

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 988 115**

51 Int. Cl.:

<b>C04B 14/38</b>	(2006.01)
<b>C04B 16/06</b>	(2006.01)
<b>C04B 32/02</b>	(2006.01)
<b>E04C 5/07</b>	(2006.01)
<b>B29C 53/58</b>	(2006.01)
<b>C04B 20/00</b>	(2006.01)
<b>C04B 20/10</b>	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.10.2011 PCT/NO2011/000300**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **26.04.2012 WO12053901**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.10.2011 E 11834683 (2)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.05.2024 EP 2630100**

54 Título: **Barra de refuerzo y método para fabricar la misma**

30 Prioridad:

**21.10.2010 NO 20101485**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**19.11.2024**

73 Titular/es:

**REFORCETECH LTD. (100.0%)  
Palmdohlen House Dooradoyle Road  
Limerick, IE**

72 Inventor/es:

**STANDAL, PER, CATO y  
MILLER, LEONARD, W.**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

ES 2 988 115 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Barra de refuerzo y método para fabricar la misma

## 5 Campo técnico de la invención

La presente invención se refiere a un elemento de refuerzo para uso en relación con estructuras que se van a fundir, tal como, por ejemplo, estructuras de hormigón.

- 10 Más específicamente, la presente invención se refiere a barras de refuerzo para estructuras de hormigón y un método para fabricar estas barras, que comprende un gran número de fibras paralelas continuas, ligeramente tensadas para trabajar juntas, preferentemente elaboradas de basalto, carbono, fibra de vidrio o similares, incrustadas en una matriz curada, las barras que tienen preferentemente una longitud promedio de 20 mm a 200 mm, y un diámetro promedio de 0,3 mm a 3 mm, cada barra que se elabora de al menos un haz de fibras que comprende varias fibras paralelas,
- 15 preferentemente rectas que tienen una sección transversal cilíndrica u ovalada y las barras que se proporcionan con una forma de superficie y/o textura para propiedades de unión.

Antecedentes de la invención

- 20 El hormigón liso es fuerte en compresión, pero es muy débil en tensión, dando por resultado una falla por tensión baja. Por lo tanto, es una práctica establecida agregar fibras de pequeña longitud al hormigón al momento de mezclar los ingredientes del hormigón. La fibra mezclada con el hormigón durante la mezcla se dispersará en todas las direcciones de manera aleatoria y proporcionará un efecto de refuerzo en todas las direcciones dentro del hormigón endurecido y curado. La adición de fibra cambiará el modo de agrietamiento de macro agrietamiento a micro agrietamiento. Al modificar
- 25 el mecanismo de agrietamiento, las macrogrietas se convierten en microgrietas. Los anchos de grietas se reducen y se incrementan las tensiones máximas de agrietamiento por tracción del hormigón. La unión mecánica entre la fibra incrustada y la matriz aglutinante proporciona esta redistribución de tensiones. Adicionalmente, la capacidad de modificar el modo de agrietamiento da por resultado beneficios cuantificables, reduciendo el microagrietamiento que conduce a permeabilidad reducida y resistencia a la abrasión superficial incrementada, resistencia al impacto y resistencia a la fatiga.
- 30 Este tipo de hormigón se conoce como hormigón reforzado con fibra.

- El uso de refuerzo de polímero reforzado con fibra resistente a la corrosión (FRP) también se ha propuesto previamente para estructuras de transporte, en particular aquellas expuestas a sales de deshielo y/o ubicadas en un ambiente altamente corrosivo. Las fibras de vidrio, carbono y aramida se usan comúnmente en la fabricación de barras de refuerzo
- 35 para estas aplicaciones de hormigón.

- Los recientes desarrollos en la tecnología de producción de fibra permiten la elaboración de barras de polímero de refuerzo de fibra de basalto (BFRP), fabricadas a partir de fibra de basalto que se elabora a partir de roca de basalto. Las fibras de basalto tienen un buen intervalo de rendimiento térmico, alta resistencia a la tracción, resistencia a ácidos, buenas propiedades electromagnéticas, naturaleza inerte, resistencia a la corrosión, radiación y luz UV, vibración y carga de impacto. Los productos BFRP están disponibles en una variedad de formas, tal como, varillas rectas, bucles, malla bidimensional y espirales.
- 40

- Otras áreas de uso de fibras para reforzar estructuras son las capas de hormigón o revestimientos que se van a usar en las paredes de túneles, ya sea para evitar que la roca se caiga o como un medio de prevención de incendios. Estos hormigones se disparan a la superficie y comúnmente se denominan gunita u hormigón proyectado, así como losas de hormigón prevaciadas o elementos de hormigón prefabricados.
- 45

- A fin de evitar los efectos consecuentes de la fluencia durante las etapas de curación, es decir, para evitar la formación de grietas diminutas o más grandes durante la etapa de curación, se han usado fibras. Un tipo de fibras usadas son fibras de acero que tienen una longitud en la región de 2-5 cm y un diámetro de aproximadamente 1 mm. A fin de proporcionar suficiente unión con el hormigón, los extremos de estas fibras se hacen planos, proporcionando de este modo cabezas extendidas. El propósito de este refuerzo de fibra de acero es evitar el agrietamiento durante la etapa de curación del hormigón verde.
- 50

- También se han propuesto previamente el uso de refuerzos de fibra elaborados de un gran número de fibras de vidrio, aramida o carbono paralelas incrustadas en una matriz y curadas en lugar de o además de fibras de acero.
- 55

- GB 2 175 364 A se refiere a un miembro de refuerzo en forma de varillas o barras de refuerzo continuas largas, rectas, alargadas, que tiene al menos una saliente en su superficie, que se forma al envolver un material tipo cordón en la superficie circunferencial de un núcleo sintético reforzado con fibra. El material tipo cordón se forma al retorcer haces de fibras continuas a un paso en el intervalo de tres vueltas por diez cm a quince vueltas por diez cm. Los haces de fibras comprenden vidrio, o carbono, o boro, o metal, o fibras naturales o sintéticas.
- 60

KR 2006/0009486, JP 8091913 y WO 2008/128314 describen barras de refuerzo para hormigón que comprenden una pluralidad de fibras paralelas continuas incrustadas en una matriz y que tienen muescas helicoidales dispuestas longitudinalmente formadas al enrollar una cuerda alrededor de las barras antes de la etapa de curación.

5 US 5,182,064 describe un método para producir una varilla de plástico reforzada con fibra larga, alargada que tiene nervaduras en su superficie al impregnar un material de refuerzo que tiene haces de fibras largas continuas con una resina líquida no curada. Un miembro de formación de nervaduras se prepara por separado al impregnar un material de refuerzo de haz de fibras con una resina líquida no curada. Se forma una varilla de plástico reforzada con fibra al aplicar helicoidalmente el miembro de formación de nervaduras y al curar conjuntamente los dos miembros en un cuerpo integral.

10 JP 4224154 describe un miembro de refuerzo para hormigón que tiene alta resistencia de adhesión de restricción y resistencia a la tracción al enrollar hilos gruesos e hilos finos alrededor de un material de núcleo que comprende fibra de refuerzo y resina termoendurecible, y endurecido y curado en tanto que se forma una capa de recubrimiento resistente con un termoendurecimiento.

15 JP 07-49552 y JP 2002-154853 describen cómo mejorar la resistencia de refuerzo del cemento al formar salientes en forma de anillo que sobresalen hacia afuera, o extremos aplanados, en haces de fibras alargados, incrustados en un material muy pegajoso, cortándolos en haces de fibras cortos dispuestos en una dirección e incrustados en una matriz de resina.

20 JP 1207552 describe una solución donde se refuerza una resina termoplástica con haces de fibra de refuerzo orientados en una dirección, y se aplica a la misma un proceso de flexión. Cuando se va a aplicar el proceso de flexión, se enrolla un hilo que consiste en la misma fibra que la fibra de refuerzo mencionada, y un polvo que consiste en carburo de silicio, óxido de aluminio, acero inoxidable, etc., con propiedades de unión ricas al hormigón se fija a las periferias de la varilla a fin de incrementar la resistencia de unión de un miembro de refuerzo al hormigón.

25 CN 2740607 divulga una estructura de fibra reforzada para hormigón. La fibra es una fibra de alto polímero que se proporciona con una superficie rugosa. La forma en sección transversal de la estructura de fibra reforzada puede ser una forma de seis hojas o una forma de cinco hojas. Una forma de perfil puede ser una forma de onda o una forma de diente de sierra. El diámetro de la fibra está entre 0,5 mm y 1,0 mm. La longitud de la fibra es entre 40 mm y 75 mm. La estructura de la fibra tiene alta resistencia a la tracción, bajo módulo elástico, fuerte resistencia a la acidez y alcalinidad y una gravedad específica ligera. La fibra se usa para controlar las grietas en el hormigón durante la etapa de curación.

30 CN 201236420 divulga material de nervadura que se puede usar en la construcción en lugar de barras de acero de refuerzo. El material de nervadura compuesto de fibra es una barra seccional cilíndrica flexible formada por encolado y composición de una pluralidad de haces de núcleo de fibra de basalto y un sustrato de resina que recubre el haz de núcleo de fibra de basalto. Las barras son unidades largas de un tamaño similar a las barras de refuerzo convencionales de acero y se proporcionan con ranuras helicoidales.

35 EP 2087987 divulga un método y un dispositivo para introducir fibras de acero más largas en hormigón usando un dispositivo montado en o cerca de una boquilla de hormigón, donde las fibras se cortan y se disparan en el flujo de hormigón a través de una tubería, directamente en la mezcladora de hormigón.

40 JP2007070204 y JP 2008037680 describen un haz de fibra de carbono en la forma de un hilo apilado de dos o más haces de fibra de carbono. El haz de fibra de carbono se retuerce 50-120 por metro y tiene una longitud del orden de 5-50 mm. La superficie de haz de fibra de carbono tiene un intervalo corrugado de 3-25 mm. El haz plano de fibra de carbono que tiene una relación ancho/espesor de 20 o más, se tuerce y procesa. La sección transversal del alambre es de 0,15-3 mm.

45 WO 98/10159 describe fibras, continuas o discontinuas, y barras que tienen geometrías optimizadas para uso en el refuerzo de cemento, la sección transversal de lo cual es poligonal. Las geometrías se diseñan para incrementar la relación del área de superficie disponible para unión entre la fibra y la matriz al área en sección transversal de la fibra.

50 US 2001/0051266 y US 2004/0018358 describen fibras que se deforman micromecánicamente de modo que las fibras se aplanan y tienen deformaciones superficiales para contacto mejorado con el material de matriz, el material de matriz, entre otros, puede ser hormigón. Las fibras tienen preferiblemente una longitud en la región de 5-100 mm y un ancho promedio de 0,5-8 mm, las fibras que se elaboran de uno o más polímeros sintéticos o metal, tal como acero.

55 WO 02/06607 describe fibras que se van a usar en mezclas de hormigón, las fibras que son planas o aplanadas y tienen un primer y segundo extremo plano o aplanado opuesto que se tuercen fuera de fase y que definen allí entre un cuerpo de fibra helicoidal alargado intermedio. Las fibras tienen una longitud promedio de aproximadamente 5-100 mm y un ancho promedio de 0,25-8,0 mm y un espesor promedio de 0,00-3,0 mm. Las fibras se elaboran de polipropileno o polietileno.

60 US 5 725 954 describe una barra de refuerzo alargada de un compuesto termoplástico reforzado con fibra que tiene lóbulos y valles alternativos en su superficie que definen una sección transversal de acanaladuras. Los lóbulos y valles se extienden helicoidalmente a lo largo del eje longitudinal del compuesto y el paso helicoidal puede variar adecuadamente

de aproximadamente 4,572 a 20,32 cm (1,5 a 8 pulgadas) y el compuesto alargado puede tener un diámetro de 0,125 pulgadas a 20,32 cm (8 pulgadas).

5 También se hace referencia a WO 2003/025305, que pertenece al solicitante, esta publicación que se incluye por la referencia tanto con respecto al método de fabricación como a la configuración y construcción de barras de refuerzo compuestas alargadas.

10 Existe la necesidad de un tipo de refuerzo mejorado que de manera simple sea adecuado para reparar estructuras de hormigón agrietado convencionales, reforzado con refuerzo de acero convencional de modo que el refuerzo de acero expuesto se pueda sellar y, además, restaurar y posiblemente proporcionar integridad estructural adicional de la estructura de hormigón agrietado.

15 Es además una necesidad proporcionar refuerzo para estructuras de hormigón evitando la necesidad de refuerzo complejo o convencional colocado in situ, basando el refuerzo en refuerzo colocado más o menos aleatoriamente dentro del hormigón verde, reduciendo el requerimiento de o al menos parte del refuerzo convencional.

Además, existe la necesidad de un método efectivo y mejorado para producir las barras de fibra cortas y para mejorar el efecto de unión entre el hormigón circundante y las barras cortas.

20 También existe la necesidad de un refuerzo de barra corta que contribuya a la resistencia de hormigón también en las etapas posteriores a la curación completa del hormigón.

25 También se debe apreciar que existe la necesidad de un refuerzo confiable sin mantenimiento donde el acceso esté limitado para instalación del refuerzo de barra o para uso en procesos donde la maquinaria automatizada limite la oportunidad de usar refuerzo de barra recta o jaulas de refuerzo prefabricadas o colocadas in situ, incluidas estructuras tal como losas, tuberías, alcantarillas de drenaje, pavimento, anclajes de mar, etc.

30 En la mayoría de los documentos mencionados anteriormente, las fibras plásticas usadas se eligen de un grupo que tiene un peso específico que contribuye a un peso específico total de las fibras, es decir, fibra y matriz, que es menor que 1, dando de esta manera a las barras cortas una tendencia a flotar hacia la superficie superior en el proceso de vertido. Además, las fibras de plástico de la técnica anterior también tienen una tendencia a absorber agua, provocando deshidratación en una fase de vaciado donde existe la necesidad de un exceso de agua para lograr una curación adecuada del hormigón.

35 Al verter el hormigón, las fibras plásticas de la técnica anterior tienen una tendencia a flotar hacia la superficie al salir de la tolva. Además, las fibras de acero convencionales tienen una tendencia a acumularse durante la mezcla el vertido, dando por resultado obstrucción, y también es difícil de mezclar debido a las tendencias de absorción de agua, que tiene un efecto negativo en el proceso de deshidratación y curación del hormigón vertido. Estos efectos negativos reducen el intervalo de fracción de volumen en el que se puede usar acero y fibra de plástico. La ventaja de las MiniBars<sup>MR</sup> de basalto de acuerdo con la presente invención es la densidad y la no absorción de agua, lo que permite mezclar en intervalo de hasta 10 % de fracción de volumen VF que de otro modo habría sido imposible usando fibras convencionales.

#### Sumario de la invención

45 Un objeto clave de la presente invención es incrementar la resistencia a la tracción del hormigón reforzado con fibra hasta 15 MPa en la resistencia a la tracción por flexión usando los métodos de prueba ASTM y también la resistencia a la tracción residual, y transformar el modo de falla por compresión en plástico versus quebradizo, reduciendo la fractura de volumen preferentemente por debajo de 10, estableciendo de esta manera un refuerzo muy eficiente.

50 También un objeto de la presente invención es proporcionar un hormigón reforzado con MiniBar<sup>MR</sup> que tenga muy buena tenacidad a la flexión y capacidades de absorción de energía después del agrietamiento. La definición de MiniBar<sup>MR</sup> que comprende barras de refuerzo de fibra de basalto, carbono o vidrio cortas, formadas de varias fibras sustancialmente paralelas incrustadas en una matriz adecuada, y que comprende una hélice enrollada alrededor de las fibras incrustadas, que forman muescas dispuestas helicoidalmente que se extienden circunferencialmente de una manera continua a lo largo de la barra, la barra que tiene una longitud en la región de 20 a 200 mm y un diámetro en la región de 0,3 mm a 3 mm y posiblemente con una superficie rugosa como se menciona adicionalmente más adelante, en lo sucesivo referida MiniBars<sup>MR</sup>.

60 Otro objeto de la presente invención es proporcionar un refuerzo que sea activo tanto durante la etapa de curación como control de grietas inherente y durante la vida de la estructura de hormigón, que tiene propiedades de soporte de carga y distribución también posteriores a la curación completa, mejorando de esta manera la integridad estructural de estas estructuras de hormigón.

65 Otro objeto de la presente invención es proporcionar un elemento de refuerzo que reduzca el alcance del trabajo preparatorio en estructuras de hormigón dañadas a fin de reparar daños en estas estructuras.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar un método para producir el refuerzo de barra con cualidades y propiedades de unión mejoradas cuando se usa en hormigón.

5 Otro objeto de la presente invención es proporcionar un sistema de refuerzo que también se puede usar en estructuras de hormigón tal como muros de mar donde la resistencia de hormigón mejorada en tensión eliminaría la necesidad del acero ligero o moderado u otro tipo de refuerzo.

10 Otro objeto de la presente invención es proporcionar un refuerzo de FRP que consiste en barras cortas que no contribuyen de manera negativa al proceso de curación del hormigón en tanto que al mismo tiempo mejora el efecto de unión y el mecanismo de unión con el hormigón circundante.

15 Se debe apreciar que las fibras de acero, debido a su falta de resistencia a la corrosión, perderán gradualmente su resistencia de refuerzo. Por lo tanto, otro objeto de la presente invención es proporcionar una fibra de refuerzo resistente a álcalis.

Aún un objeto adicional es proporcionar un refuerzo de MiniBar<sup>MR</sup> que permita la colocación aleatoria en la mezcla y que no esté influenciado por el uso de vibradores para hacer vibrar el hormigón verde.

20 Un objeto adicional de la presente invención es proporcionar un refuerzo que sea adecuado para reforzar estructuras que de otro modo son difíciles de acceder, tal como cimentación profunda en excavación, pilotes de cimentación o paredes de diafragma.

25 Otro objeto de la invención es proporcionar un refuerzo de MiniBar<sup>MR</sup>, la posición de lo cual no se afecta cuando el hormigón verde se hace vibrar debido a la densidad.

30 Otro objeto de la presente invención es proporcionar un sistema de refuerzo donde el efecto de refuerzo de las fibras y refuerzo convencional en forma de barras o bucles de refuerzo trabajen conjuntamente en toda el área de sección transversal de una estructura de hormigón, y también evitar la formación de grietas del hormigón y/o desconchamiento de superficie posterior a la curación completa del hormigón. En este caso, el refuerzo de fibra y el refuerzo en forma de barras, bucles o refuerzo de pretensado funcionan como un refuerzo integrado.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar un sistema de refuerzo que reduzca el costo de mano de obra requerido y mantenga un nivel factible de trabajabilidad del hormigón verde.

35 Aún otro objeto de la presente invención es proporcionar elementos de refuerzo que se configuran de tal manera que cuando una estructura de hormigón, reforzada con los elementos de refuerzo de acuerdo con la invención se somete a cargas y fuerzas, la falla debe ser por pérdida de unión entre un elemento de refuerzo y no por rotura de la MiniBar<sup>MR</sup>, permitiendo que el hormigón falle o se agriete pero no la propia MiniBar<sup>MR</sup>, dando de esta manera a la estructura de hormigón resistencia posterior al agrietamiento relacionada con la buena resistencia de unión.

40 Aún otro objeto de la presente invención es proporcionar barras cortas mejoradas que no se obstruyan durante la mezcla con hormigón verde y que no se hundan o floten en un lote de hormigón verde mezclado durante la mezcla o vertido.

45 Los objetos se logran por uso de un refuerzo de Mini-Bar<sup>MR</sup> cortas como se define adicionalmente por las reivindicaciones independientes. Las posibles realizaciones se definen por las reivindicaciones dependientes.

50 Aún otro objeto de la presente invención es proporcionar un refuerzo de MiniBbar<sup>MR</sup> donde el diámetro y la resistencia de unión, que son dimensiones críticas para obtener la resistencia, se combinan de tal manera que la resistencia a la tracción por flexión y residual requerida excede 15 MPa.

De acuerdo con la presente invención, se propone también que las MiniBars<sup>MR</sup> eliminen la necesidad de polímeros de refuerzo de fibra de acero o basalto en algunas aplicaciones, tal como refuerzo de corte.

55 Los objetos anteriores se logran por una barra de refuerzo y un método para usar y producir las barras como se define adicionalmente por las reivindicaciones independientes. Realizaciones opcionales de la invención se definen por las reivindicaciones dependientes.

60 De acuerdo con la presente invención, la barra de refuerzo para estructuras de hormigón comprende un gran número de fibras paralelas continuas, preferentemente elaboradas de fibra de basalto, o similares, incrustadas en una matriz curada. Las barras pueden tener preferentemente una longitud promedio en el intervalo de 20 mm a 200 mm, y un diámetro promedio en el intervalo de 0,3 mm a 3 mm y cada barra se puede elaborar de al menos un haz de fibras que comprende varias fibras paralelas, preferentemente rectas que tienen una sección transversal cilíndrica, la sección transversal que es preferentemente más o menos circular u ovalada. Al menos una parte de la superficie de cada barra se puede deformar antes o durante la etapa de curación de la matriz por medio de:

65

- 5 a) una o más cuerdas de un material elástico o inelástico, pero tensado que se enrolla helicoidalmente alrededor del al menos un haz de fibras rectas paralelas antes de la curación de la matriz en la cual se incrustan las fibras, manteniendo las fibras en un estado paralelo durante la curación y proporcionando una superficie externa irregular con muescas helicoidales dispuestas longitudinalmente en una dirección longitudinal en la superficie del haz o haces de fibras matriciales de las barras de refuerzo, y/o
- b) que las barras se proporcionen con una forma y/o textura de superficie que contribuya a una buena unión con el hormigón; proporcionando de este modo una superficie rugosa.

10 De acuerdo con una realización de la invención, las dos o más cuerdas se pueden enrollar helicoidalmente en dirección opuesta alrededor del o de los haces de fibras incrustadas en la matriz.

Además, las MiniBars se pueden elaborar preferentemente de fibras de basalto, carbono, vidrio o similares.

15 Se debe apreciar que la longitud de paso de la hélice está en el intervalo de 10 mm a 22 mm, y preferentemente es de alrededor de 17 mm para coincidir con el grado de hormigón y el tamaño de agregado, en tanto que el ángulo de la hélice con respecto a la línea central de la fibra de minibar puede estar preferentemente en el intervalo de 4 a 8 grados, en tanto que el ángulo de las fibras paralelas con respecto a la línea central de la fibra de minibar debe estar entre 2 y 5 grados.

20 La invención también comprende un método para fabricar barras de refuerzo. Cada barra puede comprender un gran número de fibras paralelas continuas, preferentemente elaboradas de fibra de basalto, o similares, incrustadas en una matriz curada, las barras que tienen preferentemente una longitud en el intervalo de 20 mm a 200 mm, y un diámetro en el intervalo de 0,3 mm a 3 mm. Estas barras se pueden elaborar de al menos un haz de fibras, que antes o durante el proceso de curación se proporcionan con una textura superficial que contribuye a una buena unión con el hormigón, la

25 textura superficial se obtiene al enrollar helicoidalmente una o más cuerdas de un material elástico alrededor del al menos un haz de fibras paralelas, las fibras que también son rectas.

De acuerdo con una realización, al menos una cuerda helicoidal se enrolla antes de la curación de la matriz, reteniendo las fibras en un estado paralelo durante la curación y proporcionando una superficie externa irregular en una dirección

30 longitudinal de las barras de refuerzo. Se pueden usar dos o más de estas cuerdas, por ejemplo, enrolladas helicoidalmente en dirección opuesta.

El enrollado helicoidal se puede enrollar con un ángulo en el intervalo de 4 a 8 grados, con respecto a la línea central de la MiniBar alargada.

35

Estas fibras se pueden mezclar aleatoriamente con hormigón verde y usarse para trabajos de reparación de hormigón agrietado y también para proporcionar resistencia residual promedio y resistencia a la flexión en las estructuras de hormigón curado, restaurando o mejorando de esta manera la integridad estructural de la estructura de hormigón.

40 De acuerdo con una realización de la invención, la barra de refuerzo comprende un gran número de fibras paralelas continuas, preferentemente elaboradas de basalto, incrustadas en una matriz curada, las barras que tienen preferentemente una longitud promedio en el intervalo de 20 mm a 200 mm, y un diámetro promedio en el intervalo de 0,3 mm a 3 mm. Cada barra se puede elaborar de al menos un haz de fibras que comprende varias fibras paralelas, preferentemente rectas que tienen una sección transversal más o menos cilíndrica u ovalada y que se proporcionan con

45 una forma de superficie y/o textura que contribuye a una buena unión con el hormigón.

Al menos una parte de la superficie de cada barra se deforma antes o durante la etapa de curación de la matriz por medio de:

- 50 a) una o más cuerdas de un material de cuerda que se enrolla helicoidalmente alrededor del al menos un haz de fibras rectas paralelas antes de la curación de la matriz en la cual se incrustan las fibras, manteniendo las fibras en un estado paralelo durante la curación y proporcionando una superficie externa irregular en una dirección longitudinal de las barras de refuerzo, y/o
- 55 b) al menos una sección deformada y/o posiblemente al menos un extremo de cada barra de refuerzo; produciendo de este modo una superficie rugosa y/o estas deformaciones pueden ser cualquier deformación o abolladuras o formas que impidan o al menos restrinjan sustancialmente la extracción.

También se debe apreciar que una fibra de basalto más delgada usada como hélice alrededor de la barra de fibra de basalto principal incrementará la resistencia de la MiniBar<sup>MR</sup>.

60 De acuerdo con una realización adicional, una, dos o más cuerdas se enrollan helicoidalmente en dirección opuesta, la una o más cuerdas que crean las muescas requeridas de acuerdo con la presente invención.

De acuerdo con la presente invención, las muescas dispuestas helicoidalmente se proporcionan al retorcer un hilo o

65 unidad de fibra helicoidalmente alrededor del haz de fibras impregnadas, más o menos no curadas, al aplicar una tensión

más alta en el hilo que en el haz, proporcionando de este modo una torsión en el haz y/o una muesca dispuesta helicoidalmente que se extiende a lo largo de toda la longitud del haz y/o las barras de corte cortas, como sea el caso.

5 De manera alternativa o además, la superficie exterior de la barra se puede proporcionar con al menos una porción agrandada o aplanada o que tiene un diámetro variable, la superficie que se proporciona antes de la fase de curación, proporcionando de este modo una mejor unión con el hormigón.

10 Cada barra también puede tener una sección o extremos medios deformados, incrementando el área de superficie de contacto de la barra.

15 En un método preferido para la fabricación de barras de refuerzo como se define adicionalmente anteriormente, la textura superficial se obtiene al enrollar helicoidalmente una o más cuerdas de un material elástico o inelástico alrededor del al menos un haz de fibras paralelas, las fibras que también son rectas. Al menos una cuerda helicoidal se puede enrollar preferentemente alrededor de las fibras y matriz antes de la curación de la matriz, reteniendo las fibras en un estado paralelo durante la curación y proporcionando una superficie externa irregular en forma de muescas que se extienden helicoidalmente en una dirección longitudinal de las barras de refuerzo. De manera alternativa, dos o más cuerdas se pueden enrollar helicoidalmente alrededor de las fibras y la matriz en direcciones opuestas, la tensión en la o las cuerdas es mayor que la tensión usada para jalar el haz a lo largo de la línea de producción hacia la etapa de curación y endurecimiento.

20 La superficie exterior de la barra se puede proporcionar además o en su lugar con al menos una porción agrandada o aplanada o que tiene un diámetro variable, la porción agrandada o aplanada que se forma antes de la fase de curación, proporcionando de este modo una mejor unión con el hormigón.

25 Las barras de acuerdo con la presente invención se pueden mezclar con hormigón verde y usarse para trabajos de reparación de hormigón agrietado, también para proporcionar resistencia residual promedio y resistencia a la flexión incrementada en las estructuras de hormigón curado, restaurando o mejorando de esta manera la integridad estructural de la estructura de hormigón.

30 Otras posibles áreas de uso son pisos de hormigón en edificios, ya sea prefabricados u hormigonados in situ; adoquines de hormigón que se pueden elaborar más delgados y livianos debido a los efectos de fortalecimiento de las MiniBars<sup>MR</sup> de basalto, etc. Otra área de uso es el hormigón para producir abrazaderas o pesas que sujetan las tuberías marinas en el lecho marino.

35 Otro tipo de uso de las MiniBars<sup>MR</sup> de acuerdo con la presente invención puede, por ejemplo, pero no exclusivamente, ser muy adecuado para uso en estructuras que están expuestas a líquidos y en particular a agua que tiene un pH menor de siete o agua que contiene sal. Estas estructuras pueden ser, por ejemplo, estructuras para la defensa marítima y porciones de embarcaderos/paredes de muelle debajo o expuestas a una línea de flotación, pilares para puentes, barcasas de hormigón o similares. El refuerzo también se puede usar en estructuras terrestres donde el acceso para instalar un refuerzo convencional es difícil. Esta aplicación puede ser, por ejemplo, cimientos profundos en excavaciones o paredes de diafragma, pilotes o similares.

45 Se debe señalar que el refuerzo de basalto de MiniBar<sup>MR</sup> se puede agregar al hormigón verde durante la mezcla, entregado por camiones. De manera alternativa, el refuerzo MiniBar<sup>MR</sup> se puede entregar en hormigón seco para piedras de pavimento y alcantarillas de drenaje, etc.

50 El material usado para establecer el patrón helicoidal de las barras puede ser, por ejemplo, un hilo elástico o inelástico. Como alternativa, también se pueden usar hilos de fibra de basalto, ya que la hélice también puede contribuir tanto a la resistencia como a la rigidez de las MiniBars<sup>MR</sup>.

Además, también se debe apreciar que las MiniBars<sup>MR</sup> además se pueden recubrir con una capa de material particulado dispuesto aleatoriamente, tal como arena, vidrio o tipo similar de materiales duros.

55 De acuerdo con la presente invención, las MiniBars<sup>MR</sup> se mezclan uniformemente en el hormigón verde, orientadas aleatoriamente. Las MiniBars<sup>MR</sup> tienen una densidad similar al hormigón, aunque no exactamente la misma. En consecuencia, las MiniBars<sup>MR</sup> no flotan ni se hunden en el hormigón verde y sin que se afecten por la vibración del hormigón, es decir, ni migran hacia arriba o hacia abajo hasta la parte inferior del hormigón verde cuando se hace vibrar el hormigón.

60 Se considera que el comportamiento de las MiniBars<sup>MR</sup> en el hormigón depende tanto de las propiedades de hormigón como de la distribución de las MiniBars<sup>MR</sup> en el hormigón. Las propiedades de hormigón pueden ser importantes debido a que las barras son cortas en comparación con su diámetro y por lo tanto, no desarrollan un anclaje completo en el hormigón. Por lo tanto, las fuerzas que se pueden movilizar en las barras son muy dependientes de la resistencia de hormigón y la tensión de unión resultante desarrollada entre el hormigón y las barras. La distribución de la MiniBar<sup>MR</sup> en el hormigón es importante debido a que se usa un número relativamente pequeño de barras en la mezcla, en comparación

con las fibras convencionales. Este número relativamente pequeño de barras significa que una pequeña variación en la distribución a través de la mezcla puede tener un efecto notable en la resistencia.

5 Además, el tamaño de los agregados usados en la mezcla de hormigón puede tener un efecto en la resistencia de la estructura de hormigón curado. Un tamaño de agregado más pequeño mezclado con las MiniBars<sup>MR</sup> de acuerdo con la presente invención ha afectado la calidad de la distribución de barras y en consecuencia, ha mejorado la resistencia de hormigón.

10 De acuerdo con la presente invención, la hélice alrededor del haz de fibras rectas puede ser beneficiosa. Las MiniBars<sup>MR</sup> colocadas más o menos aleatoriamente de acuerdo con la presente invención actuarán como enlaces de corte en la estructura de hormigón, puenteando y mejorando la resistencia al corte del hormigón. Las MiniBars<sup>MR</sup> de acuerdo con la presente invención también pueden ser un refuerzo convencional complementario, ya sea barras o jaulas de refuerzo flexionales de acero o basalto o fibra de carbono longitudinales convencionales, las MiniBars<sup>MR</sup> que funcionan al menos como refuerzo de corte, por ejemplo, para reducir el tiempo de fijación requerido por los fijadores de refuerzo.

15 Una ventaja única obtenida por el uso de las MiniBars<sup>MR</sup> de acuerdo con la presente invención es que las pruebas han demostrado que los requerimientos de resistencia residual relevantes, con base en pruebas ASTM C1609 (como se especifica en ACI 318-08 para hormigón reforzado con fibra de acero) para uso de las MiniBars<sup>MR</sup> de acuerdo con la presente invención como refuerzo de corte en losas y vigas de hormigón reforzado. Este tipo de fibras es de un tipo de fibra estructural libre de corrosión, resistente a álcalis.

20 Las barras de refuerzo de fibra de basalto de acuerdo con la presente invención tienen los siguientes mecanismos de unión:

25 En la escala macro, el paso controlado de la fibra de basalto y la rosca de hélice se tuercen en un intervalo de 10 a 22 mm. La unión será entre los agregados del hormigón, el agregado que tiene una forma irregular que enganchará o creará una unión por fricción y/o mecánica con las muescas en la superficie de MiniBar y con los otros agregados circundantes en el hormigón, asegurando un efecto de unión adecuado. Además, las partículas de arena fina y las partículas de cemento que se encuentran entre los agregados más grandes también contribuirán a este efecto de unión. Si la longitud de paso de las MiniBars de acuerdo con la presente invención, es decir, la distancia o longitud de una vuelta de la cuerda helicoidal delgada, es demasiado grande y/o recta, es decir, un paso muy grande, las MiniBars<sup>MR</sup> se sacarán, en tanto que si la distancia o longitud es demasiado pequeña, la MiniBar de acuerdo con la presente invención se romperá y/o aplastará las partículas finas que rodean el cemento adyacente, las partículas que son principalmente partículas finas debido al volumen reducido de muescas por longitud de la barra.

35 En la microescala, las superficies de las fibras de basalto discretas se volverán rugosas debido a las pequeñas muescas longitudinales formadas entre las fibras paralelas en el haz, formando un efecto de unión entre las partículas finas en el hormigón, permitiendo y proporcionando un fuerte efecto de microunión entre el pequeño agregado y las partículas finas en el hormigón y la MiniBars<sup>MR</sup>.

40 Una característica del proceso RFT es ser capaz de coincidir con la longitud de paso de hélice (ver figura 3) para adaptarse al tamaño de agregado más grande, de modo que la MiniBars<sup>MR</sup> y el agregado puedan entrelazarse de la manera más eficiente, es decir, longitudes de paso más pequeñas para coincidir con mezclas de agregados más pequeñas.

45 El enlace químico del hormigón con la capa delgada de la matriz y los filamentos más externos de la fibra de basalto también contribuirá al efecto de unión entre las fibras y el hormigón circundante.

50 Las uniones anteriores son directamente con las fibras de basalto rectas con pequeña torsión encerradas y unidas por matriz. La unión no se basa en la adición de partículas de arena que se ha mostrado que separan por corte las barras recubiertas con éster de vinilo. Además, la unión no se basa en una unión con un anillo agregado externamente y "pegado" de material secundario como se propone en la técnica anterior. La unión de MiniBars<sup>MR</sup> está en la dirección de las fibras, y tanto las fibras como las muescas elaboradas por el hilo delgado helicoidalmente retorcido permiten un buen enlace mecánico entre la barra de refuerzo y el hormigón circundante en toda la longitud de la MiniBars<sup>MR</sup>.

55 Se debe apreciar que, a fin de proporcionar la superficie rugosa de las MiniBars<sup>MR</sup> de acuerdo con la presente invención, el factor de peso de las fibras con respecto al factor de peso de la matriz debe estar preferentemente en el intervalo de 65 a 85, más preferentemente en el orden de 70 a 77, y más preferentemente alrededor de 75. Si el factor de peso de la matriz usada es demasiado alto, las muescas finas entre las fibras en la superficie de la MiniBars<sup>MR</sup> se llenarán con matriz, reduciendo de este modo la contribución de los agregados/partículas finas a la unión a microescala y provocando que la matriz se desprenda fácilmente como una "manguera". Si el volumen de la matriz es demasiado pequeño, se reducirá la contribución de corte proporcionada por la unión entre las fibras en la superficie y los agregados y/o partículas finas en el hormigón.

65 Además, el ángulo  $\alpha$  más preferido de la hélice con respecto a la línea central de la MiniBars<sup>MR</sup> de acuerdo con la presente invención debe estar preferentemente en la región de 4 a 8 grados, en tanto que el ángulo  $x$  de las fibras paralelas con respecto a la línea central de la MiniBars<sup>MR</sup> debe estar preferentemente en el orden de 2 a 5 grados. La MiniBars<sup>MR</sup> se

puede producir preferiblemente de acuerdo con el contenido de US 7,396,496, el contenido de la cual se incorpora por la presente por la referencia.

5 Las pruebas han demostrado que las fibras de acuerdo con la presente invención se mezclan bien y permanecen aleatorias en la mezcla independientemente de la velocidad de giro del tambor giratorio del camión de transporte de mezcla de hormigón. Además, las fibras permanecen distribuidas aleatoriamente y permanecen distribuidas uniformemente a través del volumen mezclado también durante el vertido.

10 También se debe apreciar que tanto el diámetro como la resistencia de unión son críticos para asegurar la resistencia requerida del mini refuerzo de fibra.

15 En tanto que las soluciones de la técnica anterior se basan en la resistencia de corte de la epoxi usada como matriz, las barras de fibra de acuerdo con la presente invención se basan en la resistencia de corte entre la arena y los agregados en el hormigón en un lado y la unión obtenida con la superficie de la superficie de MiniBar.

20 El intervalo de diámetros es importante ya que la contracción en el hormigón también actúa como un mecanismo de sujeción que es más fuerte en los diámetros más grandes que en los diámetros pequeños. Las pruebas han mostrado que conforme se reduce el diámetro, incrementa la eficiencia en la sujeción como se mide como unión en la prueba de tracción por flexión, en tanto que disminuye la unión como se mide por la resistencia residual promedio. Las implicaciones son que para diferentes niveles de resistencia como se requiera durante la modificación de estructuras de hormigón, se pueden especificar diferentes diámetros para proporcionar el nivel de resistencia deseado o requerido.

25 En comparación con las dimensiones de las MiniBars<sup>MR</sup>, el agregado puede tener cualquier tamaño normal comúnmente usado en el hormigón.

Breve descripción de los dibujos

Ahora se describirán realizaciones de la invención con más detalles, con referencia a los dibujos anexos, donde:

30 La figura 1 muestra esquemáticamente una vista de una primera realización de una MiniBars<sup>MR</sup> de acuerdo con la presente invención, que indica un enrollado apretado;

La figura 2 muestra esquemáticamente una vista de una segunda realización de una MiniBars<sup>MR</sup> de acuerdo con la presente invención, que muestra enrollados que tienen una longitud de paso más larga;

35 La figura 3 muestra esquemáticamente y en una escala ampliada una porción de una realización de una MiniBars<sup>MR</sup> de acuerdo con la presente invención, que indica diferentes ángulos de importancia;

La figura 4 muestra esquemáticamente en una escala ampliada una sección vertical en dirección axial de una realización de una MiniBars<sup>MR</sup> de acuerdo con la presente invención, indicación de la dirección de las numerosas fibras sustancialmente paralelas y que indica la interacción entre los agregados y las partículas finas del hormigón por un lado y la superficie y las muescas de la superficie de fibra de MiniBars<sup>MR</sup> por otro lado;

40 La figura 5 muestra esquemáticamente en una escala ampliada una sección transversal a través de una MiniBars<sup>MR</sup> de acuerdo con la presente solicitud, indicando también las muescas y la superficie rugosa;

La figura 6 muestra una gráfica que muestra la resistencia a la tracción por flexión medida en MPa de un hormigón de mezcla seca para diferentes dosis de fibra en % en volumen;

45 La figura 7 muestra la resistencia residual promedio medida en MPa para una mezcla seca de diferentes dosis de fibra en % en volumen; y

La figura 8 muestra la resistencia a la tracción por flexión medida en MPa, de hormigón normal con un tamaño máximo de agregado de 20 mm, para diferentes dosis de fibra en % en volumen;

La figura 9 muestra la resistencia a la tracción por flexión del hormigón de alta resistencia con un agregado de tamaño máximo de 20 mm, para diferentes dosis de fibra en % en volumen;

50 La figura 10 muestra hormigón de resistencia residual promedio con agregado de tamaño máximo de 20 mm; y una hoja que divulga los resultados de las pruebas, mostradas en la tabla 1, tabla 2 y tabla 3, donde la tabla 1 divulga los resultados de prueba para la generación 1 y 2 de hormigón de mezcla seca; la tabla 2 muestra los resultados de prueba para hormigón normal con agregados de máximo 20 mm, el % de dosis que es la variable; y la tabla 3 muestra los resultados de prueba para hormigón de alta resistencia con agregado de máximo 20 mm para tres % de dosis de fibra diferentes.

55 Descripción detallada de los dibujos

60 La figura 1 muestra esquemáticamente una vista de una primera realización de una MiniBars<sup>MR</sup> 10 de acuerdo con la presente invención. La MiniBars<sup>MR</sup> 10 comprende un gran número de fibras paralelas 11 de basalto, fibra de vidrio o carbono, incrustadas en una matriz curada de un tipo convencional que resiste ataques alcalinos. La matriz puede ser, por ejemplo, un termoplástico, un éster vinílico (VE) o una epoxi. Una cuerda elástica o cuerda inelástica 12 se enrolla continuamente alrededor de las fibras incrustadas alargadas, aplicando una cierta tensión en la cuerda 12 para deformar parcialmente la superficie circunferencial de la barra 10, produciendo muescas alargadas dispuestas helicoidalmente 14. Esta operación de enrollado se realiza preferentemente de forma simultánea o ligeramente después del proceso de incrustación de las fibras alargadas 11 en la matriz, pero antes de la etapa final de la curación, asegurando de este modo la deformación requerida de la superficie circunferencial de las barras 10. Además, la MiniBars<sup>MR</sup> 10 se puede elaborar

65

como cuerdas o barras alargadas en un proceso continuo, después de lo cual la barra continua se corta en longitudes preferentemente en el intervalo de 20 mm a 200 mm, en tanto que el diámetro o espesor de las barras puede estar preferentemente en el intervalo de 0,3 mm a 3 mm. La hélice se puede elaborar de una cuerda elástica o inelástica, por ejemplo, de basalto que, cuando se tensa de manera controlada, puede crear la deformación superficial repetible y deseada en forma de muescas. Además, la superficie externa de la MiniBars<sup>MR</sup> puede tener preferentemente una textura tipo cabello, que comprende varios cabellos finos o extremos de fibra que se extienden desde la MiniBars<sup>MR</sup> en una dirección aleatoria. Esto se puede lograr al retorcer el gran número de fibras de basalto paralelas incrustadas en una matriz no curada, preferentemente como un haz individual, alrededor de la hélice fina, transformando de esta manera el hilo fino recto en una hélice alrededor del haz de fibras. Durante el proceso de establecimiento de la hélice, la tensión en la hélice fina, más delgada se controla con respecto a la tensión en el haz de fibras de basalto. La realización mostrada en la figura 1 es el medio principal para mejorar la unión con el hormigón circundante que es la forma desigual de la Mini-Bar<sup>MR</sup> formada por la hélice tensada 12. La diferencia de tensión se mantiene en la barra hasta que la matriz esté suficientemente curada y endurecida. Un medio secundario es la unión al hormigón a nivel microscópico con la superficie rugosa creada por las fibras que sobresalen parcialmente de la matriz.

La figura 2 muestra esquemáticamente una vista de una segunda realización de una MiniBars<sup>MR</sup> 10 de acuerdo con la presente invención. De acuerdo con esta realización, la MiniBar<sup>MR</sup> 10 se proporciona con una hélice 12 como se muestra en la figura 1. Además, los dos extremos 13 se deforman /aplanan para incrementar el área de contacto final, mejorando de este modo las propiedades de unión y la capacidad de resistencia de corte de la MiniBars<sup>MR</sup> 10 con respecto al hormigón circundante. Aunque se muestra una hélice 12, se debe apreciar que la MiniBars<sup>MR</sup> 10 puede estar sin la hélice 12, los extremos deformados o aplanados aseguran la capacidad de unión y resistencia de corte requerida, ver figura 3, que muestra esquemáticamente una vista de una tercera realización de una MiniBars<sup>MR</sup> 10 de acuerdo con la presente invención, deformada en cada extremo y sin una hélice 12.

La figura 3 muestra esquemáticamente y en una escala ampliada una porción de una realización de una MiniBars<sup>MR</sup> de acuerdo con la presente invención, que indica diferentes ángulos de importancia. Como se muestra, la barra 10 comprende un gran número de fibras sustancialmente paralelas 17, incrustadas en una matriz adecuada, la barra 10 que se proporciona con una cuerda enrollada helicoidalmente 12, tensada de modo que la cuerda helicoidal 12 forme muescas alargadas que se extienden helicoidalmente 14 a lo largo de la longitud de la barra 10. Como se indica en la figura, se usa un ángulo  $\alpha$  para definir el ángulo entre la línea central CL de la barra 10 y el ángulo proyectado de la hélice 12 en el plano del papel. El ángulo  $\alpha$  debe estar preferentemente en el intervalo entre 4 y 8 grados. Además, la figura también muestra el ángulo  $\beta$  entre la línea central CL de la varilla y la dirección longitudinal de las fibras 17. Como se especificó anteriormente, el ángulo  $\beta$  debe estar en la región entre 2 y 5 grados. Lo óptimo es un equilibrio en la tensión entre ambas fibras y un ángulo común de 4 a 5 grados con respecto a la línea central para ambas fibras. Se debe apreciar que la figura 3 está exagerada y distorsionada para indicar las diferentes formas que emanan de la hélice tensada. Se debe apreciar que a la superficie entre la hélice se le da ligeramente una superficie exterior convexa dispuesta helicoidalmente. La longitud L entre dos puntos de muesca consecutivos en la dirección axial de la barra define la longitud de paso de la hélice.

La figura 4 muestra esquemáticamente en una escala ampliada una sección vertical en dirección axial de una realización de una MiniBars<sup>MR</sup> 10 de acuerdo con la presente invención, que indica la dirección y ruta de las numerosas fibras sustancialmente paralelas 17 y que también indica la interacción entre los agregados 15 y las partículas finas del hormigón 15 por un lado y la superficie y las muescas 14 de la superficie de fibra de MiniBars<sup>MR</sup> por otro lado. Se debe apreciar que desde un punto de vista de claridad solo se muestra una parte del hormigón circundante 15, las fibras 10 que están dispuestas aleatoriamente en el hormigón.

La figura 5 muestra esquemáticamente en una escala ampliada una sección transversal a través de una MiniBars<sup>MR</sup> 10 de acuerdo con la presente solicitud, indicando también las muescas 14, la hélice 12 y la superficie rugosa de la barra 10. Se debe apreciar que la superficie rugosa se establece por las fibras paralelas 17 y pequeñas muescas alargadas entre fibras adyacentes 17.

Normalmente, el intervalo para agregar productos de control de grietas es inferior a 2 %, en tanto que, de acuerdo con la presente invención, el intervalo de dosis agregada de MiniBars<sup>MR</sup> está en el intervalo de 0,5 % a 10 %. Las pruebas han mostrado que el uso de hormigón reforzado con MiniBars<sup>MR</sup> dentro del intervalo identificado anteriormente de MiniBars<sup>MR</sup> agregadas, no demostró ninguna dificultad en la mezcla de hormigón. No hubo sangrado, formación de bolas o segregación en el hormigón, que demuestra que es factible mezclar MiniBars<sup>MR</sup> en hormigón sin ninguna dificultad. Las pruebas han demostrado que el hormigón se manipuló, colocó, consolidó y terminó normalmente sin precauciones adicionales, demostrando de esta manera que se puede lograr una buena trabajabilidad debido a la densidad de MiniBars<sup>MR</sup>.

Se han realizado pruebas para validar y verificar las mejoras al hormigón. Las pruebas mostraron que la resistencia a la compresión de acuerdo con ASTM C39 de cilindros reforzados con hormigón reforzado con MiniBars<sup>MR</sup> de acuerdo con la presente invención, demostró una falla dúctil con los cilindros aún intactos después de la falla, en tanto que los cilindros normales no reforzados se romperían debido a una falla quebradiza.

La figura 6 muestra una gráfica que muestra la resistencia a la tracción por flexión medida en MPa de un hormigón de mezcla seca para diferentes dosis de fibra en % en volumen. La gráfica muestra las pruebas de fibras de dos generaciones en una mezcla seca. La principal diferencia entre las fibras de dos generaciones es el diámetro de fibra y la longitud de paso de la hélice. En la primera generación, la dosis de fibra en volumen fue constante, es decir, 1,89 % en volumen, en tanto que en Gen. 2 las dosis de fibra fueron 0,75 y 1,5 respectivamente. Como se muestra, la resistencia residual para Gen 2 fue mayor que los resultados correspondientes para Gen 1, a pesar de una reducción en la dosis de fibra debido al uso eficiente de materiales y la alta resistencia a la tracción del basalto.

La figura 7 muestra la resistencia residual promedio medida en MPa para un hormigón de mezcla seca usando diferentes dosis de fibra en % en volumen. La baja resistencia residual promedio es el resultado de menos MiniBars<sup>MR</sup> a través de una cara de grieta dada.

La figura 8 muestra la resistencia a la tracción por flexión medida en MPa, de hormigón normal con un tamaño máximo de agregado de 20 mm, para diferentes dosis de fibra en % en volumen, que varía de 2 a 10% en volumen y un incremento más o menos lineal en la resistencia a la tracción por flexión para incrementar los porcentajes en volumen.

La figura 9 muestra la resistencia a la tracción por flexión del hormigón de alta resistencia con un agregado de tamaño máximo de 20 mm, para diferentes dosis de fibra en % en volumen, que varía de 0,5 a 10,0, una resistencia a la flexión de 17,04 MPa que se logra cuando se usa una dosis de 10 % en volumen. De manera correspondiente, la figura 10 muestra hormigón de resistencia residual promedio con agregado de tamaño máximo de 20 mm, obteniendo una resistencia residual promedio de 15,24 cuando se usa una dosis de fibra de 10,0 % en volumen.

Las figuras también incluyen una hoja que divulga los resultados de las pruebas, mostradas en la tabla 1, tabla 2 y tabla 3. La tabla 1 divulga los resultados de prueba para la generación 1 y 2 de hormigón de mezcla seca; la tabla 2 muestra los resultados de prueba para hormigón normal con agregados de máximo 20 mm, el % de dosis que es la variable; y la tabla 3 muestra los resultados de prueba para hormigón de alta resistencia con agregado de máximo 20 mm para tres % de dosis de fibra diferentes.

La resistencia a la tracción por flexión (módulo de ruptura) se probó según ASTM C78 - 07 para MiniBars<sup>MR</sup> de acuerdo con la presente invención en porcentajes de volumen de 0,75 % hasta 10 % con resultados en resistencia a la tracción por flexión que incrementa de 6 MPa hasta 17,05 MPa dependiendo de la fracción de volumen usada sobre un resultado de MiniBars<sup>MR</sup> cero de 5,2 MPa.

La resistencia residual promedio incrementó de cero para el hormigón normal no reforzado hasta 5,8 a 15,24 MPa, (474 psi a 1,355 psi), dependiendo de la fracción de volumen de MiniBars<sup>MR</sup> usada. Estos valores son significativamente mayores que aquellos esperados para el hormigón liso de resistencia a la compresión similar. La siguiente correlación entre la resistencia a la tracción por flexión ( $f_r$ ), dosis de MiniBars<sup>MR</sup> por volumen ( $V_f$ ) y ( $f'_c$ ) es la resistencia a la compresión del hormigón, determinada al usar pruebas de cilindro estándar para (todas las unidades que son unidades de MPa):

$$f_r = (0.62 + 0.076 V_f) \sqrt{f'_c}$$

Las resistencias residuales promedio (ARS) obtenidas para el hormigón reforzado con MiniBars<sup>MR</sup> de acuerdo con la presente invención fueron mucho mayores de lo esperado, lo que sugiere que la MiniBars<sup>MR</sup> ha ayudado significativamente en el rendimiento posterior al agrietamiento del hormigón en el programa de prueba actual.

La resistencia residual promedio ARS = 1,95  $V_f$ , donde  $V_f$  es la dosis de MiniBars<sup>MR</sup> en por ciento en volumen y  $f_f$  es la resistencia a la compresión de hormigón.

A fin de mejorar la unión entre las MiniBars<sup>MR</sup> y el hormigón en el cual se incrustan las MiniBars<sup>MR</sup>, la superficie de las MiniBars<sup>MR</sup> se puede proporcionar con un material particulado dispuesto aleatoriamente, tal como, por ejemplo, arena. También se debe apreciar que la MiniBars<sup>MR</sup> se puede proporcionar con una abertura longitudinal que se extiende axialmente a través de la MiniBars<sup>MR</sup> asegurando de esta manera una MiniBars<sup>MR</sup> tubular para incrementar el área de unión. También se debe apreciar que la MiniBars<sup>MR</sup> es más gruesa que las fibras de acero o material plástico convencionales usadas y es adecuada para experimentar mayores fuerzas de compresión, debido a la contracción de hormigón en un diámetro mayor.

La gravedad específica  $\rho$  del acero es del orden de 8 g/cm<sup>3</sup>, en tanto que la gravedad específica  $\rho$  para el hormigón es de alrededor de 2,3. La gravedad específica del refuerzo de MiniBars<sup>MR</sup> está en la región 1,9. Como consecuencia, la MiniBars<sup>MR</sup> no se hunde ni flota hacia la superficie de la mezcla de hormigón durante el vaciado o el hormigonado, puesto que la gravedad específica de las fibras de basalto corresponde más o menos a los agregados usados en el hormigón.

El proceso para fabricar las MiniBars<sup>MR</sup> de acuerdo con la presente invención, comprende los siguientes pasos:

## ES 2 988 115 T3

Se montan varias fibras de basalto continuas en paralelo y se incrustan en una matriz de éster vinílico. Durante esta fase, el haz de fibras se jala hacia adelante, se somete a una tensión de tracción, formando un cuerpo recto, la matriz aún sin curar y blanda. Las fibras se entregan desde los carretes a una cámara de humectación.

5 Una o más cuerdas separadas se enrollan helicoidalmente alrededor del haz recto incrustado en la matriz en tanto que el haz y la matriz aún son relativamente blandos, esta una o más cuerdas separadas se someten a una tensión más alta que la tensión provocada por la tracción hacia adelante del haz de fibras matriciales. Debido a la mayor tensión, la una o más cuerdas separadas formarán muescas que se extienden helicoidalmente en la superficie de los haces de fibras incrustadas en la matriz.

10 A continuación, el haz incrustado en la matriz y la una o más cuerdas enrolladas helicoidalmente, más o menos incrustadas, entran en una etapa de curación en la cual el haz de fibras con sus cuerdas helicoidales se curan y se endurecen.

15 Debido a la mayor tensión en la una o más cuerdas, en comparación con la tensión que jala el haz de fibras hacia adelante, la forma recta del haz de fibras también se verá afectada, obteniendo una forma general más o menos helicoidal antes y durante la etapa de curación.

El haz de fibras alargado entonces se corta en unidades que tienen la longitud requerida especificada anteriormente, y se embolsa, adecuado para uso.

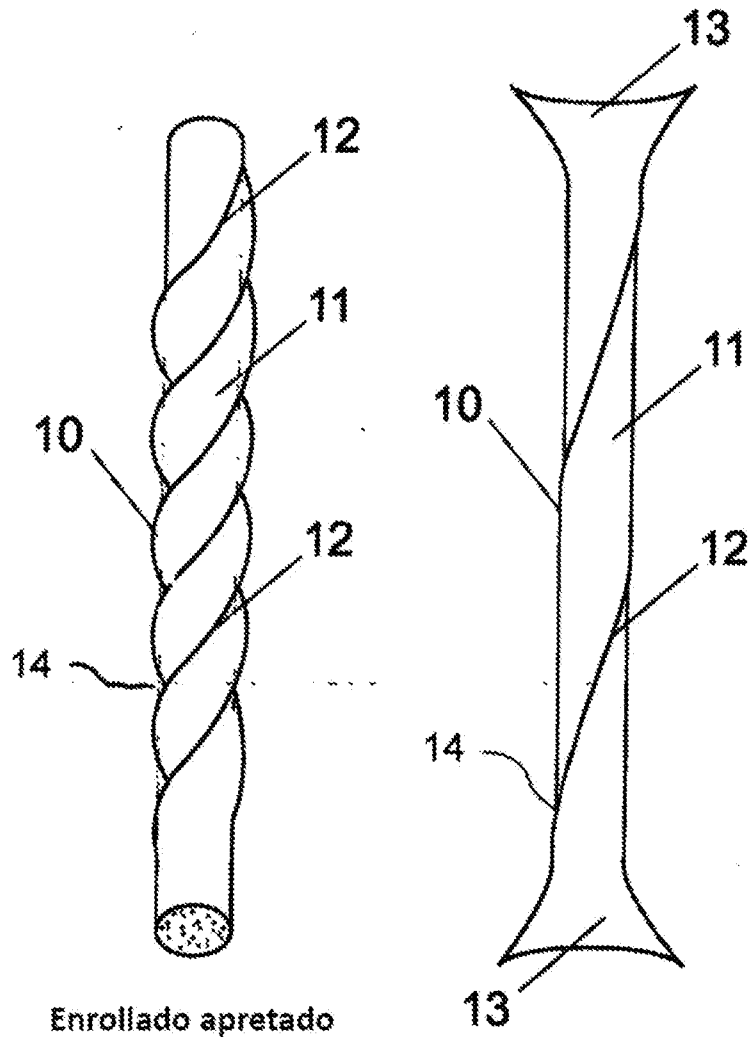
20 Se debe apreciar que el paso dado al haz de fibras y por lo tanto, a las MiniBars<sup>MR</sup> depende de la diferencia de tensión entre la tensión en la una o más cuerdas delgadas durante el enrollado y la tensión aplicada para jalar el haz de fibras hacia adelante durante el proceso de enrollado. Cuanto mayor es la tensión en la una o más cuerdas delgadas en comparación con la del haz de fibras, más corto es el paso y las hendiduras helicoidales son más profundas.

## REIVINDICACIONES

1. Barra de refuerzo (10) para estructuras de hormigón, que comprende
- 5 una pluralidad de fibras paralelas continuas (17), elaboradas de fibra de basalto, tensadas e incrustadas en una matriz curada,  
 cada barra (10) tiene  
 una longitud promedio en el intervalo de 20 mm a 200 mm, y  
 un diámetro promedio en el intervalo de 0,3 mm a 3 mm,  
 10 donde al menos una parte de la superficie de cada barra se deforma por medio de:
- una o más cuerdas (12) de un material tensado enrollado helicoidalmente alrededor de la pluralidad de fibras paralelas (17), manteniendo las fibras (17) en un estado paralelo,
- 15 **caracterizado porque** la cuerda (12) forma muescas que se extienden helicoidalmente (14) de una manera continua a lo largo de la longitud de la barra (10), y la superficie de la barra tiene una superficie exterior convexa dispuesta helicoidalmente, donde
- un ángulo  $\alpha$  es el ángulo entre la cuerda enrollada helicoidalmente (12) y la línea central de la barra (10) y está en el  
 20 intervalo de 4 a 8 grados,  
 un ángulo  $\beta$  es el ángulo entre la línea central de la barra y la dirección longitudinal de las fibras (17) y está en la región entre 2 y 5 grados,  
 la longitud de paso de la cuerda enrollada helicoidalmente (12) está en el intervalo de 10 mm a 22 mm, y/o  
 25 que la barra (10) se proporciona con una forma y/o textura de superficie rugosa que contribuye a una buena unión con el hormigón, donde el factor de peso de las fibras con respecto al factor de peso de la matriz está en el intervalo de 65 a 85.
2. Barra de refuerzo de acuerdo con la reivindicación 2, donde la longitud de paso de la hélice es de 17 mm.
3. La barra de refuerzo de acuerdo con una de las reivindicaciones 1-2, donde una sección transversal de la fibra (17) es  
 30 sustancialmente circular u ovalada.
4. La barra de refuerzo (10) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1-3, donde el factor de peso de las fibras con respecto al factor de peso de la matriz está en el intervalo de 70 a 77.
- 35 5. Método para fabricar barras de refuerzo (10) como se define en una de las reivindicaciones 1-4, donde cada barra (10) comprende un haz de una pluralidad de fibras paralelas continuas (17) elaboradas de fibra de basalto,  
 donde cada barra (10) tiene  
 una longitud promedio en el intervalo de 20 mm a 200 mm, y  
 40 un diámetro promedio en el intervalo de 0,3 mm a 3 mm, donde el método se **caracteriza por** los siguientes pasos
- montar un haz de una pluralidad de fibras paralelas continuas (17), elaboradas de basalto, carbono o fibra de vidrio,  
 tensar e incrustar el haz en una matriz de éster vinílico,  
 45 jalar el haz de una pluralidad de fibras paralelas continuas (17) hacia adelante sometándolo a una tensión provocada por la tracción, formando un cuerpo recto,  
 enrollar una o más cuerdas (12) helicoidalmente alrededor del haz de una pluralidad de fibras paralelas continuas (17)  
 con una tensión más alta que la tensión provocada por la tracción hacia adelante del haz de una pluralidad de fibras  
 paralelas continuas (17) y formando de esta manera muescas que se extienden helicoidalmente (14) en la superficie del  
 haz de una pluralidad de fibras paralelas continuas (17),  
 50 curar y endurecer el haz de una pluralidad de fibras paralelas continuas (17) con una o más cuerdas (12).
6. Método de acuerdo con la reivindicación 5, donde el método comprende además el paso
- 55 cortar el haz de fibras paralelas (17) enrolladas con la una o más cuerdas (12) en longitudes en el intervalo de 20 mm a 200 mm.
7. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 5 o 6, donde la al menos una o más cuerdas helicoidales (12) se enrollan antes de la curación de la matriz, reteniendo las fibras (17) en un estado paralelo durante la curación y proporcionando una superficie externa irregular en una dirección longitudinal de las barras de refuerzo (10).
- 60 8. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 5 o 6, donde la al menos una o más cuerdas (12) de un material tensado se enrollan helicoidalmente alrededor del al menos un haz de fibras durante la curación de la matriz en la cual se incrustan las fibras (17).
- 65 9. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 6-8, donde el enrollado helicoidal de una o más cuerdas (12) se enrolla con un ángulo  $\alpha$  que está en el intervalo entre 4 y 8 grados con respecto a la línea central de la barra (10).

- 5 10. Uso de barras de fibra cortas (10) como se define en una de las reivindicaciones 1-4 anteriores, donde las barras de fibra (10) se mezclan aleatoriamente con hormigón verde y se usan para trabajos de reparación de hormigón agrietado y también para proporcionar resistencia residual promedio y resistencia a la flexión en las estructuras de hormigón curado, restaurando o mejorando de esta manera la integridad estructural de la estructura de hormigón.

DIBUJOS



Enrollado apretado

**Figura 1**

**Figura 2**

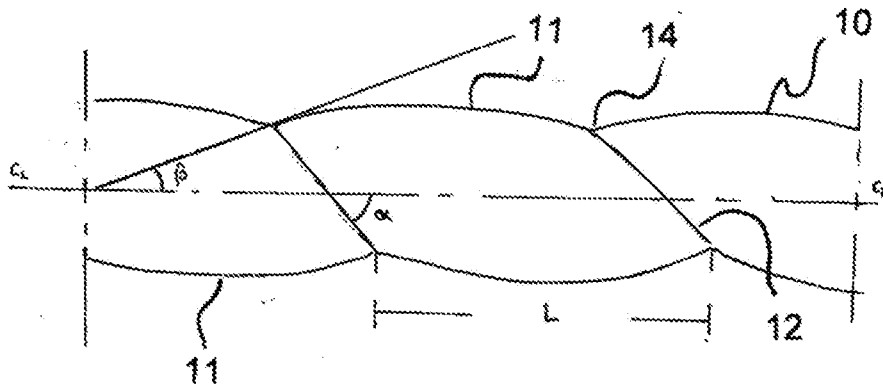


Figura 3

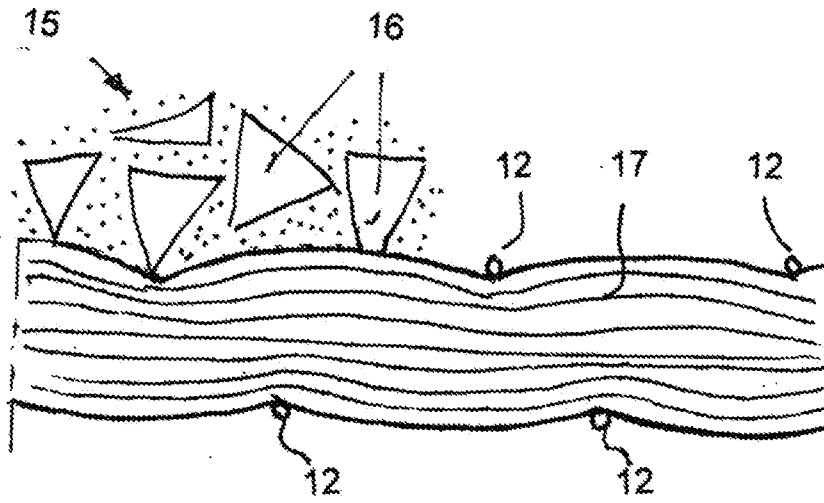


Figura 4

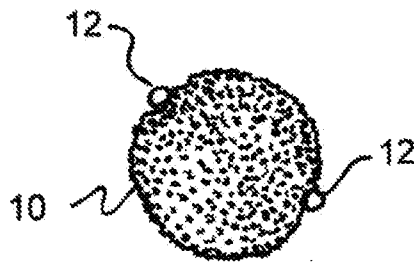
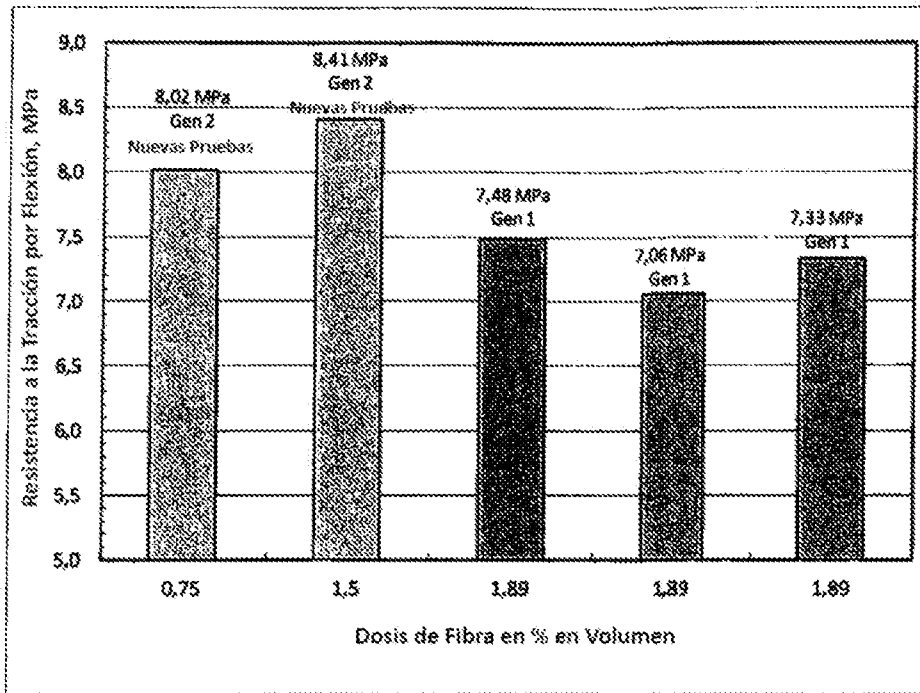
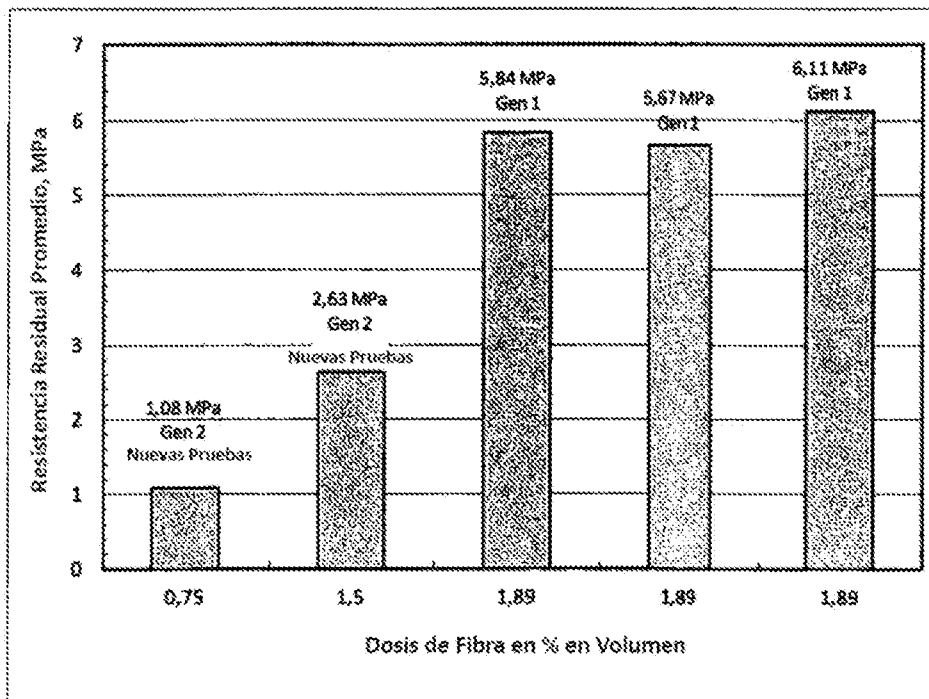


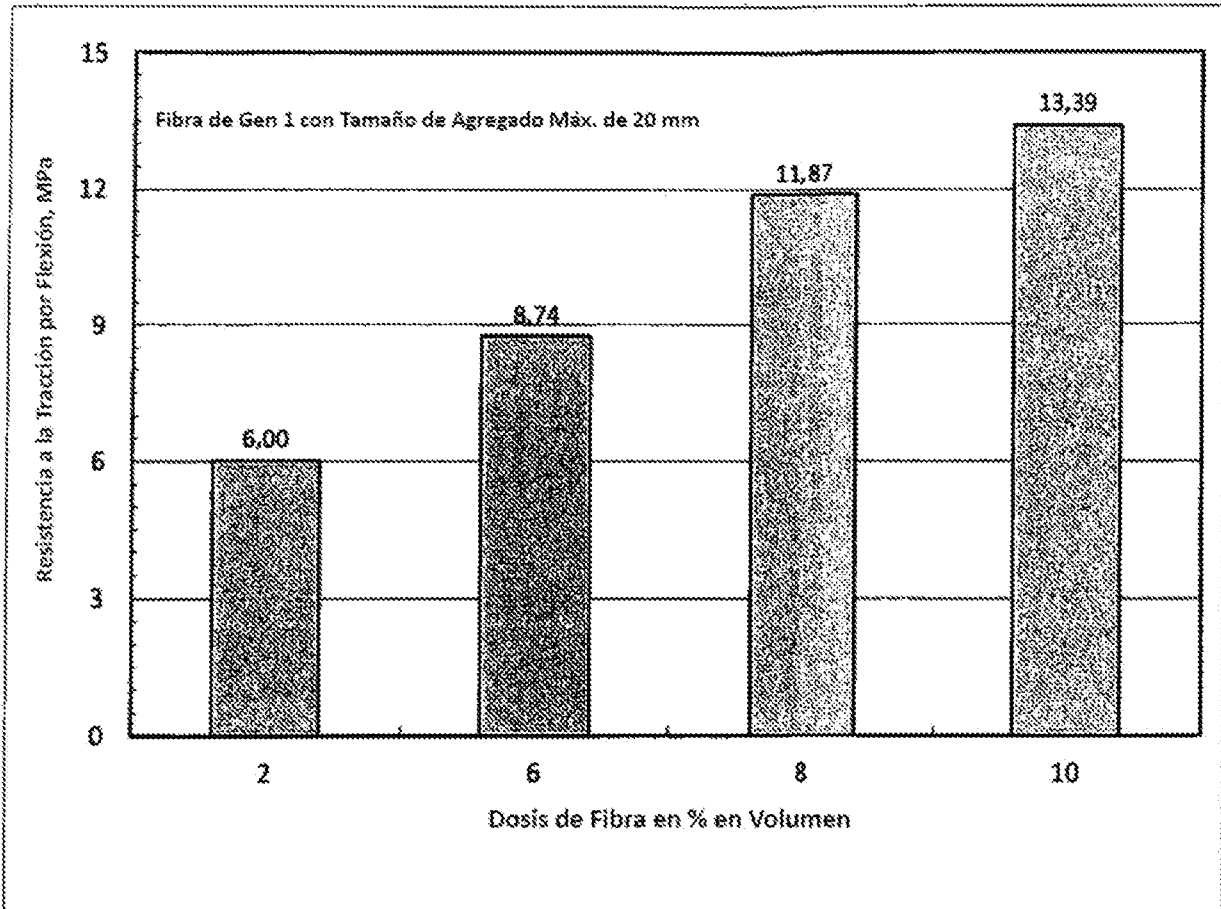
Figura 5



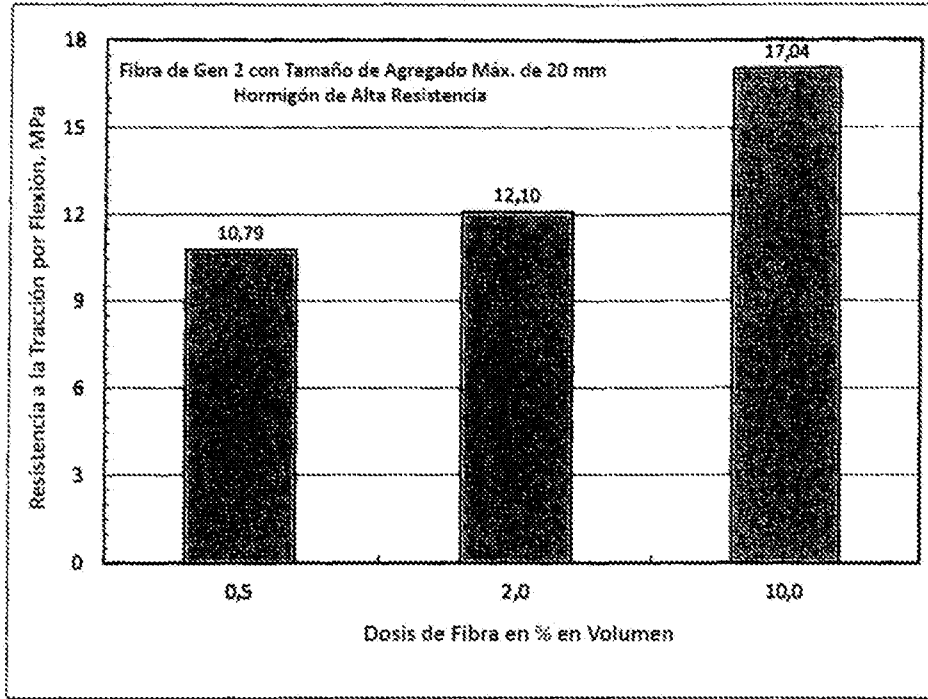
**Figura 6** Resistencia a la Tracción por Flexión de Hormigón de Mezcla Seca



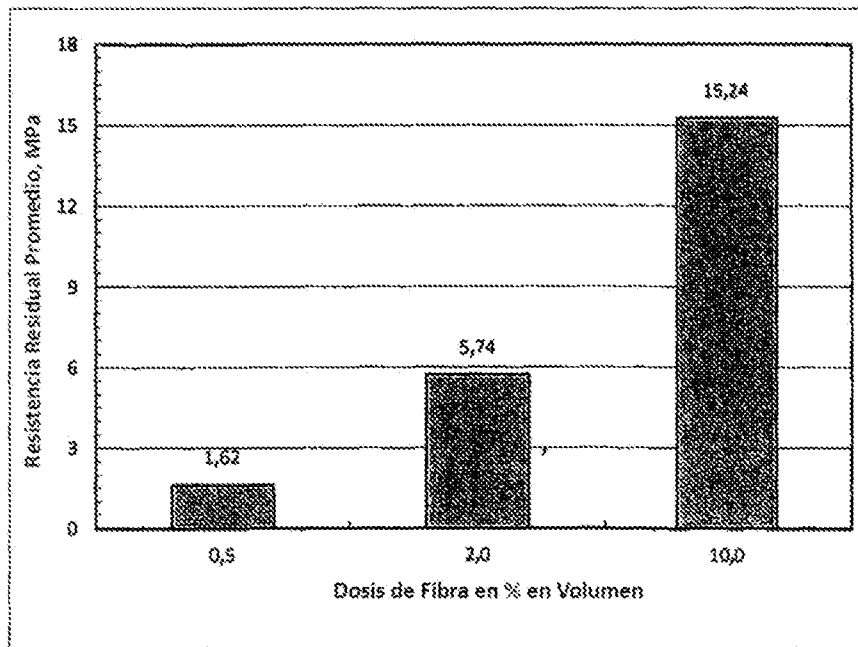
**Figura 7** Resistencia Residual Promedio de Concreto de Mezcla Seca



**Figura 8** Resistencia a la Tracci3n por Flexi3n de Hormig3n Normal con 20 mm de Tamaño de Agregado Maximo



**Figura 9** Resistencia a la Tracción por Flexión de Hormigón de Alta Resistencia con 20 mm de Tamaño Máximo Agregado (Nuevas Pruebas)



**Figura 10** Resistencia Residual Promedio de Hormigón de Alta Resistencia con 20 mm de Tamaño Máximo Agregado (Nuevas Pruebas)

Unidades SI	Gen 2 (0,75%)	Gen 2 (1,5%)	Mezcla Seca (Serie 4)	Mezcla Seca (Serie 1)	Mezcla Seca (Serie 2)
Dosis de Fibra en % en Volumen ( $V_f$ )	0,75	1,5	1,89	1,89	1,89
Dosis de Fibra ( $\text{kg/m}^3$ )	33,5	67	34	34	34
Resistencia a la Compresión de Concreto, MPa	47,3	51,9	96,8	64,2	88,1
Resistencia a la Tracción por Flexión (MPa)	3,02	3,41	7,48	7,06	7,33
Resistencia Residual Promedio (MPa)	1,10	1,63	5,84	5,67	6,11
Módulo Predicho de Ruptura (Ecuación ACI), MPa	5,27	4,49	6,13	5,05	5,85
$f_r$ Predicho de Ecuación Sugerida, MPa	1,65	1,51	7,54	6,21	7,19
ARS Predicha de Ecuación Sugerida, MPa	0,7	1,58	1,98	1,98	1,98

Tabla 1 Resultados de Prueba de Concreto de Mezcla Seca (Gen 2 en celdas de color-Nuevas Pruebas)

Unidades SI	Normal Serie 1	Normal Serie 2	Normal Serie 3	Normal Serie 9	Normal* Mezcla de Prueba # 5	Normal* Mezcla de Prueba # 6
Dosis de Fibra en % en Volumen ( $V_f$ )	2	6	8	10	8	10
Dosis de Fibra ( $\text{kg/m}^3$ )	36	108	144	179	144	179
Resistencia a la Compresión de Concreto, MPa	68,4	64,9	69,9	47,0	77,2	75,45
Resistencia a la Tracción por Flexión (MPa)	6,00	8,74	10,51	10,67	11,87	13,39
Resistencia Residual Promedio (MPa)	3,26	6,68	9,33	10,40	-	-
Módulo Predicho de Ruptura (Ecuación ACI), MPa	5,15	5,02	5,21	4,27	5,47	5,41
$f_r$ Predicho de Ecuación Sugerida, MPa	6,41	8,69	10,29	9,48	10,81	12,01
ARS Predicha de Ecuación Sugerida, MPa	2,10	6,30	8,40	10,50	8,40	10,50

\* Promedio de dos vigas solamente  
todos los demás - promedio de al menos tres

Tabla 2 Hormigón Normal con Resultados de Prueba de Agregado de 20 mm Máx. (Nuevas Pruebas en celdas de color)

Hormigón de alta Resistencia - Unidades SI	HS Gen 2 (0,5%)	HS Gen 2 (2,0%)	HS Gen 2 (10,0%)
Dosis de Fibra en % en Volumen ( $V_f$ )	0,5	2,0	10,0
Dosis de Fibra ( $\text{kg/m}^3$ )	9	36	179
Resistencia a la Compresión de Concreto, MPa	90,0	90,9	84,0
Resistencia a la Tracción por Flexión (MPa)	10,79	12,10	17,04
Resistencia Residual Promedio (MPa)	1,62	5,74	15,24
Módulo Predicho de Ruptura (Ecuación ACI), MPa	5,88	5,91	5,68
$f_r$ Predicho de Ecuación Sugerida, MPa	6,24	7,36	12,65
ARS Predicha de Ecuación Sugerida, MPa	0,53	2,10	10,50

Tabla 3 Hormigón de Alta Resistencia con Agregado de 20 mm Máx. (Nuevas Pruebas en celdas de color)