rho = \text{densidad unitaria de poliolefina g/cm}^3$

4.3.3 ÁREA DE SECCIÓN TRANSVERSAL

$$\text{Ecuación [2]} \quad \pi \times d/4 \quad \text{área transversal}$$

4.3.4 DENSIDAD

La densidad nominal del polipropileno es de 0,905 g/cm³ y para el acero generalmente viene dada por el proveedor de fibra de acero en kg/m³.

4.4 RESISTENCIA

Las principales pruebas de resistencia de las fibras son la resistencia a la tracción y el módulo E.

CLÁUSULA	NORMA	ESTÁNDARES DE PRUEBA
5.3 y 5.4	EN 14889-1 (acero)	EN 10002-1 ^[1]
5.4 y 5.5	EN 14889-2 (sintético)	EN ISO 2062 / EN 10002-1 ^[1]
7	ASTM A820/A820M (acero)	ASTM A370
10	ASTM D7508/D7508M (sintético)	ASTM D1776 / D2256 / D3218

^[1] Norma retirada pero todavía mencionada en EN 14889-Partes 1 y 2: 2006

Los métodos utilizados en estos estándares para determinar la resistencia a la tracción y el módulo E son muy diferentes y dejan espacio para la interpretación. Como resultado, potencialmente todos los fabricantes de fibra prueban sus productos utilizando diferentes métodos de prueba y configuraciones de máquina. Por esta razón, los valores declarados para la resistencia a la tracción y el módulo E en las hojas de datos del producto no siempre son comparables. Asimismo, un valor declarado no siempre refleja la calidad de la fibra, o desempeño en el concreto.

4.4.1 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN



Figura 4.4.1.1: Máquina de ensayo universal con sistema de sujeción de cara plana, que incorpora un extensómetro táctil para la determinación muy precisa de la deformación

La resistencia a la tracción de una micro o macrofibra es el esfuerzo máximo que puede soportar mientras se estira o tira antes de romperse. Este valor se divide por el área de la sección transversal de la fibra y se mide como fuerza por unidad de área (N/mm²/ksi). A menudo, las fibras no son perfectamente redondas, cuadradas o rectangulares, por lo tanto, el área transversal equivalente debe determinarse a partir del peso, la longitud y la densidad de la fibra.

La resistencia a la tracción generalmente se prueba usando una máquina de prueba universal. Para evitar el deslizamiento, el equipo puede equiparse con abrazaderas que consisten en dos mordazas de cara plana que se ajustan a la longitud de la fibra y aplican una tensión hasta que la muestra rupturas (fig 4.4.1)

También existen abrazaderas de tipo snubbing, también conocidas como cabrestantes o tambores, como se muestra en la figura 4.4.2. Se recomienda el uso de una abrazadera de cara plana con un extensómetro táctil o un sistema de sujeción tipo snubbing para corregir la imprecisión del alargamiento. Las abrazaderas de cara plana a menudo se pueden asociar con la prueba de fibras delgadas, mientras que las abrazaderas de amortiguación se pueden usar para evitar el deslizamiento de fibras más gruesas, con una alta resistencia a la rotura.

Es esencial definir los parámetros específicos antes de la prueba y asegurarse de que estén incluidos en el informe de la prueba.

- Tasa de deformación (%/min) ^[1]
- Velocidad de prueba (mm/min)
- Longitud (mm)

^[1] derivado de la velocidad de prueba dividida por la longitud de referencia multiplicada por 100%



Figure 4.4.1.2: Ensayo referido a ASTM D2256 D2

La prueba se lleva a cabo normalmente en un mínimo de 30 hebras. A partir de la distribución de los resultados, el fabricante puede decidir qué valor declarar, aunque las normas pertinentes (EN14889-1/-2 y ASTM D7508/D7508M y A820/A820M) definen una diferencia máxima permitida entre el valor declarado y los valores superior e inferior. El fabricante también definirá desde qué parte del proceso de producción se retiran los hilos para la prueba. Por ejemplo, las pruebas de tracción generalmente se realizan en la fibra gofrada (el producto terminado), mientras que para las fibras onduladas o rizadas, la prueba se realiza mejor en la fibra preondulada o rizada. Esto se debe a que el alargamiento inicial para enderezar una fibra ondulada o rizada afecta la interpretación del resultado.

4.4.2 MÓDULO E

El módulo E es una medida de la rigidez de un material. Con tensión y deformación casi nulas, la curva de tensión-deformación es lineal, lo que significa que la tensión es proporcional a la deformación. Cuanto mayor sea el módulo E, más tensión se necesita para alcanzar el mismo grado de elongación.

En las pruebas de tracción de plásticos, el Módulo Elástico generalmente se determina como un Módulo Secante. Esto significa que se traza una línea a través de los puntos con un alargamiento del 0,05 % y del 0,25 % en la curva de tensión-deformación y se determina el Módulo Elástico a partir de la línea de la pendiente. Los dos puntos al 0,05% y 0,25% de elongación se eligen para la determinación del Módulo Secante, ya que en este rango de deformación los plásticos muestran un comportamiento viscoelástico lineal. El comportamiento viscoelástico lineal significa que el alargamiento es reversible. La mayoría de los plásticos muestran un comportamiento viscoelástico no lineal con deformaciones irreversibles a una deformación superior al 0,3%.

4.4.3 ALARGAMIENTO

El alargamiento de las fibras es una medida de la deformación que ocurre antes de que el material finalmente se rompa cuando se somete a una carga de tracción. El alargamiento se mide como un porcentaje (%) del estiramiento desde la longitud original del material hasta el punto de falla. Es justo decir que las fibras de polímero generalmente tienen un mayor porcentaje de elongación en comparación con las fibras de acero. Sin embargo, la selección del material de refuerzo de fibra no debe basarse únicamente en esta propiedad.

4.4.4 FLUENCIA

Por lo general, las fibras de acero no exhiben un comportamiento de deformación en condiciones normales de servicio por debajo de los 370°C (700°F). Las fibras sintéticas son viscoelásticas y, por lo tanto, pueden ser susceptibles a la deformación a largo plazo debido a las altas tensiones. Pero para losas sobre suelo o para el concreto lanzado donde las tensiones son menores y con apoyo continuo, la deformación no se ha considerado un factor determinante para las fibras sintéticas.

4.5 PROPIEDADES QUÍMICAS SINTÉTICAS

4.5.1 TEMPERATURAS

El **punto de fusión** del polipropileno homopolímero disponible comercialmente (PP) generalmente tiene un rango de 160 a 165 grados Celsius. (320 - 329 grados Fahrenheit). Las fibras de polipropileno se ablandan con el calor entre +140 y +150 °C (+284 y +302 grados Fahrenheit) y a temperaturas de hasta +120 °C (+248 grados Fahrenheit), las fibras de PP en su mayoría conservan todas sus propiedades mecánicas normales.

El **índice de flujo de fusión** es la tasa de extrusión de termoplásticos a través de un tamaño de orificio/tinte específico a una temperatura y carga prescritas. El índice de flujo de fusión tiene una influencia significativamente mayor en la producción de fibras plásticas extruidas que en su uso como refuerzo de concreto. Proporciona un medio para medir el flujo de material fundido y puede diferenciar los grados de polipropileno u otros materiales plásticos. El índice de flujo de fusión se refiere a la cantidad de polímero que se extruye a través del orificio/tinte especificado y se expresa como una cantidad en gramos/10 minutos. Las variaciones en las propiedades de fluidez pueden tener un efecto perjudicial sobre la productividad y la calidad final de las fibras.

La **temperatura de descomposición**, a menudo descrita como degradación térmica, es la descomposición del compuesto químico en pequeños componentes como resultado del calentamiento y no se recombina al enfriarse. Según el producto y el entorno, el polipropileno tiene una temperatura de descomposición en el rango de 250 a 425 grados centígrados (482 a 797 grados Fahrenheit).

En **temperaturas frías**, las fibras de polipropileno mantienen su flexibilidad hasta los

5°C (41 grados Fahrenheit) y, a temperaturas sostenidas por debajo de los 0°C (32 grados Fahrenheit), las fibras expuestas se vuelven quebradizas.

4.5.2 ABSORCIÓN DE HUMEDAD

El polipropileno (PP) es un polímero hidrofóbico, que refleja la cantidad insignificante de agua absorbida por las fibras de PP. Como las fibras de PP no absorben la humedad, las fibras no cambian su volumen o dimensiones en diferentes humedades o cuando están mojadas. En una prueba de remojo de 24 horas, el material absorbe menos del 0,01 % de su peso en agua.

4.5.3 RESISTENCIA QUÍMICA

El polipropileno (PP) es resistente a todos los disolventes y productos químicos de base inorgánica no oxidantes, lo que también significa que es resistente a los álcalis. El PP no tiene resistencia a largo plazo a los combustibles y algunos solventes orgánicos, pero es resistente a muchos líquidos polares como alcoholes, ácidos orgánicos, ésteres, cetonas, soluciones acuosas de sales inorgánicas.

4.5.4 RESISTENCIA A LOS ULTRAVIOLETA

El polipropileno (PP) no es resistente a los rayos UV y debe almacenarse y protegerse de la luz solar directa. Los rayos UV pueden degradar el PP cuando se expone a la luz solar directa sostenida. Sin embargo, con fibras macro y microsintéticas (PP), los materiales están completamente incrustados en el concreto donde la luz ultravioleta no puede penetrar, lo que significa que la degradación de los rayos ultravioleta no es un problema. Además, la fibra sintética de buena calidad generalmente tendrá un estabilizador UV en su composición, de modo que incluso las fibras cercanas a la superficie no sufran deterioro.

4.5.5 RECUBRIMIENTOS SURFACTANTES

Un recubrimiento tensoactivo es un agente utilizado en el proceso de fabricación de fibras sintéticas que esencialmente reduce la tensión superficial entre los polímeros fundidos y el equipo de extrusión, asegurando así la continuidad y la calidad del proceso de extrusión. Un recubrimiento de surfactante también puede mejorar las cualidades de dispersión de las fibras cuando se introducen en una mezcla de cemento o concreto. Es necesaria una selección cuidadosa de un recubrimiento de surfactante en la producción de fibras sintéticas, ya que se sabe que algunos tipos arrastran mayores niveles de contenido de aire en concreto mixto.

5 TIPOS DE FIBRA

5.1 MICROFIBRAS

Las microfibras sintéticas se han utilizado en la construcción durante muchos años y tienen su origen en la industria de fabricación de alfombras. Se encontró que estas fibras tienen un efecto positivo en las propiedades del concreto fresco, además de aumentar la durabilidad, y condujo a un gran aumento temprano en el uso de este tipo de fibra. Hoy en día, las microfibras sintéticas suelen ser un artículo estándar en el inventario de los proveedores de concreto premezclado.

A menudo, el costo/rendimiento es un factor primordial al seleccionar microfibras, por lo tanto, los materiales más comunes son el polipropileno (PP).

Los dos principales tipos diferentes de microfibras sintéticas.

Fibras de monofilamento ^[1]



Fibras fibriladas



^[1] A veces, la industria textil lo denomina multifilamento debido al proceso de extrusión de fibras a través de un cabezal de tinte de múltiples cabezas.

5.1.1 TIPOS DE MICROFIBRAS SINTÉTICAS

Numerosos tipos de materiales de microfibras sintéticas ahora están disponibles para el mercado de la construcción, incluidos acrílico, aramida, carbono, nylon, poliéster, polietileno, y polipropileno. Además, hay muchos productos naturales, incluidos el coco, el sisal, el yute y el bambú, que están generando interés. La selección de materiales puede depender de la aplicación específica, los beneficios requeridos y, por supuesto, la disponibilidad de material.

Cuando existe la necesidad de reducir la contracción plástica y el agrietamiento por asentamiento en el concreto, el material más utilizado es el polipropileno. Esto se debe en gran parte a que el material está fácilmente disponible y es comercialmente viable. Para el puenteo de grietas y la transferencia de carga, se requiere un tipo de fibra con mayor resistencia a la tracción y módulo E, por ejemplo, vidrio, basalto o carbono. Para la protección contra incendios y la reducción del desprendimiento explosivo, se recomienda un material de fibra con un punto de fusión bajo requerido, por ejemplo, polipropileno o PVA.

5.1.2 IMPACTO EN CONCRETO FRESCO

Las microfibras afectarán la trabajabilidad del concreto fresco, según el tipo de fibra y la dosis. La introducción de fibras aumenta la superficie que debe cubrir la pasta de cemento. Si no se cambia nada al diseño de la mezcla original, el concreto generalmente solo se sentirá más cohesivo. Si bien esta cohesión puede reducir el asentamiento del concreto, no es necesariamente una indicación de trabajabilidad reducida y es puramente un efecto tixotrópico causado por las fibras que se puede corregir con el uso de aditivos.

La Tabla 5.1.2.1 compara el número de fibras por kg en relación con la longitud y el diámetro equivalente de las fibras de PP. Los deniers de fibra utilizados en esta tabla representan los productos más comúnmente disponibles en el mercado. Por lo general, las fibras se dosifican por peso por metro cúbico/yarda cúbica de concreto o mortero. Dependiendo de la geometría de la fibra, el mismo peso de dosificación puede dar lugar a diferentes propiedades del concreto.

Tabla 5.1.2.1: Dosificación de fibras monofilamento por kg según longitud de fibra y denier

Longitud de fibra(mm)	Recuento de fibra / kg			
	18 Micras	22 Micras	32 Micras	34 Micras
	2.1 denier	3.1 denier	6.6 deniers	7.4 denier
6	718,349,627	480,878,676	227,290,312	201,336,747
12	344,867,821	230,821,764	109,099,350	96,641,638
19	226,847,251	151,856,424	71,775,888	63,580,025

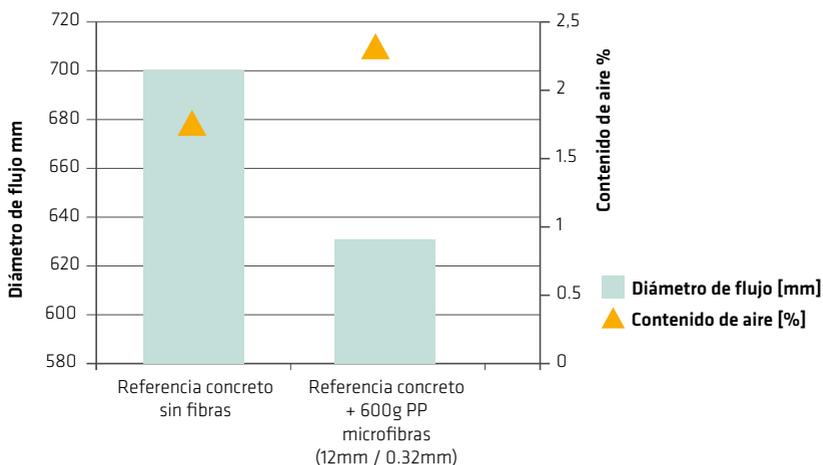
La fibra con el menor diámetro y longitud proporcionará la mayor cantidad de fibras por kg de dosis. Esto puede ser una característica clave de la microfibril sintética cuando se usa para prevenir el agrietamiento temprano y, como resultado, se puede usar en dosis más bajas.

Si bien esto parece ser un razonable argumento, el especificador también debe considerar el impacto de las fibras muy finas en la trabajabilidad del concreto fresco. Esto se debe a que un mayor número de fibras invariablemente aumentará el área de superficie total de las fibras y para que funcionen correctamente en la mezcla, las fibras deben estar completamente recubiertas con pasta de cemento.



De ello se deduce que los materiales muy finos tendrán una mayor demanda de pasta de agua-cemento. El efecto sobre el contenido de aire también debe verificarse ya que las fibras con un alto conteo de fibras y, por lo tanto, el área superficial, puede tener un impacto sobre el aire atrapado en la mezcla que puede influir en la resistencia objetivo del concreto. En una prueba de mesa de flujo según EN 12350-5, la adición de 600 g de fibras de 12 mm de largo x 32 µm redujo la trabajabilidad de un concreto de referencia en un 10 %. El contenido de aire en el mismo concreto de referencia aumentó un 30 %, del 1,75 % al 2,3 %. Si bien esto puede no ser dramático, ilustra por qué se recomienda verificar previamente estos parámetros.

Cuando vibra el concreto, las fibras tienden a soltarse de la pasta y el concreto fluir



normalmente. Este efecto cohesivo a menudo es malinterpretado por los operarios del concreto y puede conducir erróneamente a que se agregue agua adicional al concreto. Esto debe evitarse ya que reducirá las resistencias mecánicas y puede causar sangrado. Si hay una pérdida inesperada en la trabajabilidad, entonces los ajustes deben hacerse con el diseño.

5.1.3 INFLUENCIA EN LA FISURACIÓN

La tendencia del concreto a agrietarse se ha aceptado durante años como algo natural en su uso. La razón principal por la que se producen grietas en el concreto se debe a que las tensiones internas superan la resistencia del concreto. Las tensiones de las fuerzas externas se pueden compensar proporcionando mayores resistencias a la compresión. Sin embargo, las tensiones intrínsecas causadas por reacciones químicas/retracción dentro del concreto recién colocado han sido históricamente un problema de control debido a su imprevisibilidad.

Table 5.1.3.1: Las etapas de contracción pueden conducir al agrietamiento

INTRÍNSECOTENSIONES QUE CAUSAN FISURAS EN EL CONCRETO		
Escribe	CAUSA PRIMARIA (Excluyendo Restricción)	TIEMPO DE APARICIÓN
Asentamiento plástico	Exceso de secado/cambio de volumen	10 min. - 3 hrs.
Contracción plástica	Rápidos secado temprano	30 min. - 6 hrs
Contracciones térmicas tempranas	Exceso de calor y gradientes de temperatura	1 día - 2 o 3 semanas
Contracción por secado a largo plazo	Juntas ineficientes	Varias semanas o meses

5.2 MICRO BENEFICIOS PP

Las microfibras de PP influyen en las características del concreto durante las primeras etapas del desarrollo de la resistencia cuando el concreto se está endureciendo, y también ofrecen resistencia pasiva al fuego.

5.2.1 REDUCCIÓN DEL AGRIETAMIENTO POR ASENTAMIENTO PLÁSTICO



Figura 5.2.1: Mostrando los beneficios del uso de microfibras en relación con el tiempo y el desarrollo de la fuerza

El agrietamiento por asentamiento plástico es causado por un cambio en el volumen de una sección de concreto y está influenciado por el grado de sangrado que puede ocurrir para una mezcla de concreto determinada. El sangrado es la acción del agua que sube a la superficie del concreto poco después de la colocación y es causado por partículas más pesadas que gravitan hacia abajo y desplazan partículas finas y agua. El agua de sangrado se ve en la superficie del concreto solo si la tasa de evaporación es menor que la tasa de sangrado.

La segregación se puede reducir con un diseño de mezcla de concreto adecuado que contenga una curva granulométrica de agregado bien balanceada y/o el uso de la tecnología de aditivos adecuada para estabilizar la mezcla de concreto. Sin embargo, las microfibras sintéticas también tienen un efecto dramático en la reducción del sangrado porque actúan como un sistema de suspensión interno que sostiene de manera efectiva los agregados gruesos en la mezcla, lo que inhibe el sangrado y el asentamiento.

Las grietas de asentamiento se formarán invariablemente sobre el refuerzo, que se fija en

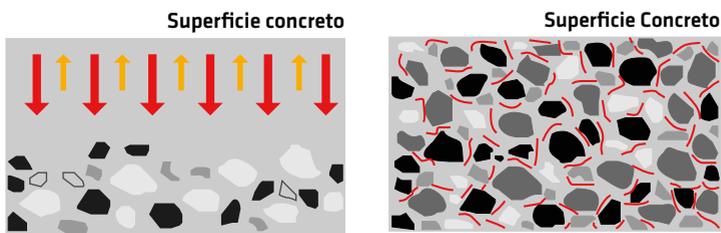


Figura 5.2.1.1: Reducción de segregación usando micro-fibras

su posición cerca de la parte superior del concreto. Estas grietas serán perjudiciales para la durabilidad a largo plazo del refuerzo de acero y del propio concreto.

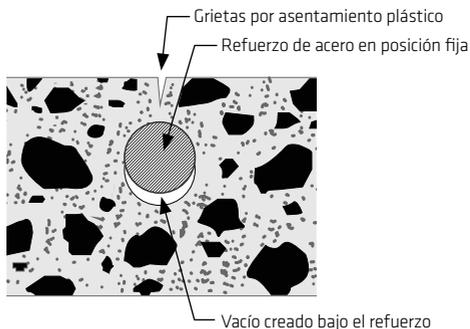
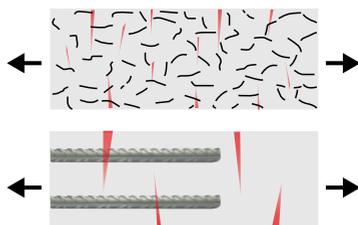


Figura 5.2.1.2: Asentamiento plástico bajo una barra de refuerzo

5.2.2 REDUCCIÓN DEL AGRIETAMIENTO POR CONTRACCIÓN PLÁSTICA

Las grietas por contracción plástica ocurren a las pocas horas de colocar el concreto, aunque es posible que no se noten hasta el día siguiente. Son más comunes en losas de piso, pero también pueden ocurrir en otras superficies de concreto expuestas. Aunque las grietas plásticas pueden ser anchas en la superficie, disminuirán rápidamente con la profundidad. Sin embargo, el agrietamiento plástico generalmente atravesará toda la profundidad de la losa.



La razón clave para la formación de grietas plásticas es que durante varias horas después de la colocación, el concreto tiene poca o ninguna resistencia a la tracción. Cuando la superficie de concreto esté expuesta a un secado rápido, la humedad de la superficie se evaporará rápidamente y esto creará una tensión de tracción en la superficie del concreto. Las grietas se producen cuando estos esfuerzos superan la resistencia del concreto.

Cuando se producen fisuras plásticas en el concreto con armadura de acero, el aire y la humedad pueden penetrar a través de la fisura abierta junto con otros agentes agresivos como cloruros y otras sustancias solubles nocivas. Esto conducirá inevitablemente a la corrosión del acero y a una reducción de la durabilidad del concreto.

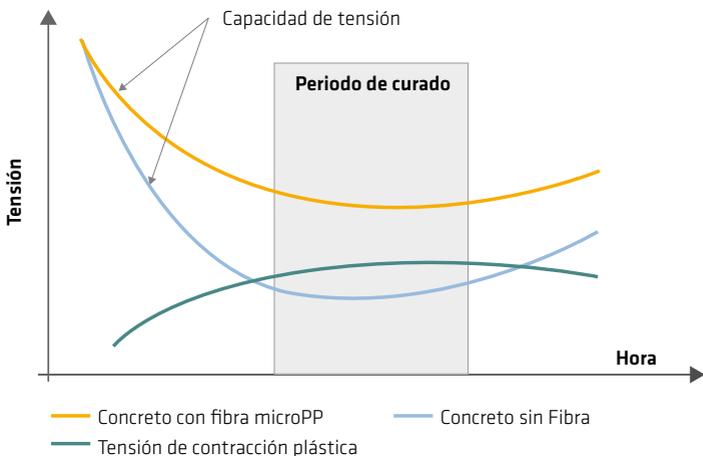


Figura 5.2.2.1: Principio de deformación por tracción en concreto de edad temprana

Una de las principales ventajas del uso de microfibras sintéticas en el concreto es la capacidad de aumentar la resistencia a la tracción del concreto a edades tempranas. Esto significa que cuando hay deformaciones en la superficie del concreto, debido al secado o a la rápida evaporación de la humedad, generalmente no excederán la capacidad de deformación por tracción del concreto reforzado con fibras. El beneficio de usar microfibras es reducir o eliminar el agrietamiento por contracción plástica.

DOSIFICACIÓN

Las microfibras de PP inhiben el agrietamiento por contracción plástica en edades tempranas y generalmente se dosifican entre 0,6 y 0,9 kg/m³ (1 a 1,5 pcy). Este rango de dosificación depende del denier de la fibra, la clasificación de la arena y las condiciones ambientales. Si se deben evitar, o al menos reducir, las grietas significativas, entonces el concreto expuesto a altas temperaturas y vientos secos tiene un mayor riesgo de agrietamiento por contracción plástica a edad temprana. En estas situaciones, es recomendable utilizar una cantidad de dosificación mayor. De manera similar, el concreto sujeto a bajas temperaturas y vientos moderados tiene menos riesgo y puede requerir una dosis más baja. Los diseños de mezcla con una mayor cantidad de fracciones pequeñas, como morteros y losas fabricadas con una alta Rel. a/c, requieren una dosis de fibra más alta de alrededor de 0,9 a 1,8 kg/m³ (1,5 a 3 pcy). Siempre se debe tener cuidado para verificar previamente las propiedades frescas cuando se usan altas dosis de microfibras.

Table 5.2.2.1: Ejemplo de dosificación de microfibra para reducir la retracción plástica.

	Referencia Concreto	Concreto para reducir retracción plástica
Cemento	320 kg/m ³	320 kg/m ³
Relación a/c	0.5	0.5
Agregados	0 - 32 mm	0 - 32 mm
Sika® ViscoCrete®	0.8 %	0.9 - 1.1 %
SikaFiber® PPM	-	0.6 - 0.9 kg/m ³

5.2.3 RESISTENCIA AL FUEGO

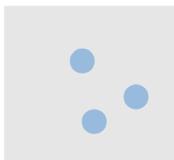


La adición de microfibras de monofilamento de polipropileno (PP) adecuadas en el concreto es ahora ampliamente aceptada para controlar el desconchado explosivo en concreto colado/prefabricado y concreto proyectado. Este tipo de protección se denomina “protección pasiva contra incendios”, lo que significa que es parte integral de la estructura de concreto y no requiere activación externa en caso de incendio. Desde el primer uso de microfibras de PP en el Proyecto de Enlace Ferroviario del Túnel del Canal (2007), la tecnología se ha incorporado en muchos proyectos de túneles en todo el mundo, incluidos: Túnel de base de San Gotardo, Suiza; Metro de Doha, Catar; Travesaño de Londres, Reino Unido; Metro de Copenhague, Dinamarca; Sistema de Metro de Los Ángeles y MTR de Hong Kong.

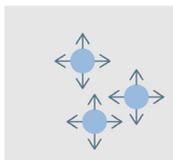
El desconchado explosivo puede presentar un grave riesgo para la integridad estructural de una estructura debido a la pérdida de la sección del concreto y/o la fluencia del refuerzo de acero empotrado cuando se expone a altas temperaturas. En todos los casos, existe la posibilidad de que el desprendimiento explosivo conduzca para completar la falla estructural.

Existe una teoría simple de por qué las microfibras de PP evitan el desprendimiento explosivo en caso de incendio: las microfibras de PP bien distribuidas se derriten a una temperatura de 160 °C (360 °F) creando pequeños canales dentro del concreto que permiten el escape de humedad sobrecalentada. Esto reduce las presiones internas y minimiza la explosión o daño por spalling.

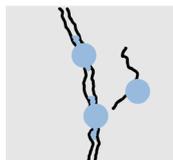
Mecanismo que conduce al spalling en un concreto de alta densidad



Humedad presente en concreto

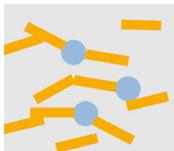


Cuando se produce una fuente de calor que aumenta rápidamente, la humedad dentro del concreto intenta rápidamente escapar. En el concreto de alta densidad, esto se convierte en un gran obstáculo y el agua se calienta rápidamente y se transforma en vapor sobrecalentado.

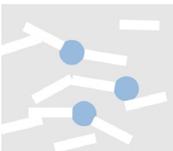


Esto crea una acumulación significativa de tensiones internas. Cuando se excede la capacidad de tracción del concreto, inevitablemente se producirá desconchado del concreto.

Mecanismos de Resistencia Pasiva al Fuego



Humedad en el concreto y una dosificación bien distribuida de micro-fibra de PP



Cuando la fuente de calor ascendente alcanza una temperatura de 160 °C (360 °F), las microfibras de PP se derriten.



Los nuevos caminos liberan la humedad.

Investigaciones posteriores han demostrado que se trata de una simplificación de los verdaderos mecanismos que contribuyen a la influencia de las microfibras de PP en el spalling.

Teoría alternativa del fuego pasivo

En 2001, el Prof. P.J.E. Sullivan de la London City University presentó una teoría alternativa basada en la diferente expansión térmica del polímero sintético y el concreto. El trabajo concluyó que las microfibras de PP, cuando se exponen a una temperatura elevada, inicialmente se expandirán y ejercerán tensiones sobre la matriz de cemento, lo que inicia la formación de microfisuras.

Coefficiente de expansión térmica para concreto = $6 \text{ to } 12 \times 10^{-6}/\text{K}$

Coefficiente de expansión térmica para polipropileno = $86 \times 10^{-6}/\text{K}$

Se estimó que esta expansión térmica del polipropileno es de 7 a 14 veces mayor que la del concreto y Saka et al, 2009 también informaron que una sola fibra de polipropileno incrustada en una matriz de mortero crea tensiones significativas cuando se somete a un aumento de temperatura de 140°C (284 grados F).

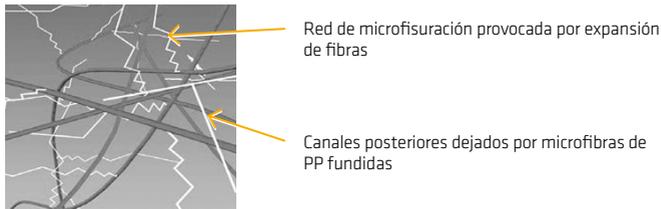


Figura 5.2.3.1: Red de microfisuras

A medida que la temperatura continúa aumentando, las fibras se derriten y crean más pequeños canales que se combinan para proporcionar un sistema de liberación de presión para aliviar el potencial de spalling.

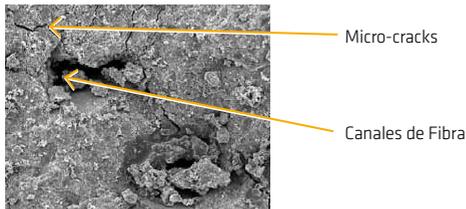


Figura 5.2.3.2: Fotografía microscópica que destaca la formación de canales y microfisuras después de un incendio

El trabajo realizado en 2004 por Dehn & Willie en Leipzig confirmó la presencia de microfisuras y canales de fibra después de la exposición a pruebas de fuego a alta temperatura.

5.2.4 REDUCCIÓN DE LA PERMEABILIDAD



Las microfibras sintéticas pueden inhibir la formación de microfisuras intrínsecas internas que, si no se controlan, pueden aumentar la absorción de humedad. La reducción de estas microfisuras con fibras hace que el concreto sea menos permeable. Esto también puede ayudar a mejorar la resistencia al hielo-deshielo del concreto en aplicaciones externas.

5.2.5 RESISTENCIA A LA ABRASIÓN



La reducción de la exudación y el asentamiento, lograda con microfibras de PP, significa que se retienen más partículas de agregados gruesos en la superficie y cerca de ella. Es el aumento de agregados gruesos en la superficie lo que proporciona una mayor durabilidad a la resistencia a la abrasión.

5.2.6 RESISTENCIA AL IMPACTO



Las microfibras de PP, en particular los tipos fibrilados, son excepcionalmente buenas para distribuir las tensiones localizadas, ya que actúan eficazmente como pequeños amortiguadores dentro del concreto. Cuando el concreto se expone a cargas de impacto, las fibras distribuyen el estrés sobre un área más amplia y, por lo tanto, reducen significativamente el daño por impacto. Las fibras fibriladas también son muy buenas para mantener unido el concreto después de la formación de grietas.

5.3 MACRO-FIBRAS DE PP

Las macrofibras de PP están disponibles comercialmente desde hace más de 20 años. Las principales aplicaciones de este tipo de fibra son en concreto proyectado, losas sobre suelo y para elementos prefabricados de concreto. A diferencia de las microfibras sintéticas, que tienen sus principales beneficios/influencias dentro del concreto en estado plástico, las macrofibras sintéticas y, de hecho las fibras de acero, se utilizan principalmente para proporcionar beneficios en el concreto en estado endurecido.

Las macrofibras sintéticas pueden fabricarse con los mismos materiales que las microfibras, pero tienden a ser más gruesas y rígidas. Las macrofibras sintéticas más utilizadas son las de polipropileno, ya que este material presenta las mejores propiedades en términos de durabilidad y resistencia frente a un ambiente alcalino, como el concreto.

Las macrofibras sintéticas ahora están disponibles en varias geometrías diferentes; Los principales tipos de fibras en términos de forma son los siguientes:

- Fibras rectas con relieve
- Fibras onduladas
- Fibras planas blandas
- Retorcidas



Figura 5.3.1: a) Fibras relieve rectas b) Fibras onduladas c) Fibras planas blandas

Se considera que las fibras con relieve rectas tienen mejores ventajas en concreto de alta resistencia donde la porosidad es menor alrededor de la fibra y el relieve da como resultado una mayor resistencia a la extracción. Debido a que las fibras son rectas, existe una tendencia mucho menor a la formación de bolas durante la mezcla con altas dosis de fibra.

A veces se considera que las fibras onduladas tienen mejores ventajas en concreto de baja resistencia donde la gran porosidad alrededor de la fibra se supera con la ondulación, y da como resultado una mayor resistencia a la extracción.

La ventaja de una fibra blanda es el alto número de fibras, especialmente en dosis bajas, el rendimiento puede ser mejor que las otras geometrías de fibra. Las fibras blandas se deforman durante la mezcla, se retuercen alrededor de los agregados y esto, junto con un alto número de fibras, aumenta la resistencia al agrietamiento. Las fibras blandas, generalmente tienen dosis bajas ya que con dosis altas disminuye la trabajabilidad del concreto.

5.3.1 FISURAS POR CONTRACCIÓN PLÁSTICA

Si bien las macrofibras sintéticas y las fibras de acero pueden reducir las grietas por contracción plástica de edad temprana, no están presentes en cantidades suficientes para tener el mismo alto nivel de reducción como microfibras de PP.

5.3.2 IMPACTO EN CONCRETO FRESCO

Las macrofibras de PP afectarán la trabajabilidad del concreto como las microfibras, según el tipo de fibra y la dosis. La demanda de pasta de cemento generalmente hace que el concreto sea más cohesivo. Esta cohesión puede reducir el asentamiento del concreto. Sin embargo, una pérdida en el asentamiento no es necesariamente una indicación de trabajabilidad reducida, es un efecto tixotrópico causado por las fibras.

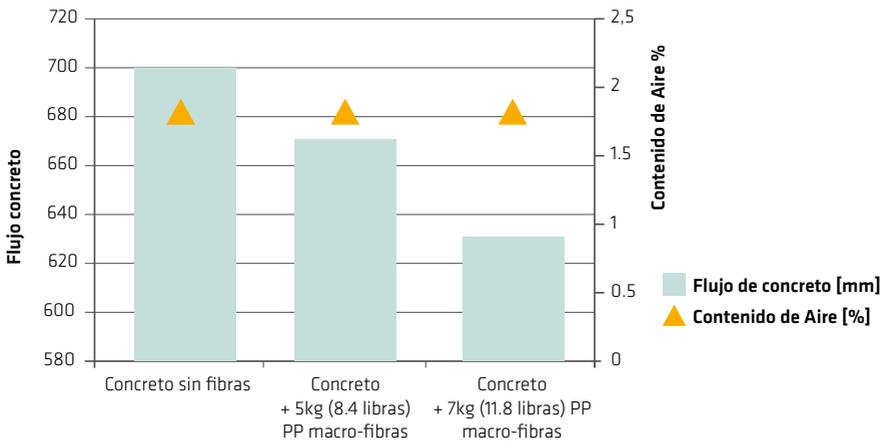


Figura 5.3.2: Impacto en las propiedades en fresco de un concreto de referencia con adición de macrofibras de PP

En un ensayo de mesa de flujo según EN 12350-5, la adición de 5 kg / 8,4 lb de macrofibras de PP redujo la trabajabilidad de un concreto de referencia en un 4 %. Con la adición de macrofibras de PP de 7 kg / 11,8 lb, la trabajabilidad se redujo en un 11 %, en comparación con la referencia. El contenido de aire prácticamente se mantuvo igual con la adición de macrofibras de PP.

5.3.3 INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA

Las macrofibras sintéticas, en dosificaciones estándar, normalmente no aumentan la resistencia a la compresión del concreto. El efecto que tienen es sobre la cohesión del concreto, lo que puede mejorar la densidad y un ligero aumento de las resistencias finales.

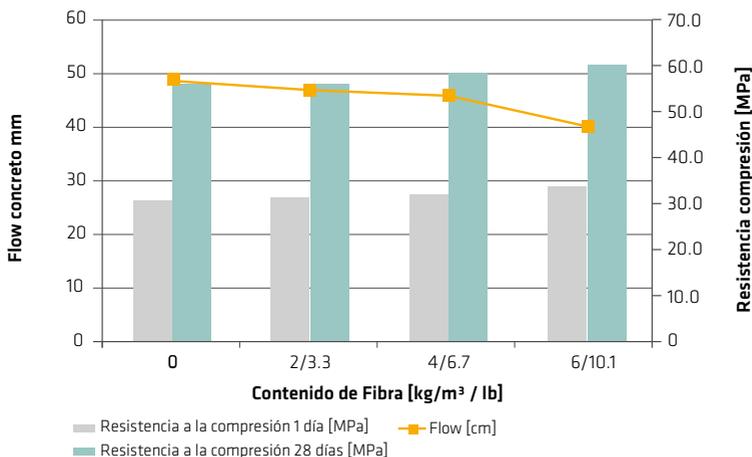


Figura 5.3.3: SikaFiber® Force-60 - 320 kg/m³CEM i 42,5 - a/c: 0.46 - 0/32

5.4 MACROFIBRAS DE ACERO

Las fibras de acero son bien conocidas en el mercado y se han utilizado durante más de 40 años en la industria de la construcción. Las fibras de acero se utilizan principalmente para losas sobre suelo o aplicaciones de concreto proyectado, pero a menudo se utilizan en varias otras aplicaciones, como elementos prefabricados, elementos estructurales, cimientos y otros.

Para algunos ingenieros, el paso de la malla de acero tradicional a las fibras de acero puede ser un paso más fácil que de la malla a las fibras sintéticas, a pesar de que tanto el acero como las fibras sintéticas funcionan de manera muy similar en el concreto y ambos están cubiertos por los requisitos de rendimiento de la norma europea.

EN 14889-1 clasifica las fibras de acero en cinco grupos

- Grupo I: Alambre estirado en frío
- Grupo II: Hoja cortada
- Grupo III: Extracto fundido
- Grupo IV: Alambre trefilado en frío
- Grupo V: Fresado a partir de bloques

ASTM A820/A820M clasifica las fibras de acero en cinco tipos generales

- Tipo I: Alambre estirado en frío
- Tipo II: Hoja cortada
- Tipo III: Extracto fundido
- Tipo IV: Fresado de molino
- Tipo V: Alambre trefilado en frío modificado

TIPOS PRINCIPALES

Las fibras del grupo I o tipo I son el tipo de fibra de acero más utilizado en el concreto. Estas fibras a menudo se suministran rectas o deformadas y en formato suelto o pegado. Las fibras de alambre estiradas en frío también se pueden recubrir para protección contra la corrosión, pero esto a menudo conduce a un aumento de los costos.

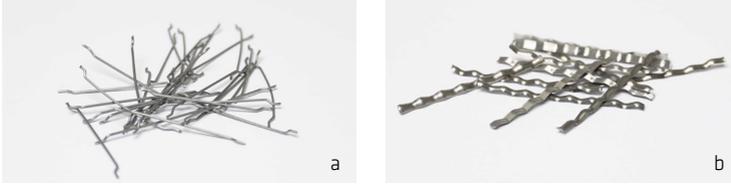


Figura 5.4: a) grupo I alambre trefilado

b) grupo V modificado estirado en frío

5.4.1 IMPACTO EN LAS PROPIEDADES FRESCAS DE UN CONCRETO DE REFERENCIA

Al igual que con las micro y macrofibras sintéticas, la influencia sobre la trabajabilidad y el contenido de aire del concreto con fibras de acero debe evaluarse cuidadosamente antes del suministro.

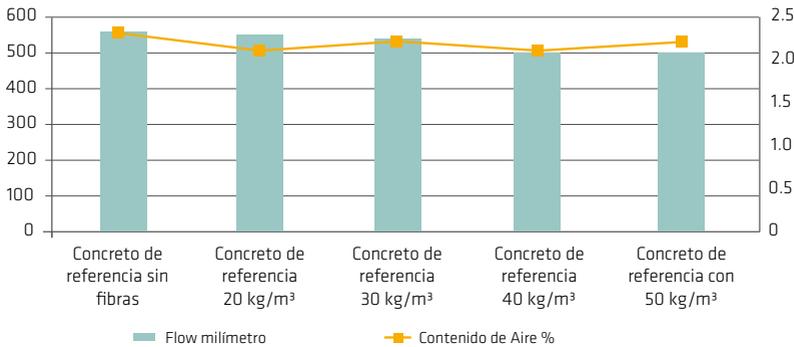


Figura 5.4.1.1: Impacto en las propiedades frescas de un concreto de referencia utilizando fibras de acero SikaFiber® en diferentes dosis

5.4.2 IMPACTO EN LA RESISTENCIA DE UN CONCRETO DE REFERENCIA

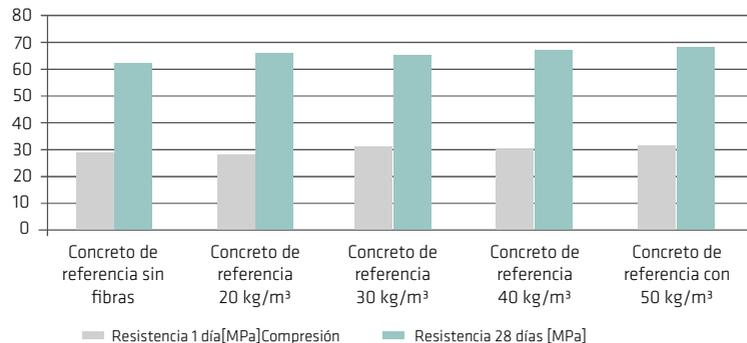


Figura 5.4.1.2: Impacto en la resistencia de un concreto de referencia utilizando fibras de acero SikaFiber® en diferentes dosis

5.5 MACRO BENEFICIOS

Las macrofibras influyen principalmente en las características del concreto endurecido, como el aumento de la resistencia mecánica, la ductilidad y la reducción del tiempo de construcción.

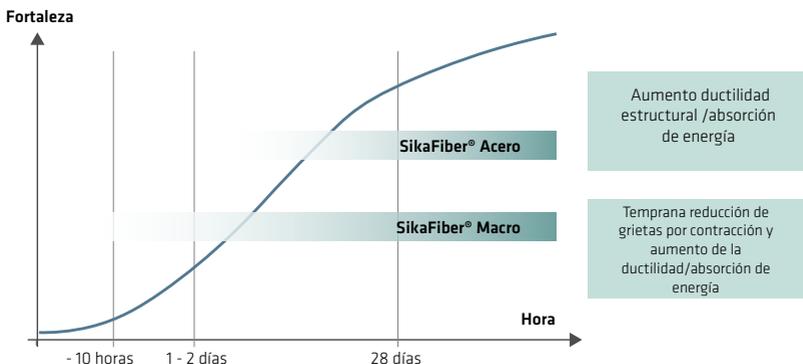


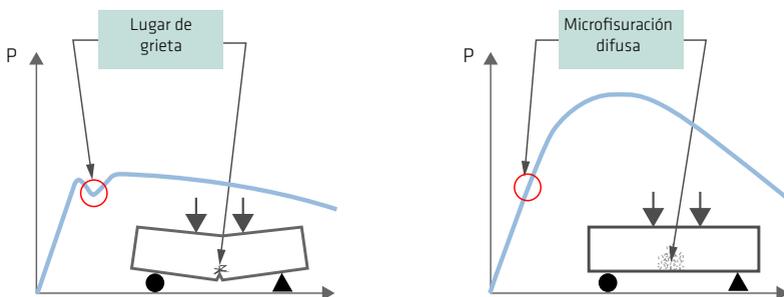
Figura 5.5.1: Influencias de las macrofibras

5.5.1 AUMENTO DE LA FUERZA MECÁNICA



La adición de macrofibras al concreto puede mejorar significativamente la ductilidad y la capacidad de flexión (tenacidad) del concreto. Las vigas de tres o cuatro puntos se prueban a flexión para obtener la respuesta posterior a la fisuración, conocida como resistencia residual a la flexión. Estos datos se utilizan para caracterizar el rendimiento de FRC. La tenacidad del concreto se mejora con la adición de fibras. Para una eficiencia óptima, la fuerza de unión entre la fibra y matriz del concreto debe estar lo más cerca posible de la resistencia a la tracción de la fibra. Es mejor sacar las fibras de la matriz en lugar de romperlas. Cuando las fibras se rompen, el anclaje es demasiado fuerte.

Es mejor sacar las fibras de la matriz en lugar de romperlas. Cuando las fibras se rompen, el anclaje es demasiado fuerte.



5.5.2 AUMENTO DE LA DUCTILIDAD DEL CONCRETO



La ductilidad es la capacidad de un material para absorber energía y soportar cargas más allá del límite elástico, que define el comportamiento elástico. Este es también el punto en el concreto donde comienzan a aparecer grietas. El concreto simple es quebradizo y exhibirá una pérdida completa de resistencia más allá del límite elástico. Las macrofibras sintéticas y las fibras de acero pueden aumentar significativamente la resistencia al impacto y al desmoronamiento del concreto debido a su capacidad para distribuir y absorber tensiones localizadas.

5.5.3 REEMPLAZO DEL REFUERZO TRADICIONAL



Una de las principales ventajas de las macrofibras es que pueden sustituir ciertos refuerzos de acero. La malla de acero tiene un propósito de diseño y también se puede probar que FRC, con cálculos, hace el mismo trabajo.

5.5.4 REDUCCIÓN DEL TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN



Manejar refuerzos de acero pesados, levantarlos, colocarlos y fijarlos en la posición correcta suele ser un trabajo agotador y peligroso. Donde las fibras pueden reemplazar el refuerzo de acero, se ahorrará mucho tiempo en el proceso de construcción. Las fibras simplemente se agregan al concreto en la planta dosificadora y se entregan premezcladas al sitio de construcción. Cuando se usa FRC como alternativa al refuerzo de acero, es posible que no haya problemas de acceso para los camiones hormigoneros, lo que facilita un giro mucho más rápido en el sitio y, a menudo, se evita la necesidad de equipos de bombeo.

5.6 GUÍA DE APLICACIÓN DE FIBRA

Se pueden usar diferentes tipos de fibra para diferentes tipos de aplicaciones. La siguiente tabla muestra dónde se utilizan normalmente micro y macrofibras de PP, fibras de acero y fibras de vidrio.

Aplicación / Tipo de fibra	fibra de acero <35 mm	fibra de acero >50 mm	Macrofibra <48 mm	Macrofibra >48 mm	Microfibra	Microfibra fibrilado	Fibra de vidrio	Mezclas
Concreto proyectado	x			x		x ^[1]		
Losas en piso		x	x		x	x		
Pavimento		x	x		x	x		x
Contracción a edad temprana			x		x	x		
Protección contra incendios					x			
Prefabricado	x		x	x	x	x		
Losas delgadas						x	x	
Morteros					x	x	x	
Sobrelosa	x		x					

[1] control de rebote

El refuerzo de fibra a menudo se incorpora en muchos otros tipos diferentes de productos y aplicaciones esencialmente para limitar el agrietamiento y mejorar las cualidades de durabilidad del material. Éstos incluyen,

- Morteros y Revocos
- Soleras de Arena/Cemento
- Losas delgadas colocadas con bomba
- Productos refractarios
- Productos de jardín (macetas y adornos)
- Concreto Arquitectónico
- Concreto estampado
- Concreto de áridos expuestos
- Impresión 3D de concreto
- White topping ultra delgado

5.7 DOSIS MÍNIMA DE FIBRA

Si bien la dosificación de fibra se indicará en la hoja de datos del producto (PDS) del fabricante, hay una cantidad mínima para proporcionar ductilidad o control de grietas y se hace referencia en EN 14487-1.

McKee sugirió una dosis mínima de fibra como teoría del espaciado.

La representación tridimensional muestra una sola fibra en una unidad de volumen. La teoría sugiere que en una unidad de volumen de concreto hay varios cubos con una dimensión de s que es igual al número de fibras en el volumen total. Si se reduce el tamaño del cubo que contiene una fibra, se producirá una superposición de fibras.

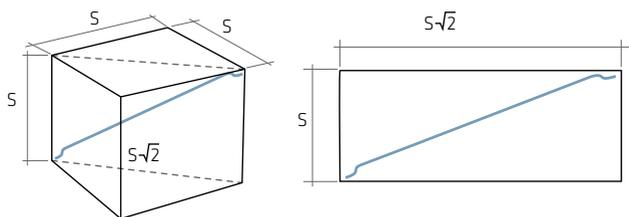


Figura 5.7.1: Dosificación mínima de fibra basada en un concepto de su superposición

La distancia media entre fibras, s , se puede estimar donde l_f es la longitud de la fibra, d_f es el diámetro de la fibra y ρ_f es el porcentaje de fibra en volumen.

$$s = \sqrt[3]{\frac{\pi \cdot d_f^2 \cdot l_f}{4 \rho_f}}$$

donde d_f = diámetro equivalente en mm
 l_f = longitud en mm
 ρ_f = porcentaje de fibra por volumen

La fórmula se puede transponer para determinar la dosificación en función de la geometría de la fibra, la relación de aspecto y la fracción de volumen del concreto de fibra.

$$\text{Dosis (min)} = \left[\frac{1}{\left(\frac{l_f}{\gamma \sqrt{3}} \right)^3} \right] / \left[\frac{4}{\pi d_f^2 l_f \rho_f} \right]$$

[1] Propiedades del mortero de cemento expansivo reforzado con fibras de alambre aleatorias, tesis doctoral, Universidad de Illinois Urbana, 1969. Documentado en el informe del comité 544 de ACI Informe sobre el estado del arte del concreto reforzado con fibras 1982.

Ejemplo con SikaFiber® Force-50:

Largo fibra	= 50 mm
Diámetro equivalente	= 0.72
Aspecto/relación	= 0.69
Materialdensidad	= 910 kg/m ³

Y	Dosis mínima	
1	$s < 0.58 l_f$	1 kg/m ³ / 2 pcy
1.35	$s < 0.45 l_f$	2 kg/m ³ / 3 pcy
1.45	$s < 0.40 l_f$	3 kg/m ³ / 5 pcy
1.70	$s < 0.29 l_f$	4 kg/m ³ / 7 pcy

En concreto proyectado, la norma EN 14487-1 sugiere que la distancia media entre fibras, s , debe ser inferior a $0,45 l_f$ y, para aplicación in situ, se puede sugerir que s debe tomarse como inferior que 0.4.



6 CONCRETO REFORZADO CON FIBRA

6.1 INICIOS



El diseño de concreto reforzado con fibra es a menudo una tecnología de nicho y es posible que no se incluya en ningún plan de estudios de aprendizaje. Actualmente, no existen estándares globalizados para FRC, lo que significa que los métodos de diseño provienen de publicaciones prenormativas disponibles, como el Model Code 2010 de fibra, sección 5.6 y RILEM TC 162-TDF: Métodos de prueba y diseño para fibra de acero, concreto reforzado.

Para el diseño se considera el material en Estado Límite Último (ULS) y Estado Límite de Servicio (SLS). Se han realizado numerosos estudios e informes publicados para correlacionar la respuesta de tracción y flexión en la zona posterior a la fisuración. Este no es el tema de este manual y se puede encontrar más información en los siguientes documentos.

Existen varios enfoques para el diseño de FRC, pero no se limitan a los siguientes ejemplos.

- American Concrete Institute 544.4R Guía para el diseño con concreto reforzado con fibras
- The Concrete Society Technical Report 63 – Guía para el diseño de fibra de acer en concreto reforzado
- The Concrete Society Technical Report 65 – Guía para el diseño de fibra de acero en concreto reforzado

Específicamente, para segmentos de túnel

- Informe ITAtech de la Asociación Internacional de Túneles y Espacios Subterráneos N°7/ Abril 2016

Para losas sobre suelo/terreno

- American Concrete Institute ACI 360R – Guía para el diseño de losas sobre suelo
- The Concrete Society Technical Report 34 – Plantas bajas industriales de concreto

El Capítulo 3 de este manual contiene algunas referencias más y también puede haber algunas estándares nacionales en su país.

6.2 FILOSOFÍA

Los ingenieros estructurales suelen diseñar el concreto armado de manera que todas las fuerzas de tracción sean soportadas por una barra de acero continua o un refuerzo de malla. Siempre se supone que el refuerzo de acero está firmemente fijado en su posición y no se puede mover, el refuerzo de acero puede comenzar a ceder aunque no está diseñado para deslizarse fuera del concreto. El diseño de concreto estructural proporciona una especificación detallada de la geometría del concreto, propiedades del material, tamaño, y ubicación del refuerzo de acero. Estos generalmente se expresan como un programa de doblado de barras y dibujos detallados.

En comparación, FRC en un concreto normal, utiliza el principio de deslizamiento como parte de la filosofía de diseño y el énfasis está en cómo se calcula la capacidad de tracción. Esto significa que los elementos FRC se basan en la resistencia residual posterior al agrietamiento. Generalmente, las fibras utilizadas en dosis estándar no influyen directamente en la resistencia a la tracción o a la flexión del concreto de la misma manera que el acero de refuerzo. Esto es hasta que el concreto se agrieta y las fibras restringen el tamaño de la abertura de la grieta. Una vez que se ha producido una grieta, las fibras toman el control y soportan las fuerzas aplicadas. Se dice que las fibras mejoran el comportamiento en SLS al reducir el agrietamiento por contracción plástica y mejoran el comportamiento en ULS donde pueden reemplazar parcial o totalmente el refuerzo de acero tradicional. Una ventaja de FRC es que la distancia entre las fibras es muy pequeña, y que las fibras llenan esquinas y bordes. Las barras de acero están espaciadas y tienen una distancia de recubrimiento a la superficie de concreto.

Principio de puenteo de grietas

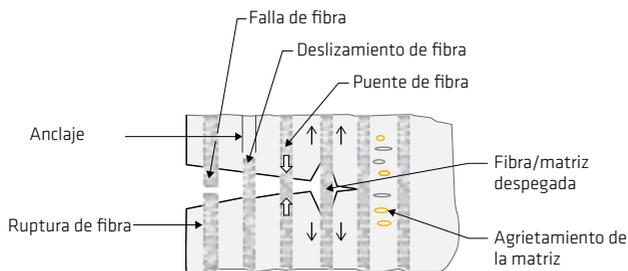


Figura 6.2.1: Principio de las fibras que puentean las grietas en el concreto cambiándolo de un material frágil a un material dúctil

Las etapas de falla de FRC o estrés residual comienzan con la formación de grietas en la matriz de cemento. A medida que se abre la fisura se produce un desprendimiento entre la fibra y la matriz de cemento. Si la fibra puede salvar la fisura, no hay falla, pero a medida que aumenta la carga o el esfuerzo, aumenta el tamaño de la fisura y se produce un deslizamiento por fricción a lo largo de la fibra, o deformación del anclaje. Eventualmente, con esfuerzos más altos, la fibra se sale de la matriz de cemento o hay una rotura de fibra bajo tensión.



La propiedad más importante de FRC cuando se considera un elemento estructural es este post-agrietamiento y la resistencia residual a la tracción o a la flexión. Las fibras comienzan a trabajar tan pronto como se forman las primeras microfisuras en el concreto. A medida que se abre la boca de la fisura, las fibras comienzan a resistir las fuerzas de tracción creando puentes y transmitiendo las tensiones a través de la fisura. Al hacerlo, las fibras brindan resistencia a que la grieta se ensanche y se extienda a través del concreto. Significa que el concreto no fallará y que queda algo de resistencia residual en el concreto después de que aparece la

primera grieta.

Lo más importante en el enfoque de diseño es el rendimiento del material compuesto, que se mide como la resistencia a la tracción residual. Los parámetros se determinan a partir de pruebas de vigas para encontrar la resistencia a la flexión residual en deflexiones de vigas definidas. Estos resultados se insertan en ecuaciones para determinar la capacidad de carga del elemento considerando el efecto residual.

6.2.1 ABLANDAMIENTO POR TENSIÓN Y ENDURECIMIENTO POR TENSIÓN

Cuando se refuerza un material, generalmente implica que habrá una mejora en la resistencia. Dado que el concreto ya es resistente a la compresión, la mejora implícita está en las características más débiles, como un aumento de la resistencia a la tracción, un aumento de la deformación por tracción, un aumento del módulo elástico o una combinación de estas influencias. El diseño de las fibras estructurales en comparación con el refuerzo de malla/barra de acero tradicional es diferente y asume que la fibra se desliza fuera del concreto bajo una carga sostenida.

En un concreto estándar, dosis de fibra de 4 - 8 kg/m³ / 6.7 - 13.5 lb PP macro o 20 - 40 kg/m³ / 33.6 - 67.2 lb de acero, no aumentará la resistencia a la tracción ni la resistencia a la flexión del concreto. Además, las fibras en estas dosis no influyen en la carga máxima del material compuesto, pero puentearán eficazmente las grietas una vez que se hayan producido. Esto se describe como el rendimiento del concreto posterior a la fisuración que da como resultado una mayor tenacidad y un aumento de las propiedades de disipación/absorción de energía.

Si bien el FRC tiene el potencial de producir un efecto de endurecimiento por deformación con dosis mucho más altas de fibras de acero de alta resistencia a la tracción, en la mayoría de los casos el rendimiento de las fibras conduce a un comportamiento de ablandamiento por deformación. Esto simplemente significa una reducción de la tensión más allá del valor máximo con un aumento en la deformación.

Con un comportamiento de endurecimiento por deformación, el aumento de la resistencia a la tracción se debe al refuerzo. Con el aumento de la tensión, se puede aplicar una mayor tensión antes de que se alcance la carga máxima. Cuando se alcanza la carga máxima, normalmente se observará de nuevo una fisuración distribuida que conducirá a la localización

de la fisura con un comportamiento de ablandamiento por deformación.

Un ejemplo de endurecimiento por deformación puede ser el concreto de ultra alto rendimiento (UHPC o UHPFRC) que utiliza fibras de acero o el compuesto cementoso de ingeniería (ECC) que utiliza materiales sintéticos como fibras con distintos tipos de ablandamiento o endurecimiento.

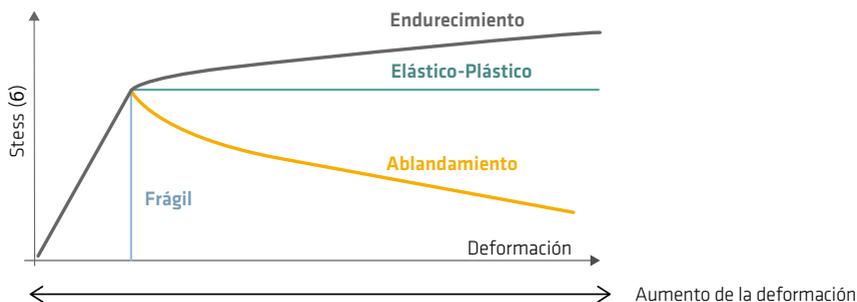


Figura 6.2.1.1: Ilustración de ablandamiento por deformación versus en durecimiento por deformación

El mecanismo del comportamiento de la fibra se puede ilustrar en una prueba de flexión de tres puntos (fig. 6.2.1.2). Se aplica una carga sobre una viga de concreto en el centro y se aumenta el esfuerzo (1) hasta que alcanza un punto en el que la curva carga-deflexión se aparta de la respuesta lineal inicial. Esto se conoce como el límite de proporcionalidad (LOP). Hasta este punto, la tensión actúa sobre una sección intermedia no fisurada. Si la viga no está reforzada y se aplica carga continua, la viga se romperá (4).

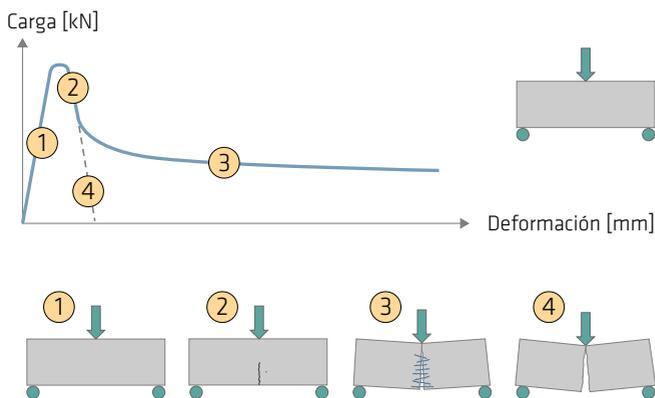


Figura 6.2.1.2: Comportamiento de una viga de concreto reforzado con fibra en un ensayo de flexión de 3 puntos en comparación con concreto no reforzado

Cuando el concreto se refuerza con macrofibras, las fibras puentearán la fisura y exhibirán un comportamiento de ablandamiento por deformación. La resistencia posterior a la fisuración es menor que la resistencia después de la primera fisuración (2) y, a medida que las fibras unen la fisura, también soportan la carga aplicada (3). Esto es cuando el material de fibra, geometría, forma, anclaje, dispersión y matriz del material ahora juega un papel vital.

Una fibra con una resistencia a la tracción demasiado alta, un módulo de elasticidad demasiado alto o un anclaje deficiente no transferirá la fuerza del concreto a la fibra y finalmente se desprenderá. Esto dará como resultado un comportamiento estructural deficiente del concreto reforzado con fibras.

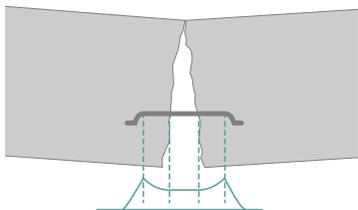


Figura 6.2.1.3: Distribución de tensiones de una fibra de acero que puentea una fisura en una matriz cementosa

Para utilizar la alta resistencia y el alto módulo elástico, las fibras de acero generalmente se producen con extremos en forma de gancho. Los ganchos evitan que las fibras se salgan demasiado pronto y ayudan a transferir la mayor cantidad posible de fuerzas del concreto a la fibra antes de que las fibras se salgan. Es deseable que el anclaje falle antes de que se alcance la resistencia a la tracción de la fibra; de lo contrario, el resultado es la ruptura de la fibra y una falla repentina del concreto.

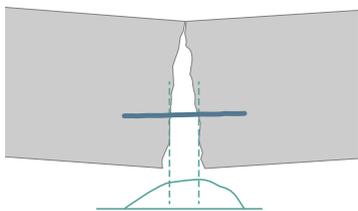
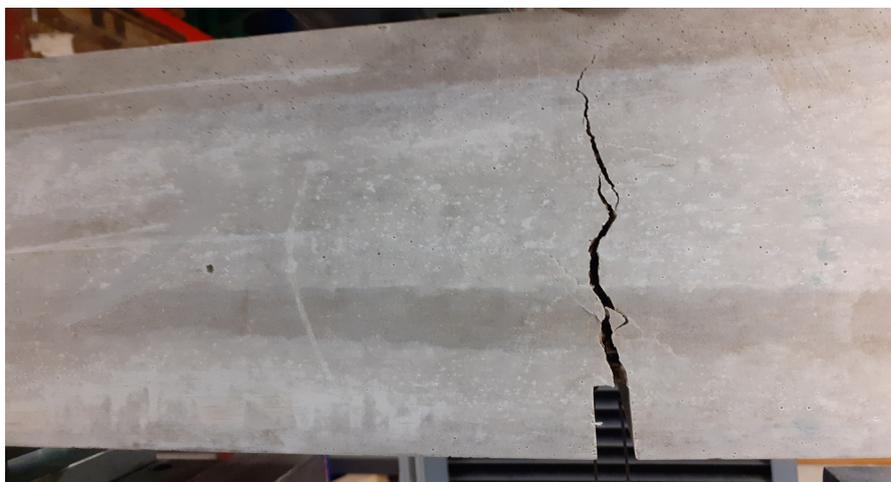


Figura 6.2.1.4: Distribución de tensiones de una macrofibra sintética que puentea una fisura en una matriz cementosa

El anclaje de macrofibras sintéticas funciona de manera diferente. Las macrofibras se suelen fabricar con una ondulación o con una superficie con relieve que da como resultado una resistencia constante durante el arranque de la fibra del concreto.

El diferente comportamiento de anclaje se puede observar con la prueba de tracción de una sola fibra. Esta es una sola fibra incrustada en una matriz cementosa y luego extraída en la dirección de la fibra.



6.3 PROPIEDADES MECÁNICAS

6.3.1 FIBRAS ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES

Las microfibras sintéticas ofrecen ventajas clave en el concreto en estado plástico y se utilizan en dosis relativamente bajas. Como tales, estas fibras tienen poco o ningún efecto sobre la resistencia a la compresión, tracción o flexión del concreto endurecido y generalmente se describen como fibras no estructurales. Las macrofibras sintéticas y de acero están diseñadas para mostrar el mejor rendimiento en el estado de concreto endurecido. Esto significa que el rendimiento del concreto reforzado con fibra generalmente se prueba después de 28 días. EN 14889 describe las fibras estructurales como aquellas que se añaden al concreto para contribuir a la capacidad de carga de un elemento de concreto.

6.3.2 FIBRA ESTRUCTURAL SEGÚN NORMAS EUROPEAS

Se debe demostrar que las fibras clasificadas como estructurales según EN 14889 alcanzan ciertos criterios de rendimiento en los ensayos de vigas. Se utiliza una prueba de viga de tres puntos para determinar la resistencia a la flexión residual de la viga. Los requisitos de rendimiento se definen en la cláusula 5.8 de EN 14889-1 y EN 14889-2.

El concreto de referencia se define en otra norma EN 14845-1 y tiene la intención general de comparar el rendimiento de las fibras de forma similar. El concreto de referencia suele ser diferente del concreto del proyecto y, en tales casos, la prueba de la viga se puede repetir para reflejar los requisitos del proyecto y optimizar el diseño.

CLÁUSULA 5.8 VIGENCIA SOBRE LA FUERZA DEL CONCRETO

El efecto sobre la resistencia se determina de acuerdo con EN 14845-2 utilizando un concreto de referencia conforme a EN 14845-1. La unidad de volumen de fibras en kg/m^3 . El fabricante declara que alcanza una resistencia a la flexión residual promedio de al menos 1,5 MPa a 0,5 mm CMOD (equivalente a una deflexión central de 0,47 mm) y una resistencia a la flexión residual promedio de al menos 1 MPa a 3,5 mm CMOD (equivalente a - hasta una deflexión central de 3,02 mm).

6.3.3 FIBRA ESTRUCTURAL SEGÚN NORMAS AMERICANAS

ACI 360R recomienda que un R_{e3} de resistencia residual mínima debe ser superior al 30% para diseñar una losa sobre terreno utilizando el método de línea de fluencia. Esto se basa en el análisis de redistribución de momentos y formaciones de rótulas plásticas en la losa.

6.4 CONCEPTOS DE DISEÑO

6.4.1 DISEÑO DE CONCRETO REFORZADO

El diseño de concreto armado para flexión utilizando la teoría de bloques de tensión muestra que cuando el concreto se agrieta, la fuerza de compresión es soportada por el concreto y la fuerza de tracción es soportada por la barra de refuerzo. No se considera la capacidad de tracción del concreto simple. El momento resistente de diseño de la sección armada debe ser mayor que el momento mayorado de la sección.

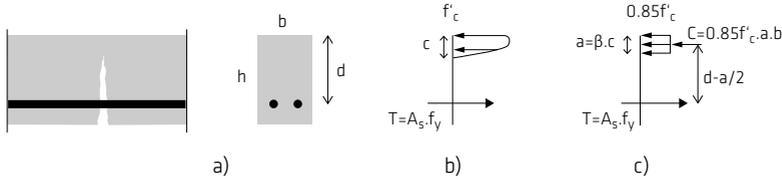


Figura 6.4.1: Esquemas del bloque de tensión para un elemento de flexión de concreto armado fisurado sin fibras: **a)** sección de viga de concreto armado; **b)** distribución real de las tensiones normales; **c)** distribución simplificada de tensiones normales.

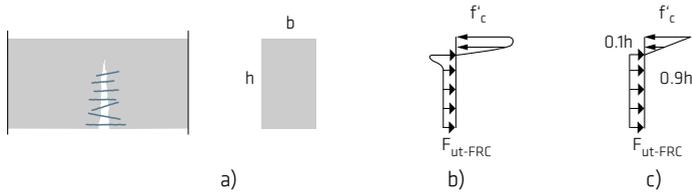


Figura 6.4.1.2: Esquemas del bloque de tensión para un miembro de flexión FRC fisurado: **a)** sección de la viga FRC; **b)** distribución real de las tensiones normales; **c)** distribución simplificada de tensiones normales.

ASTM C1609/C1609M

La capacidad de momento de una sección de FRC se determina utilizando el mismo método de bloques de tensión determinado por RILEM TC 162-TDF (2003) y Vandewalle (2003). El momento de flexión para la sección FRC se determina a partir de formulaciones contenidas en la norma ASTM C1609/C1609M. Para el estado límite último, la resistencia última a tracción del concreto fisurado se toma como 0,37 multiplicado por la resistencia residual $f_{\frac{150}{D}}$ o $f_{e,3}$. Estos parámetros se determinan a partir de pruebas en probeta ASTM C1609/C1609M. $f_{\frac{150}{D}}$ or $f_{e,3}$, corresponde a la resistencia residual a flexión del FRC a una flecha de $L/150$, siendo L la luz de la viga. Dependiendo de los requisitos de diseño y capacidad de servicio, el FRC se puede diseñar usando una deflexión más pequeña en la prueba de la viga usando $f_{\frac{600}{D}}$ para ganchos de grietas más pequeñas y SLS.

La resistencia a la flexión equivalente $f_{e,3}$ es la absorción de energía total, o tenacidad a la flexión, y se usa en lugar de $f \frac{I_{50}}{D}$ para diseñar secciones continuamente apoyadas.

Para satisfacer el diseño, la capacidad de momento de diseño del FRC debe ser mayor que la capacidad de momento mayorada de la sección.

SEGMENTOS DE TÚNEL

Los segmentos prefabricados se pueden diseñar utilizando el método de elementos finitos a partir de las recomendaciones contenidas en el Model Code 2010. Otra guía de diseño disponible es la Guía de ITAtech para segmentos de concreto reforzado con fibras prefabricadas - Volumen 1: Aspectos de diseño (ISBN: 978-2-9701013- 2-1). El objetivo del documento de ITAtech es ayudar a los ingenieros, contratistas y propietarios de túneles a comprender mejor los beneficios y las limitaciones del uso de FRC para dovelas de concreto prefabricado.

Los segmentos de los túneles suelen estar diseñados para soportar cargas de compresión. Esto se debe a que los segmentos del túnel, en servicio, están esencialmente comprimidos, a menos que las condiciones del terreno dicten que hay fuerzas de momento de flexión o de tracción. Donde solo hay compresión, generalmente se incluye acero reforzado para controlar el agrietamiento por contracción y para fortalecer el desmolde, el transporte y la colocación del segmento.

Ventajas para el fabricante de elementos prefabricados en la producción de dovelas de túnel sin refuerzo de malla de acero.

- No se requirieron dibujos detallados ni programas de doblado
- Sin fabricación del refuerzo de acero.
- No hay necesidad de almacenamiento voluminoso
- Menos riesgo de lesiones por manipulación
- Ahorro de tiempo en refuerzo de fijación
- Producción más rápida de segmentos.
- Se requiere menos vibración
- Un buen acabado superficial con fibras.



Para usar FRC con el fin de soportar estructuras en segmentos de túneles, el FRC debe satisfacer varios criterios basados en el límite de proporcionalidad y las resistencias residuales. Estos valores se toman de los ensayos de vigas según EN 14651.

$$f_{R1k}/f_{Lk} > 0.4 \quad \text{y} \quad f_{R3k}/f_{R1k} > 0.5$$

Aunque no es posible reemplazar completamente el refuerzo de acero solo con fibras, se pueden usar pruebas 1:1 a gran escala para verificar un diseño estructural. Las pruebas de investigación muestran que un refuerzo de acero reducido en combinación con fibras conduce a un aumento en la ductilidad en comparación con una opción de solo refuerzo.

Además, hay varias ventajas en el uso de macrofibras de PP como reemplazo parcial con una cantidad reducida de refuerzo.

- Aumento de las prestaciones estructurales combinando macrofibras de PP y acero tradicional de reforzamiento
- Llenado más rápido del molde y compactación más fácil, especialmente en el centro del segmento
- Mejor protección de los bordes durante el transporte de los segmentos
- Ningún efecto significativo en el tratamiento de la superficie

LOSAS SOBRE SUELO

Tradicionalmente, las losas de piso apoyadas en el suelo se han diseñado mediante métodos elásticos, utilizando ecuaciones desarrolladas por Westergaard en la década de 1920 y esto todavía se adopta ampliamente. Estos métodos de diseño tienden a ser conservadores y producen diseños de losas que son relativamente gruesos, lo que significa que la evaluación de las deflexiones y otros requisitos en servicio pueden no ser necesarios ser considerados.

A medida que se desarrollaron los métodos plásticos de análisis, las losas se volvieron más delgadas y se deben considerar otros factores como las deflexiones, la transferencia de carga a través de las juntas y el control de grietas así como la capacidad de carga de la losa.

El Technical Report 34 y ACI360R brindan una guía concisa relativa a los procedimientos de diseño de losas en el suelo, sin embargo, en general, el diseño de dichas losas depende principalmente de lo siguiente:

- Condiciones del terreno (valor k)
- Propiedades de la losa (geometría, juntas, material, propiedades)
- Cargas (estáticas, dinámicas, distribuidas uniformemente, cargas puntuales)

Una losa de concreto apoyada sobre un suelo rígido necesita transferir muchos menos momentos estáticos que una losa apoyada sobre un suelo débil. Una condición previa habitual para una losa es un suelo bien compactado que resulte en una mayor rigidez. Esto dará como resultado menos grietas causadas por las cargas aplicadas, pero no tiene en cuenta la contracción, la temperatura o las posiciones de las juntas.

6.5 SikaFiber® SOFTWARE

HERRAMIENTA LOSA SOBRE SUELO

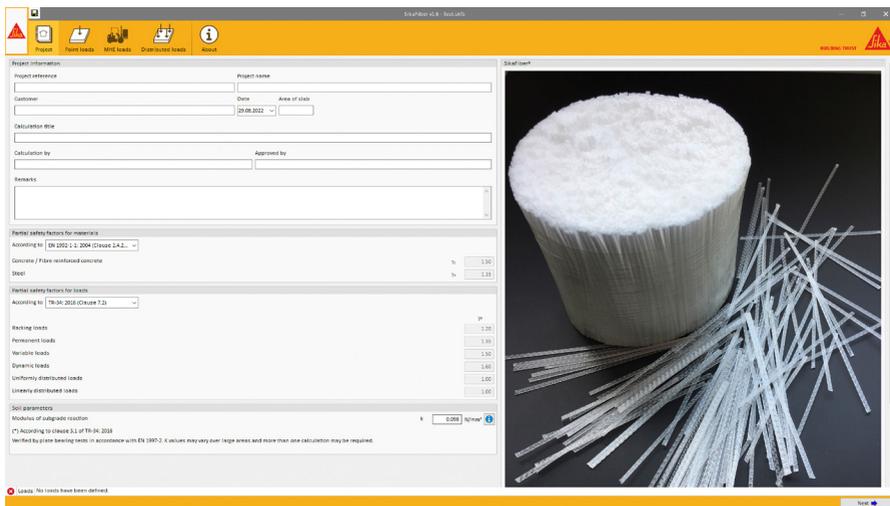
Sika® proporciona una herramienta de software patentada para diseñar losas apoyadas en el suelo reforzadas con fibras sintéticas o de acero. El software ha sido desarrollado de acuerdo con dos publicaciones.

- ✓ Informe técnico de The Concrete Society 34 Plantas bajas industriales de concreto: una guía para el diseño y la construcción
- ✓ The American Concrete Institute ACI 360Guía para el diseño de losas sobre suelo

Después de agregar la información del proyecto, las condiciones del terreno y las cargas, la herramienta de software ayudará al diseñador a determinar la dosis óptima de fibra para el espesor de losa requerido y grado de concreto.

CARACTERÍSTICAS DE LA HERRAMIENTA

- Procedimiento sencillo paso a paso
- Selección global de SikaFiber®
- Múltiples idiomas
- Unidades métricas o imperiales(ACI360R)
- Gráficos útiles
- Indicaciones de información útil
- Impresión en un formato corto o detallado



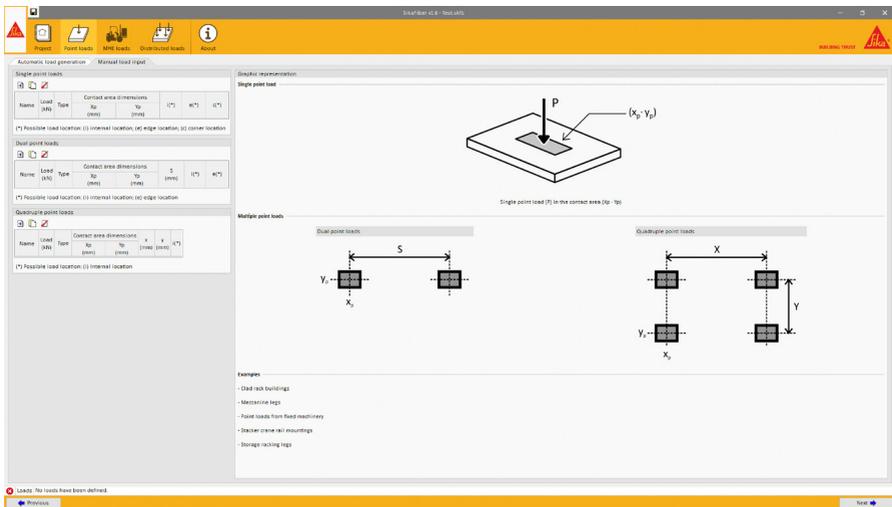
OPCIONES DE HERRAMIENTAS

Hay varias opciones que permiten al usuario personalizar diseños específicos.

- Factores de seguridad parciales estándar o definidos por el usuario
- Parámetro de suelo ajustable (factor k)
- Comprobación de carga en la proximidad de una junta o borde libre
- Valores de transferencia de carga modificables en juntas de borde y esquina
- Comprobación opcional de espacio entre juntas
- Clase concreto definido por el usuario
- Opción de añadir refuerzo de luz
- Opción para imprimir un resumen o una impresión larga

CARGAS

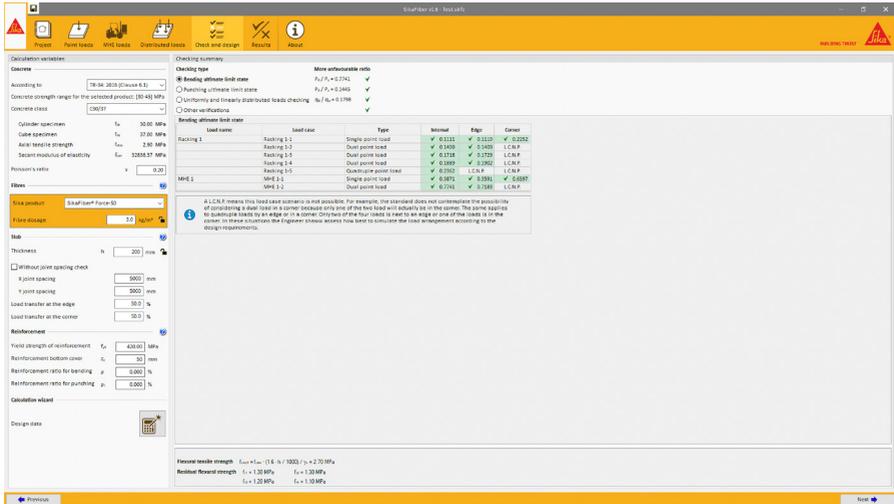
Seleccione opciones de cargas puntuales múltiples, equipo de manejo de materiales (MHE), cargas lineales o uniformemente distribuidas con la opción adicional de definir una carga en la proximidad de una junta.



RESUMEN DE COMPROBACIÓN

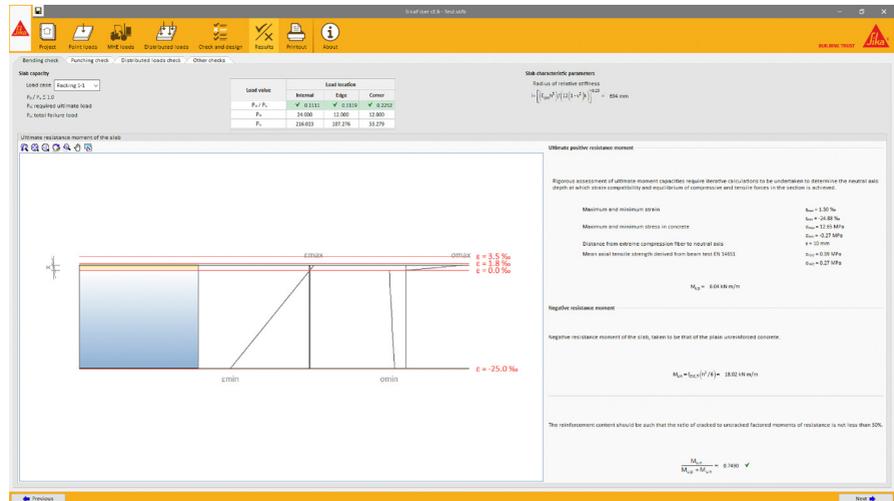
La pantalla de resumen de verificación proporciona una descripción general rápida y fácil de los resultados, indicando claramente dónde la losa excede la capacidad de diseño (rojo) o dónde el diseño cumple con los criterios de diseño (verde).

El Usuario puede optimizar el diseño de la losa ajustando los parámetros de diseño como el espesor de la losa, la calidad del concreto, la transferencia de carga o el tipo o dosificación de fibra.



RESULTADOS

Con un diseño válido, los resultados están disponibles para su visualización o impresión y las cifras de cada caso de carga se pueden ver con más detalle.



IMPRESIÓN

La herramienta de software tiene la opción de imprimir una versión resumida o detallada del diseño. Mostrará lo siguiente:

- Información del proyecto
- Cargas de entrada
- Cálculos para el peor caso de carga
- Tipo y dosis de SikaFiber®



SIKAFIBER® Product Proposal
FOR FIBER REINFORCED CONCRETE SLABS ON GROUND

PROJECT INFORMATION

Project reference:	ABC / 246820
Project name:	New Multi-Purpose Warehouse
Customer:	Your Customer Ltd
Date:	20/02/2020
Calculation title:	Warehouse A - Zone 1
Calculated by:	JM
Approved by:	
Remarks:	General loading + hatched L2 and 3 + UDL
Country:	Switzerland

PRODUCT INFORMATION

Product: **SikaFiber® Force-50**

Dosage: **3.0 kg/m³**

DESIGN SUMMARY

Design method: Concrete Society Technical Report 18 - Concrete Industrial Ground Floors, 6th Edition

Regulation: EN 1992-1-1, Eurocode 2: Design of structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings

Concrete class: C30/37

Slab thickness: h = 300 mm

Joint spacing: x = 5000 mm, y = 1000 mm

Modulus of rupture reduction: $\eta = 0.922$ N/mm²

LOADING SUMMARY

CHECKING TYPE	LOAD CASE	VALUE
Bending	Muscatine 1	0.9721
Bending (SIDE)	MUS 1	0.9500
Punching	Muscatine 1	0.8882
Uniformly distributed loads	Uniform load 1	0.2321
Linearly distributed loads	Linear load 1	0.1122



one reinforced concrete

$\sigma_{min} = 25.00 \%$

$\sigma_{max} = 2.50 \%$

$\sigma_{cr} = 0.00 \text{ MPa}$

at CMOCD 0.5

$f_{ct} = 2.32 \text{ MPa}$

$f_{ct,red} = 2.14 \text{ MPa}$

at CMOCD 0.5

$f_{ct} = 2.32 \text{ MPa}$

$f_{ct,red} = 2.14 \text{ MPa}$

at CMOCD 0.5

$f_{ct} = 2.32 \text{ MPa}$

$f_{ct,red} = 2.14 \text{ MPa}$

area strength of concrete

$f_{ct} = 2.32 \text{ MPa}$

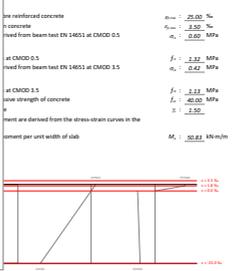
$f_{ct,red} = 2.14 \text{ MPa}$

$\eta = 0.92$

point are derived from the stress-strain curves in the

concrete per unit width of slab

$M_s = 30.81 \text{ kN.m/m}$



AVAILABLE FROM DATA

Optimizing the fresh and/or hardened properties of concrete using plasticizers, water reducers, accelerators, retarders, air-entrainment, shrinkage reducers, and/or concrete admixtures

Sika ViscoFlow®, ViscoCrete®, SikaControl®, FerroGuard®, SikaFiber®

For use with unfavourable aggregates and protecting equipment from excessive wear. Maintains internal cohesion

SikaPump® Sika® Stabilizer

Excess aggregate or bleed penetrating the slab from premature drying

Armitex®, Sika® UltraSeal

Preventing curl from lifting the joints, accommodating movements and protecting the edges during shrinkage joint casting

Sika® Seperator

Preventing curl from lifting the joints, accommodating movements and protecting the edges during shrinkage joint casting

Sika® Control® SikaFlow®

Improve slab life span by impregnating the surface or by forming a monolithic layer

SikaFiber®, SikaDuro®

Increase resistance against mechanical and chemical attack



σ_{min} - Minimum strain

σ_{max} - Maximum strain

σ_{cr} - Minimum stress

σ_{ct} - Maximum stress

h - Distance from extreme compression fiber to neutral axis

M_s - Negative resistance moment per unit width of slab

The negative moment of the slab is taken to be that of the plain unreinforced concrete.

$M_s = f_{ct,red} \cdot (W^2)$

h - Slab thickness

f_{ct} - Design concrete flexural tensile strength

$f_{ct,red} = f_{ct} \cdot (1.8 - 1/1000) \geq f_{ct}/1.7$

f_{ct} - Mean axial tensile strength

η - Partial safety factor for material

$\eta = 0.900$

$f_{ct} = 2.32 \text{ MPa}$

$f_{ct,red} = 2.14 \text{ MPa}$

$\eta = 0.92$

7 APLICACIÓN EN CONCRETO

7.1 LOSAS EN SUELO / TERRENO

las losas empotradas y las losas apoyadas en el suelo tienen una cosa en común, y es que el suelo directamente debajo de la losa es la base. Es un principio similar a la cimentación de un muro tradicional donde las cargas se transfieren a través del concreto a un suelo adecuadamente estable. Las losas sobre terreno no deben confundirse con losas suspendidas, postensadas o flotantes donde los conceptos de diseño son diferentes. Si bien puede haber tierra debajo de este tipo de losas, la tierra puede ser susceptible de asentamiento o movimiento o pueden no ser lo suficientemente fuertes para soportar las cargas. Existen diferentes interpretaciones de losas y soleras flotantes, por lo que, en última instancia, la definición de una losa sobre el terreno depende del concepto de diseño estructural y de cómo se transfieren las cargas a un estrato de soporte adecuado.



USOS

- Doméstico, pisos comerciales o industriales
- Losas agrícolas
- Pavimentos y altas exigencias
- Carreteras
- Soleras y superposiciones

BENEFICIOS

El concreto reforzado con fibra es una alternativa ideal al refuerzo de acero tradicional en losas apoyadas en el suelo donde el propósito del refuerzo es controlar el agrietamiento por contracción plástica. No importa dónde aparezca la primera grieta, las fibras siempre están en la ubicación correcta. Hay varias razones clave por las que el uso de concreto reforzado con fibra ha aumentado en las últimas décadas.

- Para simplificar el proceso de construcción.
- Para acortar los tiempos de construcción
- Para mejorar la salud y la seguridad
- Para hacer ahorros de costos significativos
- Refuerzo tridimensional

SELECCIÓN DE FIBRA

La elección de las fibras también puede depender de la disponibilidad del producto.

Tipo de fibra	Micro - monofilamento	Micro-fibrilada	Macro PP	Macroacero
Tipo de losa	Estructural/No Est.	Estructural/No Est.	Estructural/No Est.	Estructural
Consideraciones	Temperaturas Humedad Viento	Temperaturas Humedad Viento	Cargas Condiciones ambientales	Cargas Condiciones ambientales
Aplicación	Residencial Comercial ligero	Residencial Comercial	Comercial Industrial	Industrial
Producto	SikaFiber®-618 PPM SikaFiber®-1218 PPM SikaFiber®-6 PPM SikaFiber®-12 PPM	SikaFiber®-6 PPF SikaFiber®-12 PPF	SikaFiber® Force-50	Consulte a Sika local
Dosis referencial ^[1]	0.6 – 1.0 kg/m ³ 1.0 – 1.5 lb/yd ³	0.9 – 1.2 kg/m ³ 1.5 – 2.0 lb/yd ³	3 – 6 kg/m ³ 5 – 10 lb/yd ³	20 – 40 kg/m ³ 34 – 67 lb/yd ³

^[1] consulte la hoja de datos del producto correspondiente para guía

SOLICITUD

El costo de un metro cúbico de concreto FRC va a ser más alto que el de un concreto sin fibra, por lo que hay que considerar el costo adicional del concreto por parte del productor, que dependerá en varios factores.

- El tipo de fibra y la cantidad
- Método de dosificación
- Diseño de mezcla
- Gastos de operación

Pasos principales	Diseño estructural	Pedidos	Transporte	Descarga
				
Refuerzo de acero	Cálculos y especificación de concreto. Dibujos y programación	Pedido realizado con acerofabricante. Plomoveces.	El acero pesado voluminoso puede requerir la entrega de más de un camión para el trabajo.	Refuerzo de almacenamiento en el sitio. Se requiere equipo de elevación.
Concreto reforzado con fibras	Cálculo de FRC	Pedido de concreto con planta dosificadora		



50% TIEMPO AHORRO



20% DE AHORRO

Ahorros típicos en un proyecto

- Costos de diseño y detalles
- Costos de transporte
- Costos laborales
- Equipo de bombeo



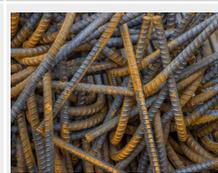
Puede ser necesario que el productor de concreto ajuste la curva de áridos o agregue algún plastificante adicional para compensar la trabajabilidad. El productor de concreto también puede agregar un cargo por manejo si las fibras se agregan en la planta, o si las fibras se agregan en el sitio, puede haber un excedente si los camiones permanecen más tiempo en el sitio. Los mayores ahorros al cambiar de un diseño de refuerzo tradicional a FRC se encuentran principalmente en

el sitio de trabajo, donde el costo adicional del concreto se compensa al eliminar la necesidad de manipular, colocar y fijación de las barras y mallas de acero, así como la reducción de la cantidad de mano de obra.

EJEMPLO

Sustitución de armadura de malla «ligera» de 3 kg/m² medidas 2.4 x 4.8 m.

- El espesor de la losa es de 150 mm
- Tamaño de losa 1000 m²
- Peso por placa ~35kg
- Se requiere un refuerzo de 3,10 kg/m² teniendo en cuenta las longitudes de los traslapes
- 3.100 kg de refuerzo de acero voluminoso total requerido
- Dosificación fibra PP 4 kg/m³
- 600 kg de fibras totales requeridas

Preparación	Colocación	Concreto	Refinamiento
			
<p>Se requiere mano de obra calificada para medir, cortar y doblar el acero de refuerzo. separadores y accesorios de fijación.</p>	<p>Levante de la malla en su lugar. Buena cobertura con concreto.</p>	<p>Los camiones de concreto no pueden conducir sobre refuerzo preparado y equipo de bombeo puede ser requerido.</p>	<p>Chatarra en exceso de material o devolución de refuerzo no utilizado a las obras.</p>
		<p>Maniobra camión de concreto al punto de colocación.</p>	

Otras ventajas

- Las fibras rellenan bordes, esquinas y formas difíciles
- Mejor cohesión del concreto y menos sangrado.
- Mejor distribución de la deformación en la losa
- Área de almacenamiento para refuerzo de acero no requerido en el sitio de construcción
- Refuerzo tridimensional

JUNTA DE LOSAS

Cuando se trata del espaciado de las juntas de movimiento, cada país puede tener sus propias reglas, orientación, requisitos y, lo que es más importante, experiencia. En principio, el objetivo de las juntas es acomodar la contracción, el movimiento de expansión y minimizar el riesgo de agrietamiento visual no deseado. Una junta también debe ser capaz de transferir carga de una losa a otra. El tipo de junta y espaciado depende de varios factores, incluyendo pero no exigido como:

- Diseño de mezcla de concreto
- Cantidad de contracción por secado en el cambio de volumen/concreto
- Cambios de temperatura/movimiento térmico
- El tamaño y el diseño de la losa.
- Cargas planificadas/uso y grado de tráfico
- Método de diseño
- Espesor de losa
- Restricciones de losa (p. ej., engrosamientos de losa, esquinas, reentrantes, etc.)
- Humedad de la subrasante
- Proceso de construcción
- Curado



El ancho de una junta está influenciado por la contracción del concreto, el espacio entre juntas y el movimiento térmico. El espacio entre juntas extendido puede dar como resultado un mayor movimiento en cada junta y, por lo tanto, un riesgo de grietas en el panel medio y juntas más anchas. Hay diferentes tipos de juntas que se pueden usar para minimizar el potencial de agrietamiento. El diseño, selección y posicionamiento de las juntas es responsabilidad del Ingeniero o proyectista. No están dentro del alcance de este manual y existen varios documentos de orientación donde el lector puede encontrar más información.

- Technical Report 34, Plantas Bajas Industriales de Concreto, Una Guía para el Diseño y Construcción - Capítulo 11
- American Concrete Institute ACI 360R Guía para el diseño de losas sobre suelo Capítulo 6
- American Concrete Institute ACI 223R Práctica estándar para el uso de concreto con compensador de retracción

Una alta contracción por secado es una de las principales razones del agrietamiento. El uso de los aditivos reductores de la contracción de Sika SikaControl® SRA, junto con las fibras, se utilizan para obtener un concreto de baja retracción.

7.2 REVESTIMIENTOS DE TÚNELES



Durante los últimos 30 años, una serie de graves incendios en túneles ha puesto de manifiesto las debilidades del concreto de alta resistencia cuando se expone a altas temperaturas. Investigaciones posteriores sobre tales incendios e investigaciones han revelado que, durante la exposición a altas temperaturas, el concreto de alta resistencia era extremadamente susceptible al daño por Desconchado explosivo causado por la acumulación de presiones de vapor internas.

El desconchado del concreto o spalling se describe generalmente como piezas, fragmentos o capas que se desprenden del concreto cuando se exponen a las altas y rápidas temperaturas que aumentan durante los incendios. El spalling se puede clasificar en tres tipos principales.

1. SPALLING SUPERFICIAL

El spalling de la superficie afecta a los agregados en la superficie del concreto, por lo que pequeñas piezas de concreto de hasta 20 mm de tamaño se desprenden gradualmente y sin violencia de la superficie durante la primera parte del fuego. Esto suele ser causado por la fractura de piezas de agregado debido a cambios físicos o químicos a altas temperaturas. En el caso del desconchado superficial, la degradación del concreto es relativamente lenta e implica la deshidratación de la matriz de cemento seguida de la pérdida de adherencia entre el árido y la matriz.



2. RUPTURA DE ESQUINAS

En las últimas etapas de exposición al calor, cuando el concreto se ha agrietado, las esquinas y los bordes debilitados del concreto comienzan a romperse.

3. SPALLING EXPLOSIVO

Esta es sin duda la forma más peligrosa de desconchado y ocurre durante los primeros 20 - 30 minutos de un incendio cuando la temperatura en el concreto está en el rango de 150 - 250°C. Las teorías sobre cómo y por qué ocurre el desconchado explosivo se basan predominantemente en el movimiento de la humedad. A medida que aumenta la temperatura del concreto, la humedad del concreto cambia a vapor de agua. Si no puede escapar de la masa de concreto, este vapor crea un aumento dramático en la presión dentro del concreto. A medida que continúa este proceso, la presión de vapor aumenta hasta el punto en que supera la capacidad de tracción del concreto, causando que grandes pedazos de concreto sean violenta y explosivamente desalojados del elemento. A medida que el concreto remanente subsiguiente se presenta al fuego, puede ocurrir un desprendimiento explosivo progresivo en la estructura de concreto.



FACTORES QUE INFLUYEN EN EL SPALLING

Muchos factores influyen en el grado de desconchado explosivo del concreto. La construcción de hoy a menudo requiere resistencias de concreto mucho más altas que las que se usaban hace 40 años. Mientras que el concreto de alta resistencia proporciona una mayor resistencia a la compresión, un mayor módulo de elasticidad, una mayor resistencia a la tracción y una mayor durabilidad que el concreto de resistencia normal, también aumenta la densidad del concreto. Este aumento de la densidad es una de las razones clave por las que el desprendimiento por explosivos se ha vuelto más prominente en los últimos 30 años. Cuando se utiliza concreto más permeable y se produce un incendio, la humedad puede escapar rápidamente de

la fuente de calor debido a su mayor porosidad y se minimiza la acumulación de presiones de vapor.

En el concreto denso/de alta resistencia, el escape de la humedad se bloquea debido a los cambios en la estructura de los poros, la humedad queda efectivamente atrapada y comienza a generar vapor sobrecalentado y mayores tensiones internas que contribuyen al desprendimiento explosivo. Esta es la razón principal por la que las microfibras de PP se especifican para muchas aplicaciones de concreto de alta resistencia y estructuras prefabricadas en la actualidad.

Otros factores que contribuyen al potencial de spalling del concreto incluyen:

- Rasa de calentamiento
- Presencia de refuerzo continuo
- Cargas
- Propiedades de expansión de los agregados

Todo lo anterior debe considerarse cuidadosamente al especificar un diseño de mezcla de concreto. En muchos proyectos importantes de túneles, la elección del agregado a menudo se limita a los materiales fácilmente disponibles en una ubicación específica, lo que significa que no es posible especificar un agregado con propiedades de baja expansión térmica.

SELECCIÓN DE FIBRA

El uso de microfibras de PP para la protección pasiva contra incendios se especifica en función de las experiencias de proyectos similares, las normas disponibles o las pruebas a escala 1:1. La dosificación correcta de microfibras de PP para la protección pasiva contra incendios debe tener en cuenta las especificaciones concretas y una evaluación del riesgo de incendio.

Las pruebas de fuego a gran escala a menudo se consideran la única forma de determinar la dosis correcta de fibra para un diseño de mezcla de concreto específico. Norma Europea EN

1992 Eurocódigo 2 Apartado 6.1 se refiere al uso de 2 kg/m³ de microfibras de polipropileno monofilamento PP para el control del spalling en concretos de alta resistencia. Muchos ingenieros pueden seguir esta recomendación para evitar la necesidad de costosas pruebas de incendio sabiendo que esto ha demostrado su desempeño en muchos proyectos terminados.

Esto no detiene el uso de especificar dosis más bajas, pero se requiere una cuidadosa consideración de los requisitos y pruebas a gran escala. Cuando se han llevado a cabo dichas pruebas, las tasas de dosificación de entre 1,0 y 1,5 kg/m³ han demostrado ser satisfactorias para algunos proyectos de túneles.

Las pruebas de fuego iniciales a pequeña escala proporcionarán algunos datos de rendimiento indicativos, útiles para hacer la selección inicial de materiales. Debe decidirse si tal escenario reproducirá completamente la situación en un incendio real y proporcionará la calidad o el rango de datos que se obtendrán por la prueba a gran escala.

Todos los componentes del diseño de la mezcla de concreto deben seleccionarse cuidadosamente. El efecto general del tipo de fibra y la dosis sobre la trabajabilidad del concreto, el contenido de aire y la resistencia también deben evaluarse cuidadosamente antes de realizar la prueba de fuego.

Los ensayos de concreto deben realizarse como mínimo 90 días después de la preparación de las probetas, de modo que la mayor parte del agua se haya utilizado en el proceso de hidratación.



Tabla 7.2.1: Ejemplo de diseño de mezcla de concreto con resistencia pasiva al fuego

	Concreto referencial	Concreto con protección pasiva contra incendios
Cemento	320 kg/m ³	320 kg/m ³
Relación a/c	0.5	0.5
Agregados	0-32 mm	0-32 mm (piedra caliza, sin cuarzo)
Sika® ViscoCrete®	0.8 %	1.1 %
SikaControl® AER (opcional)		0.2 %
SikaFiber®-12 PPM		2.0 kg/m ³

SOLICITUD

Los ensayos de fuego a gran escala se utilizan para verificar el comportamiento estructural de los elementos de concreto en condiciones de fuego y carga. Además del calor, el concreto se carga estructuralmente para replicar las condiciones de servicio en el lugar.

Para proyectos importantes, las pruebas de fuego a gran escala generalmente se requieren en una especificación de proyecto.

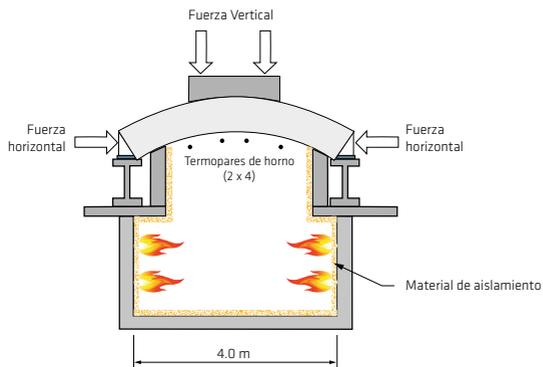


Figura 7.2.3: Configuración de prueba típica para probar el segmento del túnel en condiciones cargadas de fuego

Los resultados de una prueba de fuego se interpretan en,

- Un control óptico si hay desconchado explosivo en la superficie de concreto
- Medición de la profundidad del desconchado superficial
- Tiempo hasta que se produce el primer desconchado
- Desarrollo de temperatura a diferentes niveles dentro del espécimen (incluida la temperatura en la barra de refuerzo de acero incrustada)

Tabla 7.2.2: Resumen de los resultados de la prueba de fuego en un segmento de túnel usando SikaFiber®-12 PPM

Muestra	Spalling máximo en rejilla de 20 x 20 cm	Profundidad media de spalling en rejilla de 20 x 20 cm	Profundidad media de spalling sobre todo el espécimen
Referencia sin fibras	20 mm	15 mm	18 mm
Concreto de referencia con 2.0 kg/m ³ SikaFiber®-12 PPM	0 mm	0 mm	0 mm

En las pruebas, el concreto simple exhibió una pérdida significativa en la sección debido al desconchado explosivo debido a la rápida penetración del calor a través del concreto. El uso de una dosis de 1,5 kg/m³ de microfibras de PP redujo la profundidad del desconchado y la penetración del calor. Mientras que con 2 kg/m³ de SikaFiber®-12 PPM no hubo desconchado del concreto y la temperatura máxima registrada a 50 mm de profundidad desde la superficie fue de 170°C después de 60 minutos.

Temperatura en concreto a 50 mm de la superficie

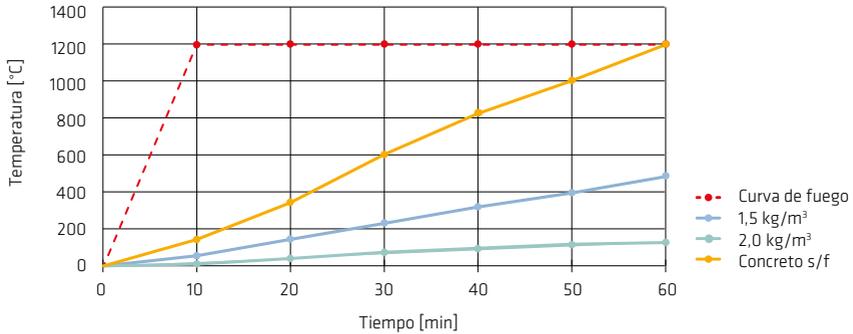
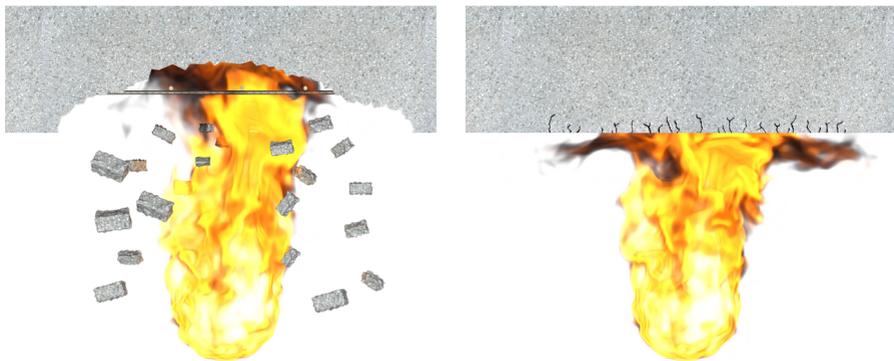


Figura 7.2.4 Mediciones de temperatura del mismo concreto a 50 mm de profundidad cuando se expone a una curva de fuego RABT-ZV (tren)

Los resultados de las profundidades de desconchado y la penetración del calor pueden variar dramáticamente dependiendo de la calidad del concreto y la curva de carga de fuego. Por lo tanto, es esencial que todos los proyectos importantes especifiquen claramente una curva de fuego adecuada de acuerdo con las evaluaciones de riesgo y parámetros de rendimiento claros, como las profundidades de desconchado máximas permisibles y el desarrollo de temperatura.



7.3 SOPORTE DE ROCAS

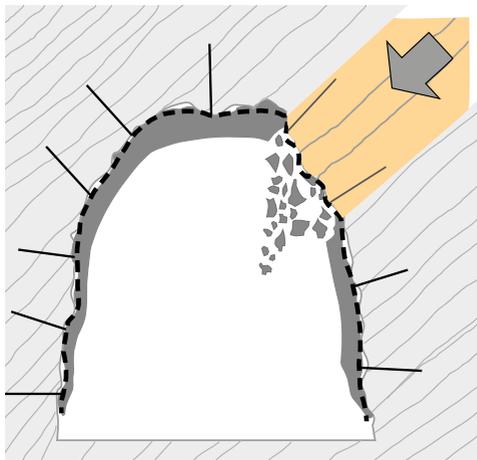
El concreto proyectado, o shotcrete, se refiere a un método de proyección de concreto sobre una superficie a alta velocidad. El concreto proyectado se puede utilizar en una amplia variedad de aplicaciones, incluidas piscinas, estabilización de taludes, silos y canales de riego.



En tunelería y minería se utiliza principalmente como estabilizador de rocas y taludes. Las principales ventajas del concreto proyectado son que el concreto se endurece en poco tiempo y no necesita encofrado.



El tejido de malla de acero tradicional (SWF) se usa normalmente para reforzar rocas o pendientes, pero debe cortarse minuciosamente y fijarse en su posición antes de que se pueda proyectar el concreto. El operador de la boquilla requiere atención adicional para asegurarse de que el SWF esté completamente cubierto por el concreto proyectado. Si esto no se logra, el concreto proyectado no funcionará como se requiere y la durabilidad a largo plazo puede verse reducida.



Es bien conocido por la mecánica estructural simple que el concreto es más débil en tensión y necesita refuerzo para soportar cualquier aumento en la capacidad de carga de tracción. Una pendiente del terreno o superficie excavada no es perfectamente lisa o contorneada. SWF se fija a un sustrato lo mejor posible, a veces se fija directamente sobre la superficie o lejos de ella. Esto significa que si las fuerzas de tracción del movimiento del suelo en el concreto son en la cara frontal del concreto, y la malla está ubicada en la parte posterior, entonces el concreto y el SWF no funcionarán de manera combinada. El concreto proyectado se agrietará y se desprenderá, lo que a veces causa un peligro para las aplicaciones elevadas.

El refuerzo de fibra se ha utilizado en el concreto proyectado durante más de cincuenta años y, desde entonces, la tecnología y el rendimiento han mejorado enormemente, especialmente en el campo de las macrofibras de PP, que ahora se consideran una alternativa práctica, segura y económica al SWF. El concreto proyectado reforzado con fibra proporciona buenos beneficios de rendimiento y permite que las operaciones de construcción avancen mucho más rápido que la instalación de SWF tradicional. Las fibras tienen la ventaja de estar distribuidas uniformemente en toda la sección transversal del concreto, lo que significa que cuando se aplican esfuerzos desiguales al concreto, siempre habrá fibras en la zona de debilidad.



BENEFICIOS

El uso de fibras en el concreto proyectado es ampliamente aceptado ya que los ingenieros, contratistas y propietarios reconocen las ventajas de las fibras para reemplazar total o parcialmente el SWF. Hay numerosos beneficios de usar fibras en lugar de SWF para aplicaciones de minería, túneles y soporte de tierra.

Los beneficios de usar fibras

- Condiciones de trabajo más seguras
- Proceso de solicitud más rápido
- Las fibras se distribuyen homogéneamente en el concreto
- Las fibras son añadidas al concreto en la planta dosificadora
- Reducción del rebote
- Reducción de residuos
- Reducción de vacíos Reduction of voids

El ahorro de costos asociado con el cambio de SWF a fibras.

- **Transporte** – No es necesario pedir y transportar SWF al lugar de trabajo
- **Almacenamiento** – No es necesario reservar áreas alrededor del lugar de trabajo para almacenar el SWF
- **Mano de Obra** – Dependiendo de factores locales como la ubicación del proyecto, el acero y los costos de mano de obra, etc. aproximadamente un 25 % de ahorro en mano de obra por no tener los desafíos de fijar SWF a un sustrato
- **Tiempo** – No tener que fijar hojas de SWF al sustrato
- **Rebote** – La cantidad de rebote causada por el concreto proyectado que hace vibrar el SWF es aproximadamente un 20 % mayor que la aplicación de FRC. Esto significa que normalmente se requiere un 20 % más de concreto para SWF y el otro 20 % debe eliminarse como desecho
- **Materiales** – El concreto FRC proyectado no requiere una cobertura SWF mínima, lo que permite el concreto proyectado seguir los contornos del sustrato

SELECCIÓN DE FIBRA

Las fibras de acero se han utilizado en túneles y minería durante muchos años y la eficiencia se ha mejorado con el uso de sistemas de dosificación de fibras. Sin embargo, hay desventajas para el uso de fibras de acero.

- **Abrasión:** las fibras de acero aumentan los costos de desgaste en la maquinaria de mezcla y proyección.
- **Puntas en superficie:** las fibras de acero que sobresalen pueden dañar las capas de impermeabilización
- **Puntas en superficie:** la manipulación manual de las fibras de acero provoca lesiones en la piel
- **Corrosivo:** el acero expuesto se corroe en presencia de aire y agua.
- **Rendimiento:** magnetismo de las fibras pueden provocar problemas en la minería

Las macrofibras de PP son una alternativa ideal porque son más ligeras, se dosifican en menor cantidad y pueden alcanzar criterios de rendimiento similares a las fibras de acero. En dosificaciones normales, las macrofibras de PP pueden soportar cargas a mayores deformaciones. Esto proporciona un factor de seguridad importante en la excavación de túneles y la minería cuando comienzan a abrirse grietas en el concreto. Existen buenas razones para considerar las macrofibras de PP como alternativa.



- Manipulación: menos peso para transportar y mezclar planta
- Manipulación: fáciles de manejar , pucks ligeros envueltos en una película soluble
- Manipulación: los pucks funcionan en equipos de dosificación
- Abrasión: menos desgaste de la maquinaria
- No corrosivo: no se corroe
- Rendimiento: las fibras que sobresalen no representan un peligro para las capas impermeabilizantes
- Rendimiento: cargas sostenidas más altas en deformaciones más amplias

La cantidad de fibras se basa en una prueba que determina la cantidad de energía absorbida por la placa de concreto y es medido en Joules. La cantidad de Joules requeridos por la prueba primero debe determinarse a partir de cálculos geotécnicos.

Hay dos métodos de prueba principales para determinar la absorción de energía.

- EN 14488-5 Ensayo de concreto proyectado. Determinación de la capacidad de absorción de energía de probetas de losas reforzadas con fibras
- ASTM C1550 Tenacidad a la flexión del concreto reforzado con fibras

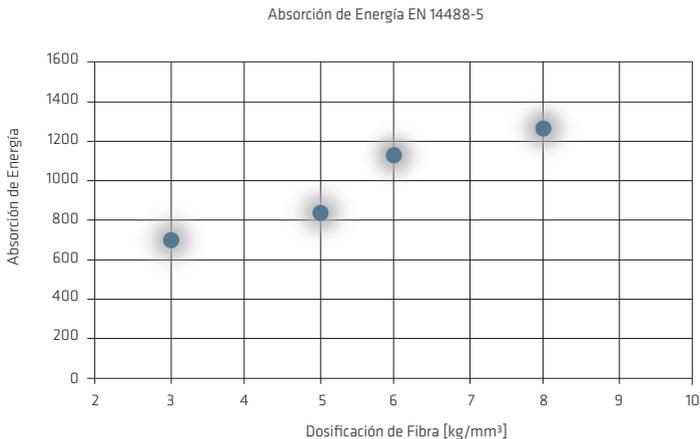


Figura 7.3.1: Dosificación de ejemplo de SikaFiber® Force-60 con un diseño de mezcla de concreto proyectado para lograr clases de energía de absorción según EN 14488-5T-ZV (Tren) curva de fuego

Tabla 7.3.1: Dosificación indicativa de fibras sintéticas y de acero para lograr clases de absorción de energía EFNARC

Clase de absorción de energía	Joules (Deflexión de 25 mm)	Dosis de fibra (kg/m ³)	
		Macrofibras de PP	Fibras de acero
E 500	500	3 a 4	20 a 25
E 700	700	5 a 6	25 a 35
E 1000	1000	> 7	> 35

Cuando se especifica la absorción de energía, es importante entender el grado de apertura de grietas requerido para la aplicación y relacionarlo con los resultados. Por ejemplo, si hay un revestimiento final, puede ser importante minimizar el ancho de la abertura de la grieta. Por lo tanto, el tipo y la dosificación de las fibras deben soportar cargas más altas con pequeñas deformaciones. En minería o tunelería, o para soporte de rocas, puede ser más importante tener un comportamiento dúctil mejorado del concreto proyectado, por lo tanto, el tipo y la dosis de fibras deben ajustarse y lograr cargas más altas en aberturas de grietas más anchas. Debido a las diferentes características de anclaje, número de fibras y mayor módulo elástico, las fibras de acero muestran un mayor rendimiento en pequeñas aberturas de grietas y las macrofibras de PP muestran una capacidad de carga mucho mejor en grietas de más grandes aberturas.

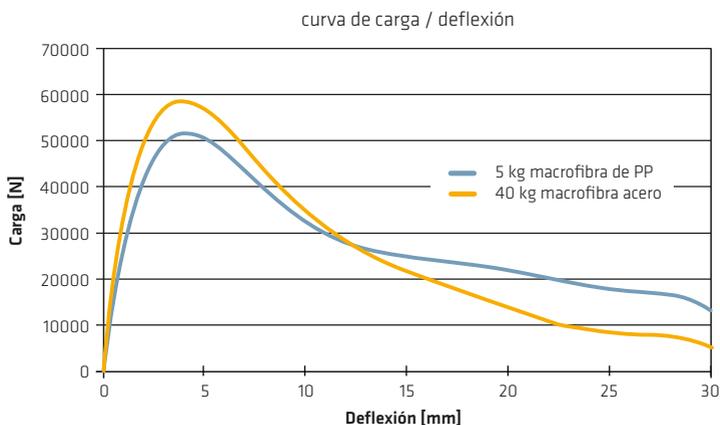


Figura 7.3.2: Comportamiento típico de deflexión de carga de PP y macrofibras de acero en una prueba de absorción de energía EN14487-5

Tabla 7.3.2: Ejemplos de diseño de mezclas para concreto proyectado.

	Concreto referencia	Concreto para concreto proyectado
Cemento	400 - 500 kg/m ³	400 - 500 kg/m ³
Relación a/c	0.45 - 0.5	0.45 - 0.5
Agregados	0 - 8 mm	0 - 8 mm
Sika® ViscoCrete®	0.8 - 1.2 %	1.0 - 1.5%
Sika® Sigunit®	5 - 8% (libre de álcalis)	5 - 8% (libre de álcalis)
SikaFiber® Force-60		4 - 8 kg/m ³



Para más información consulte el Manual de Concreto Proyectado de Sika

7.4 FABRICACIÓN DE PREFABRICADOS DE CONCRETO



El concreto prefabricado es una forma eficiente de construir estructuras porque los elementos pueden ser prefabricados en un proceso de calidad y entregados en el sitio de construcción a tiempo para ser instalados. Las fibras son ideales para mejorar el proceso de fabricación porque brindan resistencia al agrietamiento, reemplazan total o parcialmente el refuerzo de acero y aumentan la durabilidad. Esto puede generar importantes ahorros en los costos de la fijación de acero y ayudar a reducir la cantidad de elementos rechazados, dañados durante la remoción del encofrado y transporte.

USOS

- Paneles de pared
- Losas de pavimento
- Revestimiento Exterior
- Muros
- Travesías de ferrocarril
- Bloques de jersey
- Cormigón de tubos y productos auxiliares
- Alcantarillas de caja
- Tanques sépticos
- Pilas
- Segmentos de túnel

BENEFICIOS

Hay múltiples beneficios de usar FRC en la industria del concreto prefabricado

FABRICACIÓN

- Aumentar las resistencias tempranas que permiten el retiro temprano del encofrado
- Reducir los tiempos de vibración y aplicación.
- Reducción de grietas por contracción
- Sustitución de armaduras de acero en elementos prefabricados ligeros
- Reemplazo parcial del refuerzo de acero para elementos estructurales
- Optimice la productividad

VIDA DE SERVICIO

- Aumento de la resistencia a la abrasión e impacto
- Reducción de la permeabilidad
- Aumento durabilidad

TRANSPORTE

- Protección de bordes y esquinas durante el transporte, la manipulación y el almacenamiento

SELECCIÓN DE FIBRA

Reemplazar la malla secundaria o ligera con FRC tiene muchas ventajas. Desde una perspectiva de ahorro de costes, el concreto reforzado con fibra elimina la necesidad de cortar, doblar, colocar y fijar el refuerzo de acero. Esto tiene la ventaja general de aumentar la productividad.

Microfibras de PP son una opción fácil y económica para agregar valor a la fabricación de prefabricados.

Fibras de acero se puede utilizar para aumentar la resistencia mecánica y la ductilidad. Sin embargo, las fibras expuestas en la superficie al aire y al agua comenzarán a corroerse. Esto puede conducir a temas estéticos en en la superficie.

Macrofibras de PP se puede utilizar para aumentar la resistencia mecánica y la ductilidad y tiene el beneficio adicional de no corroerse.



APLICACIÓN

Reemplazar el refuerzo de acero tradicional depende en gran medida del propósito para el que se especificó originalmente el refuerzo. Si bien el refuerzo de fibra puede influir en la capacidad de momento del concreto, no tiene el mismo efecto que el refuerzo de acero estructural. Por esta razón, cuando los elementos prefabricados están sujetos a grandes momentos de flexión, es poco probable que el refuerzo de acero pueda reemplazarse totalmente con FRC. Aunque, hay potencial para usar la capacidad de momento lograda con FRC para reducir el área de la sección transversal del acero, al usar fibras, el concreto se beneficiará de varias ventajas de FRC, como el impacto, resistencia y durabilidad.

El refuerzo secundario, como el tejido de alambre soldado de acero (SWF), se utiliza para minimizar el ancho de las grietas debido a la expansión, contracción y contracción térmicas. El refuerzo secundario se utiliza esencialmente para mantener unido el concreto una vez que se han producido fisuras y no se considera que contribuya al comportamiento estructural del elemento de concreto. En tales casos, es completamente factible reemplazar este refuerzo con una solución de solo fibra. Todavía se debe tener cuidado donde los elementos prefabricados tienen esquinas reentrantes, aberturas o receptáculos de elevación, ya que estos son lugares donde es más probable que ocurran grietas y aún pueden necesitar una solución de refuerzo de acero.

La preparación del refuerzo de acero en elementos prefabricados puede consumir mucho tiempo y, a menudo, genera costos significativos, ya que la geometría de muchas unidades pueden ser bastante complejas.



7.5 CONCRETO BOMBEADO



El concreto bombeado se utiliza generalmente cuando no es posible que los camiones hormigoneros descarguen el concreto en un punto de aplicación, o cuando se requieren grandes vertidos de concreto en un marco de tiempo limitado. El concreto reforzado con fibra generalmente se puede bombear, pero requiere una mezcla adecuada de FRC para evitar la segregación o la obstrucción en el equipo o las tuberías. El tipo de equipo puede limitar el número de fibras que se pueden dosificar.

USOS

- Túneles de concreto proyectado y minería
- Estabilización de suelos con concreto proyectado
- Bombeo de concreto hasta un punto de aplicación

BENEFICIOS

- Proceso de solicitud más rápido
- Mejorar la eficiencia

SELECCIÓN DE FIBRA

El paso del concreto con fibra por la rejilla de la tolva de la bomba, junto con el diámetro de la tubería, limita la longitud máxima de las fibras y la dosificación máxima. Como regla general, la longitud de las fibras debe ser más de la mitad del diámetro de la manguera, ya que las fibras más largas se orientarán a lo largo de la manguera, mientras que las más pequeñas pueden girar, lo que puede provocar que las fibras se apelmacen y obstruya la tubería. Es posible dosificar altas cantidades de macrofibra de PP con un diseño de mezcla adecuado.

DISEÑO MEZCLADO

Consulte el capítulo 6.2 del Manual de concreto de Sika®



HORMIGÓN
MANUAL DE
CONCRETO SIKA



7.6 FRC DE ULTRA ALTO RENDIMIENTO

El concreto reforzado con fibra de ultra alto rendimiento (UHPFRC) se produce a partir de cemento, adiciones (polvos), partículas finas y duras, agua, aditivos y una gran cantidad de fibras de acero relativamente cortas.

La estructura densa de UHPFRC da como resultado un concreto impermeable con resistencias a la compresión extremadamente altas, típicamente por encima de 150 MPa. En tensión, UHPFRC muestra un importante comportamiento de endurecimiento y ablandamiento, y la resistencia a la tracción es de aproximadamente 7 a 15 MPa.



La selección de fibra es un factor clave para el diseño óptimo de UHPC y tiene una gran influencia en la resistencia, la ductilidad y los costos. La ductilidad es particularmente importante porque generalmente se requiere una cantidad mínima de ductilidad.

BENEFICIOS

- Aumentar la ductilidad
- Controlar el agrietamiento
- Aumentar la durabilidad

SELECCIÓN DE FIBRA

Existen diferentes tipos de materiales, aunque el acero inoxidable de alta resistencia es el más común.

La longitud mínima de fibra suele ser 3 veces el tamaño de grano máximo, aunque se mantiene lo más corta posible teniendo en cuenta los requisitos de rendimiento requeridos en el concreto. Se debe especificar una relación de aspecto adecuada para evitar la formación de bolas durante la mezcla. Las fibras pueden ser fáciles de doblar durante la mezcla con una relación de aspecto alta y un límite elástico bajo. Esta puede ser una de las razones por las que se requieren fibras con un alto límite elástico, normalmente >2 GPa.

Tabla 7.6.1: Diseño de mezcla típico para UHPFRC en comparación con concreto reforzado con fibra

	UHPFRC	Normal FRC
Contenido de cemento	1000 kg/m ³	350 kg/m ³
Tamaño agregado máximo	< 1 mm	32 mm
Relación agua/cemento	< 0.2	< 0.5
SikaFiber®	>100 kg/m ³ (l=fibras de acero de 12 mm)	5 kg/m ³ macrofibras de PP o 25 kg/m ³ fibras de acero (l= 50 mm)

8 ENSAYOS

8.1 ENSAYOS DE VIGA

Hay diferentes tipos de ensayos de viga y la elección de cuál ensayo dependerá de la aplicación, los requisitos de especificación o el método de diseño. Los ensayos de viga no siempre son los mismos y varían por diferentes razones.

- 3 - 4 puntos de contacto
- Tamaño de la viga
- Con/sin muesca
- Especificaciones/ajustes del equipo
- Método de medición
- Concreto de referencia

8.1.1 ENSAYO DE VIGAS EUROPEAS

Las normas europeas pertinentes para el ensayo de vigas FRC

Referencia	TÍTULO	RELEVANCIA
EN 14889-1	Fibras para concreto – Parte 1- Fibras de acero	Requisitos de performance
EN 14889-2	Fibras para concreto – Parte 2- Fibras poliméricas	Requisitos de performance
EN 14845-1	Métodos de ensayo para fibras en concreto – Parte 1: Hormigones de referencia ^[1]	Composición y características de concreto de referencia
EN 14845-2	Métodos de prueba para fibras en el concreto - Parte 2: Efecto sobre el concreto	Método para determinar la resistencia a la flexión residual
ES 14651	Método de prueba para concreto con fibra metálica-Medición de la resistencia a la tracción por flexión (límite de proporcionalidad) LOP, residual	Preparación y procedimiento de la prueba
EN 14488-3	Ensayo de concreto proyectado – Parte 3: Resistencia a la flexión (primer peak, última y residual) de muestras de vigas reforzadas con fibra	Método para determinar la resistencia a la flexión

CONCRETO DE REFERENCIA

EN 14845-1

Métodos de ensayo para fibras en concreto – Parte 1: Hormigones de referencia.

Contenido

Esta norma define la composición y las características de cuatro concretos de referencia reproducibles que pueden utilizarse para evaluar el comportamiento de las fibras en el concreto. Uno de los concretos de referencia es obligatorio ensayar, mientras que los tres concretos de referencia restantes son opcionales. El o los concretos de referencia se seleccionan en función del tipo de producto o sistema y sus características vienen definidas por un valor mínimo de resistencia a la tracción por flexión, una granulometría máxima y un contenido máximo de cemento.

Aridos

Base de sílice natural, sin triturar, con <2% de absorción de agua en masa. La granulometría de los agregados debe cumplir con la norma EN 1766: el anexo A, con la excepción de los agregados de 16 mm y 20 mm >0,25 mm, debe ser del 5 % al 10 % (no del 3 % al 8 % como se indica en la norma EN 1766).

Agua de mezcla

Según la norma EN 1008 clasifica diferentes tipos de agua provenientes de distintas fuentes. En general, el agua utilizada para las pruebas es agua potable que no necesita más pruebas. Se pueden usar otros tipos de agua, pero deben verificarse.

Cemento

Portland tipo CEM I clase 42.5 R según EN 197-1

Aditivos

Se puede utilizar un plastificante o superplastificante, de acuerdo con EN 934-2, para controlar la trabajabilidad. La norma describe dos opciones para determinar la consistencia del concreto.

- Vebe clase V3 EN 12350-3
- Clase de compactación C2 EN 12350-4

Fibras

El fabricante deberá utilizar fibras de acuerdo con EN 14889 parte 1 o parte 2 y puede definir la secuencia de mezcla para garantizar una distribución uniforme en el concreto.

Preparación

La preparación de la muestra se describe con referencia también a la norma EN 14845. El muestreo del concreto se realizará de acuerdo con la norma EN 12350-1.

Requisitos

La tabla 1 de EN 14845-1 describe las cuatro mezclas obligatorias para determinar el efecto

Resistencia a la flexión (MPa)	Relación agua/cemento		Contenido máximo de cemento (kg/m ³)
	Tamaño máximo árido		
	8 mm or 10 mm	16 mm or 20 mm	
4.3 ± 0.3 (25/30) ^c	0.55 ^b	0.55 ^a	350
5.8 ± 0.4 (40/50) ^c	0.45 ^b	0.45 ^b	400

a Mezcla obligatoria

b Mezclas opcionales

c Clase de compresión equivalente según EN 1992-1

sobre la consistencia de un concreto. Una mezcla es obligatoria, aunque el fabricante de la fibra tiene la opción de realizar más pruebas utilizando uno de los otros tres concretos de referencia.

Informe

Debe contener un registro de la información del concreto(s) de referencia.

- Diseño de la mezcla
- Procedimiento de mezcla
- Tipo de fibra según EN 14889 y dosificación
- Fecha y hora de producción
- Consistencia: Vebe tiempo o grado de compactabilidad
- Curado y almacenamiento
- Resultados -límite de resistencia de proporcionalidad (valores medios e individuales)
- Referencia a la Norma
- Cualquier desviación a la Norma

ENSAYOS

EN 14845-2

Métodos de ensayo para fibras en concreto – Parte 2: Efecto sobre el concreto

Contenido

Esta norma proporciona un método para determinar el efecto de las fibras de acero o polipropileno en uno o más concretos de referencia con el objetivo de lograr un valor mínimo especificado de resistencias residuales a la flexión, que están relacionadas con una cantidad definida de deformación.

Descripción

Doce vigas con muescas de 550 x 150 x 150 mm confeccionadas a partir del concreto de referencia obligatorio con fibras, y cualquier concreto de referencia opcional adicional, se ensayan a los 28 días en un ensayo de viga en tres puntos de 500 mm de luz según EN 14651.

Resultados

El fabricante deberá declarar el nombre y la dosificación de las fibras que alcancen una resistencia residual de $\geq 1,5$ MPa a 0,5 mm CMOD y $\geq 1,0$ MPa a 3,5 mm CMOD.

Informe

Debe contener un registro de los especímenes de concreto de referencia.

- Tipo de fibra según EN 14889 y dosificación
- Composición de la mezcla según EN 14845-1
- Detalles de las muestras de ensayo
- Preparación, procedimiento, fecha y hora de producción
- Historial de curado y condiciones de humedad en la prueba
- Procedimiento de prueba, fecha de prueba
- Resultados, límite de proporcionalidad y resistencias residuales a flexión (valores medios e individuales)
- Referencia a la Norma
- Cualquier desviación a la Norma

EN 14651

Método de ensayo para concreto de fibras metálicas – Medición de la resistencia a la tracción por flexión (límite de proporcionalidad (LOP), residual).

Contenido

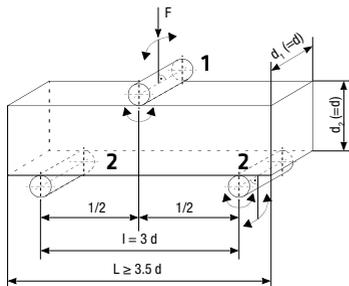
La Norma detalla el método de ensayo para medir la resistencia a la tracción por flexión del FRC en una muestra de ensayo definida, para determinar el límite de proporcionalidad (LOP) y el conjunto de valores residuales de resistencia a la tracción por flexión. Originalmente destinado a fibras metálicas ≤ 60 mm, el método se puede utilizar para una combinación de fibras metálicas y otras, además de estar mencionado en la norma EN 14889-2 para fibras de polipropileno.

Descripción

El comportamiento de tracción del FRC se evalúa mediante una prueba de carga de tres puntos en una viga de EN 14845-2, que tiene una muesca en la parte inferior mediante un corte húmedo con sierra. La carga se aplica en el centro de la viga y los valores de resistencia a la tracción por flexión residual se miden con uno de dos métodos. Las pruebas se rechazan si una grieta se propaga fuera de la muesca.

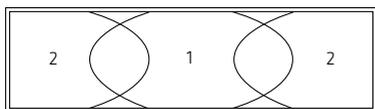
- I) Una curva de desplazamiento determinada a partir de las medidas registradas en la muesca cuando el desplazamiento de apertura de la boca de la grieta es igual a 0,5 mm, 1,5 mm, 2,5 mm y 3,5mm
- II) La curva carga-deflexión se determina a partir de las medidas de deflexión tomadas en la mitad del tramo equivalente a la CMOD (Distancia de apertura de la boca de la grieta); 0,08 mm (0,5 mm CMOD), 1,32 mm (1,5 mm CMOD), 2,17 mm (2,5 mm CMOD), 3,02 mm (3,5 mm CMOD) y 3,44 mm (4 mm CMOD)

Para la reproducibilidad, la norma describe el método para preparar, llenar y curar las muestras de acuerdo con las normas EN 12350-1 y EN 12350-2.



Disposición de la muestra de prueba de carga

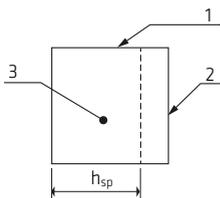
- 1 rodillo de apoyo
- 2 Rodillo de carga



1 y 2 orden de llenado

El llenado debe ser consistente ya que influirá en la orientación de las fibras y por lo tanto en los resultados.

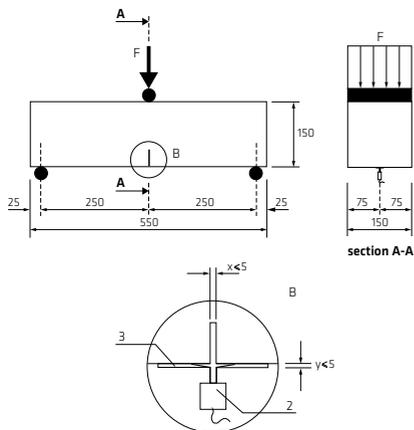
La Norma describe cómo se debe llenar el molde y cómo compactar un FRC.



- 1 superficie superior durante el llenado
- 2 muesca
- 3 Sección transversal de la muestra de ensayo

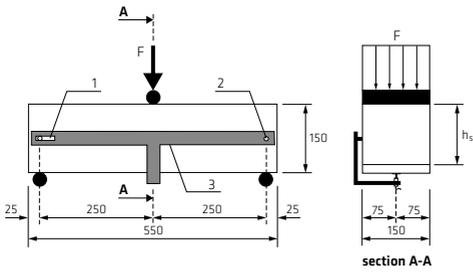
Después de la preparación, las vigas se giran 90° y se hace un corte de sierra a lo ancho de la muestra.

La Norma da instrucciones específicas cuando se va a aserrar la viga y las condiciones de curado de acuerdo con EN 12390-2.



La medición del CMOD se realiza montando un transductor de desplazamiento en la mitad del tramo de la viga. La máquina comienza en una velocidad constante para que el CMOD aumente a 0,05 mm/min hasta que el CMOD alcance 0,1 mm cuando el CMOD aumenta a una tasa constante de 0,2 mm/min. Durante los primeros 2 minutos, los valores de carga y CMOD correspondientes se registran a una tasa ≥ 5 Hz que puede reducirse a una tasa ≥ 1 Hz. La prueba se detiene cuando el CMOD ≥ 4 mm.

- 1 (muesca)
- 2 Transductor
- 3 Placa fijación



- 1 Accesorio deslizante
- 2 Accesorio giratorio
- 3 Marco rígido

La deflexión se mide montando un transductor de desplazamiento en un marco rígido a media altura sobre los soportes. Un extremo del marco se monta en la viga con un dispositivo deslizante y el otro extremo con un dispositivo giratorio. La método de deflexión es como el CMOD, excepto que los parámetros del CMOD se transforman en deflexión.

Resultados

Los resultados se expresan como diagramas de carga-deflexión y la norma da formulaciones para determinar la deflexión equivalente a partir de la medición CMOD, que se resumen en la tabla 1 en EN 14651.

CMOD (mm)	δ (mm)
0,05	0,08
0,1	0,13
0,2	0,21
0,5	0,47
1,5	1,32
2,5	2,17
3,5	3,02
4,0	3,44

El límite de proporcionalidad y las resistencias residuales a la tracción por flexión se derivan de las expresiones del Anexo A de la Norma y pueden resumirse.

Límite de proporcionalidad (LOP)

$$f \frac{f}{ct} L = \frac{4 F_L l}{2bh^2_{sp}}$$

donde

- $f \frac{f}{ct} L$ es el LOP, en Newton por milímetro cuadrado;
- F_L es la carga correspondiente al LOP, en Newton;
- l es la longitud del tramo, en milímetros;
- b es el ancho de la muestra, en milímetros;
- h_{sp} es la distancia entre la punta de la muesca y la parte superior de la muestra, en milímetros

Resistencia residual a la tracción por flexión ($f_{R,j}$)

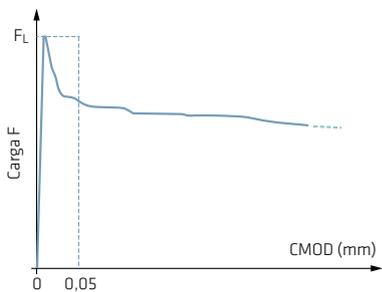
$$f_{R,j} = \frac{3 F_j l}{2bh^2_{sp}}$$

donde

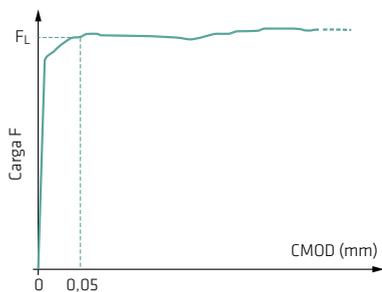
- $f_{R,j}$ es la resistencia residual a la flexión correspondiente a CMOD = CMOD_jo $\delta = \delta_j$ ($j = 1,2,3,4$), en Newton por mm cuadrado
- F_j es la carga correspondiente con CMOD = CMOD_jo $\delta = \delta_j$ ($j = 1,2,3,4$), en Newton (see Figura 7)
- l es la longitud del tramo, en mm;
- b es el ancho de la muestra, en milímetros;
- h_{sp} es la distancia entre la punta de la muesca y la parte superior de la muestra, en milímetros

El valor de carga FL está determinado por el valor de la carga a 0,05 mm CMOD.

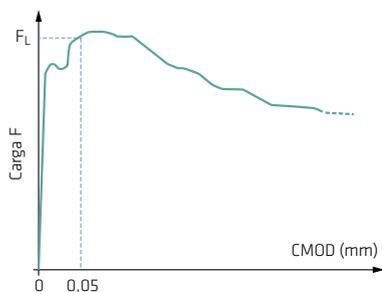
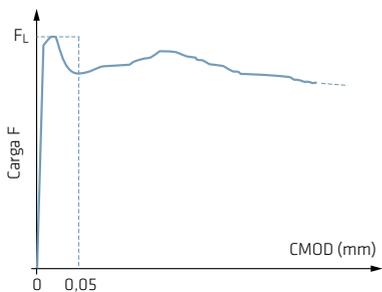
Ablandamiento de la tensión



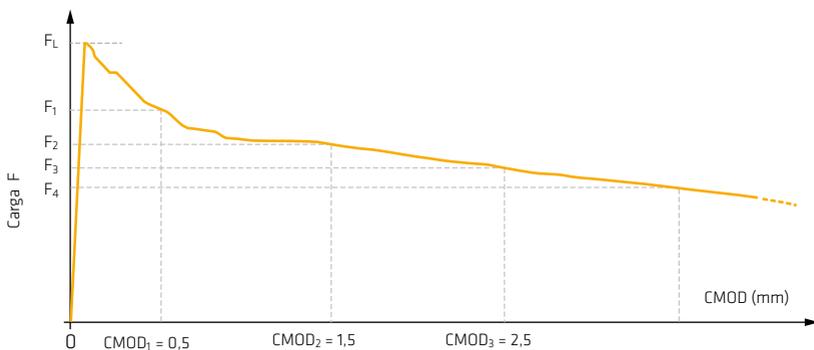
Endurecimiento de la tensión



Típico de un concreto con fibra de acero normal



Típico de un concreto de macrofibras de PP



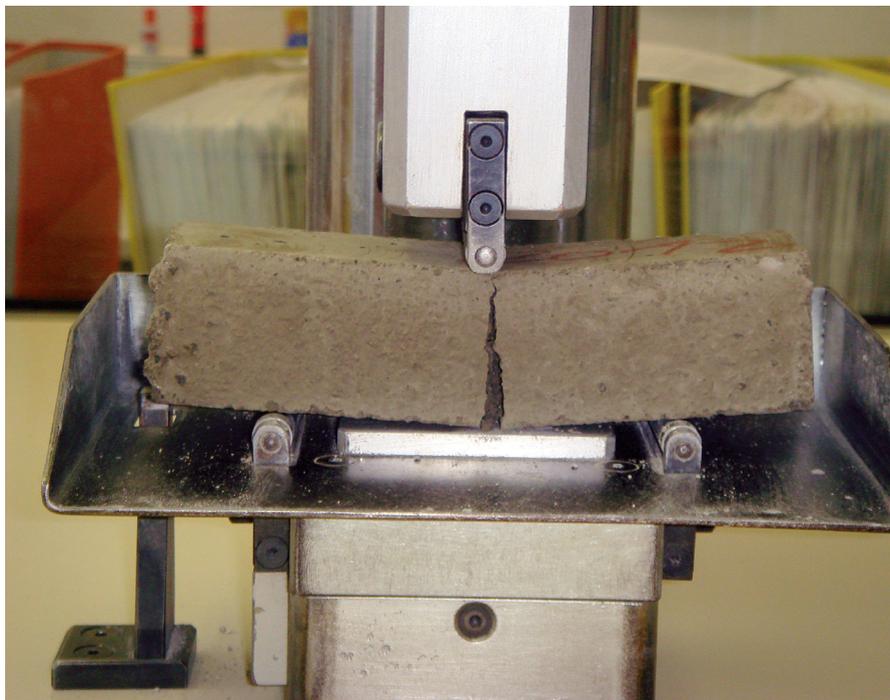
La carga-CMOD se expresa como carga correspondiente a CMOD en:

- 0.5 (FR1)
- 1.5 (FR2)
- 2.5 (FR3)
- 3.5 (FR4)

Informe

El informe de la prueba puede estar resumido.

- Lugar, fecha, nombre del instituto de pruebas, persona y operador responsable de las pruebas
- Tipo de fibra según EN 14889 y dosificación
- Composición de la mezcla según EN 14845-1
- Detalles de los especímenes de prueba - dimensiones, condición
- Fecha de preparación de la muestra y hora de producción.
- Historial de curado y condiciones de humedad en la prueba
- Procedimiento de prueba, fecha de prueba (índice de aumento de CMOD o desviación y cualquier desviación)
- Resultados -
 - Curva carga-CMOD o curva carga-deflexión
 - Límite de proporcionalidad
 - Resistencias residuales a la tracción por flexión correspondientes a CMODj (promedio y valores individuales)
- Referencia a la Norma
- Cualquier desviación a la Norma
- Opcionalmente, observaciones de uniformidad de distribución de fibras.
- Declaración de la persona responsable de la prueba, que la prueba se realizó de acuerdo con EN 14651, excepto por las desviaciones declaradas



EN 14488-3

Ensayo de concreto proyectado – Parte 3: Resistencias a la flexión (primer, último y peak residual) de muestras de vigas reforzadas con fibra.

Contenido

Esta norma clasifica la resistencia residual del concreto proyectado reforzado con fibra (FRSC) para un nivel de resistencia a una determinada deformación. Las clases de deformación se definen en EN 14487-1 según el rango de deformación D1 (bajo), D2 (normal) y D3 (alto), y nivel de fuerza.

Por ejemplo, una clase D2S2 significa que la resistencia residual es ≥ 2 MPa y la deflexión está entre 0.5 y 2mm.

La tabla 2 de EN 14487 define las clases de resistencia residual

Rango de deformación		Fortalezanivel (fuerza mínima, MPa)			
	Deflexión mm	S1	S2	S3	S4
D1	0.5 to 1	1	2	3	4
D2	0.5 to 2				
D3	0.5 to 4				

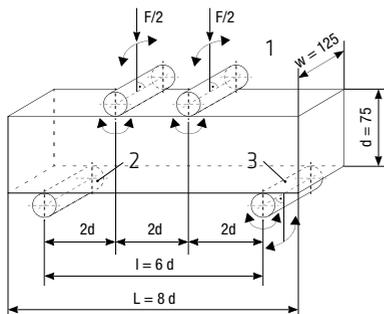
Hay dos métodos A y B descritos que se pueden aplicar a fibras metálicas, sintéticas, otras fibras o una combinación de fibras diferentes. La prueba generalmente se lleva a cabo en una muestra de concreto proyectado, a menos que se especifique lo contrario.

- I) Método A: ensayo de flexión en cuatro puntos en una viga cortada con sierra (sin muesca)
- II) Método B: prueba de flexión de tres puntos en un panel cuadrado con muesca

Método A Descripción

Los especímenes se cargan utilizando una máquina de prueba (EN 12390-4) a través de dos rodillos superiores y dos inferiores para producir un momento de flexión que se utiliza para determinar las resistencias a la flexión máxima, última/máxima y residual a partir de la curva de carga/deflexión. La distancia entre los dos rodillos inferiores es de 450 mm.

Las probetas que miden 75 mm de profundidad x 125 mm de ancho x 500 mm de largo (mínimo) según EN 12390-1 se aserran de un panel de ensayo que se ha aplicado con concreto proyectado de acuerdo con EN 14488-1. Las vigas se prueban con la cara del molde sin cortar en tensión, a menos que se especifique lo contrario. La cara superior se puede tensar, aunque no se debe aserrar para evitar cortar los anclajes de fibra. Las pruebas se realizan después de 28 días y la Norma detalla los requisitos para el almacenamiento durante el curado.

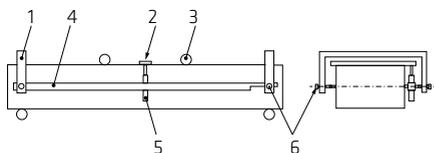


La deflexión por flexión se mide usando un transductor electrónico montado en la mitad del tramo en un yugo ubicado en el eje neutral en la mitad de la altura de la viga. Son preferibles dos transductores ubicados a cada lado a uno solo. El procedimiento para preparar, colocar y cargar las muestras se proporciona en la Norma. La prueba finaliza el centro de deformación excede los 4 mm, o la muestra se fractura.

where

- 1 rodillo de carga (capaz de girar y ser inclinado)
- 2 rodillo de apoyo
- 3 rodillo de apoyo (capaz de girar y de ser inclinado)

- F es la carga (P_{fp} or P_{ult}), definido anteriormente en N
 l es el lapso
 w es el ancho promedio
 d es la altura de la muestra
 L es la longitud de la muestra



Disposición de sujeción para medir flexión-deflexión

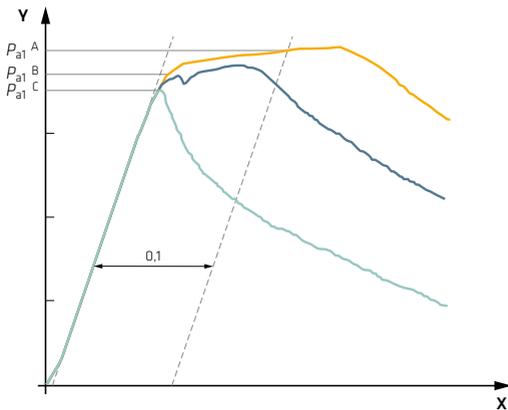
donde

- 1 sujetador
- 2 barra de referencia (sujeta o pegada)
- 3 rodillo de carga

- 4 sujeción
- 5 transductor
- 6 tornillo de posicionamiento

Resultados del Método A

Se debe registrar la distancia desde el centro de la fisura en la cara de tracción hasta el apoyo más cercano. La primera resistencia máxima a la flexión se calcula a partir de la curva de carga-deflexión, según el tipo de curva (consulte la Norma).



Ejemplos de curvas de carga/deflexión para determinar el primer peak de carga.

donde

X deflexión central en mm

Y carga en kN

P_{a1A} es la primera carga máxima (P_{fp}) para curva A

P_{a1B} es la primera carga máxima (P_{fp}) para curva B

P_{a1C} es la primera carga máxima (P_{fp}) para curva C

$$\text{Resistencia a la flexión en MPa} = P \times l / (w \times d^2)$$

Luego, la resistencia última a la flexión se determina a partir de la carga máxima registrada usando una fórmula.

where

P es la carga (P_{fp} or P_{ult}) definido anteriormente en N

l es el largo (450 mm)

w es el ancho promedio ancho en el plano de fractura (nominally 125 mm)

d es el alto promedio del plano de fractura (nominally 75 mm)

Las resistencias residuales a la flexión se calculan a partir de las cargas mínimas de la curva tensión/carga-deflexión entre 0,5 mm, 1 mm, 2 mm y 4 mm.

f_{r1} se calcula a partir de la carga mínima P_{r1} registrada entre deflexiones en el centro del tramo a 0,5 mm y 1,0 mm

f_{r2} se calcula a partir de la carga mínima P_{r2} registrada entre deflexiones en el centro del tramo a 0,5 mm y 2,0 mm

f_{r4} se calcula a partir de la carga mínima P_{r4} registrada entre deflexiones en el centro del tramo a 0,5 mm y 4,0 mm

La resistencia a la flexión residual se calcula como una resistencia a la tracción elástica equivalente utilizando la formulación anterior.

Método A Informe

El informe de la prueba puede estar resumido.

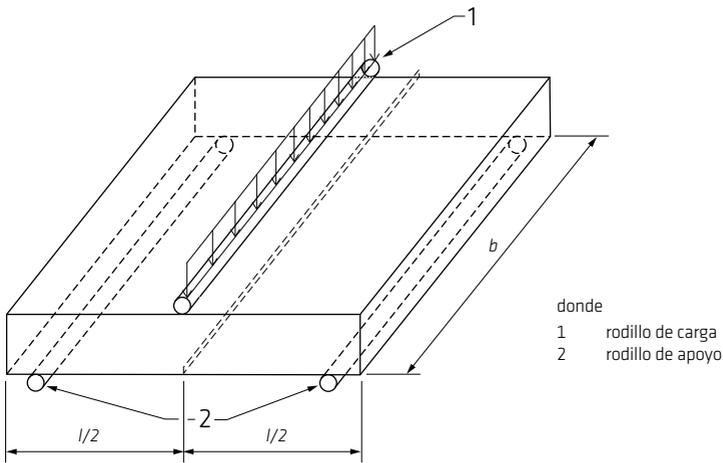
- Lugar, fecha, nombre del instituto de pruebas y persona/operador responsable de las pruebas
- Tipo de fibra según EN 14889 y dosificación
- Identificación de la composición de la mezcla
- Fecha y hora de aplicación de la muestra, identificación y lugar de producción
- Estado de las muestras en el momento de la recepción para el almacenamiento
- Detalles de los especímenes de prueba, cantidad, dimensión y preparación
- Historial de curado y condiciones de humedad en la prueba
- Edad de la muestra cuando se analizó
- Máquina de prueba y configuración
- Resultados -
 - Curva carga (o tensión)-deflexión
 - Primeras cargas peak, máxima y residual
 - Resistencias a la flexión de primer pico, máximas y residuales
 - Distancia del centro de la fisura al soporte más cercano
 - Aspecto visual del concreto.
- Referencia a la Norma
- Cualquier desviación a la Norma
- Observaciones de uniformidad de distribución de fibras (debe solicitarse)
- Declaración de la persona responsable de la prueba, que la prueba se realizó de acuerdo con EN 14488-3, excepto por las desviaciones declaradas

Método B Descripción

Se carga una muestra de panel utilizando una máquina de prueba (EN 12390-4) a través de un rodillo superior y dos inferiores para producir un momento de flexión que se utiliza para determinar las resistencias a la flexión máxima, última/máxima y residual a partir de la curva de carga/deflexión. La distancia entre los dos rodillos inferiores (tramo del panel) es de 500 mm.

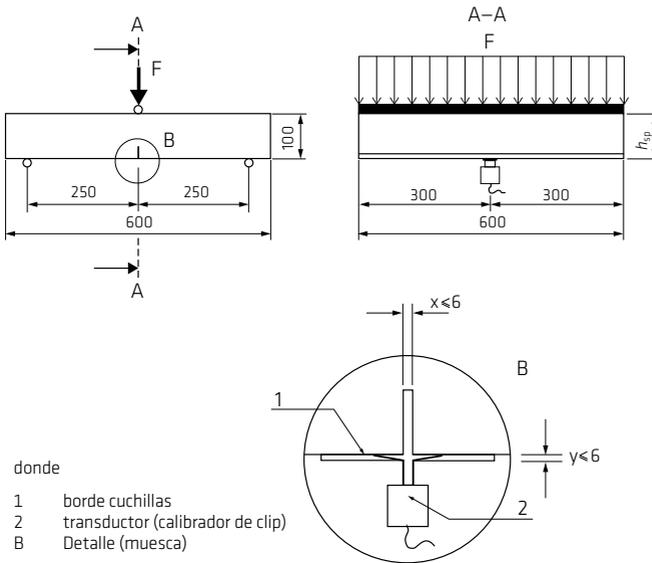
Las probetas de 100 mm de profundidad x 600 mm de ancho x 600 mm de largo según EN 12390-1 se fabrican proyectando concreto en un panel según EN 14488-1. Se aserra en húmedo una muesca, que mide 10 mm de profundidad x 5 mm de ancho, a lo ancho del panel en la mitad de la cara en contacto con el fondo del molde durante la proyección. Los paneles se curan de acuerdo con EN 12390-2 3 días después del aserrado hasta <3 horas antes de la prueba, a menos que se especifique lo contrario. La prueba se realiza después de 28 días.

La prueba se lleva a cabo de acuerdo con las partes relevantes de EN 12390-4 para pruebas de flexión y operación de manera controlada.



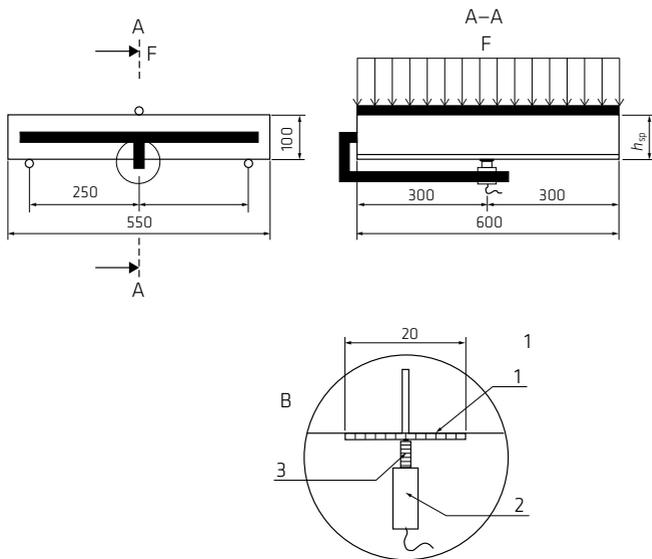
donde
 1 rodillo de carga
 2 rodillo de apoyo

La deflexión se puede medir utilizando el método CMOD (Distancia de apertura de la boca de la grieta) o método de deflexión.



donde
 1 borde cuchillas
 2 transductor (calibrador de clip)
 B Detalle (muesca)

La medición del CMOD se realiza montando un transductor de desplazamiento en la mitad del tramo de la viga. La máquina arranca a una velocidad constante de manera que el CMOD aumenta a 0,05 mm/min hasta que el CMOD alcanza los 0,2 mm cuando el CMOD aumenta a una velocidad constante de 0,2 mm/min. Durante los primeros 2 minutos, los valores de carga y CMOD correspondientes se registran a una velocidad ≥ 5 Hz que puede reducirse a una tasa ≥ 1 Hz. La prueba se detiene cuando el CMOD ≥ 5 mm. Si las grietas comienzan fuera de la muesca, se rechazará la muestra.



donde

- 1 Placa de aluminio de 1 mm de espesor
- 2 transductor (transformador diferencial variable lineal)
- 3 eje de resorte
- B detalle (muesca)

La deflexión se mide montando un transductor de desplazamiento en un marco rígido a media altura sobre los soportes. Un extremo del marco se monta en la viga con un accesorio deslizable y el otro extremo con un accesorio giratorio. El método de deflexión es como el CMOD excepto que los parámetros de CMOD se transforman en deflexión.

Método B Resultados

Resultados del Método B

Los resultados se expresan como diagramas de carga-deflexión y la norma proporciona una formulación para determinar la deflexión equivalente a partir de la medición CMOD en relación con el LOP y la resistencia a la flexión residual (resumida en la tabla 1 de EN 14488-3).

LOP/Resistencia a la flexión residual	CMOD (mm)	Deflexión (mm)
F_L	0,05	0,08
$f_{R_s,1}$	0,5	0,631
$f_{R_s,2}$	1,5	1,894
$f_{R_s,3}$	2,5	3,156
$f_{R_s,4}$	3,5	4,420

El LOP viene dado por la expresión donde el valor de carga FL se determina trazando una línea a una distancia de 0,005 mm y paralela al eje de carga del diagrama carga-CMOD, tomando FL como el valor de carga más alto.

$$f_{cts,L} = \frac{3 F_{LS} l}{2bh^2_{sp}}$$

donde

$f_{cts,L}$ es el LOP, in N/mm;

F_{LS} carga correspondiente al LOP, in N;

l es la longitud del tramo, en mm;

b es el ancho del espécimen, en mm;

h_{sp} es la distancia entre la punta de la muesca y la parte superior de la muestra, en mm

Resistencia residual a la tracción por flexión ($f_{R,i}$) viene dada por

$$f_{RS,j} = \frac{3 F_{S,j} l}{2bh^2_{sp}}$$

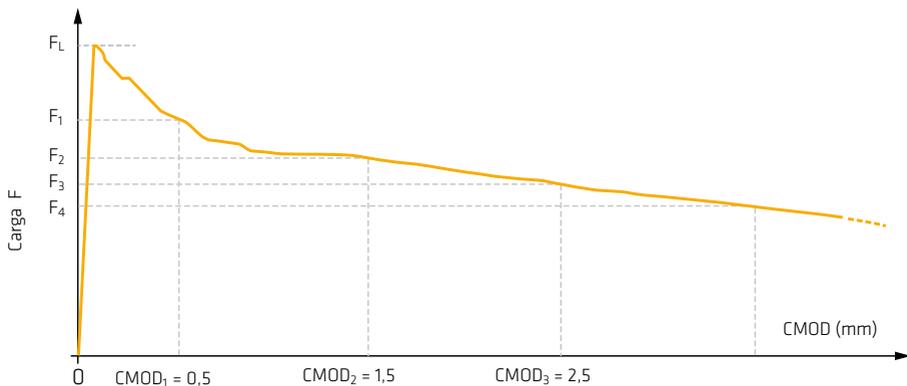
donde $f_{RS,j}$ es la resistencia residual a la tracción por flexión correspondiente a $CMOD = CMOD_j$ o $\delta = \delta_j$ ($j = 1,2,3,4$), in N/mm²;

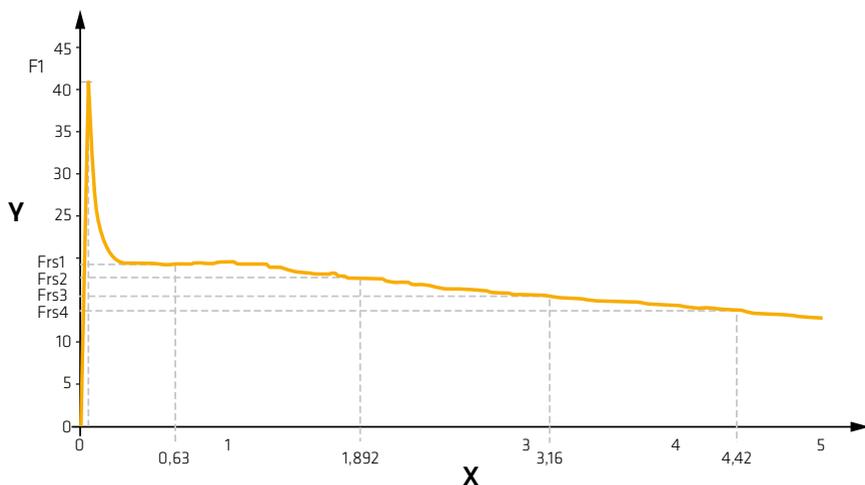
$F_{S,j}$ es la carga correspondiente con $CMOD = CMOD_j$ or $\delta = \delta_j$ ($j = 1,2,3,4$), en N (see Figure 7);

l es la longitud del tramo, en mm;

b es el ancho de la probeta, en mm;

h_{sp} muestra, en mm





La carga-CMOD se expresa como la carga correspondiente a CMOD at 0.5 (F_{R1}), 1.5 (F_{R2}), 2.5 (F_{R3}) y 3.5 (F_{R4})

Informe del Método B

El informe de la prueba puede estar resumido.

- Lugar, fecha, nombre del instituto de pruebas y persona/operador responsable de las pruebas
- Tipo de fibra según EN 14889 y dosificación
- Identificación de la composición de la mezcla
- Fecha y hora de aplicación de la muestra, identificación y lugar de producción
- Estado de las muestras en el momento de la recepción para el almacenamiento
- Detalles de los especímenes de prueba, número de, dimensiones de la placa y la muesca, y preparación
- Historial de curado y condiciones de humedad en la prueba
- Edad de la muestra cuando se analizó
- Máquina de prueba y configuración
- Resultados -
 - Curva carga-CMOD o curva carga-deflexión
 - Límite de proporcionalidad
 - Resistencias residuales a la tracción por flexión correspondientes a CMODj (promedio y valores individuales)
 - Aspecto visual del concreto.
- Referencia a la Norma
- Cualquier desviación a la Norma
- Observaciones de uniformidad de distribución de fibras (debe solicitarse)
- Declaración de la persona responsable de la prueba, que la prueba se realizó de acuerdo con EN 14488-3, excepto por las desviaciones declaradas

8.1.2 PRUEBAS DE VIGAS ASTM

Los estándares norteamericanos relevantes para la prueba de vigas

Referencia	TÍTULO	RELEVANCIA
ASTM A820/820M	Fibras de acero para concreto reforzado con fibras	Requerimientos mínimos
ASTM D7508/7508M	Estánda especificación para filamentos cortadas de poliolefina para uso en concreto	Especificación de requisitos
ASTM C78/C78M	Método de prueba para resistencia a la flexión del concreto (usando viga simple con carga en el tercer punto)	Preparación de pruebas y procedimiento
ASTM C1399/1399M	Método de prueba estándar para obtener la resistencia residual promedio del concreto reforzado con fibras	Método para determinar la resistencia a la flexión residual
ASTM C1609/1609M	Método de prueba estándar para el comportamiento a la flexión del concreto reforzado con fibras (utilizando vigas con carga en el tercer punto)	Preparación de pruebas y procedimiento

ASTM C1399/C1399M

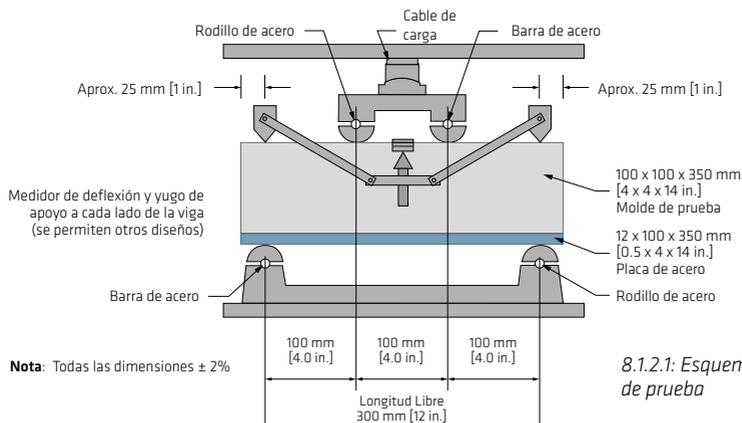
Método de prueba estándar para obtener la resistencia residual de concreto reforzado con fibras.

Contenido

Un método de prueba para determinar la resistencia residual de una viga de prueba FRC.

Descripción

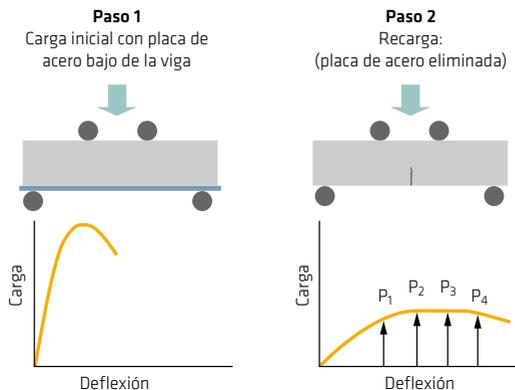
Un mínimo de 5 vigas de prueba preparadas en moldes, o cortadas de especímenes más grandes, que miden 100 x 100 x 350 mm (4 por 4 x 14 pulgadas) o como se defina, se prueban en flexión utilizando un equipo de flexión de cuatro puntos de acuerdo con ASTM C78. Se coloca una placa de acero en la parte inferior de la viga y se aplica carga hasta que la viga se agrieta. Se aplica carga hasta que la deflexión alcanza un máximo de 0,20 mm, cuando la viga se haya fisurado. En este punto, la prueba se detiene mientras se retira la placa de acero. Luego, la viga se vuelve a cargar hasta una deflexión máxima de 1,25 mm (0,05 in) obteniendo la curva de deflexión de carga.



8.1.2.1: Esquema de la configuración de prueba

Resultados

La resistencia residual promedio para cada viga utilizando las cargas determinadas al recargar las vigas y las deflexiones de la curva para 0,50, 0,75, 1,00 y 1,25 mm [0,020, 0,030, 0,040 y 0,050 pulgadas] se calculan a partir de la fórmula dada en la Norma.



8.1.2.1 : Dibujos esquemáticos del procedimiento de carga

Informe

El informe de la prueba debe contener una cantidad mínima de información como se indica en la Norma, que se puede resumir.

- Diseño de mezcla
- Nombre y dosificación de las fibras
- Probeta
 - Números de referencia
 - Preparación
 - Luz de haz
 - Dimensiones
 - Edad en la prueba
 - Historial de curado
 - Condiciones de la prueba
 - Aspecto visual
- Primera carga máxima, resistencia y deflexión
- Cargas residuales y resistencias en $f_{600/D}$ y $f_{150/D}$
- Tenacidad a T 150/D en Joule o lb.
- Resistencia a la flexión equivalente $f_e D/600$
- La tasa de aumento de las deflexiones netas
- Gráfico carga-deflexión
- Relación de resistencia a la flexión equivalente $R_t D/600$
- Si se requiere, las cargas residuales correspondientes a las resistencias residuales
- Ejemplo de cálculos de parámetros (cuando la carga máxima es mayor que la primera carga máxima)

ASTM C1609/C1609M

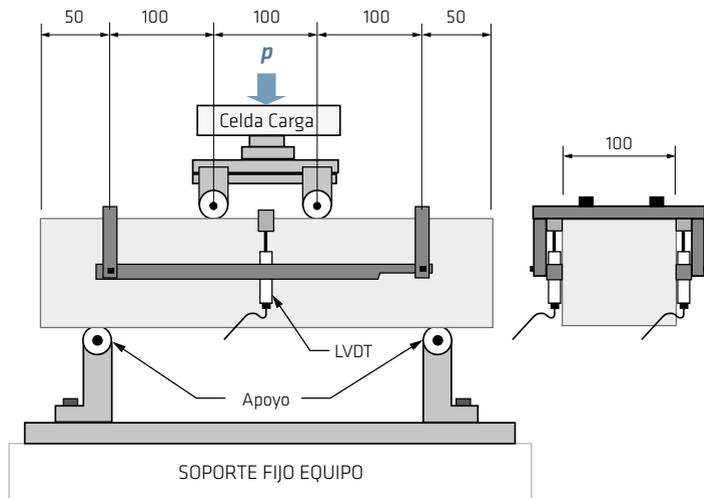
Método de prueba estándar para el comportamiento a la flexión del concreto reforzado con fibra (Usando Viga con carga en el tercer punto)

Contenido

Se realiza una prueba de bucle cerrado en una viga simplemente apoyada sujeta a una carga en el tercer punto para obtener una curva de carga-deflexión. La curva carga deflexión se utiliza para evaluar la resistencia a la flexión de un concreto reforzado con fibra bajo carga.

Descripción

Vigas preparadas en moldes o cortadas de muestras más grandes, de 100 x 100 x 350 mm (4 por 4 por 14 pulg.); 150 x 150 x 500 mm (6 por 6 por 20 pulg.) o como se defina, se prueban en flexión utilizando equipos de acuerdo con las prácticas ASTM C1812/C1812 M y E4 para la verificación de fuerza de las equipos de prueba. La luz para los dos tamaños de haz se ajusta de acuerdo con el tamaño de la muestra. Para vigas de 100 x 100 x 350 mm, la luz es de 300 mm, y para vigas de 150 x 150 x 500 mm, la luz es de 450 mm. La viga no está entallada y se coloca sobre dos apoyos con cargas aplicadas en la parte superior en los terceros puntos de la viga. El desplazamiento de la viga se mide con extensómetros y la máquina de ensayo se controla de acuerdo con el desplazamiento medido de la viga. La carga y la deflexión se registran hasta un final de deflexión de un mínimo de 1/150 de la luz.



8.1.2.3: Dibujo esquemático de la configuración de prueba

Resultados

La primera carga máxima se determina cuando la pendiente de la curva de deflexión de la carga es cero, o el valor máximo de carga.

La fuerza del primer pico se determina a partir de la ecuación (1)

$$f = PL / bd^2$$

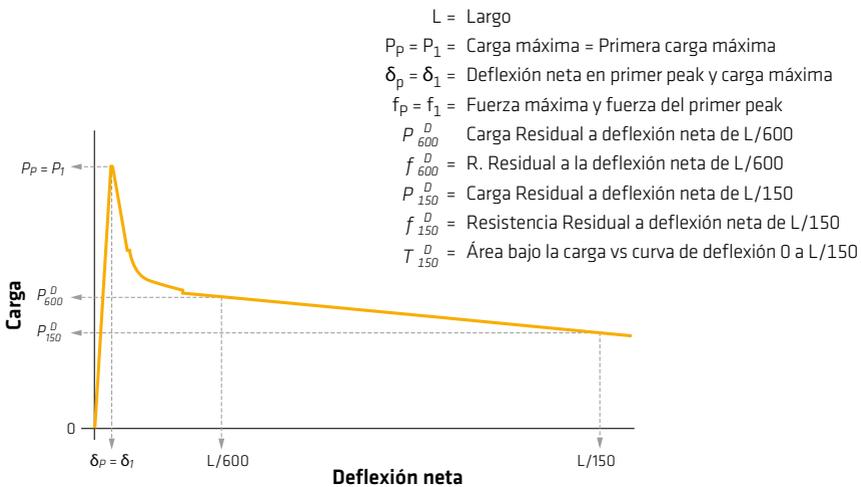
donde f = fuerza MPa (psi) b = ancho de probeta
 P = la carga N (lbf) d = profundidad de probeta
 L = largo

- Determine las cargas residuales en $P_{\frac{D}{600}}$ y $P_{\frac{D}{150}}$
- Determinar las resistencias residuales usando la ecuación (1) $\frac{D}{600}$ y $\frac{D}{150}$
- La tenacidad $T_{\frac{D}{150}}$ para el ancho de la viga se calcula a partir del área bajo la curva carga-deflexión hasta una deflexión neta de $1/150$
- La resistencia a la flexión equivalente $f_{e,\frac{D}{150}}$ se determina a partir de:

$$f_{e,\frac{D}{150}} = \frac{150 \cdot T_{\frac{D}{150}}}{b \cdot d^2}$$

- La relación de resistencia a la flexión equivalente $R_{T,\frac{D}{150}}$ se determina a partir de la siguiente ecuación y expresado en porcentaje.

$$R_{T,\frac{D}{150}} = \frac{f_{e,\frac{D}{150}}}{f_1} \cdot 100\%$$



Informe

El informe de la prueba deberá contener una cantidad mínima de información y, si no se conoce, se indicará claramente "desconocido".

- Diseño de mezcla
- Nombre y dosificación de las fibras
- Especímen
 - Nro de referencia
 - Preparación
 - Dimensiones
 - Edad de la prueba
 - Registro de curado
 - Condiciones de la prueba
 - Aspecto visual
- Registre la carga con una deflexión de 0,50 a 1,25 mm en incrementos de 0,25 mm
- Valores individuales de resistencia a la flexión residual para cada viga
- Resistencia a la flexión residual promedio del conjunto de vigas
- Gráfico carga-deflexión

8.2 ENERGÍA DE ABSORCIÓN

Existen diferentes tipos de pruebas de absorción de energía, según los requisitos de especificación o el método de diseño. Las pruebas de absorción de energía no son siempre las mismas y varían por diferentes razones.

- Tamaño y forma del panel
- Soporte de panel en la máquina
- Aplicación de carga
- Especificaciones/ajustes del equipo
- Método de medición
- Proyección de concreto

Las dos pruebas principales se conocen comúnmente como la prueba de panel cuadrado o redondo. Los resultados de los métodos de prueba de panel cuadrado y redondo son difíciles de comparar directamente ya que su geometría y condiciones de prueba son bastante diferentes. Sin embargo, los estudios muestran que existe una correlación entre los resultados y sugieren un factor de 2,5 entre la absorción de energía de la norma ASTM C1550 con una deflexión de 40 mm y la absorción de energía de la norma EN 14488-5 con una deflexión de 25 mm. No está claro si se puede confiar en esta correlación básica para todos los diseños de mezcla.

Tabla 8.2.1: Comparación del método de prueba de panel redondo v cuadrado

Característica	Prueba de panel cuadrado ES 14885	Prueba de panel redondo ASTM C1550
Geometría	Cuadrado (600 x 600 x 100 mm de profundidad)	Redondo (800 mm diámetro x 75 mm)
Condiciones de soporte	Soporte de borde continuo	Apoyado en 3 puntos
Tipo de carga	Flexión y punzonado	Flexión
Comportamiento	Material y estructural	Material
Patrón de agrietamiento	Variable	Determinado
Deflexión	Hasta 25mm	Hasta 40mm
Desventaja	Método de ensayo susceptible de tener condiciones de soporte perfectas	No es la mejor simulación de la situación real.
Ventaja	Mejor simulación de performance en la vida real	Robusto y repetible

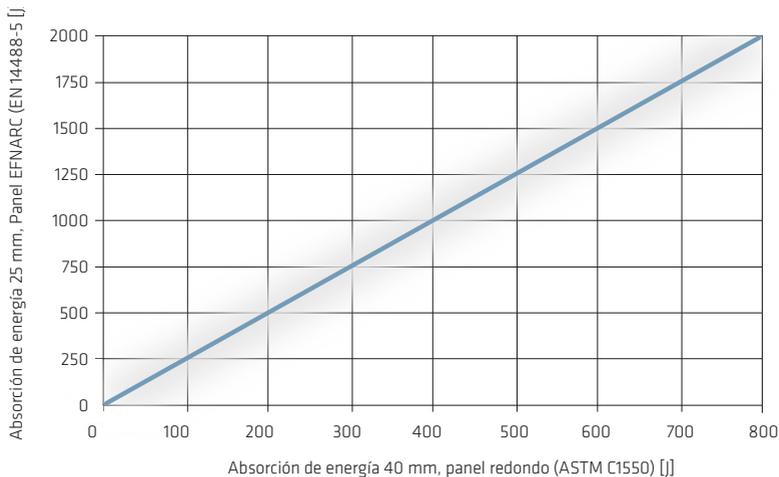


Figura 8.2.1: Correlación aproximada de métodos de prueba de panel redondo cuadrado para absorción de energía

8.2.1 PRUEBA DE PANEL CUADRADO

8.2.1.1: Documentos relevantes para determinar la absorción de energía

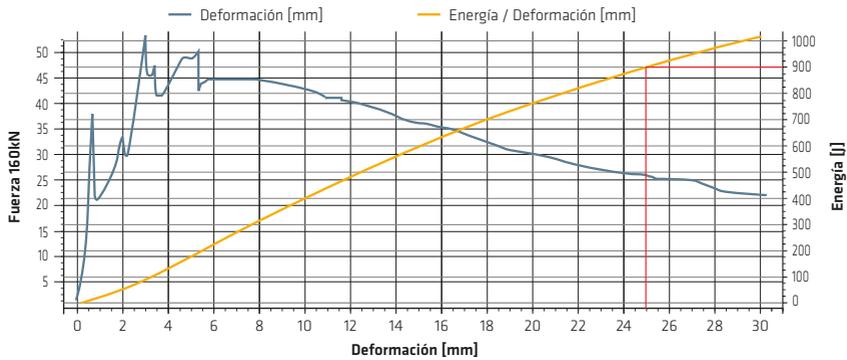
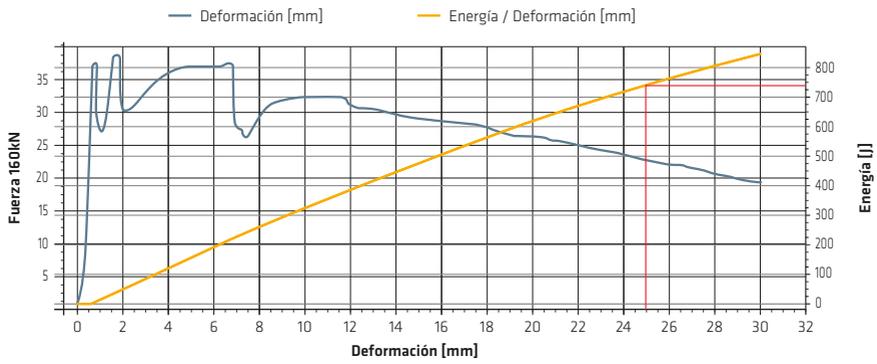
Referencia	TÍTULO	RELEVANCIA
EN 14889-1	Fibras para concreto – Parte 1- Fibras de acero	Requisitos de performance
EN 14889-2	Fibras para concreto – Parte 2- Fibras poliméricas	Requisitos de performance
EN 14488-1	Concreto proyectado – Parte 1: Definiciones, especificaciones y conformidad	Requisitos de performance
EN 14488-5	Ensayo de concreto proyectado – Parte 5: Determinación de la capacidad de absorción de energía de probetas de losa reforzada con fibras	Preparación y procedimiento de la prueba

EN 14488-5

Ensayo de concreto proyectado – Parte 5: Determinación de la capacidad de absorción de energía de concreto reforzado con fibra

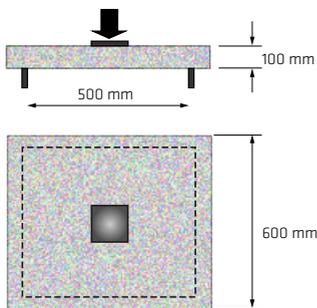
Contenido

Esta norma especifica un método para determinar la absorción de energía mediante la aplicación de una carga en el centro superior de una muestra y la medición de la carga/deflexión. A partir de la curva de carga/deflexión se puede calcular una segunda curva que da la absorción de energía en función de la deflexión.



Figuras 8.2.1.1. Ejemplos de diagramas de carga/deflexión para determinar la absorción de energía

Descripción



El FRC se rocía en forma de panel usando el diseño de mezcla de concreto para el proyecto. El panel se retira del sitio y se entrega a un instituto de pruebas donde será preparado para ensayo y curado según EN 12390-2. La prueba se realiza normalmente a los 28 días. La muestra para el ensayo se corta a una medida de 600 mm x 600 mm x 100 mm de espesor y se coloca sobre un marco de soporte cuadrado rígido en una máquina según EN 12390-4. Se aplica una carga puntual colocada en la superficie superior del panel por un bloque de carga cuadrado de 100 x 100. Se utilizan transductores electrónicos para medir la deflexión de la muestra a medida que se aplica la carga. El ensayo finaliza cuando la deflexión supera los 30 mm. La capacidad de absorción de energía del concreto en JÓULES se determina a partir del área bajo la curva de carga-deflexión entre 0 y 25 mm.

Resultados

El diagrama de absorción de energía relacionado con el desplazamiento se calcula a partir de la carga-curva de deflexión.

Las definiciones de las clases de absorción de energía se dan en EN 14488-1: Tabla 3.

Clase de energía de absorción	Absorción de energía en J para deflexión de hasta 25 mm
E500	500
E700	700
E1000	1000

Informe

- Lugar, fecha, nombre del instituto de pruebas y persona y operador responsable de las pruebas
- Tipo de fibra según EN 14889 y dosificación
- Identificación de la composición de la mezcla
- Fecha y hora de aplicación de la muestra, identificación y lugar de producción
- Estado de las muestras en el momento de la recepción para el almacenamiento
- Detalles de los especímenes de prueba, número, dimensión y preparación
- Historial de curado y condiciones de humedad en la prueba
- Edad de la muestra cuando se analizó
- Máquina de prueba y configuración
- Resultados -
 - Curva carga-deflexión
 - Carga máxima (kN)
 - Diagrama de deflexión de energía calculado
 - Capacidad de absorción de energía
 - Bosquejo o fotografía del espécimen que muestre el número y la ubicación de las grietas
- Referencia a la Norma
- Cualquier desviación a la Norma
- Declaración de la persona responsable de la prueba, que la prueba se realizó de acuerdo con EN 14488-5, excepto por las desviaciones declaradas



Figura 8.2.1.2: Vista inferior de los paneles cuadrados probados

8.2.2 PRUEBA DE PANEL REDONDO

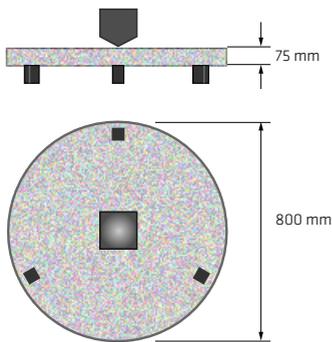
ASTM C1550-20

Método de prueba estándar para la tenacidad a la flexión del concreto reforzado con fibra (con panel redondo cargado centralmente)

Contenido

Esta norma especifica un método para determinar la tenacidad a la flexión, expresada como absorción de energía, mediante la aplicación de una carga en el centro superior de una muestra y midiendo la deflexión central con el inicio de la carga. A partir de la curva de carga/deflexión se puede calcular una segunda curva que da la absorción de energía en función de la deflexión.

Descripción



El FRC se proyecta en panel usando el diseño de mezcla de concreto para el proyecto. El panel se retira del sitio y se entrega a un instituto de pruebas donde se preparará para la prueba y se curará de acuerdo con la Norma. La muestra para la prueba mide 800 mm de diámetro x 75 mm de espesor y se coloca con la cara moldeada sobre tres pivotes dispuestos simétricamente. Se aplica una carga puntual, en forma de bola hemisférica de acero, en el centro del panel. La tasa de desviación es controlada y aplicada a una tasa constante. El ensayo finaliza cuando la flecha supera los 45 mm. La capacidad de absorción de energía del concreto en Joules se determina a partir del área bajo la curva de carga-deflexión entre 0 y 40 mm.

Resultados

El ajuste de curva carga-desviación se usa para identificar la capacidad de carga en el primer peak y se corrige usando la formulación dada. En la norma, la absorción de energía se determina a partir del área bajo la curva de deflexión neta de carga entre el origen corregido y la deflexión neta de 40 mm. Además, la tenacidad se puede definir en flechas centrales de 5, 10 y 20 mm.



Figura 8.2.2.1: Método de prueba estándar para la tenacidad a la flexión de FRC

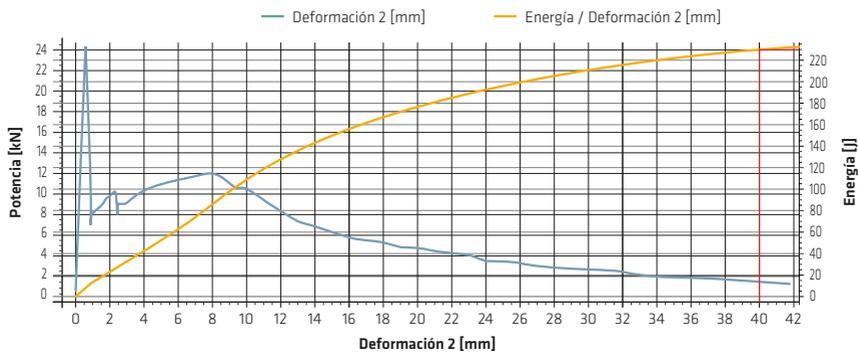


Figure 8.2.2.2: Vista superior e inferior de ensayo de panel cuadrado

Informe

- Forma de muestreo (moldeadas o proyectadas)
- Identificación de referencia
- Tipo de fibra y dosis
- Espesor promedio y desviación estándar
- Diámetro medio
- Historial de curado
- Edad de la muestra en la prueba
- Registre cualquier defecto en el espécimen

Resultados

- Descripción y número de grietas radiales.
- Carga máxima corregida y no corregida
- Valores no corregidos y corregidos de absorciones de energía
- Gráfico de la deflexión neta de carga



Figura 8.2.2.3: Informe de resultados de configuración de muestras de acuerdo con la prueba de panel redondo ASTM C-1550

8.3 RESISTENCIA DE LA FIBRA



Los procedimientos de prueba de tracción y módulo de elasticidad mencionados en los estándares globales difieren mucho entre sí y, a veces, no especifican las condiciones de prueba precisas.

Los procedimientos de prueba de tracción y módulo de elasticidad mencionados en los estándares globales difieren mucho entre sí y, a veces, no especifican las condiciones de prueba precisas.

EN 14889-2:2006 no define los requisitos de rendimiento para la resistencia a la tracción o el módulo E, aunque se deben declarar los valores del

fabricante. Existen dos métodos para determinar la resistencia a la tracción de una fibra sintética, dependiendo de si la fibra se clasifica como micro o macrofibra.

Las fibras macrosintéticas se prueban actualmente de acuerdo con EN 10002:1 con los requisitos adicionales de que la velocidad de prueba no puede ser superior a 10 mm/min y la prueba debe realizarse en hebras de al menos 20 mm de longitud. Esto significa que no se proporciona una tasa de deformación específica; sin embargo, EN 10002-1:2001 proporciona una tasa de deformación máxima de 0,008 s⁻¹, que es aproximadamente 50%/min.

EN 10002-1:2001 se retiró en 2009, sin embargo, todavía se hace referencia a EN 14889:1 y 2 hasta que se actualicen estas normas. La norma EN 10002-1:2001 se sustituirá por la norma ISO 6892-1:2009 Materiales metálicos. Ensayos de tracción. Parte 1: Método de ensayo a temperatura ambiente.

La prueba se lleva a cabo normalmente en un mínimo de 30 hebras. A partir de la distribución de los resultados, el fabricante puede decidir qué valor declarar, aunque las Normas definirán la diferencia máxima permitida entre los valores declarados y superior e inferior. El fabricante también definirá desde qué parte del proceso de producción se retiran los hilos para la prueba. Por ejemplo, las pruebas de tracción normalmente se llevan a cabo en la fibra extruida (el producto terminado), mientras que para las fibras onduladas o rizadas, la prueba se realiza mejor antes del proceso de ondulación o rizado. La razón de esto es que el alargamiento inicial para enderezar una fibra ondulada o rizada afectará fuertemente los resultados.

Las fibras microsintéticas se prueban de acuerdo con EN ISO 2062:2009, con una longitud de calibre de 250 o 500 mm y una velocidad de prueba de 250 y 500 mm/min respectivamente, lo que se traduce en un ratio de 100%/min. Adicionales requerimientos de EN ISO 2062:2009 dice que el preconditionamiento y las pruebas deben realizarse en una atmósfera estándar a 20 °C y una humedad relativa del 65 %. Aunque este método de prueba solo se aplica a fibras microsintéticas, no es raro probar también fibras macrosintéticas con este método.

ASTM D7508/D7508M-10 (2015) solo especifica la determinación de la resistencia a la tracción y proporciona un valor mínimo requerido de 50 000 PSI (~344,4 MPa).

La resistencia a la tracción se prueba de acuerdo con ASTM D2256 en condiciones ambientales de +21°C y 65% de humedad relativa. La tasa de deformación en D2256 especifica que la fuerza de rotura debe alcanzarse en 20 segundos. Como la mayoría de las macrofibras de polipropileno suelen tener un alargamiento a la rotura de entre 5 y 15%, esto se traduce en tasa de deformación de 15 y 45%/min. Sin embargo de acuerdo a D2256 es posible probar con una tasa de deformación de 120%/min. D2256 también proporciona dos métodos para calcular el Módulo E. Uno se llama módulo inicial, el otro módulo de cuerda. Sin embargo, estos dos métodos dejan mucho espacio para la interpretación y, por lo tanto, pueden proporcionar muchos valores diferentes para la misma fibra.



El módulo E se define como módulo secante determinado haciendo una línea a través de los puntos al 10% y 30% de máximo esfuerzo en la curva de deformación. Aunque se precisa que no es el método ideal. El punto en la curva de esfuerzo-deformación correspondiente al 30% de máxima fuerza siempre presenta una deformación de 0.3%, que significa, que ya se encuentra fuera de la región donde el material exhibe un comportamiento viscoelástico lineal, por lo que la deformación es irreversible. El punto correspondiente al 30% de la fuerza máxima incluso se encuentra más allá del límite elástico, en el que la curva tensión-deformación se nivela y comienza la deformación plástica. Esto significa que las fibras con valores más bajos de fuerza máxima, los dos puntos al 10% y al 30% de la fuerza máxima, se acercan entre sí, lo que conduce a una pendiente más pronunciada de la línea para el módulo secante y, por tanto, valores aparentemente más altos para el E para una fibra más débil.

Tabla 8.3.1: Resumen de las principales normas que rigen los procedimientos de ensayo de tracción de fibras macrosintéticas para uso en concreto.

	EN 14889-2		ASTM D7508/D7508M
Fuerza de Tensión	Macrofibras EN 10002-1	Microfibras EN ISO 2062	ASTM D2256
Tasa de deformación	< 50%/min	100%/min	ca. 15-45%/min or 120%/min
Longitud	≥ 20 mm	250 mm or 500 mm	250 mm (10 pulgadas)
Prueba de velocidad	≤ 10 mm/min	250 mm/min or 500 mm/min	20s para romper or 300 mm/min
Módulo E	EN 10002-1 Pendiente de la recta que pasa por los puntos al 10% y 30% de la fuerza máxima en la curva de esfuerzo-deformación		no requerido sin embargo, la norma ASTM D2256 da diferentes opciones para su cálculo: módulo inicial módulo de cuerda

TASA DE TENSIÓN

La tasa de deformación en la prueba de tracción juega una gran influencia en los valores declarados. Los valores de resistencia a la tracción dependen en gran medida de los parámetros de prueba, a saber, la velocidad de deformación y, para las fibras sintéticas, la temperatura de prueba. La velocidad de deformación es la velocidad de la cruceta en movimiento en relación con la longitud original del espécimen de prueba entre las abrazaderas. La velocidad de deformación y la temperatura a la que se realiza el ensayo de tracción influyen en gran medida en la "forma" de la curva tensión-deformación de las fibras macrosintéticas. En general, cuanto mayor sea la velocidad de deformación y, por lo tanto, la velocidad de ensayo, mayores serán los valores resultantes para la resistencia a la tracción. Reducir la temperatura de prueba tiene el mismo efecto que aumentar el índice de deformación.

No se requiere E-Modulus según D7508

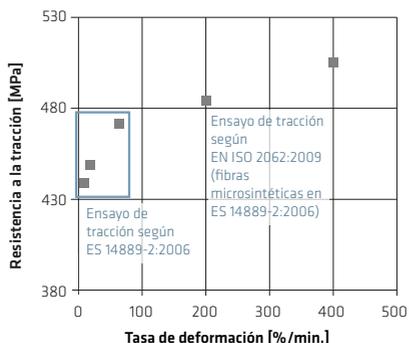


Figura 8.3.1: Resistencia a la tracción de una fibra macrosintética en relación con la velocidad de deformación en el ensayo de tracción



Cifra 8.3.2: Módulo E de una fibra macrosintética en relación con la velocidad de deformación en el ensayo de tracción.

RECOMENDACIÓN PARA ENSAYO DE TRACCIÓN DE MACROFIBRA

Se requerirá un mínimo de 30 filamentos de ~400 mm de largo.

Con relieve	Los hilos en relieve se ensayarán, es decir, el producto terminado
Rizado/ondulado	Los hilos no rizados se ensayarán

Para EN 14889-2:2006, todos los valores de tracción y módulo E deben probarse utilizando una máquina de prueba universal con un sistema de sujeción de cara plana que incorpore una pantalla táctil o tensiómetro óptico.

Tasa de deformación ^[1]	33%/min (derivado de la velocidad de prueba/longitud del indicador *100%)
Velocidad de test ^[2]	10 mm/min
Longitud	30 mm ±2 mm
Distancia del extensómetro táctil	10 mm ±1 mm

^[1] Determinado a partir de la velocidad de prueba y la longitud de referencia

^[2] Dado en la Norma

El área equivalente y el área de la sección transversal se determinan utilizando el método de la sección transversal irregular.

La resistencia a la tracción se determina a partir de la fuerza de rotura máxima [N] / área de la sección transversal [mm²]

El módulo E se determina a partir de la curva de tensión-deformación entre los valores determinados al 10% de f_{max} y 30% de f_{max} a partir de la fuerza de rotura máxima y utilizando la ecuación:

$$\frac{(30\%F_{max} - 10\% F_{max})/\text{área de la sección transversal}}{(\text{alargamiento al } 30\% F_{max} - \text{alargamiento al } 10\% F_{max})}$$

9 ENVASADO Y DOSIFICACIÓN

9.1 EMBALAJE



La eficacia del concreto reforzado con fibra (FRC) para proporcionar resistencia al agrietamiento y mejorar las propiedades del material depende completamente de la distribución tridimensional uniforme de las fibras en todo el concreto.

El FRC no puede describirse como un sistema tridimensional de refuerzo si las fibras están presentes en una parte del concreto y no en otra. Por tanto, para conseguir una distribución completa y uniforme es fundamental que la fibra elegida sea compatible con el concreto o mezcla cementosa seleccionada y que se sigue el procedimiento de mezclado recomendado.

Dependiendo del fabricante, las fibras están disponibles en diferentes tipos y tamaños de empaque. Normalmente, los tipos de envases son bolsas degradables para facilitar la dosificación, cajas de cartón, o las bolsas/sacos más grandes.

MICROFIBRAS DE PP

Las microfibras de PP se suministran como fibras sueltas y generalmente se envasan en bolsas de papel degradable de 0,6 kg o 0,9 kg. Estas bolsas están diseñadas para agregarse directamente a la mezcla de concreto sin abrir la bolsa. Es normal agregar estas bolsas una vez que todos los demás materiales, incluida el agua, se hayan agregado a la mezcladora. Las bolsas se degradarán en la mezcla debido a la acción mecánica de los agregados. Siempre se debe tener cuidado de agregar las bolsas individuales lentamente en el concreto y no todo a la vez. Una vez agregado, se debe mezclar el concreto hasta que todas las fibras se hayan distribuido homogéneamente en el concreto. Los tiempos de mezcla pueden verse influenciados por la eficiencia del equipo de mezcla, y si se trata de una de acción forzada o mezclador de tambor. El tiempo de mezcla varía según el volumen de concreto, a/c y tipo de mezclador. Consultar siempre la FT de producto.



Existen en el mercado sistemas automatizados para la introducción de pequeños materiales ensacados en el concreto. Sin embargo, cuando las microfibras de PP se utilizan en grandes cantidades, por ejemplo, en aplicaciones de túneles, a menudo se suministran en bolsas grandes para facilitar el uso de equipos automatizados de dosificación.

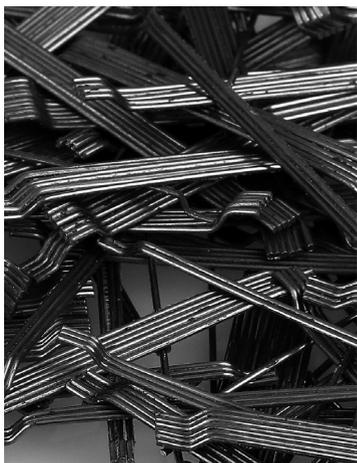


MACROFIBRAS DE PP

Las macrofibras de PP se suministran generalmente en bolsas de papel degradable, cajas de cartón y, según el fabricante, en bolsas grandes. Las bolsas degradables están diseñadas para agregarse sin abrir al concreto, mientras que las fibras en cajas deben abrirse e introducirse lentamente en el concreto. Se suministran algunos tipos de macrofibras de PP como materiales sueltos, como los tipos de cinta blanda. Las macrofibras de PP también se suministran generalmente como "discos", que son esencialmente grandes cantidades de fibras individuales envueltas en una película soluble.

Estos discos ayudan con la dispersión uniforme de las fibras en el concreto y permiten empaquetar eficientemente material voluminoso para su transporte. Las macrofibras de PP deben añadirse al concreto de forma lenta y uniforme. Cuando las bolsas se hayan degradado rápidamente, los "discos" se distribuirán uniformemente en el concreto. La película alrededor de los discos se disolverá permitiendo que las fibras se distribuyan homogéneamente en el concreto.

Las macrofibras de PP se pueden suministrar en bolsas grandes y generalmente se usarán en combinación con un equipo de dosificación automatizado.



MACROFIBRAS DE ACERO

Las fibras de acero están disponibles como un clip cotejado suelto o pegado y generalmente se suministran en cajas de cartón o bolsas/sacos grandes para proyectos importantes. Los tamaños de las cajas de cartón varían según el fabricante, y normalmente se puede suministrar en tamaños de 10 kg, 20 kg o 25 kg. Las fibras de acero también se pueden suministrar en bolsas degradables según el peso, pegadas o sueltas y el tamaño de las fibras. Las bolsas degradables se pueden fortalecer para soportar el peso adicional, pero esto influirá en el tiempo de degradación en el mezclador. Se deben realizar controles periódicos para asegurarse de que las bolsas se hayan degradado por completo.

Las fibras de acero con relaciones de aspecto altas normalmente se pegan entre sí para formar clips de fibras, ya que esto mejorará la distribución de las fibras en el concreto.

Las fibras de acero se añaden al concreto recién mezclado y nunca como primer componente. El tiempo de mezclado dependerá del tamaño y la eficiencia del equipo de mezclado. El tiempo de mezcla generalmente se recomienda como mínimo de 5 minutos, o una mezcla adicional de 1 minuto por cada metro cúbico en el mezclador. Las fibras de acero generalmente se pueden suministrar en una bolsa grande de 1 tonelada para usar con equipos de dosificación automatizados.

9.2 DOSIFICACIÓN



9.2.1 DOSIFICACIÓN MANUAL

La dosificación está ligada a la cantidad de concreto a utilizar. Cuando se requieran cantidades relativamente pequeñas de fibras, normalmente se dosificarán manualmente. Cuando se vayan a utilizar grandes cantidades de concreto, la preferencia puede ser utilizar equipos de dosificación automatizados.

9.2.2 EQUIPO DOSIFICADOR AUTOMATIZADO

Para proyectos grandes, el mejor método de dosificación de fibras es utilizar un equipo de dosificación automatizado. Estos sistemas son generalmente adecuados para todo tipo de fibras y se seleccionan según el tipo de fibra, capacidad de alimentación, contenido de la bandeja y requisitos de precisión. Típicamente, el equipo tiene una bandeja cilíndrica con una bobina alimentadora en forma de espiral en el interior que está montada en un marco rígido con un motor vibratorio. Cuando se activa, manual o automáticamente las fibras se abren camino hacia arriba en la espiral y se descargan en el mezclador o en las cintas de distribución secundarias. El equipo de dosificación automatizado puede usarse como un sistema independiente o conectarse directamente al sistema informático de dosificación de concreto que mide y registra con precisión la dosificación de fibra para cada lote.





CINTA TRANSPORTADORA

Las cintas transportadoras móviles son una forma muy sencilla de transportar micro o macrofibras de PP o acero directamente a la hormigonera. Las fibras se colocan manualmente en el parte inferior de la cinta transportadora en movimiento. Las cantidades de fibra que ingresan a la mezcladora se controlan manualmente y se recomienda llevar un registro de la dosificación para cada lote de concreto. Se recomiendan las correas acanaladas cuando se utilizan macrofibras de pp suministradas en rollos.

EQUIPOS DE SOPLADO

Los sistemas de soplado se pueden utilizar para varios tipos de fibras. Son más comúnmente utilizados por contratistas especializados para fibras de acero onduladas. Esto se debe a que la forma ondulada de la fibra puede causar problemas de formación de bolas cuando se introduce como un material suelto desde la cinta de embalaje de la caja o desde una cinta transportadora.



ELEVADORES

Los elevadores son para el transporte vertical de fibras. Tienen una serie de pequeños cubos unidos a una cinta móvil que mueven todo tipo de fibras desde el suelo hasta una posición elevada. Los elevadores se pueden integrar en métodos de entrega más intrincados, como el sistema de dosificación de fibra automatizado, el transportador cintas y otros sistemas de pesaje.

10 TERMINACIÓN DEL CONCRETO

10.1 BUENAS PRÁCTICAS DEL CONCRETO

Donde se va a exponer el FRC, la calidad del acabado de la superficie suele ser una medida del éxito. Por ejemplo, elementos prefabricados y para concreto visto in situ, como losas de piso. Para lograr un buen acabado superficial es necesario prestar especial atención al diseño de la mezcla de concreto, el tiempo de colocación y la técnica de acabado. Los materiales de diseño de la mezcla juegan un papel importante en las características de acabado.

- Contenido de finos
- Contenido agregado
- Relación agua/cemento
- Uso de aditivos
- Ayudante de terminación



También se asegura de que haya suficiente pasta para recubrir las fibras. Las fibras largas y rígidas pueden sobresalir del concreto expuesto, mientras que las fibras blandas se doblarán sobre la superficie. Las fibras de acero expuestas pueden comenzar a corroerse y dejar manchas antiestéticas en el concreto. Por lo tanto, la selección correcta de la fibra también depende de la aplicación del concreto y la apariencia de la superficie deseada. Si bien las fibras se distribuyen homogéneamente en el concreto, es inevitable que algunas puedan verse en la superficie.

El FRC se puede colocar utilizando métodos convencionales, como canaletas de concreto y baldes. FRC también se puede bombear o proyectar sobre una superficie utilizando técnicas especializadas de bombeo y pulverización. La trabajabilidad deseada influirá en el aspecto de la superficie dependiendo de si hubo alta o baja trabajabilidad en el momento de la colocación, y el grado de compactación. El FRC que vibra demasiado puede alinear las fibras en una dirección similar y afectará el desempeño del concreto. FRC puede verse más seco que un concreto normal, pero tiene la misma trabajabilidad cuando se vibra en su lugar. Esto se debe al hecho de que las fibras deben recubrirse con pasta de cemento y significa que el concreto puede volverse más cohesivo.

El asentamiento aparente o la pérdida de flujo por asentamiento es una característica del FRC y, en la mayoría de los casos, la adición de agua es innecesaria. Muchos factores afectan la trabajabilidad del concreto; por lo tanto, es importante analizar el diseño de la mezcla de FRC antes de colocar el concreto. Como con todo el concreto, no espere los mejores resultados con una mezcla con una relación a/c alta.

Al terminar el concreto, el tiempo es importante al igual que tener las herramientas adecuadas. Escobas, paletas manuales o mecánicas son algunos ejemplos. No comience las operaciones de acabado demasiado pronto. Deje que toda el agua de sangrado se evapore de la superficie antes de terminar. Es muy importante no trabajar en exceso la superficie, especialmente FRC donde puede haber fibras en la superficie.

EXUDACIÓN

La exudación es el movimiento del agua dentro del concreto hacia la superficie debido al desplazamiento gravitatorio del cemento y el agregado antes del fraguado inicial. El concreto simple puede formar charcos de agua de exudación en la superficie en áreas donde se han formado grandes capilares. La inconsistencia de la calidad del concreto y las tasas de suministro pueden causar más problemas con la exudación variable y acabado de concreto.



Las operaciones de acabado realizadas mientras el agua de exudación está presente en la superficie pueden causar graves problemas de agrietamiento, formación de polvo o incrustaciones. Rociar agua sobre la superficie para facilitar el acabado también puede causar estos problemas.

FRC exhibirá menos agua de exudación que el concreto simple equivalente debido al mecanismo de soporte interno que las fibras brindan a los agregados. Cuando se produce exudación, generalmente será más uniforme, lo que significa que el riesgo de “encharcamiento” es significativamente menor que el de concreto simple.

10.2 MÉTODOS DE TERMINACIÓN

Las fibras son compatibles con la mayoría de los acabados y tratamientos de superficies, incluido el estampado, agregados expuestos, barrido y allanado manual o mecánico. Las fibras de acero no se recomiendan para estampado de patrones o acabados de agregados expuestos. No se recomienda arrastrar arpillera sobre la superficie porque pueden engancharse en una fibra y levantarla de la superficie.



TERMINACIÓN MECANIZADA

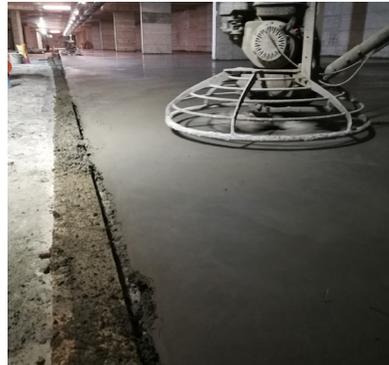
Se pueden usar reglas manuales, vibratorias o láser durante la operación de enrasado. Las reglas guiadas por láser y las reglas vibratorias aseguran la vibración de la superficie, lo que lleva la pasta a la superficie y limita la posibilidad de fibras expuestas. Llanas de madera se recomienda para establecer una superficie lisa y nivelada y puede cerrar cualquier rasgadura o áreas abiertas que se produzcan durante la operación de enrasado. Al igual que con el acabado de cualquier concreto, se debe evitar trabajar demasiado la superficie ya que esto simplemente traerá finos y fibras excesivas a la superficie

ALISADORA A MÁQUINA

El tiempo lo es todo y puede haber una tendencia de los operadores inexpertos a comenzar el acabado de FRC demasiado pronto.

Esto se debe a que el concreto reforzado con fibra se verá más rígido y exhibirá menos agua superficial que el concreto simple. Es importante entender que las fibras no influyen en el proceso de hidratación del concreto. Por lo tanto, el concreto que parece estar listo para el acabado probablemente no lo esté, porque el concreto no fragua más rápido.

Las fibras agregarán cohesión y soporte al concreto, lo que significa que hay menos agua de sangrado. Esto debe tenerse en cuenta cuando los operadores utilizan pruebas en el sitio para determinar y preparar las operaciones de acabado.





El allanado prematuro exhibirá más fibras en la superficie ya que la pasta de cemento no tiene tiempo suficiente para adherirse a la fibra. Esto da como resultado que las fibras se muevan alrededor de la superficie. También atraerá más fibras a la superficie, lo que dificultará el acabado de calidad. Si las fibras parecen estar atraídas hacia la superficie, deténgase, espere de diez a quince minutos y vuelva a intentarlo. El tiempo correcto producirá un acabado suave y uniforme con un mínimo exposición de fibra.

Una buena práctica es comenzar a alisar la superficie con una llana o con las cuchillas motorizadas planas. Esta operación de flotado consolidará la superficie, eliminará las imperfecciones de la superficie y preparará la superficie para otras operaciones de acabado. Continúe con la bandeja o las cuchillas planas durante el mayor tiempo posible y luego aumente lentamente el ángulo de las cuchillas hasta que se obtiene el acabado de concreto deseado.

ACABADO CON RASTRILLO Y ESCOBA

La mejor forma de barrer y rastrillar es tirar de la escoba o el rastrillo en una dirección. Puede haber algunas fibras en la superficie, pero esto es normal y las fibras de PP pueden cortarse o quemarse más tarde; sin embargo, si se dejan, se desgastarán con el tiempo. Las fibras de acero se pueden quitar recortando la fibra de la superficie con alicates compensados o cortadores de alambre. Estos pasos rara vez son necesarios con operadores de FRC.



ELEMENTOS PREFABRICADOS

Hay pocos problemas asociados con FRC en elementos prefabricados cuando el concreto se vierte en encofrado. Sin embargo, se debe tener cuidado para producir un concreto de buena calidad y no vibrar en exceso. Las superficies expuestas deberán ser allanadas a mano en el momento adecuado. Las fibras que sobresalgan se pueden cortar o, en el caso del PP, se pueden quemar las fibras si es necesario.

PARA MÁS INFORMACIÓN DE CONCRETO REFORZADO



SOMOS SIKA

Sika es una empresa de productos químicos especializados con una posición de liderazgo en el desarrollo y producción de sistemas y productos para unir, sellar, amortiguar, reforzar y proteger en el sector de la construcción y la industria del automóvil. Las líneas de productos de Sika presentan concreto, aditivos, morteros, selladores y adhesivos, sistemas de refuerzo estructural, pisos, así como sistemas de impermeabilización y techado.

Se aplicarán nuestras Condiciones Generales de Venta más actuales.
Consulte la hoja de datos del producto local más reciente antes de cualquier uso.



SIKA SERVICIOS AG
Tüffenwies 16
CH-8048 Zürich
Switzerland

Contacto
Teléfono +41 58 436 40 40
www.sika.com

CONSTRUYENDO CONFIANZA

