

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 425 742**

51 Int. Cl.:

B32B 27/34 (2006.01)

B32B 27/36 (2006.01)

D02G 3/00 (2006.01)

D02G 3/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.12.2003 E 03818239 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.05.2013 EP 1648700**

54 Título: **Material de refuerzo de fibras, productos fabricados a partir del mismo y procedimiento para fabricar el mismo**

30 Prioridad:

01.08.2003 US 633026

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

17.10.2013

73 Titular/es:

**FORTA CORPORATION (100.0%)
100 FORTA DRIVE
GROVE CITY, PA 16127-9990, US**

72 Inventor/es:

**LOVETT, JEFFREY B.;
BIDDLE, DANIEL T. y
PITTS, CHARLES H., JR.**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 425 742 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

Material de refuerzo de fibras, productos fabricados a partir del mismo y procedimiento para fabricar el mismo.

Antecedentes de la invención

Campo de la invención

- 5 La presente invención hace referencia a un material de refuerzo y, más concretamente, a un material de fibra sintética para proporcionar tanto refuerzo estructural como de control de grietas a los materiales de construcción.

Descripción de los antecedentes de la invención

10 Es bien sabido que la incorporación de un componente de refuerzo a los materiales de construcción, como, por ejemplo, materiales cementosos, ladrillos, asfalto y similares mejora la integridad estructural del material y reduce las probabilidades de que se agrieten. Cuando se incorpora a materiales cementosos como, por ejemplo, el hormigón, el componente de refuerzo se añade para reducir el efecto de dos principales deficiencias estructurales: 1) baja resistencia a la tracción; y 2) baja resistencia a la rotura. La resistencia a la tracción del hormigón es relativamente baja porque el hormigón, cuando está encofrado, normalmente contiene múltiples micro-grietas. La rápida propagación de estas micro-grietas bajo la tensión aplicada es la responsable de la baja resistencia a la tracción del material. Debido al uso generalizado y las muchas aplicaciones del hormigón, se han llevado a cabo investigaciones considerables para reducir los efectos de sus propiedades estructurales deficientes.

15 Entre los materiales de refuerzo típicos que se añaden a los materiales cementosos se incluyen, por ejemplo, varias capas de tela metálica o fibras de refuerzo. En esta técnica, se conocen múltiples aditivos de fibra de refuerzo que proporcionan características de resistencia a los materiales de construcción. Entre las fibras de refuerzo típicas se incluyen las fibras de amianto, fibras de vidrio, fibras de acero, fibras minerales y fibras de celulosa. Algunas fibras de refuerzo son más adecuadas que otras para algunas aplicaciones concretas. Por ejemplo, las fibras de amianto son conocidas por proporcionar un refuerzo efectivo pero, debido a que son perjudiciales para el medio ambiente y la salud, no se usan ampliamente. Además, las fibras de vidrio y las fibras de acero son relativamente caras y tienen tendencia a descomponerse en los materiales cementosos. Las fibras de acero normalmente se descomponen en la superficie del material reforzado con fibras, mientras que las fibras de vidrio se descomponen continuamente como resultado de la naturaleza alcalina del cemento. También, debido a las características físicas y químicas de las fibras de acero, hay cierta dificultad para distribuir de forma uniforme la fibra de acero por la mezcla. Además, hay algunas deficiencias físicas y operativas inherentes a la fibra de vidrio que reducen su efectividad. Entre dichas deficiencias se incluyen, por ejemplo, el rebote en aplicaciones de hormigón al aire libre, y un coste de los equipos relativamente alto debido al desgaste de los equipos ocasionado por el contacto con las fibras de acero.

20 Es conocido que el hormigón tiene tendencia a contraerse tras haberse fraguado, debido a la evaporación del exceso de agua de la mezcla. La contracción plástica es la causa de la formación de grietas de contracción poco después del vertido del hormigón, que debilitan la matriz del mismo. A diferencia de otros materiales fibrosos, las fibras sintéticas son conocidas por reducir las grietas ocasionadas por la temprana contracción plástica. Por ejemplo, en la US 3.591.395, una fibra fibrilada formada a partir de una capa de poliolefina, se ha usado con éxito para evitar o reducir las grietas. Las fibras se estiran múltiples veces y a continuación se cortan siguiendo líneas al menos parcialmente transversales a la dirección de orientación. De este modo las fibras se fibrilan. "Cuando se mezclan con materiales cementosos, de forma que crean deformaciones para mejorar el anclaje y la unión en la matriz de hormigón, las fibras cortadas se dispersan por toda la mezcla, se abren para formar mallas, y de este modo mejorar resistencia y unión de la matriz cementosa.

25 Se han llevado a cabo algunos avances en el área del refuerzo de fibras para proporcionar una mayor dureza y durabilidad, y reducir el agrietamiento en la matriz de los materiales de construcción, como el hormigón. Sin embargo, las fibras reforzadas de las técnicas anteriores tienen varias desventajas que debilitan o limitan su efectividad. Por consiguiente, se necesita una fibra de refuerzo mejorada que confiera mejores propiedades estructurales a los materiales de construcción a los cuales se añadan. En particular, existe la necesidad de una fibra de refuerzo sintética que, cuando se añada por ejemplo a materiales cementosos, proporcione un material de construcción que presente una menor permeabilidad, mayor resistencia a la fatiga, mayor dureza y menor contracción plástica.

30 El documento US6340522B1 revela las fibras tridimensionales usadas para reforzar materiales cementosos como el hormigón. Las fibras son preferiblemente planas o están aplanadas y tienen el primer y el segundo extremo opuestos, planos o aplanados, y que están trenzados desfasados.

35 De acuerdo con la invención actual, se proporciona una mezcla de fibras sintéticas para el uso como refuerzo para el material cementoso, compuesta de: un primer componente de fibra formado por un material homopolímero; y un segundo componente de fibra sintética que es un copolímero que está diferenciado del primer componente de fibra y se compone de múltiples monofilamentos trenzados para formar un haz no interconectado, con un grado de trenzado superior a 0,9 giros/pulgada (0,36 giros/cm), donde el primer componente de fibra está fibrilado, donde el primer componente de fibra está formado por un homopolímero de polipropileno, y donde el segundo componente de

ES 2 425 742 T3

fibra está formado por un copolímero de polipropileno y polietileno de alta densidad.

Ventajosamente, el primer componente de fibra se añade a la mezcla sintética en cantidades que varían del 5 al 50 por ciento en peso total.

5 Preferentemente, el segundo componente de fibra se añade a la mezcla sintética en cantidades que varían de un 50 y un 95 por ciento en peso total.

Ventajosamente, el segundo componente de fibra se trenza para formar el haz no interconectado en ausencia de un agente humectante.

Convenientemente, el primer componente de fibra y el segundo componente se mezclan en ausencia de un agente humectante.

10 Ventajosamente, el grado de trenzado en el segundo componente de fibra es inferior a 2,2 giros/pulgada (0,87 giros/cm).

Preferentemente, el grado de trenzado en el segundo componente de fibra está comprendido entre más de 0,9 giros/pulgada (0,36 giros/cm) y 1,1 giros/pulgada (0,43 giros/cm).

15 Convenientemente, el grado de trenzado en el segundo componente de fibra es de 1,1 giros/pulgada (0,43 giros/cm).

Ventajosamente, el primer componente de fibra tiene entre 100 y 20 000 denieres por filamento.

Preferentemente, el segundo componente de fibra se compone de uno o más monofilamentos no fibrilados entre 350 y 6000 denieres por filamento.

20 Convenientemente, el primer componente de fibra tiene una longitud de fibra entre 19 y 60 mm y el segundo componente de fibra tiene una longitud de fibra entre 19 y 60 mm.

Preferentemente, el primer componente de fibra y el segundo componente de fibra tienen la misma longitud de fibra.

Ventajosamente, el segundo componente de fibra está formado por una cantidad mayor de un polipropileno y una cantidad menor de un polietileno de alta densidad.

Convenientemente, el segundo componente de fibra tiene la forma de monofilamentos no fibrilados.

25 Preferentemente, el primer componente de fibra está presente en la mezcla sintética en un 6,7 por ciento en peso total y el segundo componente de fibra está presente en la mezcla de fibras sintéticas en un 93,3 por ciento en peso total.

Ventajosamente, la segunda fibra está formada de un 70 a un 80 por cien por peso de polipropileno y de un 20 a un 30 por cien por peso de polietileno de alta densidad.

30 La presente invención también proporciona un material cementoso reforzado compuesto de la mezcla de fibras sintéticas de la invención, distribuida por una matriz de material cementoso.

Preferentemente, la mezcla de fibras sintéticas está presente en el material cementoso en cantidades que varían de un 0,1 y un 2,0 por ciento en volumen.

35 Convenientemente, la mezcla de fibras sintéticas está presente en el material cementoso en cantidades que varían de un 0,5 y un 2,0 por ciento en volumen.

Preferentemente, la mezcla de fibras sintéticas está presente en el material cementoso en cantidades que varían de un 0,3 y un 2,0 por ciento en volumen.

Ventajosamente, el material cementoso es hormigón armado.

Convenientemente, el material cementoso es asfalto reforzado.

40 La presente invención también proporciona un procedimiento para formar una mezcla de fibras sintéticas para el uso como refuerzo para el material cementoso, compuesta de: la mezcla de un primer componente de fibra con un segundo componente de fibra, con el primer componente de fibra fibrilado y formado por una fibra de polipropileno de homopolímero, con el segundo componente de fibra diferenciado del primer componente de fibra y siendo un copolímero de un polipropileno y un polietileno de alta densidad, con el segundo componente de fibra trenzado para formar un haz de fibra, con un grado de trenzado superior a 0,9 giros/pulgada.

45 Convenientemente, el grado de trenzado es inferior a 2,2 giros/pulgada (0,87 giros/cm).

Convenientemente, el grado de trenzado es inferior a 2,2 giros/pulgada (0,87 giros/cm).

Preferentemente, el grado de trenzado está comprendido entre más de 0,9 giros/pulgada (0,36 giros/cm) y 1,1 giros/pulgada (0,43 giros/cm).

Ventajosamente, el grado de trenzado es de 1,1 giros/pulgada (0,43 giros/cm).

5 Convenientemente, el primer componente de fibra está presente en la mezcla de fibras sintéticas en cantidades que varían del 5 al 50 por ciento en peso total, y el segundo componente de fibra está presente en la mezcla de fibras sintéticas en cantidades que varían de un 50 y un 95 por ciento en peso total.

10 Preferentemente, el primer componente de fibra está presente en la mezcla sintética en un 6,7 por ciento en peso total y el segundo componente de fibra está presente en la mezcla de fibras sintéticas en un 93,3 por ciento en peso total. Ventajosamente, el segundo componente de fibra se compone de un haz trenzado de múltiples hebras de un monofilamento no fibrilado, teniendo el primer y el segundo componentes de fibra básicamente la misma longitud, donde cada uno de ellos tiene una longitud comprendida entre 19 y 60 mm.

Preferentemente, la mezcla de fibras sintéticas se mezcla con un material cementoso.

Convenientemente, el material cementoso es hormigón.

Ventajosamente, el material cementoso es asfalto.

15 En otra realización más, la presente invención proporciona una mezcla de fibras sintéticas para el uso como refuerzo para material cementoso que incluye un primer componente de fibra y un segundo componente de fibra. El primer componente de fibra está formado por un homopolímero de polipropileno y está compuesto de fibras en forma fibrilada. El segundo componente de fibra, diferenciado del primer componente de fibra, está formado por un copolímero de polipropileno y polietileno de alta densidad, y está compuesto de haces de monofilamentos que se han trenzado, con un grado de trenzado superior a aproximadamente 0,9 giros/pulgada (0,36 giros/cm).

20 La presente invención también proporciona una mezcla de fibras sintéticas para el uso como refuerzo para material cementoso, que incluye un primer componente de fibra y un segundo componente de fibra. El primer componente de fibra está fibrilado y está formado por una fibra de homopolímero de polipropileno. El segundo componente de fibra está diferenciado del primer componente de fibra y es un copolímero formado por un polipropileno y un polietileno de alta densidad. El segundo componente de fibra se compone de múltiples monofilamentos trenzados para formar un haz no interconectado, con un grado de trenzado superior a aproximadamente 0,9 giros/pulgada (0,36 giros/cm).

25 En otra realización, la presente invención proporciona una mezcla de fibras sintéticas para el uso como refuerzo para material cementoso que incluye un primer componente de fibra y un segundo componente de fibra. El primer componente de fibra está fibrilado y formado por una fibra de homopolímero de polipropileno. El segundo componente de fibra está diferenciado del primer componente de fibra, es un copolímero formado por una cantidad mayor de un polipropileno y una cantidad menor de un polietileno de alta densidad, e incluye múltiples monofilamentos trenzados para formar un haz no interconectado, con un grado de trenzado superior a 0,9 giros/pulgada (0,36 giros/cm), aproximadamente; el primer componente de fibra está presente en la mezcla de fibras sintéticas en cantidades que varían del 5 al 50 por ciento en peso total, aproximadamente, mientras que el segundo componente de fibra está presente en la mezcla de fibras sintéticas en cantidades que varían de aproximadamente 50 a aproximadamente 95 por ciento en peso total.

30 En otra realización, la presente invención proporciona un material cementoso reforzado, compuesto de una mezcla de fibras sintéticas distribuida por una matriz del material cementoso, con la mezcla de fibras sintéticas incluyendo un primer componente de fibra y un segundo componente de fibra. El primer componente de fibra está formado por una fibra de homopolímero de polipropileno. El segundo componente de fibra está diferenciado del primer componente de fibra, es un copolímero formado por un polipropileno y un polietileno de alta densidad, e incluye múltiples monofilamentos trenzados para formar un haz no interconectado, con un grado de trenzado superior a 0,9 giros/pulgada (0,36 giros/cm), aproximadamente.

35 La presente invención también proporciona un procedimiento para formar una mezcla de fibras sintéticas. El procedimiento incluye el mezclado de un primer componente de fibra con un segundo componente de fibra. El primer componente de fibra está fibrilado y formado por una fibra de homopolímero de polipropileno. El segundo componente de fibra está diferenciado del primer componente de fibra, es un copolímero de un polipropileno y un polietileno de alta densidad, y está trenzado para formar un haz de fibra, con un grado de trenzado superior a 0,9 giros/pulgada (0,36 giros/cm), aproximadamente.

40 En otra realización, la presente invención proporciona un procedimiento para reforzar un material que incluye mezclar una mezcla de fibras sintéticas con un material cementoso. La mezcla de fibras sintéticas incluye un primer componente de fibra y un segundo componente de fibra. El primer componente de fibra está fibrilado y formado por una fibra de homopolímero de polipropileno. El segundo componente de fibra está diferenciado del primer componente de fibra; es un copolímero formado por una cantidad mayor de polipropileno y una cantidad menor de polietileno de alta densidad, y está trenzado para formar un haz de fibra, con un grado de giro superior a 0,9 giros/pulgada (0,36 giros/cm), aproximadamente.

Breve descripción de las figuras

Las características y ventajas de la presente invención pueden comprenderse mejor haciendo referencia a las ilustraciones adjuntas, donde los números de referencia designan los elementos correspondientes y donde:

- 5 La FIG. 1 ilustra una comparación entre las superficies de las grietas en bloques que contienen diferentes cantidades de la mezcla de fibras sintéticas de la presente invención, basándose en un porcentaje por volumen;
- La FIG. 2 ilustra una comparación entre las relaciones longitud / anchura de las grietas en bloques que contienen diferentes cantidades de la mezcla de fibras sintéticas de la presente invención, basándose en porcentaje por volumen;
- 10 La FIG. 3 ilustra una comparación entre el tiempo hasta de la aparición de la primera grieta en bloques que contienen diferentes cantidades de la mezcla de fibras sintéticas de la presente invención, basándose en porcentaje por volumen;
- La FIG. 4 ilustra una comparación entre las superficies de las grietas entre los bloques de control y los bloques que contienen diferentes cantidades de la mezcla de fibras sintéticas de la presente invención, basándose en porcentaje por volumen;
- 15 La FIG. 5 ilustra una comparación entre el área de las grietas como porcentaje de control en bloques que contienen diferentes cantidades de la mezcla de fibras sintéticas de la presente invención, basándose en porcentaje por volumen;
- La FIG. 6 ilustra una comparación de la reducción del área de las grietas en bloques que contienen diferentes cantidades de la mezcla de fibras sintéticas de la presente invención, basándose en porcentaje por volumen;
- 20 La FIG. 7 ilustra una comparación entre la resistencia a la primera grieta en bloques que contienen diferentes cantidades de la mezcla de fibras sintéticas de la presente invención, basándose en porcentaje por volumen;
- La FIG. 8 ilustra una comparación entre el módulo de rotura en bloques que contienen diferentes cantidades de la mezcla de fibras sintéticas de la presente invención, basándose en porcentaje por volumen;
- 25 La FIG. 9 ilustra una comparación entre la resistencia a la primera grieta en bloques que contienen diferentes cantidades de la mezcla de fibras sintéticas de la presente invención, basándose en porcentaje por volumen;
- La FIG. 10 ilustra los índices de dureza respecto al contenido de fibras en bloques de hormigón que tienen diferentes cantidades de la mezcla de fibras sintéticas de la presente invención, basándose en porcentaje por volumen;
- 30 La FIG. 11 ilustra los índices japoneses de dureza respecto al contenido de fibras en bloques de hormigón que tienen diferentes cantidades de la mezcla de fibras sintéticas de la presente invención, basándose en porcentaje por volumen;
- La FIG. 12 ilustra la resistencia japonesa a la flexión respecto al contenido de fibras en bloques de hormigón que tienen diferentes cantidades de la mezcla de fibras sintéticas de la presente invención, basándose en porcentaje por volumen;
- 35 La FIG. 13 ilustra la resistencia residual media respecto al contenido de fibras en bloques de hormigón que tienen diferentes cantidades de la mezcla de fibras sintéticas de la presente invención, basándose en porcentaje por volumen;
- La FIG. 14 ilustra el número de golpes hasta producirse la primera grieta y el primer fallo respecto al contenido de fibras en bloques de hormigón que tienen diferentes cantidades de la mezcla de fibras sintéticas de la presente invención, basándose en porcentaje por volumen;
- 40 La FIG. 15 ilustra un diagrama de tensión media – desviación media comparando la tensión de flexión respecto a la desviación a un 1,0 % por volumen;
- La FIG. 16 ilustra un diagrama de tensión – desviación comparando la tensión de flexión respecto a la desviación de la mezcla de fibras sintéticas de la presente invención a un 1,0 % por volumen;
- 45 La FIG. 17 ilustra un diagrama de tensión – desviación comparando la tensión de flexión respecto a la desviación de la mezcla de fibras sintéticas de la presente invención a un 1,0 % por volumen;
- La FIG. 18 ilustra un diagrama de tensión – desviación comparando la tensión de flexión respecto a la desviación de la mezcla de fibras sintéticas de la presente invención a un 1,0 % por volumen;
- 50 La FIG. 19 ilustra un diagrama de tensión – desviación comparando la tensión de flexión respecto a la

desviación de la mezcla de fibras sintéticas de la presente invención a un 1,5 % por volumen;

La FIG. 20 ilustra un diagrama de tensión – desviación comparando la tensión de flexión respecto a la desviación de la mezcla de fibras sintéticas de la presente invención a un 1,5 % por volumen;

5 La FIG. 21 ilustra un diagrama de tensión – desviación comparando la tensión de flexión respecto a la desviación de la mezcla de fibras sintéticas de la presente invención a un 1,5 % por volumen;

La FIG. 22 ilustra un diagrama de tensión – desviación comparando la tensión de flexión respecto a la desviación de la mezcla de fibras sintéticas de la presente invención a un 1,5 % por volumen;

La FIG. 23 ilustra un diagrama de tensión – desviación comparando la tensión de flexión respecto a la desviación de la mezcla de fibras sintéticas de la presente invención a un 1,9 % por volumen;

10 La FIG. 24 ilustra un diagrama de tensión – desviación comparando la tensión de flexión respecto a la desviación de la mezcla de fibras sintéticas de la presente invención a un 1,9 % por volumen;

La FIG. 25 ilustra un diagrama de tensión – desviación comparando la tensión de flexión respecto a la desviación de la mezcla de fibras sintéticas de la presente invención a un 1,9 % por volumen;

15 La FIG. 26 ilustra un diagrama de tensión – desviación comparando la tensión de flexión respecto a la desviación de la mezcla de fibras sintéticas de la presente invención a un 1,9 % por volumen;

La FIG. 27 ilustra un gráfico de desviación de la carga comparando la carga respecto a la desviación del punto central de la mezcla de fibras sintéticas de la presente invención en un panel de hormigón proyectado a un 1,0 % por volumen;

20 La FIG. 28 ilustra un gráfico de desviación de la carga comparando la carga respecto a la desviación del punto central de la mezcla de fibras sintéticas de la presente invención en un panel de hormigón proyectado a un 1,5 % por volumen;

La FIG. 29 ilustra un gráfico de desviación de la carga comparando la carga respecto a la desviación del punto central de la mezcla de fibras sintéticas de la presente invención en un panel de hormigón proyectado a un 1,9 % por volumen;

25 La FIG. 30 ilustra una realización de la presente invención donde el segundo componente de fibra está trenzado a un grado concreto de trenzado, identificado como X; y

La FIG. 31 ilustra un problema en las técnicas anteriores, donde las hebras individuales de monofilamento tienen cierto efecto de partición y de “pincel”.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

30 Debe entenderse que las cifras y descripciones de la presente invención se han simplificado para ilustrar los elementos que son relevantes para una clara comprensión de la presente invención. Aquellos versados en la técnica reconocerán que los elementos asociados y otros puntos pueden emplearse en la implementación de la presente invención. Sin embargo, dado que muchos de los elementos y puntos asociados son bien conocidos entre aquellos versados en la técnica, no se tratarán en este documento.

35 Con referencia a la tela metálica, los materiales de refuerzo de las fibras sintéticas de la presente invención proporcionan un medio de refuerzo más efectivo y rentable. Eso se debe a que, incluso cantidades de fibra relativamente pequeñas, cuando se añaden a la mezcla cementosa, se distribuyen por la mezcla para reforzar significativamente todo el material de la matriz, reducir la permeabilidad, aumentar la resistencia a la fatiga y mejorar la dureza. Además, la aplicación del refuerzo de tela metálica requiere bastante tiempo y trabajo debido a las
40 necesidades de colocación asociadas a la misma.

Como ejemplo, las fibras sintéticas de la presente invención pueden añadirse a varios productos y materiales de construcción cementosos usados para edificación o construcción como por ejemplo, pavimentos estructurales, zonas
45 asfaltadas y pistas de aeropuerto, barreras y revestimientos de tableros de puentes, bloques de pavimentos estructurales, productos de hormigón prefabricado como tuberías y depósitos, paneles de pared prefabricados, hormigón proyectado para estabilización de escolleras, revestimientos de túneles y estructuras abovedadas. La mezcla de fibras sintéticas de la presente invención también puede usarse para reparación, rehabilitación, restauración y reforma de productos y estructuras existentes como, por ejemplo, en revestimientos, *whitetoppings* y reparaciones de pavimentos de aeropuertos y tableros de puentes.

50 Además del refuerzo estructural, la incorporación de la mezcla de fibras sintéticas de la presente invención en, por ejemplo, material cementoso de fraguado, modifica el mecanismo de agrietamiento y reduce la propagación del micro-agrietamiento ocasionado por la contracción del hormigón. Por consiguiente, con referencia al cemento no reforzado, las grietas resultantes del hormigón armado con fibra de la presente invención tienen una anchura más

pequeña, la permeabilidad del material es menor y se mejora la resistencia al agrietamiento. Además, las fibras mezcladas de la presente invención pueden transportar una carga a través de la grieta. Por otra parte, tal como se expondrá más adelante, las pruebas del hormigón armado con fibra de la presente invención indican que el material de hormigón ha mejorado la dureza o la capacidad de transporte de la carga residual tras la primera grieta, y puede haber mejorado considerablemente la resistencia al impacto.

La presente invención está dirigida a una mezcla híbrida de fibras sintéticas de alto rendimiento y, más concretamente, a una mezcla de fibras sintéticas para reducir los efectos de la contracción plástica y mejorar las propiedades del hormigón endurecido. Tal como se indicará con mayor detalle más adelante, se ha descubierto que la combinación de un primer componente de fibra y un segundo componente de fibra para formar la mezcla híbrida de fibras de la presente invención consigue unas propiedades de refuerzo sorprendentes y múltiples ventajas de rendimiento superiores a las que puede alcanzar cada componente de fibra individualmente. En particular, la fibra de la presente invención mejora el control del agrietamiento por contracción plástica y sedimentación, mejorando al mismo tiempo la resistencia al impacto, la dureza del hormigón y otras propiedades estructurales y de durabilidad a largo plazo.

El primer componente de fibra es un material de refuerzo fibroso de homopolímero de polipropileno. El primer componente de fibra es una fibra (de red) fibrilada, intercalada que puede tener entre 100 y 20 000 denieres por filamento, aproximadamente. Por ejemplo, en una realización de la presente invención, el primer componente de fibra tiene aproximadamente 10 000 denieres por filamento e incluye las siguientes propiedades físicas:

PROPIEDADES FÍSICAS DEL PRIMER COMPONENTE DE FIBRA			
Material	Homopolímero de polipropileno virgen	Color	Gris
Forma	Fibra fibrilada intercalada	Resistencia a los ácidos / álcalis	Excelente
Gravedad específica	0,91	Absorción	Nula
Resistencia a la tracción	28-40 ksi. (200-272 Mpa)	Conformidad	A.S.T.M.C-1116
Longitudes	2 ¼" (54 mm)		

El primer componente de fibra puede, pero no necesariamente, estar formado por un 100 por cien de polipropileno virgen, y puede ser una fibra de colores mezclados y completamente orientada que es básicamente no corrosiva, no magnética y resistente a los álcalis. Cuando se usa solo como aditivo de refuerzo de fibras (es decir, no como mezcla híbrida en combinación con el segundo componente de fibra, que se comenta más adelante, tal como se ha indicado), el primer componente se añade normalmente a una dosis de 1,5 libras por yarda cúbica (0,9 kilogramos por metro cúbico) de material cementoso directamente al sistema de mezclado durante, o después, del amasado de los otros ingredientes, y se mezcla en el momento y velocidad recomendados por el fabricante de la hormigonera (normalmente entre cuatro y cinco minutos). El primer componente de fibra presenta unas propiedades de distribución uniforme y buen mezclado. El material reforzado con fibras resultante proporciona una durabilidad a largo plazo y un control secundario / de temperatura para agrietamiento por temperatura / contracción relativamente bueno.

Cuando se usa en la presente invención, el primer componente de fibra puede añadirse a la mezcla híbrida en cantidades entre un 5 y un 50 por cien, aproximadamente, del peso total. Por ejemplo, en una realización de la presente invención, el primer componente de fibra puede añadirse en cantidades de un 6,7 por ciento en peso total, aproximadamente. Además, el primer componente de fibra puede, pero no necesariamente, tener la misma longitud que el segundo componente de fibra. Cuando se usa en la presente invención, el primer componente de fibra puede añadirse a la mezcla híbrida en longitudes entre 19 y 60 mm, aproximadamente. Por ejemplo, en una realización de la presente invención, el primer componente de fibra puede añadirse en longitudes de 54 mm, aproximadamente.

El segundo componente de fibra es un copolímero con refuerzo fibroso de alta resistencia como, aunque no limitado a, uno formado por monofilamentos gofrados. El segundo componente de fibra es preferiblemente un copolímero formado por cantidades mayores, preferiblemente de un 75-80 por cien en peso aprox. de polipropileno, preferiblemente un polipropileno con punto de fusión bajo (homopolímero con punto de fusión 2), y cantidades menores, preferiblemente un 20-25 por cien por peso aprox. de polietileno de alta densidad. Las segundas fibras no fibrilan, es decir, no se separan para formar una red como la estructura en el material cementoso.

El segundo componente de fibra es una hebra de alta tenacidad, poliolefínica, con una alta resistencia y una excelente flexibilidad. Tal como está incorporado en la mezcla híbrida de la presente invención, el segundo componente de fibra incluye monofilamentos de 350 a 6000 denieres por filamento, aproximadamente. La realización preferida del segundo componente de fibra está preferiblemente trenzada para formar un haz no interconectado de múltiples hebras de un monofilamento no fibrilado. En una realización de la presente invención, el segundo componente de fibra presenta las siguientes propiedades:

PROPIEDADES FÍSICAS DEL SEGUNDO COMPONENTE DE FIBRA			
Material	Copolímero virgen	Color	Gris
Forma	Monofilamentos trenzados híbridos intercalados	Resistencia a los ácidos / álcalis	Excelente
Gravedad específica	0,91	Absorción	Nula
Resistencia a la tracción	70-106 ksi. (485-730 Mpa)	Conformidad	A.S.T.M.C-1116
Longitud	2 ¼" (54 mm)		

Por ejemplo, en una realización de la presente invención, el segundo componente tiene aproximadamente 750 denieres por filamento. Cuando se usa solo (no como una mezcla híbrida en combinación con el primer componente, lo cual se ha expuesto anteriormente, dándose a conocer en este documento), el segundo componente se añade normalmente con una dosis aproximada de 4 – 30 libras por yarda cúbica (1,8 - 13,6 kilogramos por metro cúbico) de material cementoso directamente al sistema de mezclado durante o, tras, el amasado de los otros ingredientes y su distribución por la mezcla. El material reforzado con fibras resultante presenta durabilidad a largo plazo. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el segundo componente de fibra, por sí mismo cuando no está trenzado, presenta unas propiedades de distribución por debajo de las óptimas en el material de construcción durante la operación de mezclado. Sin embargo, cuando los monofilamentos del segundo componente de fibra están trenzados, tal como se usan en la realización preferida de la mezcla de fibras sintéticas de la presente invención para formar el haz no interconectado, la mezcla de fibras sintéticas es más fácil de mezclar y se distribuye uniformemente por el material cementoso.

Se ha descubierto que cuando el segundo componente de fibra está trenzado, el grado de trenzado del haz es relevante para las propiedades de distribución del segundo componente de fibra en el material de construcción al cual se añade. Tal como se expone en la FIG. 30, un único giro se identifica como "x" y, tal como se usa aquí, se define como un giro completo (360°) en toda la longitud lineal del haz de fibra. El número de giros por pie lineal (giros por pulgada lineal o giros por centímetro lineal), identificado aquí como giros / pie, giros/pulgada o giros/cm, respectivamente, proporciona una diferencia pronunciada en la capacidad del segundo componente de fibra para mezclarse con, y distribuirse de forma más eficiente por, el material de construcción. Se cree que esta diferencia en la distribución, a su vez, explica, al menos parcialmente, el aumento de las mejores propiedades de refuerzo presentadas por la mezcla de fibras sintéticas de la presente invención.

Los intentos anteriores de formar el haz de fibra sintética de la presente invención usaban el trenzado de múltiples hebras de monofilamentos hasta 9 giros / pie (0,75 giros/pulgada o 0,3 giros/cm) aproximadamente. Se ha descubierto que este grado de trenzado produce unas buenas propiedades de mezclado y distribución por el material cementoso, tal como se expone en este documento. Pruebas adicionales indicaron que se obtuvieron unos resultados similares cuando el grado de trenzado aumentó hasta 11 giros / pie (0,9 giros/pulgada o 0,36 giros/cm), aproximadamente. Por consiguiente, se ha descubierto que el trenzado del componente de fibra dentro del margen comprendido entre 0,75 giros/pulgada (0,3 giros/cm), aproximadamente, y 0,9 giros/pulgada (0,36 giros/cm), aproximadamente, proporciona unas mejores propiedades de mezclado y distribución en los materiales de construcción en los cuales se añadió el segundo componente de fibra, en comparación con los materiales de construcción que no usan realizaciones del componente de fibra no trenzada de la presente invención. Sin embargo, se observó que cuando las hebras individuales del monofilamento se trenzaron dentro del margen comprendido entre 0,75 giros/pulgada (0,3 giros/cm), aproximadamente, y 0,9 giros/pulgada (0,36 giros/cm), aproximadamente, podía verse algún efecto de partición y "pincel" en las hebras individuales de monofilamentos. Este comúnmente conocido efecto 10 se ilustra en la FIG. 31, y puede afectar negativamente a la capacidad de los monofilamentos para dispersarse por los materiales cementosos. Además, se ha descubierto que con un grado de trenzado inferior a 0,9 giros/pulgada (0,36 giros/cm), aproximadamente, había una separación incompleta de los monofilamentos del haz de fibra. Esto era especialmente evidente en ciertas realizaciones de la presente invención que usan hebras de filamento, donde cada hebra se compone de dos o más monofilamentos conectados que están diseñados para separarse en monofilamentos individuales como resultado del acto de trenzar las hebras de fibra en el haz trenzado.

Se descubrió mediante pruebas experimentales que hubo una mejora considerable en el mezclado y la distribución cuando el segundo componente estaba formado con un trenzado más ajustado, superior a 11 giros / pie (0,9 giros/pulgada o 0,36 giros/cm), aproximadamente. Estos mejores resultados se observaron con un grado de trenzado inferior a unos 2,2 giros/pulgada (0,87 giros/cm), que es aproximadamente el grado más alto de trenzado con el que puede atarse un haz de fibra no calentado sin un efecto significativo de "destrenzado" (es decir, el efecto por el cual un haz de fibra se destrenza de su forma trenzada y, posiblemente, se desata debido a las propiedades de elasticidad del polímero). Normalmente, las mejores propiedades de mezclado y distribución como resultado del grado de trenzado en el haz de fibra se midieron a más de 11 giros / pie (0,9 giros/pulgada o 0,36 giros/cm), aproximadamente, y normalmente ocurrieron en el margen comprendido entre más de 11 giros / pie (0,9 giros/pulgada o 0,36 giros/cm), aproximadamente, y 13 giros / pie (1,1 giros/pulgada o 0,43 giros/cm),

aproximadamente, y pueden ocurrir a un grado de trenzado de 13 giros / pie (1,1 giros/pulgada o 0,43 giros/cm) aproximadamente. Además, se descubrió que, con un aumento del grado de trenzado hasta más de 1 giro / pulgada (unos 0,39 giros/cm), aproximadamente, se observó poco o ningún efecto de partición o "píncel" en los monofilamentos, y casi todos los monofilamentos individuales que formaban el haz de fibra se separaron completamente del haz y se distribuyeron por el material de construcción en el cual se habían añadido. Esto fue especialmente evidente en algunas realizaciones de la presente invención que usan hebras de filamento, donde cada una de las hebras se compone de dos o más monofilamentos conectados que están diseñados para romperse en monofilamentos individuales como resultado del acto de trenzar las hebras de fibra en el haz trenzado, formando en última instancia el haz trenzado de monofilamentos.

Se contempla que pueden obtenerse algunas ventajas adicionales en el mezclado y la distribución del segundo componente de fibra cuando la configuración del haz de fibra trenzado del segundo componente de fibra se calienta hasta una temperatura por debajo de su punto de fusión y se trenza, lo cual puede permitir trenzar el haz de fibra hasta un grado de trenzado superior a unos 2,2 giros/pulgada (0,87 giros/cm). En esta realización, los monofilamentos individuales del segundo componente de fibra pueden calentarse, antes o después de haberse convertido en un haz trenzado, hasta, por ejemplo, a unos 325 °F, lo cual puede hacer que un haz de fibra tenga un grado de trenzado superior a 2,2 giros/pulgada (0,87 giros/cm), aproximadamente, y que pueda reducir considerablemente o eliminar el efecto de destrenzado.

Cuando se usa en la mezcla de fibras sintéticas de la presente invención, el segundo componente de fibra puede añadirse a la mezcla híbrida en cantidades entre un 50 y un 95 por ciento en peso total, aproximadamente. Por ejemplo, en una realización de la presente invención, el segundo componente de fibra puede añadirse en cantidades de un 93,3 por ciento en peso total, aproximadamente. Además, el segundo componente de fibra puede, pero no necesariamente, tener la misma longitud que el primer componente de fibra. Cuando se usa en la presente invención, el segundo componente de fibra puede añadirse a la mezcla híbrida en longitudes entre unos 19 y 60 mm. Por ejemplo, en una realización de la presente invención, el segundo componente de fibra puede añadirse en longitudes de unos 54 mm.

El primer componente de fibra y el segundo componente de fibra pueden mezclarse en las cantidades indicadas anteriormente para formar la mezcla de fibras híbrida de la presente invención. El primer componente de fibra y el segundo componente de fibra pueden mezclarse mediante cualquiera de los medios conocidos en la técnica, como, por ejemplo, combinando los dos componentes de fibra en el proceso de corte. Las fibras híbridas pueden cortarse en tiras usables antes o después de mezclado del primer componente de fibra y el segundo componente de fibra. Cuando las fibras híbridas de la presente invención se cortan en tiras usables tras el mezclado del primer componente de fibra y el segundo componente de fibra, las tiras de fibras híbridas pueden cortarse en cualquier longitud que pueda dispersarse y bombearse, pero pueden cortarse en una longitud entre unos 19 y 60 mm como, por ejemplo, una longitud de 54 mm, aproximadamente. Se contempla que la longitud de la fibra pueda ajustarse de acuerdo con las especificaciones. En una forma de la presente invención, la fibra híbrida resultante tiene las siguientes propiedades físicas:

PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MEZCLA DE FIBRAS			
Material	Polipropileno virgen / copolímero virgen	Color	Gris
Forma	Sistema de fibras de haz de monofilamentos trenzados / fibrilados – híbridos intercalados	Resistencia a los ácidos / álcalis	Excelente
Gravedad específica	0,91	Absorción	Nula
Resistencia a la tracción	90-110 ksi. (620-758 Mpa)	Conformidad	A.S.T.M.C-1116
Longitud	¾" (19 mm), 1 ½" (38 mm), 2 ¼" (54 mm), 2½" (60 mm)		

Cuando se incorpora a un material de construcción como el hormigón, la mezcla de fibras híbridas de la presente invención puede añadirse a la mezcla en cantidades que varían de un 0,1 por cien y un 2,0 por ciento en volumen de hormigón, aproximadamente, y normalmente en cantidades comprendidas que van de 0,5 y un 2,0 por ciento en volumen de hormigón, aproximadamente, para conferir unas mejores características de refuerzo. La mezcla de fibras híbridas puede añadirse directamente al sistema de mezclado durante, o después, del amasado de los otros ingredientes y mezclarse en el momento y a la velocidad recomendada por el fabricante de la hormigonera (normalmente entre cuatro y cinco minutos).

La mezcla de fibras híbridas de la presente invención puede usarse para reducir la contracción tras el fraguado y la contracción del hormigón endurecido y plástica antes del endurecimiento inicial que origina el agrietamiento. Además, la mezcla de fibras híbridas mejora la resistencia al impacto y aumenta la resistencia a la fatiga y la dureza del hormigón como refuerzo secundario / de temperatura / estructural alternativo. Además, aparte del trenzado del

segundo componente de fibra, se ha descubierto que la combinación del primer componente de fibra con el segundo componente de fibra mejora considerablemente la capacidad del segundo componente de fibra para distribuirse de forma uniforme por la mezcla. Se cree que las mejores propiedades de distribución del segundo componente de fibra, en parte, explican el aumento de las mejores propiedades de refuerzo presentadas por la mezcla de fibras sintéticas de la presente invención. Además, la fibra de la presente invención es no corrosiva, no magnética y considerablemente resistente a los efectos de la naturaleza alcalina de los materiales de construcción convencionales, como, por ejemplo, el hormigón de cemento Portland.

Tal como se ilustra en los ejemplos siguientes, la presente invención proporciona ventajas de coste, operación y refuerzo estructural respecto a los componentes de refuerzo conocidos. La combinación de componentes de fibra de la presente invención, en comparación con la tela metálica o las fibras de acero convencionales, no es corrosiva, se mezcla fácilmente con el material de construcción, reduce el agrietamiento por contracción plástica y ventajas rentables y estructurales para el material formado resultante. Las fibras sintéticas sustituyen a las fibras de acero para el refuerzo de los materiales cementosos y eliminan los daños en los equipos ocasionados por las fibras de acero. En comparación con otras fibras sintéticas, las fibras de la presente invención proporcionan una operación de mezclado más efectiva y más ventajas estructurales para el material de construcción en el cual se añaden.

Ejemplos

Ejemplo 1

Las fibras sintéticas híbridas de la presente invención se probaron para determinar la reducción de la contracción plástica del hormigón usando mezclas con alto contenido de cemento, conocido por presentar unas altas probabilidades de agrietamiento por contracción. Las dosis de fibras usadas fueron de 0,5, 1,0 y 2,0 por ciento en volumen de hormigón. Se realizaron tres masadas diferentes de hormigón y se probaron un total de 15 bloques. Las pruebas se realizaron usando un bloque con un grosor de 2,0 pulgadas (5,08 cm) con una longitud de 3 pies (91,4 cm) y una anchura de 2 pies (61 cm). Se redujo la formación de grietas usando ventiladores que pueden producir un viento con una velocidad de 14 mph (22,5 km/h). Se comparó el rendimiento de estas fibras usando las superficies de las grietas del bloque de control sin fibras y bloques reforzados con fibra.

Tal como se ilustra a continuación, los resultados de las pruebas indican que las fibras de la presente invención, a las dosis usadas, redujeron significativamente la contracción plástica en el hormigón. La reducción de la superficie de las grietas varió de un 100 a un 92 por cien respecto al hormigón sin añadir nada. No se observó agrietamiento cuando se usaron dosis de fibras de un 2,0 por ciento en volumen de hormigón. Hubo un 98 por cien y un 92 por cien de reducción de agrietamiento por contracción plástica cuando las dosis de fibras fueron respectivamente de un 1,0 por cien y un 0,5 por ciento en volumen de hormigón.

Procedimiento de ensayo

Se realizaron pruebas usando bloques con un grosor de 2 pulgadas (5,08 cm) con una longitud de 3 pies (91,4 cm) y una anchura de 2 pies (61 cm). Los bloques se contuvieron en todo el perímetro usando telas metálicas. Tras el vertido, los bloques se colocaron sobre una superficie plana y se sometieron al efecto del viento con una velocidad de 14 mph (22,5 km/h), usando ventiladores de alta velocidad.

Se observó la formación de grietas entre dos y tres horas y media después del vertido. Aunque normalmente el agrietamiento ha finalizado transcurridas entre seis y ocho horas, las anchuras y las longitudes de las grietas se midieron transcurridas 24 horas. Se decidió esperar más tiempo para garantizar que todas las grietas se formaran y estabilizaran. Se midió la anchura de las grietas en varios lugares a lo largo de la grieta. Se midió la longitud de las grietas para cada grieta y se multiplicó por la anchura media. De esta forma, se calculó la superficie total con grietas para un bloque determinado.

El valor de la superficie de las grietas del bloque de control (sin fibras) se determinó en un 100 por cien. La superficie de las grietas de los otros paneles se expresó como porcentaje del valor del bloque de control y de esta forma se obtuvo el porcentaje de reducción de la superficie de las grietas debido a la adición de las fibras.

Materiales

Los materiales usados fueron arena de hormigón, áridos gruesos y cemento de tipo I ASTM. Los áridos gruesos tenían un tamaño máximo de 0,75 pulgadas. Tanto los áridos finos como los gruesos cumplían los requisitos para áridos de la ASTM.

Las propiedades químicas y físicas de las fibras sintéticas usadas son las descritas en este documento.

Proporciones de mezcla

Dado que el objetivo de esta prueba era estudiar la influencia de la fibra añadida en la contracción plástica, era necesario fabricar el hormigón con un potencial muy alto de agrietamiento por contracción. Las condiciones de la prueba, como la temperatura ambiente, la humedad y la velocidad del viento (14 mph) (22,5 km/h) se mantuvieron

constantes para cada masada. Se realizaron tres masadas diferentes de hormigón con el mismo contenido de agua, contenido de cemento y tamaño máximo de áridos gruesos. Se usó un contenido de cemento más alto para aumentar las probabilidades de agrietamiento. La proporción de la mezcla básica usada fue la siguiente:

Cemento (lbs)	855 (388 kg)
Aguar (lbs)	427 (194 kg)
Relación agua / cemento	0,5
Arena de hormigón (lbs)	1062 (482 kg)
Áridos gruesos (lbs)	1062 (482 kg)
Tamaño máximo de los áridos (pulgadas)	0,75 (1,91 cm)

5 Procedimiento de mezclado y vertido de las muestras

10 Todo el mezclado se llevó a cabo en una hormigonera con una capacidad de nueve pies cúbicos. Las fibras se pesaron y almacenaron en un contenedor independiente. Primero se preparó la mezcla compensadora. Posteriormente, se introdujeron los áridos gruesos en la hormigonera. A continuación se añadió arena y dos tercios del agua y se mezcló durante un minuto. A continuación se añadió el cemento junto con el tercio restante de agua. Posteriormente, se añadieron las fibras de la presente invención y se mezclaron los ingredientes durante tres minutos. Tras el mezclado, la mezcla se dejó en reposo durante un período de tres minutos, seguido de una fase de mezclado final durante 2 minutos para obtener una distribución adecuada de las fibras.

15 Dado que las mezclas cementosas reforzadas con fibra tenían una consistencia suelta, tanto el vertido como la colocación se llevaron a cabo sin ningún problema. No se observó descomposición ni formación de aglomeraciones en ninguna de las mezclas. Para mantener la consistencia en el vertido, la consolidación y el acabado de los bloques, un contratista de hormigón y experto en acabados llevó a cabo el vertido, la consolidación y el acabado de todos los bloques.

20 Se realizaron tres masadas en tres días diferentes. Después de cada masada de material cementoso reforzado, se limpió bien la cuba de la hormigonera. Se preparó una mezcla compensadora antes de preparar una mezcla posterior. Todas las mezclas se prepararon bajo condiciones idénticas.

Resultados de la prueba y discusión

25 Se prepararon tres cilindros para cada una de las seis mezclas con y sin fibras de acuerdo con los procedimientos de la ASTM. Los cilindros se probaron tras 14 días de curado. Los resultados se indican en la Tabla 1, a continuación. Tal como se ilustra en la tabla 1, las resistencias de los cilindros en todas las mezclas fueron similares. Los resultados de la resistencia a la compresión a los 14 días de las 18 muestras fueron aproximadamente los mismos.

30 Las longitudes, anchuras y superficies de grietas medidas para los bloques de control y reforzado con fibras se indican en las tablas A1 a A3, B1 y B2, y C1 a C2, respectivamente para las masadas A, B y C. Cada una de las tablas compara las mezclas preparadas en un día concreto. Las influencias de las diversas dosis de fibras en el agrietamiento por contracción plástica se muestran en las figuras 1 a 6. El resumen de los resultados de las pruebas y el porcentaje de reducción de agrietamiento por contracción plástica se indican en la tabla 2. La comparación de los diversos parámetros para los distintos contenidos de fibras se muestra en la tabla 3.

35 Se probaron tres muestras para cada uno de los tres contenidos de fibras y se calcularon las superficies de las grietas medias. Los resultados de estos cálculos se indican en la tabla 2; la tabla 2 incluye la superficie de las grietas media de dos bloques de control sin fibras, así como las superficies de las grietas de PRC, y se expresan como el porcentaje de la superficie de las grietas de los bloques de control y la reducción por ciento de agrietamiento por contracción plástica debido a la adición de tres dosis de fibras.

40 Las figuras 1-4 ilustran gráficamente las superficies de las grietas de diferentes contenidos de fibras (figura 1), la longitud de las grietas de los diferentes contenidos de fibras (Figura 2), el tiempo observado para la formación de las grietas basándose en el contenido de fibras (Figura 3), y las superficies de las grietas entre los bloques de control y los bloques reforzados con fibras (figura 4). En las figuras 5 y 6, se muestra una comparación global de las posibles reducciones del agrietamiento por contracción plástica de los tres contenidos de fibras.

45 No se observó ninguna grieta en ninguno de los tres bloques reforzados con un 2,0 por ciento en volumen de la mezcla de fibras sintéticas de la presente invención. Los resultados indican que los tres contenidos de fibras fueron efectivos en la reducción del agrietamiento por contracción plástica en el hormigón. Sin embargo, la cantidad de reducción de grietas es diferente para diferentes dosis de fibras. La posible reducción de las grietas varía entre un 92 y un 100 % para estos contenidos de fibras, aproximadamente.

Conclusiones

Los resultados de las pruebas en los bloques de control y los bloques reforzados con fibra confirman que las fibras

5 de la presente invención son muy eficientes en la reducción del agrietamiento por contracción plástica en el hormigón. Las pruebas dieron a conocer que incluso con unos niveles de adición muy bajos, la fibra híbrida sintética de la presente invención proporcionó una reducción de las grietas extraordinariamente alta. Con unas dosis de fibras de un 0,5 por ciento en volumen, se ha conseguido una reducción de las grietas de un 92 %. Con unas dosis de fibras de un 1,0 por ciento en volumen, se consiguió una reducción de las grietas de un 98 %. Además, no se observó ningún agrietamiento por contracción plástica cuando se usó un 2,0 % por volumen de fibras.

TABLA 1

Resistencia a la compresión a los 14 días para las muestras de las pruebas de contracción				
Nº de masada	Contenido de fibras (% por vol.)	Nº de muestra	Resistencia a la compresión psi (kg/cm²)	Media en psi (kg/cm²)
A	0 (control)	FEP1-1	4725,97 (332,27)	4740,38 (338,28)
		FEP1-2	4793,98 (337,98)	
		FEP1-3	4701,19 (330,53)	
	1	FEF1-1	4722,22 (332,01)	4753,76 (334,22)
		FEF1-2	4754,36 (334,27)	
		FEF1-3	4784,69 (336,40)	
B	0 (control)	FEP2-1	4754,36 (334,27)	4805,09 (337,83)
		FEP2-2	4833,59 (339,84)	
		FEP2-3	4827,31 (339,39)	
	2	FEF2-1	4924,54 (346,23)	4944,47 (347,63)
		FEF2-2	4964,26 (349,02)	
		FEF2-3	4944,62 (347,64)	
C	0 (control)	FEP3-1	4793,97 (337,05)	4640,42 (326,25)
		FEP3-2	4361,62 (306,65)	
		FEP3-3	4765,68 (335,06)	
	0,5	FEF3-1	4733,49 (332,80)	4729,74 (332,53)
		FEF3-2	4769,47 (335,33)	
		FEF3-3	4686,25 (329,48)	

TABLA 2

Reducción de la contracción plástica debido a la adición de la mezcla de fibras híbridas			
Tipo	Superficie de las grietas (mm²)	Superficie de las grietas (% de control)	Superficie de las grietas (% de reducción)
MASADA A			
Bloque de control 1	413,93	100	
Bloque de control 2	195,76		
Media	304,85		
1 % por volumen de fibras híbridas		2	98
Bloque 1	5,68		
Bloque 2	1,45		
Bloque 3	13,06		
Media	6,73		
MASADA B			
Bloque de control 1	373,81	100	
Bloque de control 2	424,97		
Media	399,39		
2 % por volumen de fibras híbridas		0	100
Bloque 1	Ninguna grieta		
Bloque 2	Ninguna grieta		
Bloque 3	Ninguna grieta		
MASADA C			
Bloque de control 1	210,47	100	
Bloque de control 2	175,07		
Media	192,77		
0,5 % por volumen de fibras híbridas		8	92
Bloque 1	26,42		
Bloque 2	13,59		
Bloque 3	5,26		
Media	15,09		

TABLA 3
Comparación de diversos parámetros para diferentes contenidos de fibras

Bloques con fibra	Masada de lab.	Contenido de fibras (%por vol.)	Superficie de las grietas (mm ²)	Longitud de grieta (mm)	Anchura de grieta (mm)	LAV	Tiempo hasta la aparición de la primera grieta (min)	Vertido		Condiciones Temperatura (°F)
								Humedad (%)	Temperatura (°F)	
	Masada C	0,5	15,09	47,10	1,02	46,176	170	38	75	
	Masada A	1,0	6,73	52,73	1,37	38,489	195	15	104	
	Masada B	2,0						39	82	

Bloques de control	Masada de lab.	Superficie de las grietas (mm ²)	Longitud de grieta (mm)	Anchura de grieta (mm)	LAV	Tiempo hasta la aparición de la primera grieta (min)	Vertido Humedad (%)	Condiciones	
								Temperatura (°F)	Temperatura (°F)
	Masada C	192,77	238,8	5,35	44,67	120	38	75	
	Masada A	304,85	431,3	9,99	43,19	125	20	99	
	Masada B	399,39	317,8	9,13	34,82	120	35	87	

Notas:

1. Los valores de Superficie de las grietas, Longitud de grieta y Anchura de grieta para los bloques con fibra son la media de los valores de tres bloques.
2. Los valores de Superficie de las grietas, Longitud de grieta y Anchura de grieta para los bloques de control son la media de los valores de dos bloques.
3. Los tres bloques de la masada B no se agrietaron.

Tabla A1. Información de las longitudes, anchuras y superficies de las grietas; masada A; bloque de control 1

Nº de grieta	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Anchura media (mm)	Superficie (mm2)	Nº de grieta	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Anchura media (mm)	Superficie (mm2)	Nº de grieta	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Anchura media (mm)	Superficie (mm2)
1	11,20	0,50	0,59	6,61	8	6,20	0,50	0,43	2,64	13	4,80	0,50	0,58	2,78
		0,80												
		0,80												
		0,45												
2	6,70	0,45	0,28	1,84	9	13,90	0,30	0,34	4,73	14	23,40	0,50	1,40	32,76
		2,00												
		1,00												
		0,40												
3	6,80	0,50	0,55	6,99	10	11,70	0,80	0,29	3,36	14	23,40	0,80	1,40	32,76
		0,80												
		1,00												
		0,50												
4	11,90	0,15	0,51	6,07	11	11,50	0,80	0,29	3,34	14	23,40	0,80	1,40	32,76
		0,80												
		0,50												
		0,30												
5	10,90	0,45	0,26	2,83	12	53,60	0,80	1,18	1,18	14	23,40	0,80	1,40	32,76
		0,10												
		0,15												
		0,45												
6	12,70	0,15	0,36	4,55	7	115,20	1,87	215,7	2,64	13	4,80	0,30	0,58	2,78
		0,30												
		0,45												
		0,50												
7	7,60	0,50	0,92	6,99	7A	7,60	0,80	0,29	3,36	7B	19,30	0,80	1,40	32,76
		0,80												
		1,00												
		0,50												
8	19,30	0,80	0,82	15,83	7C	27,20	2,00	1,47	39,89	7C	27,20	2,00	1,18	1,18
		1,00												
		1,00												
		0,80												
9	27,20	0,80	1,47	39,89	7C	27,20	0,80	1,18	1,18	7C	27,20	0,80	1,18	1,18
		2,00												
		2,00												
		0,80												
10	53,60	0,80	1,47	39,89	7C	53,60	0,80	1,18	1,18	7C	53,60	0,80	1,18	1,18
		1,00												
		2,00												
		0,50												
11	1,18	0,80	1,18	1,18	7C	53,60	0,80	1,18	1,18	7C	53,60	0,80	1,18	1,18
		1,00												
		2,00												
		0,50												
12	413,93	0,80	1,18	1,18	7C	53,60	0,80	1,18	1,18	7C	53,60	0,80	1,18	1,18
		1,00												
		2,00												
		0,50												

Tabla A2. Información de las longitudes, anchuras y superficies de las grietas; masada A; bloque de control 2

N.º de grieta	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Superficie (mm ²)	N.º de grieta	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Superficie (mm ²)	N.º de grieta	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Superficie (mm ²)	N.º de grieta	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Superficie (mm ²)
1	19,60	0,80	16,42	6	9,90	0,20	2,35	12	54,50	0,20	14,96	18	14,40	0,20	3,17
	1,00	0,20													
	1,00	0,20													
	0,80	0,35													
	0,80	0,20													
2	38,40	1,00	39,68	7	31,30	0,40	14,35	13	12,90	0,20	2,58	19	23,80	0,20	5,16
	2,00	0,45													
	2,00	0,50													
	0,80	0,45													
	0,50	0,20													
3	9,20	0,80	6,67	9	43,40	0,35	15,87	14	12,70	0,20	3,18	20	28,30	0,20	6,60
	0,80	0,30													
	0,80	0,35													
	0,50	0,30													
	0,50	0,45													
4	22,60	1,00	15,50	10	15,20	0,20	3,04	16	26,40	0,20	5,81	21	19,20	0,15	4,00
	0,80	0,20													
	0,80	0,20													
	0,80	0,30													
	0,50	0,20													
5	15,20	0,20	5,02	11	23,40	0,40	8,42	17	22,80	0,20	5,13	Superficie		0,35	195,76
	0,40	0,45													
	0,35	0,45													
	0,35	0,30													
	0,35	0,20													

TABLA A3. Información de las longitudes, anchuras y superficies de las grietas; masada A; bloques reforzados con mezcla de fibras híbridas (1 %)

1					2					3						
N.º de grieta	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Anchura media (mm)	Superficie (mm ²)	N.º de grieta	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Anchura media (mm)	Superficie (mm ²)	N.º de grieta	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Anchura media (mm)	Superficie (mm ²)		
1	6,30	0,20	0,18	1,13	1	8,60	0,20	0,20	1,72	1	5,70	0,15	0,19	1,08		
		0,15					0,25						0,20	0,20		
		0,20					0,15						0,20	0,15		
		0,15					0,20						0,20	0,15		
2	3,90	0,20	0,23	0,88	2	7,70	0,15	0,21	1,62	2	6,40	0,30	0,21	1,34		
		0,30					0,20						0,20	0,20		
		0,20					0,30						0,20	0,15		
		0,20					0,20						0,15	0,20		
3	4,20	0,15	0,19	0,79	3	19,90	0,20	0,22	4,38	3	5,40	0,20	0,21	1,13		
		0,20					0,20						0,30	0,20		
		0,20					0,30						0,20	0,20		
		0,20					0,20						0,15	0,15		
4	5,50	0,20	0,25	1,38	4	7,90	0,20	0,22	1,74	4	10,60	0,25	0,26	2,76		
		0,30					0,30						0,30	0,20		
		0,30					0,20						0,30	0,30		
		0,20					0,20						0,25	0,25		
5	8,20	0,20	0,18	1,50	5	10,60	0,15	0,21	2,23	5	14,20	0,15	0,17	2,41		
		0,15					0,20						0,20	0,20		
		0,20					0,30						0,15	0,15		
		0,20					0,20						0,15	0,15		
		0,20			6	5,90	0,20	0,18	1,03	6	5,60	0,30	0,24	1,34		
		0,20					0,20						0,30	0,20		
		0,15					0,15						0,20	0,20		
		0,15					0,15						0,20	0,20		
		0,15			7	5,50	0,15	0,21	1,16	7		0,20				
		0,30					0,30						0,30			
		0,20					0,20						0,20			
		0,20					0,20						0,20			
Superficie					Superficie					Superficie						
5,68					1,45					13,06						

Tabla B1. Información de las longitudes, anchuras y superficies de las grietas; masada B; bloque de control
1

Nº de grieta	Longitud [mm]	Anchura [mm]	Anchura media [mm]	Superficie [mm ²]	Nº de grieta	Longitud [mm]	Anchura [mm]	Anchura media [mm]	Superficie [mm ²]
1	66,90	0,40 0,80 1,00 2,00 2,00 2,00 2,00 1,00 0,45 0,50	1,13	75,45	7	5,20	0,45 0,30 0,30 0,35 0,25	0,33	1,72
2	57,80	1,00 2,00 2,00 2,00 3,00 3,00 2,00 1,00 0,80	1,87	107,89	8	10,30	0,30 0,45 0,50 0,30 0,30	0,37	3,81
3	40,70	0,80 1,00 2,00 2,00 0,80 1,00 0,80	1,20	48,84	9	26,30	0,20 0,30 0,30 0,20 0,20 0,20	0,23	6,14
4	32,40	1,00 2,00 2,00 3,00 3,00 2,00 1,00 1,00 0,80	1,76	56,88	10	8,80	0,20 0,20 0,30 0,30 0,20	0,24	2,11
5	55,80	0,80 1,00 1,00 1,00 2,00 1,00 1,00 0,80	1,08	59,99					
6	13,40	0,80 1,00 1,00 0,80 0,50	0,82	10,99					
								Superficie	373,81

Tabla B2. Información de las longitudes, anchuras y superficies de las grietas; masada B; bloque de control 2

Nº de grieta	Longitud [mm]	Anchura [mm]	Anchura media [mm]	Superficie [mm ²]	Nº de grieta	Longitud [mm]	Anchura [mm]	Anchura media [mm]	Superficie [mm ²]
1	61,60	1,00 2,00 2,00 2,00 2,00 3,00 2,00 1,00	1,88	115,50	6	71,60	0,50 0,80 1,00 1,00 0,80 0,80 0,80	0,81	58,30
2	9,40	0,80 0,80 0,50 0,45	0,64	5,99	7	16,70	0,45 0,45 0,20 0,20 0,20	0,30	5,01
3	19,30	0,45 0,50 0,50 0,50 0,30 0,25	0,42	8,04	8	13,20	0,50 0,30 0,20 0,20 0,30	0,30	3,96
4	25,40	0,80 1,00 0,80 0,50 0,40 0,30	0,63	16,09					
5	80,60	1,00 1,00 2,00 3,00 1,00 3,00 3,00 3,00 2,00 1,00	2,09	165,53					
5A	20,10	2,00 3,00 2,00 2,00 2,00	2,17	43,55					

Superficie	424,97
-------------------	--------

Tabla C1. Información de las longitudes, anchuras y superficies de las grietas; masada C; bloque de control 1

Nº de grieta	Longitud [mm]	Anchura [mm]	Anchura media [mm]	Superficie [mm ²]	Nº de grieta	Longitud [mm]	Anchura [mm]	Anchura media [mm]	Superficie [mm ²]
1	49,90	0,80 1,00 1,00 2,00 2,00 0,80 1,00 1,00	1,20	59,88	5	19,70	0,20 0,40 0,50 0,50 0,20 0,20 0,20	0,31	6,19
2	46,40	1,00 2,00 2,00 2,00 1,00 0,80 0,80	1,37	63,63	6	11,40	0,20 0,40 0,30 0,20 0,20	0,26	2,96
2A	20,70	0,80 0,80 0,50 0,40 0,20	0,54	11,18	7	15,30	0,20 0,20 0,30 0,20 0,20 0,20	0,22	3,32
2B	14,20	0,50 0,50 0,30 0,30 0,20	0,36	5,11	8	11,60	0,30 0,20 0,10 0,20 0,20 0,20	0,25	2,90
3	15,60	0,50 0,80 0,50 0,50 0,30 0,20	0,47	7,28					
4	68,60	0,80 1,00 1,00 1,00 0,80 0,50 0,30 0,20	0,70	48,02					
								Superficie	210,47

Tabla C2. Información de las longitudes, anchuras y superficies de las grietas; masada C; bloque de control 2

N° fess.	lungh. [mm]	largh. [mm]	largh. media [mm]	area [mm ²]	N° fess.	lungh. [mm]	largh. [mm]	largh. media [mm]	area [mm ²]
1	20,10	0,20 0,30 0,40 0,50 0,20 0,20	0,30	6,03	6A	11,40	0,20 0,30 0,30 0,20 0,20	0,24	2,74
2	16,60	0,20 0,40 0,30 0,30 0,20 0,20	0,27	4,43	6B	12,80	0,40 0,50 0,80 0,30 0,20 0,20 0,20	0,37	4,75
3	19,70	0,20 0,40 0,40 0,40 0,20 0,30 0,20	0,30	5,91	6C	15,40	0,20 0,20 0,30 0,20 0,20 0,20	0,22	3,34
4	10,20	0,20 0,30 0,30 0,20 0,20 0,20	0,23	2,38	6D	5,30	1,00 0,80 0,80 0,50 0,50 0,40	0,67	3,53
5	29,40	0,50 0,40 0,30 0,40 0,20 0,20 0,20	0,31	9,24					
6	63,20	1,00 2,00 3,00 2,00 2,00 3,00 3,00 2,00 2,00 1,00	2,10	132,72					
								Superficie	175,07

Tabla C3. Información de las longitudes, anchuras y superficies de las grietas; masada C; bloques reforzados con mezcla de fibras híbridas (0,5 %)

1			2			3								
Nº de grieta	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Anchura media (mm)	Superficie (mm ²)	Nº de grieta	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Anchura media (mm)	Superficie (mm ²)	Nº de grieta	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Anchura media (mm)	Superficie (mm ²)
1	5,30	0,20	0,22	1,17	1	6,60	0,20	0,26	1,72	1	6,70	0,20	0,22	1,452
		0,30												
		0,20												
		0,20												
		0,20												
2	24,70	0,20	0,25	6,18	2	14,40	0,30	0,38	5,52	2	7,40	0,20	0,23	1,727
		0,30												
		0,50												
		0,50												
		0,50												
3	32,30	0,50	0,51	16,61	3	25,40	0,20	0,25	6,35	3	7,80	0,30	0,27	2,08
		0,40												
		0,30												
		0,20												
		0,20												
4	6,40	0,30	0,23	1,44	3	25,40	0,30	0,25	6,35	3	7,80	0,30	0,27	2,08
		0,20												
		0,20												
		0,20												
5	4,30	0,20	0,24	1,03	3	25,40	0,20	0,25	6,35	3	7,80	0,20	0,27	2,08
		0,20												
		0,30												
		0,20												

Superficie 26,42

Superficie 13,59

Superficie 5,258

Ejemplo 2

Se llevó a cabo un estudio para evaluar la fibra híbrida sintética experimental reformulada de la presente invención con tres porcentajes de adición en hormigón proyectado de mezcla húmeda. Las fibras discretas tenían aproximadamente 60 mm de longitud por 0,3 mm de grosor por 0,3 mm de anchura. La fibra fibrilante estaba intercalada. Las fibras tenían una densidad en masa específica de 910 kg/m³.

Se produjeron tres mezclas de hormigón proyectado con unos porcentajes nominales de fibra añadida de 1,0, 1,5 y 2,0 % por volumen, a fin de llevar a cabo la evaluación. En todas las mezclas, las fibras fibrilantes intercaladas se proporcionaron para un porcentaje de añadido de un 0,1 % por volumen, siendo el valor medio la fibra diferenciada de 60 mm de longitud. Las tres mezclas fueron sometidas a pruebas de propiedades de hormigón proyectado fresco, se determinaron los datos de rebote y se creó un panel de pruebas de hormigón proyectado ACI estándar, un panel redondo australiano y un panel sudafricano por mezcla.

Se cortaron tres haces para realizar las pruebas de haces ASTM C1018 con un sierra circular de dientes adiamantados desde cada panel de pruebas de hormigón proyectado ACI estándar. También se extrajeron los núcleos de estos paneles de pruebas para la determinación de la resistencia a la compresión. Se determinaron los datos de permeabilidad en los extremos de los haces cortados con una sierra circular de dientes adiamantados. Los paneles sudafricanos se probaron con una carga distribuida uniformemente en un conjunto de prueba de lecho de agua, mientras que los paneles redondos australianos se probaron en carga de punto central con un soporte fijado en tres puntos en una máquina de pruebas construida a medida por AGRA Earth & Environmental Limited, Burnaby, B.C., Canadá.

Amasado y diseño de mezclas de hormigón proyectado

El diseño de mezclas de hormigón proyectado con exceso de agua usado se muestra en la tabla en el Informe Técnico N° 1, a continuación. Este diseño de mezclas es similar a las mezclas normalmente usadas para proyectos de revestimientos de hormigón permanentes en túneles y minas, estabilización de pendientes y rehabilitación de estructuras en Norteamérica. En la mezcla ternaria de material de cementación (cemento Portland, polvillo de cenizas y humo de sílice), el humo de sílice mejora la adhesión y la cohesión de la mezcla y reduce el rebote; el polvillo de cenizas aumenta el volumen de la pasta que mejora la capacidad de bombeo y de proyección.

Para mantener un control estricto sobre las proporciones de la mezcla, la mezcla de hormigón proyectado de base se amasó en seco. Se usaron materiales totalmente secos y todos los ingredientes se amasaron con precisión y bajo supervisión. Los materiales se pre-mezclaron en una hormigonera de cuba giratoria con paletas de giro inverso, antes de descargarse en sacos de papel de 30 kg. El hormigón proyectado se suministró mediante paletas y protegido por un embalaje termoplástico, cubierto por lonas impermeabilizadas para protegerlo contra la humedad antes del uso.

El hormigón proyectado se amasó en una unidad de hormigonera Allentown Powefcrete Pro modificada, conectada a una bomba de válvula de charnela de 75 mm. Normalmente se amasaron catorce sacos de 30 kg simultáneamente. Se añadió agua para mantener una relación agua / cemento constante entre todas las mezclas. Las fibras se añadieron directamente a la unidad de hormigonera durante el ciclo de mezclado y se mezclaron durante 5 minutos, aproximadamente, para proporcionar una distribución de fibras uniforme antes de la descarga de hormigón proyectado.

Se produjeron las siguientes mezclas: 1) Mezcla F10 (nominalmente un 1,0 % por volumen de contenido de fibras); 2) Mezcla F15 (nominalmente un 1,5 % por volumen de contenido de fibras); y 3) Mezcla F20 (nominalmente un 2,0 % por volumen de contenido de fibras, con un mayor volumen de pasta).

La dosis de superplastificante se ajustó de la forma necesaria para proporcionar el asentamiento necesario para la proyección. La mezcla F20 recibió una dosis suplementaria de polvillo de cenizas y agua para aumentar el volumen de la pasta y mantener unas buenas propiedades de bombeo a pesar del alto porcentaje de fibras añadidas. Las dosis reales de aditivo para las tres mezclas se muestran en los Informes Técnicos N° la a lc, a continuación.

Propiedades plásticas del hormigón proyectado

1. Asentamiento y contenido de aire

Los detalles referentes a las condiciones ambiente prevalentes (temperatura, velocidad del viento, precipitaciones) y las propiedades del hormigón proyectado plástico se indican en la tabla del Informe Técnico N° 2, a continuación. Las dosis aditivos requeridos para producir el contenido de aire inmediatamente después del amasado y el asentamiento deseados también se indican en esta tabla. La tabla del Informe N° 2 también detalla las propiedades del hormigón proyectado fresco inmediatamente después del amasado y la proyección, y la presión hidráulica operativa de la bomba de hormigón proyectado como medida de facilidad de bombeo.

Los asentamientos de las diferentes mezclas iban de 30 a 50 mm. Los contenidos de aire tras el amasado de las mezclas, después de la descarga en la bomba de hormigón proyectado, variaron entre un 8 y un 9 %. Para la

determinación del contenido de aire tras el proyectado, el hormigón proyectado se proyectó en una base medidora de presión de aire ASTM C231. El contenido de aire tras la proyección era de un 2 – 3 %. Esta es una pérdida de aire superior a lo habitual, lo cual indica que las fibras ayudan a atrapar el aire que se libera tras el impacto cuando se aplica el hormigón proyectado.

5 2. Capacidad de bombeo y proyección

El hormigón proyectado tras el amasado se descargó en la tolva de la bomba suministrada por Polycrete Restorations Ltd. La bomba tenía una válvula de charnela con un diámetro de 75 mm que descargaba en una manguera de 15 m de longitud con un diámetro interno de 50 mm y a través de una sección reductora metálica con un diámetro interno de 38 mm, una manguera de 30 m de longitud al proyectar las mezclas F10 y F15. Las longitudes de manguera respectivas eran aproximadamente de 8 m (50 mm de diámetro) más 20 m (38 mm de diámetro) al proyectar la mezcla F20.

La tabla del Informe Técnico N° 2 muestra que las mezclas requerían una presión hidráulica operativa entre 11 y 13 MPa de la bomba para su proyección, lo cual se considera una presión aceptable. La bomba de hormigón proyectado usada en este programa de pruebas tenía una presión operativa máxima de 16 MPa, aproximadamente. La mezcla con un 2,0 % nominal por volumen de fibras tipo F20 pudo bombearse de forma generalmente satisfactoria tras añadir el polvillo de cenizas y el agua de la forma descrita anteriormente. Sin embargo, la mezcla F20 se acercó al límite de capacidad de bombeo con el equipo existente y la mezcla base modificada. Se produjeron varios bloqueos de las mangueras de hormigón debido a la falta de pasta inducida a la presión cerca de la pieza reductora de 50 mm a 38 mm con la mezcla F20.

Todas las fibras se dispersaron bien en el hormigón. No se observó formación de aglomeraciones. Las mezclas de hormigón proyectado se adhirieron bien a los sustratos que se aplicaron y no se desprendieron.

3. Pruebas de rebotes

Se llevaron a cabo pruebas de rebotes en todas las mezclas en una caja de madera de 2,5 m cúbicos, recubierta con encofrado, abierta sobre una cara vertical. Se aplicó hormigón proyectado en una cara vertical en la parte trasera de la caja en una superficie aproximada de 600 x 600 cuadrados x 100 mm de profundidad, con cuatro clavos de proyección demarcando la zona de proyección. El material que cayó al suelo de la cámara de rebote se recuperó y pesó como rebote. A continuación se retiró y pesó el material de la zona de proyección. Se llevaron a cabo pruebas de arrastre de fibras en toda la muestra de rebote y en una muestra representativa de una masa similar, tomada del material de la zona de proyección. Se calcularon los siguientes parámetros: 1) contenido de fibras tras el amasado en kg/m³, porcentaje por volumen y porcentaje por masa; 2) contenido de fibras de la zona de proyección en kg/m³, porcentaje por volumen y porcentaje por masa; 3) rebote de fibras en kg/m³, porcentaje por volumen y porcentaje por masa; 4) rebote de fibras (=masa de todas las fibras rebotadas / masa de todas las fibras amasadas x 100 %); y 5) retención de fibras (= contenido de fibras de la zona de proyección / contenido de fibras tras el amasado x 100 %).

Los resultados de las pruebas se indican en el Informe Técnico N° 3 adjunto, a continuación. El rebote total de los materiales de proyección de hormigón varió entre un 12 y un 19 % por masa, lo cual no es atípico para hormigón proyectado con un contenido elevado de fibras sintéticas. Se observó una tendencia a aumentar el rebote con un aumento por ciento de fibras añadidas. La retención de fibras varió entre un 94 % para la mezcla con un porcentaje de fibras añadidas de un 1,0 % nominal por volumen de fibras hasta aproximadamente un 80 % para las otras dos mezclas. Esta es una retención de fibras relativamente favorable y uniforme con el comportamiento de rebote de otros hormigones proyectados con fibras sintéticas de alto volumen probados por otros.¹

¹ Morgan, D.R., Heere, R., McAskill, N., Chan, C: Evaluación comparativa de la ductilidad del sistema de tela metálica y hormigón proyectado reforzado con fibras, presentada en la VIII Conferencia sobre hormigón proyectado para soporte subterráneo para la Engineering Foundation, Campos do Jordao, Brasil, 11-15 Abril 1999

Producción de hormigón proyectado

1. Paneles de pruebas ACI

Se proyectó sobre un panel de pruebas estándar de 600 x 600 x 125 mm por mezcla formando un ángulo ligeramente inclinado respecto al eje vertical. Los paneles tenían unos bordes con una inclinación de 45 ° para facilitar el escape del rebote y la separación del panel del encofrado. Los paneles se curaron bajo humedad sobre el terreno debajo de chapas de plástico durante 2 días. En ese momento, se obtuvieron muestras del núcleo de esos paneles mediante un cortanúcleos de diamante para realizar pruebas de resistencia a la compresión y pruebas de absorción secante ASTM C642 y de volumen de cavidades permeables. Además, se cortaron mediante sierra circular de dientes adiamantados un conjunto de tres haces de 100 x 100 x 350 mm para llevar a cabo pruebas de dureza según ASTM C1018 para esos paneles. Las muestras se trasladaron a la sala húmeda del laboratorio cuando tenían 4 días, donde se curaron bajo humedad a 23 +/- 2°C hasta el momento de las pruebas.

2. Pruebas de panel redondo australiano

Se realizó una proyección sobre un panel redondo australiano para cada mezcla. Los paneles tenían un diámetro de 800 mm y un grosor aproximado de 80 mm. Tras la proyección, la superficie del panel se sacó con una regla de madera de dos por cuatro y se realizó un acabado suave de la misma con una llana. Los paneles se curaron bajo humedad debajo de chapas de plástico sobre el terreno durante 4 días y a continuación se trasladaron a la sala húmeda donde se almacenaron a 23 +/- 2 °C y una humedad relativa del 100 % hasta el momento de las pruebas.

3. Prueba de lecho de agua sudafricana

Se realizó una proyección sobre un panel de pruebas con unas dimensiones de 1600 x 1600 x 80 mm para cada mezcla. Los formadores de cavidades se colocaron a 1000 mm, es decir, en las ubicaciones donde los pernos para roca penetrarían para impedir el movimiento libre vertical del panel durante la prueba en la estación de lecho de agua. Se realizó una proyección sobre el panel en orientación vertical y se realizó un acabado hasta un equivalente a acabado de superficie de hormigón moldeado, usando una regla de madera de dos por cuatro para la extracción y una llana de acero para el acabado.

Tras el ajuste inicial, los paneles de hormigón se cubrieron con chapas de plástico y se mantuvieron húmedos y protegidos durante 7 días. Los paneles se separaron de los encofrados a los 21 días y se dejaron curar sobre el terreno durante otros 8 días antes de las pruebas a los 28 días.

Propiedades del hormigón proyectado endurecido

1. Pruebas estándar de la ASTM

a. Resistencia a la compresión

Se extrajeron seis núcleos largos de 75 mm de diámetro y aproximadamente 110 mm de longitud de cada uno de los paneles de pruebas ASTM y se probó su resistencia a la compresión según CSA A23,2-14C (que es equivalente a ASTM C42). Los resultados de las pruebas se indican en el Informe Técnico N° 4, a continuación. Las tres mezclas de hormigón proyectado alcanzaron una resistencia a la compresión de 48 MPa, aproximadamente, a los 7 días. La tabla siguiente muestra la relación entre la resistencia a la compresión alcanzada y la pronosticada (basándose en las proporciones de la mezcla y el contenido de aire tras la proyección) para ilustrar cualquier influencia por ciento de fibras añadidas en la resistencia a la compresión de la mezcla.

Mezcla	Porcentaje de fibras añadidas por volumen	Resistencia a la compresión pronosticada (Popovic) [MPa]	Resistencia a la compresión alcanzada [MPa]	Relación alcanzada respecto a la resistencia a la compresión pronosticada
F10	1,0 %	50 a 7 d	48 a 7 d	95 %
F15	1,5 %	50 a 7 d	48 a 7 d	96 %
F20	1,9 %	45 a 7 d	48 a 7 d	106 %
No se vio ningún efecto claro del porcentaje de fibras añadidas en la resistencia a la compresión.				

b. Absorción secante y volumen de las cavidades permeables

Se indican los resultados de las pruebas llevadas a cabo en las partes cortadas del extremo de los tres haces a los 10 días en el Informe Técnico N° 5 adjunto, a continuación. Los valores de absorción secante estuvieron comprendidos entre un 4,4 % y un 4,9 %, y el volumen de cavidades permeables estuvo comprendido entre un 9,5 % y un 10,6 %. Estos resultados son muy bajos en comparación con los límites máximos de un 8,0 % para la absorción secante y de un 17,0 % para el volumen de cavidades permeables habitualmente especificado para el hormigón proyectado con calidad estructural. Estos resultados son indicativos de un hormigón proyectado denso y duradero de baja permeabilidad.

c. Resistencia a la flexión y dureza

Se llevaron a cabo pruebas de resistencia a la flexión y dureza según ASTM C1018 ² para todas las mezclas a los 7 días en conjuntos de tres haces con dimensiones nominales de 100 x 100 x 350 mm, probados en un tramo de carga de 300 mm con carga de tres puntos. Los resultados de las pruebas se indican en las FIGS. 15-26 y se presentan en forma de tabla en los Informes Técnicos N° 6a a 6f, a continuación. Los resultados muestran los índices de resistencia a la flexión y la dureza según ASTM C1018 de la primera grieta y final y los factores de resistencia residual, con la excepción de un régimen de carga de control de circuito abierto calculado a partir de estos índices. También se indican los parámetros japoneses de dureza y los niveles de rendimiento respecto a la dureza².

² Con la excepción del régimen de carga de control de circuito abierto.

³Morgan, D.R., Chen, L. y Beaupre, D. Dureza del hormigón proyectado reforzado con fibras, ASCE

Los resultados indican que hubo un poco de inestabilidad en la carga respecto a la respuesta de desviación y las deformaciones hasta un máximo de 0,5 mm, aproximadamente. Esto se atribuye principalmente al funcionamiento de la máquina de pruebas en el modo de circuito abierto. La tabla siguiente resume las propiedades de resistencia a la flexión y dureza de las tres mezclas probadas.

Mezcla	Tipo de fibra y porcentaje por volumen de fibras tras el amasado	Resistencia a la flexión media [MPa]	Resistencia a la flexión respecto a resistencia a la compresión a los 7 días	Factor de dureza japonés [MPa]	Nivel de rendimiento de dureza
F10	2. ^a generación, 1,0 %	6,8	14 %	1,7	III
F15	2. ^a generación, 1,5 %	6,1	13 %	2,4	III
F20*	2. ^a generación, 1,9 %	6,1	13 %	4,0	IV
F2**	1. ^a generación, 2,0 %	6,5	12 % (a los 8 días)	4,1	IV
* Esta mezcla se elaboró con un mayor contenido de polvillo de cenizas					
** La mezcla F2 se elaboró anteriormente y se probó en AGRA; ver nuestro informe VA04526					

5 Las resistencias a la flexión de las mezclas superaron los mínimos especificados frecuentemente de 4 MPa para proyectos de construcción de hormigón proyectado en Canadá occidental. Los factores de dureza japoneses y los niveles de rendimiento respecto a la dureza para el hormigón proyectado muestran una buena correlación entre la dosis de fibras y la ductilidad. Las fibras dieron un rendimiento relativamente alto y desarrollaron una buena unión con la matriz del cemento. Las fibras también desarrollaron la mayor parte de su capacidad de transporte de carga tal como quedó indicado por las numerosas fibras en las superficies fracturadas.

2. Prueba de panel australiano

15 Los paneles redondos australianos se probaron en una máquina de pruebas de paneles redondos a los 7 días. Los paneles se fijaron estáticamente en tres soportes giratorios con una restricción mínima del movimiento radial (en el plano horizontal). La desviación del punto central de los paneles se midió con un LVDT montado en palanca, mientras que la carga se determinó con un indicador de carga de 80 kN. Un ordenador registró de forma continua los datos de la prueba. Para obtener una descripción más detallada del aparato de prueba y del procedimiento de prueba, ver la Referencia 1. Las FIGS. 27-29 muestran un gráfico de desviación de carga y el Informe Técnico N° 7, a continuación, indica los resultados de la prueba.

20 La tabla siguiente resume los datos importantes de la prueba y los compara con los datos publicados de hormigón proyectado reforzado con fibras sintéticas comerciales (Referencia 1).

Muestra	Dosis por volumen de fibra tras el amasado	Carga máxima [kN]	Carga máxima post-grietas [kN]	Energía absorbida (desviación de 0-40 mm) [Nm] o [J]
Forta - F10	1,0 %	31,2	16,8	525
Forta-F15	1,5 %	29,8	20,0	640
Forta - F20	1,9 %	27,9	25,2	750
S152-HPP	1,0 %	34,7	15,2	290

Cursiva: datos de referencia en pie de página 1; antigüedad de la prueba: transcurridos más de 28 días

25 Los resultados de la prueba demostraron que el aumento del porcentaje de fibras añadidas o la presente invención reduce la capacidad de carga final del hormigón proyectado. Un aumento del porcentaje de fibras añadidas de la presente invención tras el amasado de un 1,0 % a un 1,5 % y 1,9 % por volumen aumentó la carga post-grietas máxima de las muestras en un 20 % y un 50 %, respectivamente, y aumentó la energía absorbida total hasta una desviación central de 40 mm en un 22 % y un 43 %, respectivamente.

Los resultados de la prueba demostraron adicionalmente que, en comparación con la fibra de Synthetic Industries S-152HPP, las fibras sintéticas híbridas de la presente invención ofrecen un rendimiento superior con un porcentaje de adición de fibras por volumen de 1,0 %.

3. Prueba de lecho de agua sudafricana

30 Los paneles de 1600 x 1600 x 76 mm se probaron en un bastidor de reacción de lecho de agua de AGRA, adaptado a partir de la prueba de lecho de agua sudafricana desarrollada por Kirsten⁴. La configuración de la prueba se compone de un pedestal de hormigón armado con un lecho de agua de goma reforzado recubierto de acero exteriormente, pernos de reacción con resistencia a tracción de alta resistencia, y placas de perno para roca de 100 x 100 x 10 mm. Los pernos de reacción, que simulan pernos para roca, se encontraban en una cuadrícula cuadrada de 1000 mm. Los cuatro bordes en voladizo de los paneles se sustentaron contra el movimiento descendente mediante cuatro perfiles de acero cuadrados con sección hueca colocados mediante unos pares de gatos hidráulicos.

⁴Kirsten, H.A.D., *Ductilidad del sistema de hormigón proyectado reforzado con fibras largas*. Informe preparado para

el Shotconcrete Working Group, Sudáfrica, junio de 1997, pág. 27 y apéndices.

- 5 La desviación del punto central de los paneles se midió mediante un extensómetro retráctil montado en un puente de aluminio y acoplado a un gancho pegado con epoxy en el centro del panel. Un transductor de presión supervisó de forma continua la presión del agua en el lecho de agua, que está correlacionada con la carga aplicada en el panel de pruebas de hormigón proyectado. Un ordenador registró de forma continua las señales de carga y desviación. A continuación, los datos se analizaron y usaron para trazar las curvas de desviación frente a la carga. Los datos supervisados electrónicamente fueron verificados mediante mediciones mecánicas de desviación (cinta métrica) y presión del agua (manómetro analógico). La aplicación de carga a una deformación total de 150 mm tardó un total de aprox. 40 minutos.
- 10 Además de supervisar continuamente la respuesta a la desviación central frente a la carga del panel, se registró la secuencia de formación de grietas. También se registró el desarrollo de la anchura de las grietas con la creciente desviación.

Conclusiones

- 15 Los resultados de la prueba reseñada anteriormente indican que la fibra híbrida de la presente invención presenta unas propiedades físicas sorprendentemente buenas en comparación con las fibras de refuerzo conocidas. Las fibras híbridas de la presente invención (60 mm de longitud) pudieron amasarse, bombearse y proyectarse con los equipos de proyección de hormigón estándares usando una boquilla con un diámetro interno de 38 mm y con unos porcentajes de fibras añadidas tras el amasado entre un 1,0 y un 1,9 % por volumen. La dosis de fibras usadas en este estudio pareció no afectar significativamente a la resistencia a la compresión, la resistencia a la flexión y los valores de absorción secante y volumen de las cavidades permeables del hormigón proyectado en comparación con una mezcla de hormigón proyectado simple. Sin embargo, pareció haber una tendencia reducida hacia una capacidad de transporte de carga pre-agrietamiento de los paneles de hormigón proyectado redondos con un porcentaje de fibras añadidas superior. Los resultados de la prueba demuestran que las fibras puedan desarrollar su tenacidad (capacidad de resistencia a la tracción) máxima en hormigón proyectado de alta calidad. Además, la unión entre las fibras y la matriz de hormigón proyectado pareció ser suficiente para impedir la separación de fibras de la mayoría de las fibras que detienen la formación de una grieta. Más aún, la ductilidad total del hormigón proyectado reforzado con un porcentaje comprendido del 1,0 y 1,9 % por volumen de fibras híbridas pareció ser comparable con la de otras fibras sintéticas monofilamento de alto rendimiento disponibles en el comercio. Asimismo, los resultados de las pruebas demuestran que el hormigón proyectado con un porcentaje de un 1,0 % por volumen de fibras híbridas proporciona una dureza y ductilidad del sistema que parecen aceptables para los trabajos de construcción con hormigón proyectado que requieran una resistencia moderada a las cargas post-agrietamiento, como algunos proyectos de soporte de tierra y estabilización de pendientes, y las construcciones para el control de la erosión en arroyos, márgenes de ríos y presas. El hormigón proyectado con un 1,5 % por volumen de fibras híbridas proporciona una dureza y ductilidad del sistema que parecen ser equivalentes a las de algunas fibras de acero de alta calidad u hormigones proyectados reforzados con telas metálicas soldadas, especialmente en el caso de anchuras de grieta mayores. Además, el hormigón proyectado con un 1,9 % por volumen de fibras híbridas proporciona una dureza y ductilidad del sistema que parece tener un rendimiento equivalente o superior al de algunas fibras de acero de alta calidad y hormigones proyectados reforzados con telas metálicas soldadas, especialmente en el caso de anchuras de grietas mayores.

40 **INFORME TÉCNICO Nº 1**

ASUNTO: Proporciones de mezcla de hormigón proyectado con mezcla húmeda de base, estado SSD

Material	Masa [kg]	Densidad en masa [kg/m ³]	Volumen [m ³]
Cemento tipo 10	400	3150	0,1270
Humo de sílice	45	2200	0,0205
Polvillo de cenizas	30	2200	0,0136
Áridos gruesos (10 - 2,5 mm), SSD	500	2650	0,1887
Arena (SSD)	1130	2650	0,4264
Agua (estimada)	180	1000	0,1800
Aditivo reductor de agua: Masterbuilder® Pozzolith® 325-N	1,40	1000	0,0014
Superplastificante: Masterbuilder® Rheobuild® 3000 [L]*	2,00	1000	0,0020
Aditivo inclusor de aire: Masterbuilder® Microair®	0,40	1000	0,0004
Contenido de aire tras la proyección	4,0 %		0,0400
Total	2288,4		1,0000
Resistencia especificada a día 28 = 40 MPa			
Relación W/(C+SiF+FA) = 0,38			
Asentamiento (después de añadir superplastificante y fibra) = 70±20 mm			

INFORME TÉCNICO Nº 1a

ASUNTO: Proporciones de mezcla de hormigón proyectado tras el amasado

Identificación de la masada: F10		Contenido de fibras calculado [% por vol.]: 1,01 %		
Tamaño de la masada (sacos): 14		Relación agua / materiales de cementación: 0,33		
Material	Masa de hormigón proyectado de base por masada, totalmente seca [kg]	Agua, aditivos, fibras, polvillo de cenizas añadidos, por masada [kg]	Densidad en masa [SSD] [kg/m ³]	Masa SSD calculada por m³ [kg]
Tipo de cemento 10	81	0	3150	414
Humo de sílice	9	0	2200	47
Polvillo de cenizas	6	0	2200	31
Áridos gruesos (10-2,5 mm)	100	0	2650	517
Arena	224	0	2650	1169
Agua		35,8	1000	165
Fibras sintéticas, FORTA® 1,0 %		1,790	910	9,2
Aditivo para reducción de agua (Pozzolith® 325-N) [L]		0,295		1,52
Super-plastificante Rheobuild® 3000 [L]*		0,200		1,03
Aditivo inclusor de aire (Microair®) [L]		0,090		0,46
Contenido de aire	8,9 %			
En la bomba	1,9 %			
Inmediatamente después de la proyección				1,9 %
Total	420			2355

INFORME TÉCNICO n.º 1b

5 **ASUNTO:** Proporciones de la mezcla de hormigón proyectado inmediatamente después del amasado

Identificación de la masada: F15		Contenido de fibras calculado [% por vol.]: 1,51 %		
Tamaño de la masada (sacos): 14		Relación agua / materiales de cementación: 0,33		
Material	Masa de hormigón proyectado de base por masada, totalmente seca [kg]	Agua, aditivo, fibras, polvillo de cenizas añadidos, por masada [kg]	Densidad en masa [SSD] [kg/m ³]	Masa SSD calculada por m³ [kg]
Tipo de cemento 10	81	0	3150	412
Humo de sílice	9	0	2200	46
Polvillo de cenizas	6	0	2200	31
Áridos gruesos (10 - 2,5 mm)	100	0	2650	514
Arena	224	0	2650	1162
Agua		35,8	1000	164
Fibras sintéticas, FORTA® 1,5 %		2,685	910	13,7
Aditivo para reducción de agua (Pozzolith® 325-N) [L]		0,360		1,84
Superplastificante Rheobuild® 3000 [L]*		0,100		0,51
Aditivo inclusor de aire (Microair®) [L]		0,090		0,46
Contenido de aire	8,0 %			
En la bomba	2,0 %			
Tras la proyección				2,0 %
Total	420			2345

INFORME TÉCNICO Nº 1c

ASUNTO: Proporciones de la mezcla de hormigón proyectado tras el amasado

Identificación de la masada: F20		Contenido de fibras calculado [% por vol.]: 1,90 %		
Tamaño de la masada (sacos): 14		Relación agua / materiales de cementación: 0,34		
Material	Masa de hormigón proyectado de base por masada, totalmente seca [kg]	Agua, aditivos, fibras, polvillo de cenizas añadidos, por masada [kg]	Densidad en masa [SSD] [kg/m ³]	Masa SSD calculada por m ³ [kg]
Tipo de cemento 10	81	0	3150	390
Humo de sílice	9	0	2200	44
Polvillo de cenizas	6	10	2200	78
Áridos gruesos (10 - 2,5 mm)	100	0	2650	487
Arena	224	0	2650	1100
Agua		39,8	1000	174
Fibras sintéticas, FORTA® 2,0 %		3,580	910	17,3
Aditivo para reducción de agua (Pozzolith® 325-N) [L]		0,360		1,74
Superplastificante Rheobuild® 3000 [L]*		0,100		0,48
Aditivo inclusor de aire (Microair®) [L]		0,090		0,44
Contenido de aire En la bomba tras la proyección	8,6 % 2,6 %			2,6 %
Total	420			2293

INFORME TÉCNICO Nº 2

5

ASUNTO: Condiciones del emplazamiento y propiedades del hormigón proyectado fresco

Propiedad	Unidad	Identificación de la mezcla		
		F10	F15	F20
Contenido de fibras tras el amasado	% por vol.	1,01	1,51	1,90
Porcentaje de reductor de agua añadido	L/m ³	1,52	1,84	1,74*
Porcentaje de superplastificante añadido	L/m ³	1,03	0,51	0,48*
Porcentaje de agente inclusor de aire añadido	L/m ³	0,46	0,46	0,44
Temperatura ambiente	°C	21	21	22
Velocidad del viento ambiente (estim.)	m/s	2	1	2
Precipitación		0	0	0
TRAS EL AMASADO				
Asentamiento (con fibras y HRWR)	Mm	50	30	50
Contenido de aire (con fibras y HRWR)	%	8,9	8,0	8,6
Temperatura Hormigón proyectado	°C	24	26	28
TRAS LA PROYECCIÓN				
Presión de bombeo (circuito hidráulico)	MPa	11	13	11
Contenido de aire	%	1,9	2**	2,6

n.d. = No disponible
 * la mezcla contiene polvillo de cenizas y agua adicional para una mejor capacidad de bombeo
 ** estimación basada en el contenido de aire tras el amasado

INFORME TÉCNICO N° 3

ASUNTO: Hormigón proyectado y rebote de fibra

N° de mezcla	Descripción de la mezcla	Rebote total (%por masa)	Tras el amasado		Contenido de fibras		la-place			Contenido de fibras			Fibra rebotada		Retención de fibras (%)
			(kg/m ³)	(%por vol.)	(%por masa)	(kg/m ³)	(% por vol.)	(%por masa)	(kg/m ³)	(% por vol.)	(%por masa)	(kg/m ³)	(% por vol.)	(%por masa)	
F10	1,0 % de fibras híbridas	12,2	9,1	1,0	0,39	8,5	0,94	0,37	21,2	2,33	0,92	94			
F15	1,5 % de fibras híbridas	17,3	13,7	1,5	0,59	10,7	1,18	0,46	28,7	3,16	1,24	78			
F20	2,0 % de fibras híbridas	19,0	18,2	2,0	0,79	14,4	1,58	0,62	34,7	3,82	1,50	79			

INFORME TÉCNICO Nº 4a

EVALUACIÓN DE HORMIGÓN PROYECTADO HÍBRIDO

ASUNTO: Resistencia a la compresión de muestras de hormigón proyectado con núcleo según CSA A23,2-14C

Fuente, ubicación	Días del hormigón proyectado	Resistencia a la compresión calculada [MPa]	Resistencia a la compresión media [MPa]
Panel F10	7	50,9	47,6
		45,0	
		47,0	
Panel F15	7	47,6	47,7
		47,5	
		48,0	
Panel F20	7	48,8	48,1
		45,0	
		50,3	

Diámetro del núcleo [mm] = 75

5 **INFORME TÉCNICO Nº 5**

ASUNTO: ASTM C642 Absorción secante y volumen de cavidades permeables

Identificación de la muestra	Absorción tras las inmersión [%]	Absorción tras inmersión y secado [%]	Volumen de cavidades permeables [%]	Peso específico de la masa tras inmersión y secado [kg/m ³]
F10A	4,5	4,7	10,6	2345
F10B	4,0	4,2	9,6	2370
F10C	4,0	4,3	9,8	2368
Media	4,1	4,4	10,0	2361
F15A	4,5	4,8	9,0	1956
F15B	4,6	5,0	8,2	1735
F15C	4,6	5,1	11,2	2329
Media	4,6	4,9	9,5	2007
F20A	4,4	4,9	10,9	2331
F20B	4,3	4,9	10,8	2330
F20C	4,2	4,5	10,1	2340
Media	4,3	4,8	10,6	2333

INFORME TÉCNICO Nº 6a

ASUNTO: ASTM C1018 Parámetros de dureza y factores de resistencia residual

Tipo de fibra:		Fibras híbridas sintéticas					
Porcentaje de fibras añadidas:		1,0 % por vol.					
Nº de muestra	Resistencia primera grieta (MPa)	Resistencia final (MPa)	Índices de dureza			Factores de resistencia residual	
			I ₁₀	I ₃₀	I ₆₀	R _{10,30}	R _{30,60}
F10A	6,62	6,62	N.D.	8,6	18,7	N.D.	33,7
F10B	6,50	6,50	N.D.	7,0	16,1	N.D.	30,3
F10C	7,17	7,17	N.D.	4,8	11,3	N.D.	21,7
Media	6,77	6,77	N.D.	6,8	15,4	N.D.	28,6

N.D. = no disponible debido a las grandes deformaciones iniciales tras la primera grieta

INFORME TÉCNICO Nº 6b

ASUNTO: Parámetros de dureza japoneses y niveles de rendimiento de dureza

Tipo de fibra:		Fibras híbridas sintéticas			
Porcentaje de fibras añadidas:		1,0 % por vol.			
Nº de muestra	Resistencia a la primera grieta (MPa)	Resistencia final (MPa)	Parámetros de dureza japoneses		Niveles de rendimiento de dureza
			Dureza (kN-mm)	Factor de dureza (MPa)	
F10A	6,62	6,62	13,8	2,08	III
F10B	6,50	6,50	12,2	1,79	III
F10C	7,17	7,17	9,2	1,35	II-III
Media	6,77	6,77	11,7	1,74	III

INFORME TÉCNICO Nº 6c

5

ASUNTO: ASTM C1018 Parámetros de dureza y factores de resistencia residual

Tipo de fibra:		Fibras híbridas sintéticas					
Porcentaje de fibras añadidas:		1,5 % por vol.					
Nº de muestra	Resistencia primera grieta (MPa)	Resistencia final (MPa)	Índices de dureza			Factores de resistencia residual	
			I ₁₀	I ₃₀	I ₆₀	R _{10,30}	R _{30,60}
F15A	6,31	6,31	N.D.	8,1	18,4	N.D.	34,3
F15B	6,22	6,22	N.D.	8,5	18,9	N.D.	34,7
F15C	5,65	5,65	N.D.	18,5	35,5	N.D.	56,7
Media	6,06	6,06	N.D.	11,7	24,3	NA	41,9
N.D. = no disponible debido a las grandes deformaciones iniciales tras la primera grieta							

INFORME TÉCNICO Nº 6d

ASUNTO: Parámetros de dureza japoneses y niveles de rendimiento de dureza

Tipo de fibra:		Fibras híbridas sintéticas			
Porcentaje de fibras añadidas:		1,5 % por vol.			
Nº de muestra	Resistencia primera grieta (MPa)	Resistencia final (MPa)	Parámetros de dureza japoneses		Niveles de rendimiento de dureza
			Dureza (kN-mm)	Factor de dureza (MPa)	
F15A	6,31	6,31	12,7	1,99	III
F15B	6,22	6,22	13,1	2,00	III
F15C	5,65	5,65	22,3	3,33	IV
Media	6,06	6,06	16,0	2,44	III

INFORME TÉCNICO Nº 6e

ASUNTO: ASTM C1018 Parámetros de dureza y factores de resistencia residual

Tipo de fibra:		Fibras híbridas sintéticas					
Porcentaje de fibras añadidas:		1,9 % por vol.					
Nº de muestra F20A	Resistencia primera grieta (MPa)	Resistencia final (MPa)	Índice de dureza			Factores de resistencia residual	
			I ₁₀	I ₃₀	I ₆₀	R _{10,30}	R _{30,60}
	6,22	6,22	N.D.	18,1	34,0	N.D.	53,0
F20B	6,14	6,14	8,4	20,7	41,4	61,5	69,0
F20C	6,02	6,02	7,5	21,3	42,5	69,0	70,7
Media	6,13	6,13	N.D.	20,0	39,3	N.D.	64,2
N.D. = no disponible debido a las grandes deformaciones iniciales tras la primera grieta							

INFORME TÉCNICO Nº 6f

ASUNTO: Parámetros de dureza japoneses y niveles de rendimiento de dureza

Tipo de fibra:		Fibras híbridas sintéticas			
Porcentaje de fibras añadidas:		1,9 % por vol.			
Nº de muestra	Resistencia primera grieta (MPa)	Resistencia final (MPa)	Parámetros de dureza japoneses		Niveles de rendimiento de dureza
			Dureza (kN-mm)	Factor de dureza (MPa)	
F20A	6,22	6,22	22,0	3,45	IV
F20B	6,14	6,14	25,8	3,90	IV
F20C	6,02	6,02	29,7	4,63	V
Media	6,13	6,13	25,9	3,99	IV

INFORME TÉCNICO Nº 7

5 **ASUNTO:** Resultados de la prueba de paneles redondos australianos **Prueba de paneles redondos australianos**

Número de mezcla	Porcentaje de fibras añadidas		Contenido de fibras % por vol. in situ	Carga máxima kN	Energía Nm = J			
	%por vol.	kg/m ³			0-10 mm	0-20 mm	0-30 mm	0-40 mm
F10	1,0	9,1	0,94	32,2	163	309	428	525
F15	1,5	13,7	1,18	29,8	185	368	515	641
F20	1,9	17,3	1,58	27,9	226	445	611	747

Ejemplo 3

10 Se analizaron las características de rendimiento, la resistencia y la dureza de las mezclas de hormigón reforzadas con las fibras de la presente invención. Se vertieron y probaron múltiples muestras de hormigón armado tridimensionalmente (haces y cilindros) usando cuatro dosis de fibras (0,5, 1,0, 1,5, 2,0 por ciento en volumen) para evaluar las características de resistencia y dureza. Las pruebas de resistencia incluyeron la resistencia a la compresión, la resistencia a la flexión (módulo de rotura), la resistencia a la primera grieta y la resistencia al impacto. Las propiedades de dureza evaluadas fueron los módulos de elasticidad. Se calcularon los índices de dureza I5, I10, I20, I30 y las resistencias residuales de acuerdo con el procedimiento de pruebas ASTM C 1018, y se calculó el factor de resistencia a la flexión (JCI) y la resistencia a la flexión equivalente de acuerdo con las especificaciones de las normas de la Sociedad Japonesa de Ingenieros Civiles. También se usó un nuevo procedimiento de prueba (ASTM CI 399-98) para determinar la resistencia residual media de las mezclas de hormigón reforzadas con las cuatro distintas dosis de la presente invención de fibra.

20 Se realizaron un total de cuatro mezclas, una para cada contenido de fibras. Las proporciones básicas de la mezcla eran las mismas para las cuatro mezclas de hormigón, excepto para dos mezclas con un 1,5 y un 2,0 por ciento en volumen de fibra; se aumentó la facilidad de trabajo aumentando la relación agua / cemento. Las mezclas de hormigón armado con fibra se mezclaron, vertieron, consolidaron, acabaron y curaron bajo condiciones idénticas. Los resultados de las pruebas indican que no se formaron aglomeraciones ni se produjeron descomposiciones debido a la adición de fibras a las dosis recomendadas para las cuatro mezclas.

25 Los resultados de las pruebas demuestran que se produjo un importante aumento en la resistencia a la flexión y un ligero aumento en la resistencia a la primera grieta cuando se aumentó el contenido de fibras de un 0,5 a un 2,0 por ciento en volumen. Los índices de dureza de la ASTM y los factores de dureza japoneses y resistencias a la flexión equivalentes también aumentaron de forma significativa cuando aumentó el contenido de fibras. También se produjo un importante aumento en la resistencia al impacto para un incremento del contenido de fibras.

30 Los resultados de las pruebas también demuestran que se obtuvieron unas resistencias residuales medias muy altas (ASTM CI399) y los valores de las resistencias residuales medias (ARS) aumentaron cuando aumentó el contenido de fibras. Los ARS fueron 234 psi (16,45 kg/cm²), 451 psi (31,71 kg/cm²), 454 psi (31,92 kg/cm²) y 654 psi (45,98 kg/cm²) para un contenido de fibras de 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 por ciento en volumen, respectivamente. En general,

el rendimiento del hormigón armado incorporando las fibras de la presente invención fue similar y / o mejor que el de los hormigones reforzados con las mejores fibras de acero disponibles en el mercado, realizando la comparación con el mismo peso o coste. Se llevaron a cabo las siguientes pruebas relacionadas con el rendimiento para determinar la característica física de las fibras de la presente invención: 1) las propiedades de los hormigones frescos con diferentes dosis de fibras; 2) las propiedades de los hormigones endurecidos como la resistencia a la compresión, el módulo estático, la resistencia a la flexión estática y el peso unitario; 3) los índices de dureza mediante el procedimiento de la ASTM con la ayuda de las curvas de desviación de carga; 4) las comparaciones en las curvas de desviación de carga para los cuatro hormigones armados con fibra; 5) las comparaciones del factor de dureza y la resistencia a la flexión equivalente calculadas de acuerdo con las especificaciones de la Sociedad Japonesa de Ingenieros Civiles; y 6) la evaluación de la resistencia residual media de acuerdo con el procedimiento de prueba ASTM C 1399 para las muestras sacadas de las cuatro mezclas.

Materiales

En este experimento se usaron y probaron las fibras híbridas descritas en este documento. Se usó cemento Portland normal Tipo I/II cumpliendo los requisitos de ASTM C 150. El cemento fue suministrado por Dakotah Cement, Dakota del Sur. El árido grueso usado fue piedra caliza triturada, obtenida de una fuente local en Rapid City, Dakota del Sur. El tamaño máximo del árido usado fue de 19 mm (3/4") con una absorción de un 0,45 %. El árido fino usado fue arena natural con un coeficiente de absorción de agua de un 1,6 %. Tanto el árido grueso como el árido fino cumplían los requisitos de graduación de ASTM C33. El agua usada era agua del grifo del sistema de suministro de agua municipal de Rapid City.

Mezclas

Se prepararon un total de 4 mezclas. Las dosis de fibras añadidas al hormigón tenían unos porcentajes de 0,5, 1,0, 1,5 y 2,0 por ciento en volumen de hormigón. La relación agua / cemento se mantuvo en el valor constante de 0,5 para dos mezclas con un 0,5 y un 1,0 por ciento en volumen de fibra y se aumentó a 0,55 para el hormigón con dosis de fibras más altas (1,5 y 2,0 por ciento en volumen). Las proporciones y designaciones de las mezclas se indican en la tabla 4, a continuación.

Procedimiento de mezclado

Todo el mezclado se llevó a cabo en una hormigonera con una capacidad de nueve pies cúbicos. Las fibras se pesaron de forma precisa y se conservaron en un contenedor de plástico aparte. Primero se preparó la mezcla compensadora. A continuación se introdujeron los áridos gruesos en la hormigonera. Posteriormente, se añadió y mezcló arena y dos tercios del agua durante un minuto. A continuación se añadió cemento junto con el tercio restante del agua. Se añadieron las fibras de la presente invención y se mezclaron los ingredientes durante tres minutos. Tras un período de reposo de tres minutos, la mezcla se sometió a una fase de mezclado final durante 2 minutos para distribuir completamente las fibras.

Muestras de las pruebas

Se vertieron las siguientes muestras para cada mezcla: 1) cuatro haces de 101 x 101 x 356 mm (4 pulgadas x 4 pulgadas x 14 pulgadas) para la prueba de dureza de ASTM; 2) cuatro haces de 101 x 101 x 356 mm (4 pulgadas x 4 pulgadas x 14 pulgadas) para la prueba de resistencia residual media (ASTM C 1399); 3) tres cilindros de 152 x 304 mm (6 pulgadas x 12 pulgadas) para la resistencia a la compresión y el módulo estático; y 4) diez cilindros de 152 x 63 mm (6 pulgadas x 2,5 pulgadas) para la prueba de impacto. Las muestras se vertieron de acuerdo con las normas de la ASTM y se cubrieron con chapas de plástico durante 24 horas a temperatura ambiente. A continuación, las muestras se sumergieron en un depósito de agua saturada de cal mantenida a 22,22 °C (72 ° F) y permanecieron en el agua hasta que sometieron a las pruebas de resistencia del día 14.

Pruebas de hormigón fresco

El hormigón fresco fue sometido a pruebas de asentamiento (ASTM C143), contenido de aire (ASTM C231), peso unitario del hormigón fresco (ASTM C 138) y temperatura del hormigón. No se observó formación de aglomeraciones ni descomposición por las fibras añadidas.

Pruebas de hormigón endurecido

1. Módulo estático y resistencia a la compresión

Se sometieron los cilindros a pruebas de módulo estático (ASTM C469) y resistencia a la compresión (ASTM C39) a los 28 días.

2. Prueba de resistencia a la flexión estática

Los haces se sometieron a los 28 días a la prueba de resistencia a la flexión estática (ASTM C 1018). La longitud del tramo fue de 12 pulgadas (30,5 cm). Esta prueba es una prueba de desviación controlada. La frecuencia de desviación se mantuvo dentro del margen entre 0,002 y 0,004 pulgadas por minuto (entre 0,005 y 0,010 centímetros

por minuto) según ASTM C 1018. Se anotó la carga al aparecer la primera grieta y la carga máxima alcanzada para cada haz. A partir de la carga y las desviaciones obtenidas, se trazaron curvas de desviación de carga a partir de las cuales se calcularon los índices de dureza y los factores de resistencia residual mediante el procedimiento de la ASTM.

- 5 Las mediciones de desviación se llevaron a cabo usando aparatos de pruebas de acuerdo con las normas de la ASTM. Se usó un bastidor especialmente diseñado para montar la galga de cuadrante. Este bastidor se apoyó solo en los cuatro puntos, que estaban en el eje neutro por encima de los soportes. La galga de cuadrante se fijó de forma que estaba en contacto con el punto central de la superficie inferior. Esta disposición permitió la medición de la desviación real, excluyendo cualquier deformación externa debido al triturado del hormigón en los soportes y los puntos de carga, y cualquier deformación y tensión inducida en el bastidor de pruebas. Dado que la desviación se mide en el punto central, cualquier ligero combado o trenzado del haz no afecta a las desviaciones reales medidas. De ahí que las desviaciones medidas fueron las desviaciones reales del haz.

3. Comportamiento de desviación de carga

- 15 La superficie por debajo de la curva representa la energía absorbida por el haz. Se trazaron curvas de desviación de carga tanto para los datos anteriores a la primera grieta como para los datos posteriores a la primera grieta. Se calcularon los índices de dureza y los índices de resistencia residual usando estas curvas.

4. Resistencia a la flexión (absorción de energía)

- 20 La dureza, o absorción de energía, aumenta considerablemente añadiendo fibras. El índice de dureza es la medición de la cantidad de energía requerida para desviar el haz de 100 mm (4 pulgadas) en la prueba de módulo de rotura. La variable más importante que rige el índice de dureza del hormigón armado con fibras es la eficiencia de las fibras. Oros parámetros que influyen en el índice de dureza son la posición de la grieta, el tipo de fibra, la relación anchura / longitud, la fracción de volumen y la distribución de las fibras. La eficiencia de las fibras se controla por la resistencia de la fibra a separarse de la matriz, que se desarrolla como resultado de la solidez en el punto de unión fibra / matriz. La ventaja de un tipo de fallo de separación de la fibra es que es gradual y dúctil, en comparación con un fallo más rápido y catastrófico, que puede producirse si las fibras son frágiles y fallan bajo tensión con poca o ninguna elongación. La separación o rotura de las fibras depende de la solidez de las fibras, la unión y el anclaje entre la matriz y la fibra.

- 30 El índice de dureza (ASTM C1018) es un parámetro adimensional, que define o imprime la forma de la curva de desviación de carga. Los índices se han definido sobre la base de tres niveles de servicio, identificados como los múltiplos de la desviación de la primera grieta. El índice se calcula dividiendo la superficie total que se encuentra debajo de la curva de desviación de carga hasta la desviación de la primera grieta. El índice de dureza I5 se calcula como tres veces la desviación de la primera grieta. De la misma forma, I10, I20 e I30 son los índices hasta 5,5, 10,5 y 15,5 veces la desviación de la primera grieta respectivamente.

5. Prueba de resistencia residual media

- 35 La velocidad del movimiento de la platina o la traviesa se ajustó a 0,65 +/- 0,15 mm/min (0,025 +/- 0,005 pulgadas/min), usando la galga de cuadrante mecánica cuando fue necesario, antes de que se cargara la muestra. El haz de muestra giró sobre su lado con respecto a su posición como el moldeado y se colocó encima de la placa de acero que había que cargar con la muestra. La placa y el haz se colocaron sobre el aparato de soporte de forma que la placa se centró sobre los bloques de cojinete más bajos y el haz de hormigón se centró sobre la placa de acero. Los transductores de desplazamiento se ajustaron de acuerdo con el aparato escogido para obtener la desviación neta. Se usó el sistema de adquisición de datos Mega-Dac en la prueba. (Nota: la finalidad de la placa de acero inoxidable es soportar el haz de prueba durante el ciclo de carga inicial y ayudar a controlar la alta velocidad de desviación esperada de la muestra tras el agrietamiento. Se realizó un agujero central en la placa de acero para alojar una sonda de transductor de desplazamiento directamente contra la parte inferior de la muestra de la prueba.)

- 45 Se activó un sistema de adquisición de datos y se respondió a señales de todos los transductores de carga y desplazamiento. A continuación se cargó la muestra y la combinación de placa de acero a la velocidad ajustada y se prosiguió con la carga hasta que la muestra se agrietó o alcanzó una desviación de 0,50 mm (0,02 pulgadas), lo primero que se produjera. Si en este momento todavía no se había producido agrietamiento, la prueba se consideraba no válida. No se usó la carga máxima para calcular el módulo de rotura de acuerdo con el procedimiento de prueba C 78 ya que esta carga incluye una carga transportada por la placa de acero y por la muestra de hormigón.

- 55 Solo antes de la recarga de la muestra del haz agrietado, se retiró la placa de acero y el haz agrietado se centró en los bloques de soporte inferiores manteniendo la misma orientación que durante el ciclo de prueba de carga inicial. Los transductores de desplazamiento se ajustaron para estar ligeramente en contacto con la muestra del haz de acuerdo con el procedimiento escogido para obtener la desviación neta de forma que las lecturas se obtuvieran inmediatamente después de la recarga del haz. El dispositivo de registro de desviación nuevamente se reinicializó y se recargó a la velocidad especificada. La prueba finalizó a una desviación de 1,25 mm (0,50 pulgadas) medida desde el inicio de la recarga.

Usando el programa Excel, se trazaron los gráficos y se calcularon las resistencias residuales mediante las fórmulas indicadas a continuación.

Aparato de pruebas y configuración

5 El aparato de pruebas cumplía las normas de la ASTM. Se usó un bastidor especialmente diseñado para montar la galga de cuadrante con una resolución de 0,0025 mm (0,0001 pulgadas). Este bastidor se apoyó solo en los cuatro puntos, que se encuentran en el eje neutro por encima de los soportes. La galga de cuadrante se fijó de forma que estaba en contacto con el punto central de la superficie inferior. Esta disposición permitió la medición de la desviación real, excluyendo cualquier deformación externa debido al triturado del hormigón en los soportes y los puntos de carga, y cualquier deformación y tensión inducida en el bastidor de pruebas. Dado que la desviación se mide en el punto central, cualquier ligero comado o trezado del haz no afecta a las desviaciones reales medidas. 10 Además de la galga de cuadrante, también se montó el LVDT y se registraron las desviaciones mediante el sistema de adquisición de datos. Estas lecturas se usaron para la verificación de las lecturas de la galga de cuadrante.

Cálculos

15 La resistencia residual media para las cargas a unas desviaciones de recarga de 0,50, 0,75, 1,00 y 1,25 mm (0,02, 0,03, 0,04, y 0,05 pulgadas) se calculan usando la fórmula siguiente:

$$ARS = ((Pa+Pb+Pc+Pd)/4) \times K$$

en la que $K = 1 / bd^2$, mm^{-2} ((pulgadas⁻²)
y ARS = resistencia residual media, Mpa (psi)

$$Pa+Pb+Pc+Pd = \text{cargas registradas en las desviaciones especificadas, N (lbf)}$$

20 l = longitud de tramo, mm (pulgadas),
 b = anchura media de la muestra, mm (pulgadas) y
 d = profundidad media de la muestra, mm (pulgadas)

Prueba de impacto

25 Se probó la resistencia al impacto de las muestras a los 14 días mediante el procedimiento de prueba de caída de peso (Comité ACI 544). En este procedimiento, el equipo se compone de una pesa de 4,54 kg (10 libras) accionada manualmente estándar con un dispositivo de caída de 457 mm (18 pulgadas) (compactador), una bola de acero endurecida con un diámetro de 63,5 mm (2-1/2 pulgadas), una placa de base de acero plana con soporte de posicionamiento y cuatro agarraderas de posicionamiento. La muestra se colocó sobre la placa de base con su superficie rugosa mirando hacia arriba. La bola de acero dura se colocó encima de la muestra y dentro de los cuatro 30 soportes de posicionamiento. El compactador se colocó sobre su base en la bola de acero. La prueba se realizó sobre una superficie rígida plana para minimizar las pérdidas de energía. Se dejó caer el martillo de forma consecutiva y se registró el número de golpes requeridos para ocasionar la primera grieta visible en las muestras. También se registró la resistencia al impacto de la muestra hasta que al final fallara mediante el número de golpes requeridos para abrir una grieta suficiente para que algunos trozos de la muestra tocaran con al menos tres de las 35 cuatro agarraderas de posicionamiento de la placa de la base.

Resultados de las pruebas

1. Propiedades del hormigón fresco

40 Se registró la temperatura ambiente, la humedad ambiente y la temperatura del hormigón para garantizar que todas las mezclas se llevaran a cabo bajo condiciones similares. La temperatura y la humedad ambiente variaron dentro del margen comprendido entre 65 °F y 85 °F y entre un 35 % y un 45 %, respectivamente. La temperatura del hormigón varió entre 65 y 73 °F (18,3 - 22,8 °C). Los pesos unitarios de los hormigones con unas dosis de fibras más altas fueron ligeramente inferiores que los de los hormigones con dosis de fibras más bajas. Las propiedades del hormigón fresco se indican en la tabla 5.

2. Facilidad de trabajo

45 Los resultados de las pruebas indican que puede mantenerse un nivel de facilidad de trabajo satisfactorio incluso con las fibras añadidas. El hormigón empezó a endurecerse transcurridos 40 - 45 minutos, aproximadamente. Las fibras se mezclaron bien y se distribuyeron uniformemente por el hormigón. En general, no hubo formación de cavidades, exudación ni descomposición. A pesar de que los valores de asentamiento muestran la tendencia decreciente al añadir fibras, no se encontró ninguna dificultad para colocar y consolidar el hormigón con el uso del 50 vibrador de tabla.

3. Contenido de aire

El contenido de aire osciló entre un 1,4 y un 1,8 %. No se usó ningún agente inclusor de aire. Por consiguiente, el

aire medido se considera aire atrapado.

Propiedades del hormigón endurecido

1. Prueba de resistencia a la compresión y módulo estático

5 Los resultados de la resistencia a la compresión se presentan en la tabla 6 y demuestran que hay una variación en la resistencia a la compresión. La resistencia a la compresión depende de la relación agua/cemento y el contenido de aire. Si la relación agua/cemento es inferior, la resistencia a la compresión será superior.

10 De la misma forma, si el contenido de aire es superior, la resistencia a la compresión será inferior. Las resistencias a la compresión media para las mezclas E1 y E2 con relaciones 0,50 a/c fueron 4960 psi (349 kg/cm²) y 4760 psi (335 kg/cm²), respectivamente. Esta ligera variación se encuentra dentro de la variación normal esperada en las pruebas de hormigón. Las resistencias a la compresión media para las mezclas E3 y E4 con relaciones 0,55 a/c ratios fueron de 3570 psi (251 kg/cm²) y 3860 psi (271 kg/cm²), respectivamente.

15 Dado que las resistencias a la compresión del hormigón variaron, se usó un procedimiento de normalización para comparar la resistencia a la flexión, la resistencia a la primera grieta y el factor de resistencia a la primera grieta para todas las mezclas de hormigón con la misma resistencia a la compresión. La comparación se realizó en la resistencia a la compresión de la mezcla E1, que es 4960 psi (349 kg/cm²). Estaba bien claro en las publicaciones y códigos que la resistencia a la flexión de hormigón varía proporcionalmente a la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión del hormigón (código ACI 318). Por consiguiente, para el cálculo de la resistencia a la flexión normalizada, se usó la ecuación siguiente:

$$f_r = \frac{f_{ra} \sqrt{4960}}{\sqrt{f'_c}}$$

20 donde f_{ra} es la resistencia a la flexión realmente medida y f'_c es la resistencia a la compresión de ese hormigón concreto.

25 Los valores indicados en las tablas 7 a 9 son valores normalizados. Se observó un modo de fallo por ductilidad, en comparación con el fallo por fragilidad del hormigón simple, durante las pruebas de resistencia a la compresión. Los cilindros de hormigón armado con fibras siguieron sosteniendo la carga y se deformaron si despedazarse totalmente. El cambio de modo de fallo de tipo de fragilidad a tipo dúctil es una importante contribución aportada por las fibras añadidas.

La prueba de módulo estático sirvió principalmente como medio de control de calidad. Los resultados indican que las mezclas fueron razonablemente uniformes y las fibras añadidas no tuvieron ningún efecto en el módulo estático. Los valores del módulo estático se indican en la tabla 6.

30 2. Resistencia a la flexión estática (módulo de rotura)

35 Los resultados de la prueba de resistencia a la flexión estática, la carga hasta la primera grieta, la carga final y la tensión de flexión se indican en la tabla 7. Cuando los haces de hormigón con fibras se cargaron en flexión, el comportamiento fue aproximadamente lineal hasta la primera grieta y a continuación la curva fue significativamente no lineal y alcanzó su valor máximo con la resistencia final o con la carga sostenida máxima. En contraste, los haces de hormigón (simple) de control fallaron inmediatamente al aparecer la primera grieta y de ahí que la resistencia a la primera grieta y la resistencia a la flexión (módulo de rotura) fueron las mismas para el hormigón de control. Los factores que influyen significativamente en la resistencia a la flexión y la dureza son del tipo de fibra y volumen de fibra. La variación de la resistencia a la primera grieta respecto al contenido de fibras se muestra en la figura 7. Tal como se ilustra, se produjo un aumento en la resistencia a la primera grieta cuando el contenido de fibras aumentó de un 0,5 a un 2,0 por cien. El módulo de rotura (resistencia a la flexión estática) respecto al contenido de fibras se muestra en la figura 8. Tal como se ilustra, hay un aumento significativo de las resistencias a la flexión para un contenido de fibras de un 1,5 y un 2,0 por cien. Las resistencias a la flexión medias para las mezclas E1 y E2 fueron de 643 psi (45 kg/cm²) y 658 psi (46 kg/cm²), respectivamente, mientras que para las mezclas E3 y E4, las resistencias fueron de 720 psi (51 kg/cm²) y 731 psi (51 kg/cm²), respectivamente, lo cual supone un aumento del 13,7 por cien.

3. Índices de dureza de la ASTM y resistencias residuales

50 Los índices de dureza de la ASTM y las resistencias residuales se indican en la tabla 8. La resistencia a la primera grieta respecto al contenido de fibras se muestran en la figura 9 y los índices de dureza de la ASTM I5, I10, I20, y I30 se muestran en la figura 10. Los resultados de las pruebas demuestran que cuando se añaden las fibras de la presente invención al hormigón, se produce un aumento de la dureza y ductilidad del hormigón. Además, los resultados de las pruebas demuestran que un contenido de fibras más alto produce una mayor dureza y ductilidad.

4. Procedimiento estándar japonés para calcular el factor de resistencia a la flexión y la resistencia a la flexión equivalente

Además de los índices de dureza de la ASTM C-1018, se calculó el factor de resistencia a la flexión y la resistencia a la flexión equivalente, de la forma especificada por la Sociedad Japonesa de Ingenieros Civiles (JSCE) para todas las muestras y se indican los resultados en la tabla 9. La variación del factor de resistencia a la flexión y la resistencia a la flexión equivalente japonesas con un aumento del contenido de fibras del 0,5 al 2,0 por ciento en volumen se muestran en las figuras 11 y 12, respectivamente. Los resultados demuestran que hay una indicación muy clara de que el factor de resistencia a la flexión y la resistencia a la flexión equivalente aumentan con un aumento del contenido de fibras y este aumento es aproximadamente lineal con el aumento del contenido de fibras. El factor de resistencia aumentó de 108 pulgadas-lbs (1,24 kg-m) hasta 304 pulgadas-lbs (3,5 kg-m) cuando el contenido de fibras aumentó del 0,5 al 2,0 por cien. La resistencia a la flexión equivalente aumentó de 244 psi (17,2 kg/cm²) a 679 psi (47,7 kg/cm²) con un aumento del contenido de fibras de un 0,5 a un 2,0 por cien.

5. Resistencia al impacto

Los resultados de la prueba de impacto de caída de pesa (comité ACI 544) se indican en la tabla 10. El número de golpes hasta la primera grieta y el fallo final frente al contenido de fibras se muestran en la fig. 14. A pesar de ser una prueba relativamente simple, si se prueban más muestras, los valores medios indican cualitativamente un buen índice de la resistencia al impacto del material. Se probaron diez muestras para cada hormigón y los valores medios se indican en la fig. 14. La resistencia al impacto aumentó considerablemente con un aumento del contenido de fibras. Es bien sabido de las pruebas anteriores que la resistencia al impacto del hormigón simple será de 1/6 a 1/15, aproximadamente, de la del hormigón con un 0,25 a un 2,0 por ciento en volumen de fibras.

6. Resistencia residual media

Se probó el contenido de fibras en cuatro haces. Las anchuras y profundidades medias de los haces, las cargas obtenidas tras la recarga a unas desviaciones de 0,5, 0,75, 1,0 y 1,25 mm (0,020, 0,030, 0,040, 0,050 pulgadas) y las resistencias residuales medias se indican en la tabla 11. Las curvas de desviación de carga obtenidas mediante la recarga y las nuevas pruebas del haz pre-agrietado (sin la placa de acero) se indican en las FIGS. 15-26. Los valores ARS calculados para los cuatro hormigones armados de fibra se muestran en la fig. 7. Los resultados de la prueba indican que la resistencia residual media aumentó considerablemente con un aumento del contenido de fibras. Los valores de las resistencias residuales medias fueron de 234 psi (16,5 kg/cm²), 451 psi (31,7 kg/cm²), 454 psi (31,9 kg/cm²) y 654 psi (46,0 kg/cm²) para unos contenidos de fibras de un 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 por ciento en volumen, respectivamente. Puede verse que se obtuvo un aumento de un 180 por cien de la resistencia residual media cuando el contenido de fibras aumentó de un 0,5 a un 2,0 por ciento en volumen.

Dado que los valores de las resistencias residuales medias solo se deben a la influencia de la fibra, independientemente de la resistencia a la compresión del hormigón, los valores de las resistencias residuales medias no se normalizaron. Las mezclas E1 (con un 0,5 por cien fibra) y E2 (con un 1,0 por cien fibra) tuvieron unas resistencias a la compresión de 4960 psi y 4760 psi, respectivamente, mientras que las mezclas E3 (con un 1,5 por cien de fibras) y E4 (con un 2,0 por cien de fibras) tuvieron unas resistencias a la compresión inferiores, de 3570 psi (251 kg/cm²) y 3860 psi (271 kg/cm²), respectivamente. A pesar de estas resistencias a la compresión inferiores, se observó un aumento considerable de los valores ARS.

Conclusiones

Los resultados de las pruebas indicados anteriormente llevan a las siguientes conclusiones y observaciones. Primero, las fibras híbridas de la presente invención pueden añadirse al hormigón en un porcentaje de hasta un 2,0 por ciento en volumen sin ocasionar formación de aglomeraciones, amontonamientos ni descomposición. Además, se conservó un nivel de facilidad de trabajo satisfactorio con la adición de cuatro contenidos de fibras a las dosis de 0,5, 1,0, 1,5 y 2,0 por ciento en volumen. En comparación con el hormigón simple, hubo un aumento considerable de la resistencia a la primera grieta, la resistencia a la flexión y los valores de dureza de la ASTM y japoneses. La resistencia a la primera grieta aumentó con un contenido de fibras más alto. Además, hubo un aumento sustancial en la resistencia al impacto cuando se añadieron las fibras de la presente invención al hormigón, en comparación con el hormigón simple. La resistencia al impacto aumentó con el creciente contenido de fibras. Es significativo que la resistencia al impacto alcanzada mediante el uso de las fibras de la presente invención fue la misma o superior que la del hormigón armado con las mejores fibras de acero con un porcentaje de contenido de fibras por volumen. Además, para todas las mezclas de hormigón armado con fibras que usan las fibras de la presente invención, el modo de fallo cambió de fallo por fragilidad a fallo por ductilidad cuando fueron sometidas a compresión o doblado. Esta ductilidad aumentó con el creciente contenido de fibras. También, las resistencias residuales medias del hormigón (ARS) que incorporaba la fibra de la presente invención, calculadas de acuerdo con el procedimiento de pruebas de la ASTM C 1399, fueron extraordinariamente altos, lo cual indicó que la fibra era muy efectiva para sostener la carga posterior a la grieta. El valor ARS aumentó con el incremento del contenido de fibras. Se produjo un aumento de un 180 por cien en el valor de ARS cuando se aumentó el contenido de fibras del 0,5 al 2,0 por ciento en volumen. Este aumento tuvo lugar a pesar de la reducción de la resistencia a la compresión de 4960 psi (349 kg/cm²) a 3860 psi (271 kg/cm²). Por consiguiente, los rendimientos de las mezclas de hormigón armado con

ES 2 425 742 T3

las fibras de la presente invención fueron similares o superiores a los del hormigón armado con las mejores fibras de acero disponibles en el mercado realizando una comparación con el mismo peso o coste.

Tabla 4

Proporciones de las mezclas							
Diseño de la mezcla	Relación agua / cemento	Fibras		Peso en kg (lbs)			Agua Kg (lbs)
		Kg (lbs)	% en vol	Cemento Kg (lbs)	Áridos gruesos Kg (lbs)	Áridos finos Kg (lbs)	
E1	0,5	0,318(0,7)	0,5	25,22 (55,6)	64,86 (143)	64,86 (143)	12,61 (27,80)
E2	0,5	0,635 (1,4)	1,0	25,22 (55,6)	64,86 (143)	64,86 (143)	12,61 (27,80)
E3	0,55	0,953 (2,1)	1,5	25,22 (55,6)	64,86 (143)	64,86 (143)	13,88 (30,6)
E4	0,55	1,27(2,8)	2,0	25,22 (55,6)	64,86 (143)	64,86 (143)	13,88 (30,6)

Tabla 5

Propiedades del hormigón fresco						
Designación de la mezcla	Temperatura ambiente °F (°C)	Humedad ambiente	Temperatura del hormigón °F (°C)	Peso unitario lb/pie ³ (kg/m ³)	Asentamiento inicial en (cm)	Contenido de aire (%)
E1	65 (18)	45	64,8 (18,2)	147,6 (2364,5)	1,25 (3,18)	1,8
E2	85 (29)	35	69,1 (20,6)	146 (2338,9)	0,75 (1,91)	1,8
E3	80 (27)	45	70,9 (21,6)	145,2 (2326,1)	0,40 (1,02)	1,4
E4	85 (29)	40	73,2 (22,9)	145,2 (2326,1)	0,25 (0,64)	1,4

Conversión de unidades al SI
 1 pulgada = 2,54 cm
 °F= 5/9(°F-32) °C
 pie³ = 0,02832 m³
 lb/pie³ = 16,02 kg/m³

5

Tabla 6

Resistencia a la compresión del cilindro y módulo estático						
Identificación de la muestra	Duración (Días)	Diámetro pulgadas (cm)	Longitud pulgadas (cm)	Peso unitario lb/pie ³ (kg/m ³)	Módulo estático 10 ⁶ psi (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión psi (kg/cm ²)
E1-1	14	5,995 (15,227)	12,042 (30,587)	149 (2387)	3,90 (0,274)	5225 (367)
E1-2	14	6,025 (15,304)	11,958 (30,373)	150 (2403)	3,86 (0,271)	4770 (335)
E1-3	14	6,001 (15,243)	12,083 (30,691)	151 (2419)	3,89 (0,273)	4880 (343)
Media				150 (2403)	3,88 (0,272)	4960 (349)
Estándar % C.V				1,00 0,67	0,02 0,54	237 4,79
E2-1	14	6,078 (15,438)	12,083 (30,691)	146 (2339)	3,79 (0,267)	4640 (326)
E2-2	14	5,989 (15,212)	12,167 (30,904)	150 (2403)	3,90 (0,274)	4950 (348)
E2-3	14	6,000 (15,240)	12,083 (30,691)	149 (2387)	3,89 (0,273)	4685 (329)
Media				148 (2371)	3,86 (0,271)	4760 (335)
Estándar % C.V				2,08 1,40	0,06 1,58	168 3,52

ES 2 425 742 T3

(continuación)

Resistencia a la compresión del cilindro y módulo estático						
Identificación de la muestra	Duración (Días)	Diámetro pulgadas (cm)	Longitud pulgadas (cm)	Peso unitario lb/pie ³ (kg/m ³)	Módulo estático 10 ⁶ psi (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión psi (kg/cm ²)
E3-1	14	6,012 (15,271)	12,167 (30,904)	147 (2355)	3,87 (0,272)	3435 (242)
E3-2	14	6,000 (15,240)	12,000 (30,480)	148 (2371)	3,89 (0,273)	3820 (269)
E3-3	14	5,967 (15,156)	12,083 (30,691)	149 (2387)	3,28 (0,231)	3450 (243)
Media				148 (2371)	3,68 (0,259)	3570 (251)
Estándar				1,00	0,35	218
% C.V				0,68	9,42	6,11
E4-1	14	5,973 (15,171)	12,083 (30,691)	147 (2355)	3,27 (0,230)	3785 (266)
E4-2	14	6,006 (15,255)	12,042 (30,587)	147 (2355)	3,24 (0,228)	3850 (271)
E4-3	14	5,991 (15,171)	12,083 (30,691)	146 (2339)	3,25 (0,229)	3940 (277)
Media				147 (2355)	3,25 (0,229)	3860 (271)
Estándar				0,58	0,02	78
% C.V				0,39	0,47	2,02

Factores de conversión de unidades al SI
 1 pulgada = 2,54 cm
 1 lb = 0,4536 kg
 1 psi = 70 kg/m²
 lb/pie³ = 16,02 kg/m³

TABLA 7

RESISTENCIA A LA PRIMERA GRIETA Y RESISTENCIA MÁXIMA A LA FLEXIÓN 14 DÍAS						
Tipo de mezcla	Nº de muestra	Duración (Días)	Primera grieta		Carga máxima lbs (kg)	Resistencia a la flexión psi (kg/cm ²)
			Carga lbs (kg)	Tensión psi (kg/cm ²)		
E1	E1-1	14	3500 (1588)	623 (44)	3600 (1633)	641 (45)
	E1-2	14	3000 (1361)	527 (37)	3598 (1632)	632 (44)
	E1-3	14	3000 (1361)	545 (38)	3522 (1598)	640 (45)
	E1-4	14	3000 (1361)	509 (36)	3885 (1762)	659 (46)
	Media			551 (39)		643 (45)
E2	E2-1	14	3062 (1389)	589 (41)	3267 (1482)	628 (44)
	E2-2	14	3573 (1621)	612 (43)	3840 (1742)	658 (46)
	E2-3	14	3573 (1621)	629 (44)	3915 (1776)	689 (48)
	E2-4	14	3573 (1621)	648 (46)	3628 (1646)	658 (46)
	Media			619 (44)		658 (46)
E3	E3-1	14	2947 (1790)	504 (35)	3438 (1560)	588 (41)
	E3-2	14	3536 (1604)	626 (44)	4078 (1850)	722 (51)
	E3-3	14	4125 (1871)	677 (48)	4427 (2008)	726 (51)
	E3-4	14	4715 (2139)	804 (57)	4938 (2240)	842 (59)
	Media			653 (46)		720 (51)
E4	E4-1	14	3967 (1799)	679 (48)	4203 (1907)	719 (51)
	E4-2	14	3401 (1543)	593 (42)	3838 (1741)	670 (47)
	E4-3	14	3967 (1799)	698 (49)	4529 (2054)	797 (56)
	E4-4	14	3967 (1799)	703 (49)	4178 (1895)	740 (52)
	Media			668 (47)		731 (51)

Conversión de unidades al SI
 1 pulgada = 25,4 mm
 1 lb = 0,4536 kg
 1 psi = 703 kg/m²

TABLA 8

ÍNDICES DE DUREZA DE LA ASTM- 14 DÍAS											
Tipo de mezcla	Nº de muestra	Resistencia a la primera grieta pulgada-lb (Nm)	Dureza				Relaciones de dureza			Índices de resistencia residual	
			I5	I10	I20	I30	I10/I5	I20/I10	I30/I20	R _{5,10}	R _{10,20}
E1	E1-1	0,8(0,09)	3,66	6,83	12,67	17,84	1,9	1,9	1,4	63,4	58,4
	E1-2	1,0(0,11)	3,29	6,07	11,10	15,45	1,8	1,8	1,4	55,6	50,3
	E1-3	1,3 (0,15)	4,57	8,67	15,68	21,11	1,9	1,8	1,3	82,0	70,1
	E1-4	1,0(0,11)	4,36	7,89	12,75	16,77	1,8	1,6	1,3	70,6	48,6
	Media	1,0(0,11)	3,97	7,37	13,05	17,79	1,9	1,8	1,4	67,9	56,9
E2	E2-1	0,9(0,10)	3,4	6,0	10,8	16,0	1,7	1,8	1,5	50,6	48,7
	E2-2	1,5(0,17)	3,8	6,8	11,4	15,7	1,8	1,7	1,4	61,0	45,8
	E2-3	0,9 (0,10)	3,3	6,0	10,3	13,5	1,8	1,7	1,3	52,8	43,1
	E2-4	0,9(0,10)	3,3	6,0	10,6	14,1	1,8	1,8	1,3	53,8	45,6
	Media	1,0(0,11)	3,5	6,2	10,8	14,8	1,8	1,7	1,4	54,6	45,8
E3	E3-1	0,7(0,08)	3,7	7,1	14,1	21,4	1,9	2,0	1,5	68,0	70,2
	E3-2	0,7 (0,08)	4,0	7,6	14,6	21,2	1,9	1,9	1,5	72,4	69,5
	E3-3	0,8(0,09)	4,1	7,8	15,2	21,7	1,9	1,9	1,4	75,6	74,0
	E3-4	2,1 (0,24)	4,3	7,8	14,8	22,3	1,8	1,9	1,5	71,8	69,7
	Media	1,1 (0,12)	4,0	7,6	14,7	21,6	1,9	1,9	1,5	72,0	70,9
E4	E4-1	1,2(0,14)	3,6	6,6	11,8	17,1	1,8	1,8	1,4	59,6	52,3
	E4-2	1,1 (0,12)	4,2	7,9	14,7	20,4	1,9	1,9	1,4	75,0	67,6
	E4-3	2,6 (0,29)	3,4	6,4	12,5	18,5	1,9	1,9	1,5	60,2	60,5
	E4-4	1,3 (0,15)	4,7	9,3	18,4	27,1	2,0	2,0	1,5	91,8	90,6
	Media	1,5(0,17)	4,0	7,6	14,3	20,8	1,9	1,9	1,5	71,7	67,8

Factor de conversión: 1 in-lb= 0,113 Nm

TABLA 9

NORMA JAPONESA – DUREZA Y RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EQUIVALENTE -14 DÍAS				
Tipo de mezcla Tipo	Nº de muestra	Duración (Días)	Dureza pulgada-lb (Nm)	Resistencia a la tensión equivalente psi (kg/cm ²)
E1	E1-1	14,0	93,5 (10,6)	219 (15,4)
	E1-2	14,0	101,1 (11,4)	226(15,8)
	E1-3	14,0	99,7(11,3)	226 (15,8)
	E1-4	14,0	137,5 (15,6)	304(21,4)
	Media			107,9(12,2)
E2	E2-1	14,0	177,2 (20,0)	428 (30,1)
	E2-2	14,0	202,1 (22,9)	434 (30,5)
	E2-3	14,0	154,6 (17,5)	343 (24,1)
	E2-4	14,0	164,3 (18,6)	377 (26,5)
	Media			174,6 (19,7)
E3	E3-1	14,0	250,3 (28,3)	542 (38,1)
	E3-2	14,0	240,1 (27,2)	523 (36,8)
	E3-3	14,0	320,7 (36,3)	657 (46,2)
	E3-4	14,0	368,6(41,7)	776 (54,6)
	Media			294,9 (33,4)
E4	E4-1	14,0	290,2 (32,8)	642 (45,1)
	E4-2	14,0	213,9* (24,2)	482* (33,9)
	E4-3	14,0	331,5 (37,5)	744 (52,3)
	E4-4	14,0	290,5 (32,9)	651 (45,8)
	Media			304,1 (34,4)

*Omitido como atípico
Factores de conversión:
1 psi = 703 kg/m²
1 pulgada-lb = 0,113 Nm

TABLA 10

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE IMPACTO - 14 DÍAS					
Tipo de mezcla	Duración (Días)	Nº de muestra	Número de golpes hasta		Diferencia en el n.º de golpes desde la primera grieta hasta el fallo
			Primera grieta	Fallo	
E1	14	E1-1	48	201	153
	14	E1-2	106	192	86
	14	E1-3	177	246	69
	14	E1-4	189	270	81
	14	E1-5	20	112	92
	14	E1-6	107	211	104
	14	E1-7	23	127	104
	14	E1-8	58	195	137
	14	E1-9	51	186	135
	14	E1-10	62	193	131
			Media	84	193
E2	14	E2-1	54	289	235
	14	E2-2	58	337	279
	14	E2-3	95	410	315
	14	E2-4	110	405	295
	14	E2-5	99	442	343
	14	E2-6	105	433	328
	14	E2-7	110	428	318
	14	E2-8	130	413	283
	14	E2-9	113	429	316
	14	E2-10	115	450	335
			Media	99	404
E3	14	E3-1	43	192	149
	14	E3-2	125	374	249
	14	E3-3	84	282	198
	14	E3-4	123	632	509
	14	E3-5	110	370	260
	14	E3-6	58	210	152
	14	E3-7	115	390	275
	14	E3-8	105	350	245
	14	E3-9	95	380	285
	14	E3-10	80	330	250
			Media	94	351
E4	14	E4-1	210	484	274
	14	E4-2	190	460	270
	14	E4-3	170	425	255
	14	E4-4	260	495	235
	14	E4-5	288	505	217
	14	E4-6	240	489	249
	14	E4-7	180	435	255
	14	E4-8	205	455	250
	14	E4-9	236	482	246
	14	E4-10	185	410	225
			Media	216	464

TABLA 11
RESISTENCIA RESIDUAL MEDIA (ARS)

Tipo de mezcla	Duración (Días)	N.º de muestra	Carga en lbs (Kg) en la desviación				Anchura Pulgadas [(cm)]	Profundidad Pulgadas [(cm)]	Resistencia residual media psi [(kg/m ²)]
			0,02 pulgadas (0,05 cm)	0,03 pulgadas (0,08 cm)	0,04 pulgadas (0,10 cm)	0,05 pulgadas (0,13 cm)			
E1	14	E1-5	-	-	-	-	-	-	-
	14	E1-6	1002 (455)	997 (453)	975 (442)	921 (418)	4,225 (10,732)	4,098 (10,409)	165 (0,24)
	14	E1-7	1502 (682)	1558 (707)	1592 (722)	1592 (722)	4,175 (10,605)	4,055 (10,300)	273 (0,39)
	14	E1-8	1521 (690)	1525 (692)	1510 (685)	1472 (668)	4,167 (10,584)	4,056 (10,302)	264 (0,38)
			Media						234 (0,33)
E2	14	E2-5	2522 (1144)	2617 (1187)	2598 (1178)	2507 (1137)	4,238 (10,765)	4,043 (10,269)	444 (0,63)
	14	E2-6	2637 (1197)	2707 (1228)	2685 (1218)	2650 (1202)	4,201 (10,671)	4,031 (10,239)	469 (0,68)
	14	E2-7	3322 (1502)	3490 (1583)	3522 (1598)	3496 (1586)	4,353 (11,057)	4,130 (10,490)	559 (0,80)
	14	E2-8	2012 (920)	2044 (927)	2059 (934)	1992 (904)	4,282 (10,876)	4,142 (10,521)	331 (0,47)
			Media						451 (0,64)
E3	14	E3-5	1868 (848)	1929 (875)	1969 (893)	1979 (898)	4,292 (10,902)	3,881 (9,858)	359 (0,51)
	14	E3-6	2781 (1262)	2958 (1342)	3147 (1427)	3238 (1469)	4,196 (10,658)	3,959 (10,056)	553 (0,79)
	14	E3-7	2435 (1105)	2399 (1088)	2428 (1101)	2412 (1094)	4,204 (10,678)	4,008 (10,180)	430 (0,61)
	14	E3-8	2485 (1128)	2601 (1180)	2764 (1254)	2827 (1282)	4,233 (10,752)	3,996 (10,150)	474 (0,67)
			Media						454 (0,65)
E4	14	E4-5	2817 (1278)	3249 (1474)	3356 (1522)	3377 (1532)	4,293 (10,904)	4,161 (10,569)	517 (0,74)
	14	E4-6	4215 (1912)	4709 (2136)	4790 (2173)	4734 (2147)	4,333 (11,006)	4,082 (10,368)	767 (1,09)
	14	E4-7	4225 (1917)	4818 (2185)	4904 (2224)	4904 (2225)	4,312 (10,953)	4,086 (10,378)	786 (1,12)
	14	E4-8	3398 (1542)	2999 (1360)	3253 (1476)	3247 (1473)	4,287 (10,889)	4,064 (10,323)	545 (0,78)
			Media						654 (0,93)

Factores de conversión de unidades al SI
1 pulgada= 25,4 mm 1 lb = 0,4536 kg 1 psi = 703 kg/m²

5 Tal como se ha expuesto anteriormente, se contempla que las realizaciones de la composición de fibra de la presente invención proporcionen unas mejores propiedades a diversos tipos de material cementoso, incluido el material con base de asfalto. Por ejemplo, se emplearon realizaciones de la presente invención en las bandas de pruebas de las calzadas de asfalto en cantidades aproximadas entre 2,0 y 3,3 libras por tonelada junto con una emulsión de aceite y árido (piedra caliza triturada de 3/8" (1 cm) y se supervisaron los daños y fallos superficiales resultantes del desgaste y uso medioambiental típico. Las bandas de pruebas tenían una anchura máxima (de un borde al otro del pavimento). Las calzadas de asfalto de mezcla en frío que no usaban las composiciones de fibras de la presente invención habían experimentado fallos superficiales, como el no desmoronamiento en colinas, curvas y áreas sombreadas de las calzadas recientemente pavimentadas. Los fallos superficiales se debían a la separación longitudinal y transversal atribuida a cargas axiales de elevación, como, por ejemplo, tráfico de camiones y equipos agrícolas. Los vehículos de mantenimiento de carreteras, como las máquinas quitanieves y su procedimiento de retirada de la nieve acentuaron los fallos superficiales. Los resultados de las pruebas indicaron que las zonas de la calzada de asfalto que usaron la composición de fibra de la presente invención mostraron poca o ninguna separación longitudinal o transversal en comparación con las zonas de la calzada que no usaron material de asfalto reforzado con las composiciones de fibra de la presente invención. Se cree que las realizaciones de la presente invención pueden alargar la vida útil de las calzadas de dos o tres años hasta un máximo de diez años en asfalto de mezcla en frío.

10 Los ejemplos anteriores demuestran que las fibras híbridas de la presente invención, cuando se usan en material de construcción, como material cementoso, tienen un rendimiento igual o superior que el de muchas o todas las fibras de refuerzo de las técnicas anteriores, incluidas las fibras de refuerzo de acero. Además, los experimentos anteriores demuestran que unas concentraciones relativamente pequeñas de fibra proporcionarán unos resultados considerablemente mejores. Estas observaciones son tan sorprendentes como inesperadas.

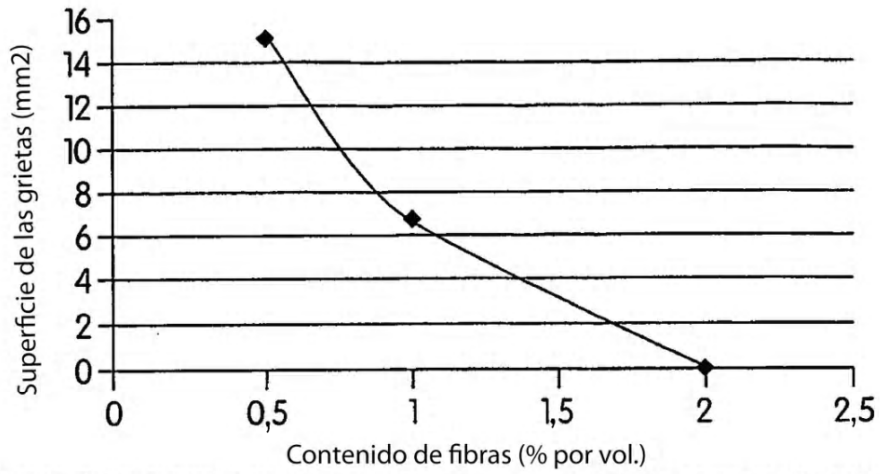
15 El material reforzado con fibras sintéticas de la presente invención y el procedimiento mediante el cual se formó puede usarse para formar un material de construcción formado, por ejemplo, por un material cementoso que presenta una menor permeabilidad, una mayor resistencia a la fatiga, una mayor dureza y una menor contracción plástica.

30

REIVINDICACIONES

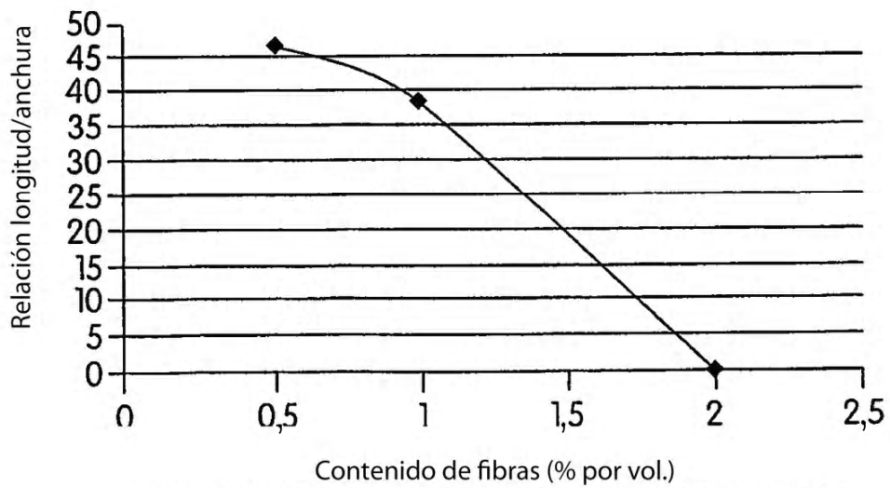
1. Una mezcla de fibras sintéticas para su uso como refuerzo para material cementoso, que comprende:
 - un primer componente de fibra formado por un material homopolimérico; y
 - un segundo componente de fibra sintética que es un copolímero diferente del primer componente de fibra y está compuesto de una pluralidad de monofilamentos trenzados para formar un haz no interconectado, con un grado de trenzado superior a 0,9 giros/pulgada (0,36 giros/cm), en donde el primer componente de fibra está fibrilado, en donde el primer componente de fibra está formado por un homopolímero de polipropileno, y en donde el segundo componente de fibra está formado por un copolímero de polipropileno y polietileno de alta densidad.
2. La mezcla de fibras sintéticas de la reivindicación 1, en la que el primer componente de fibra se añade a la mezcla sintética en cantidades que varían del 5 al 50 por ciento en peso total y en la que el segundo componente de fibra se añade a la mezcla sintética en cantidades que varían del 50 al 95 por ciento en peso total.
3. La mezcla de fibras sintéticas de la reivindicación 1, en la que el segundo componente de fibra se trenza para formar el haz no interconectado en ausencia de un agente humectante.
4. La mezcla de fibras sintéticas de la reivindicación 1, en la que el primer componente de fibra y el segundo componente de fibra se mezclan en ausencia de un agente humectante.
5. La mezcla sintética de la reivindicación 1, en la que el grado de trenzado en el segundo componente de fibra es inferior a 2,2 giros/pulgada (0,87 giros/cm).
6. La mezcla de fibras sintéticas de la reivindicación 1, en la que el grado de trenzado en el segundo componente de fibra varía de más de 0,9 giros/pulgada (0,36 giros/cm) a 1,1 giros/pulgada (0,43 giros/cm).
7. La mezcla de fibras sintéticas de la reivindicación 1, en la que el grado de trenzado en el segundo componente de fibra es de 1,1 giros/pulgada (0,43 giros/cm).
8. La mezcla de fibras sintéticas de la reivindicación 1, en la que el primer componente de fibra tiene entre 100 y 20 000 denieres por filamento.
9. La mezcla de fibras sintéticas de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en la que el segundo componente de fibra está compuesto de uno o más monofilamentos no fibrilados de 350 a 6000 denieres por filamento.
10. La mezcla de fibras sintéticas de una cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en la que el primer componente de fibra tiene una longitud de fibra de 19 a 60 mm y el segundo componente de fibra tiene una longitud de fibra de 19 a 60 mm.
11. La mezcla de fibras sintéticas de la reivindicación 10, en la que el primer componente de fibra y el segundo componente de fibra tienen la misma longitud de fibra.
12. La mezcla de fibras sintéticas de la reivindicación 1, en la que el segundo componente de fibra está formado por una cantidad importante de un polipropileno y una cantidad menor de un polietileno de alta densidad.
13. La mezcla de fibras sintéticas de la reivindicación 12, en la que el segundo componente de fibra está en forma de monofilamentos no fibrilados.
14. La mezcla de fibras sintéticas de la reivindicación 12, en la que el primer componente de fibra está presente en la mezcla sintética en un 6,7 por ciento en peso total y el segundo componente de fibra está presente en la mezcla de fibras sintéticas en un 93,3 por ciento en peso total.
15. La mezcla de fibras sintéticas de la reivindicación 12, en la que la segunda fibra está formada del 70 al 80 por ciento en peso por polipropileno y del 20 al 30 por ciento en peso por polietileno de alta densidad.
16. Un material cementoso reforzado, que comprende: la mezcla de fibras sintéticas de cualquier reivindicación anterior, distribuidas a lo largo de una matriz del material cementoso.
17. El material cementoso reforzado de la reivindicación 16, en el que la mezcla de fibras sintéticas está presente en el material cementoso en cantidades que varían del 0,1 al 2,0 por ciento en volumen.
18. El material cementoso reforzado de la reivindicación 16, en el que la mezcla de fibras sintéticas está presente en el material cementoso en cantidades que varían del 0,5 al 2,0 por ciento en volumen.
19. El material cementoso reforzado de la reivindicación 16, en el que la mezcla de fibras sintéticas está presente en el material cementoso en cantidades que varían del 0,3 al 2,0 por ciento en volumen.

20. El material cementoso reforzado de la reivindicación 16, en el que el material cementoso es hormigón armado.
21. El material cementoso reforzado de la reivindicación 16, en el que el material cementoso es asfalto reforzado.
- 5 22. Un procedimiento para formar una mezcla de fibras sintéticas para su uso como refuerzo para material cementoso, que consiste en: mezclar un primer componente de fibra con un segundo componente de fibra, fibrilándose el primer componente de fibra y formándose de una fibra de polipropileno homopolimérica, diferenciándose el segundo componente de fibra del primer componente de fibra y siendo un copolímero de un polipropileno y un polietileno de alta densidad, trenzándose el segundo componente de fibra para formar un haz de fibras, siendo el grado de trenzado mayor a 0,9 giros/pulgada (0,36 giros/cm).
- 10 23. El procedimiento de la reivindicación 22, en el que el grado de trenzado es inferior a 2,2 giros/pulgada (0,87 giros/cm).
24. El procedimiento de la reivindicación 22, en el que el grado de trenzado varía de más de 0,9 giros/pulgada (0,36 giros/cm) a 1,1 giros/pulgada (0,43 giros/cm).
25. El procedimiento de la reivindicación 22, en el que el grado de trenzado es de 1,1 giros/pulgada (0,43 giros/cm).
- 15 26. El procedimiento de la reivindicación 22, en el que el primer componente de fibra está presente en la mezcla de fibras sintéticas en cantidades que varían del 5 al 50 por ciento en peso total, y el segundo componente de fibra está presente en la mezcla de fibras sintéticas en cantidades que varían del 50 al 95 por ciento en peso total.
27. El procedimiento de la reivindicación 22, en el que el primer componente de fibra está presente en la mezcla sintética en un 6,7 por ciento del peso total y el segundo componente de fibra está presente en la mezcla de fibras sintéticas en un 93,3 por ciento del peso total.
- 20 28. El procedimiento de la reivindicación 22, en el que el segundo componente de fibra está compuesto por un haz trenzado de múltiples hebras de un monofilamento no fibrilado, teniendo dichos primer y segundo componentes de fibra sustancialmente la misma longitud, en el que cada uno tiene una longitud que varía de 19 a 60 mm.
29. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 22 a 28, en el que la mezcla de fibras sintéticas se mezcla con un material cementoso.
- 25 30. El procedimiento de la reivindicación 29, en el que el material cementoso es hormigón.
31. El procedimiento de la reivindicación 29, en el que el material cementoso es asfalto.



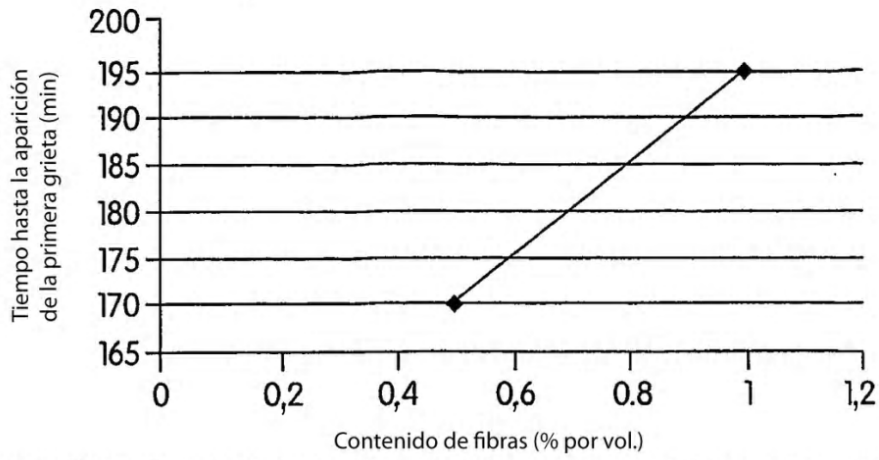
Comparación entre las superficies de las grietas para diferentes contenidos de fibras

FIG. 1



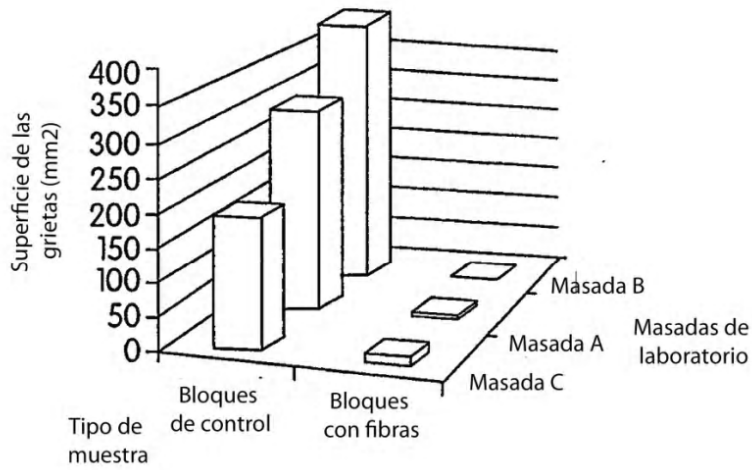
Comparación de las relaciones longitud/anchura de las grietas para diferentes contenidos de fibras

FIG. 2



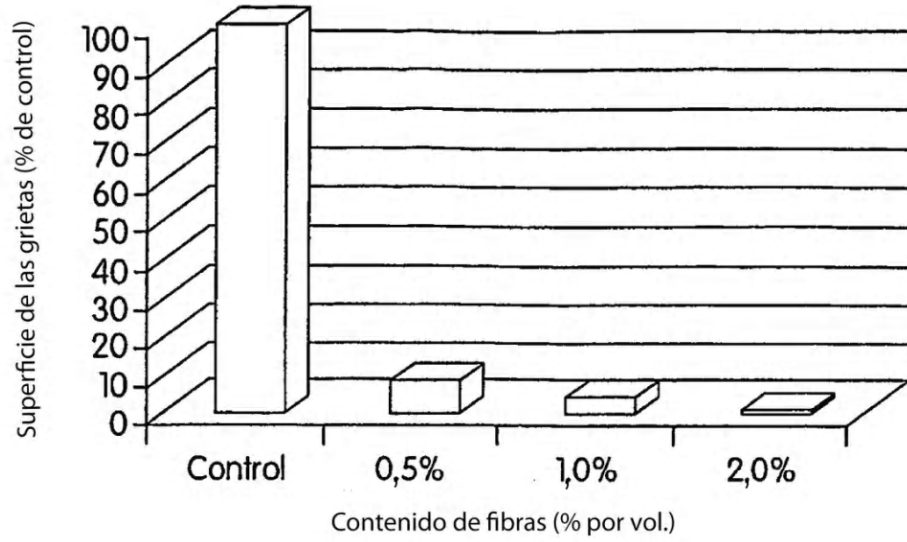
Comparación del tiempo hasta la aparición de la primera grieta para diferentes contenidos de fibras
 Nota: los bloques con un contenido de fibras de un 2 % no se agrietaron

FIG. 3



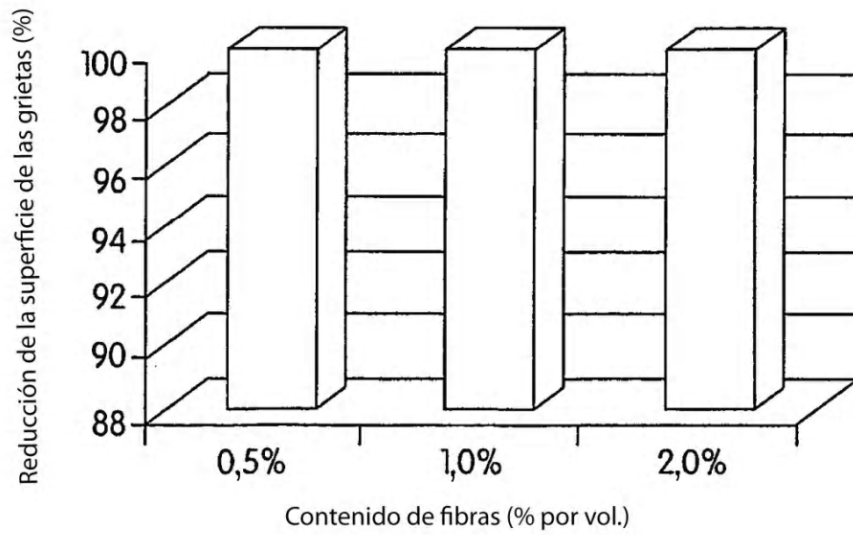
Comparación de las superficies de las grietas entre los bloques de control y los bloques con fibras para diferentes masadas de laboratorio

FIG. 4



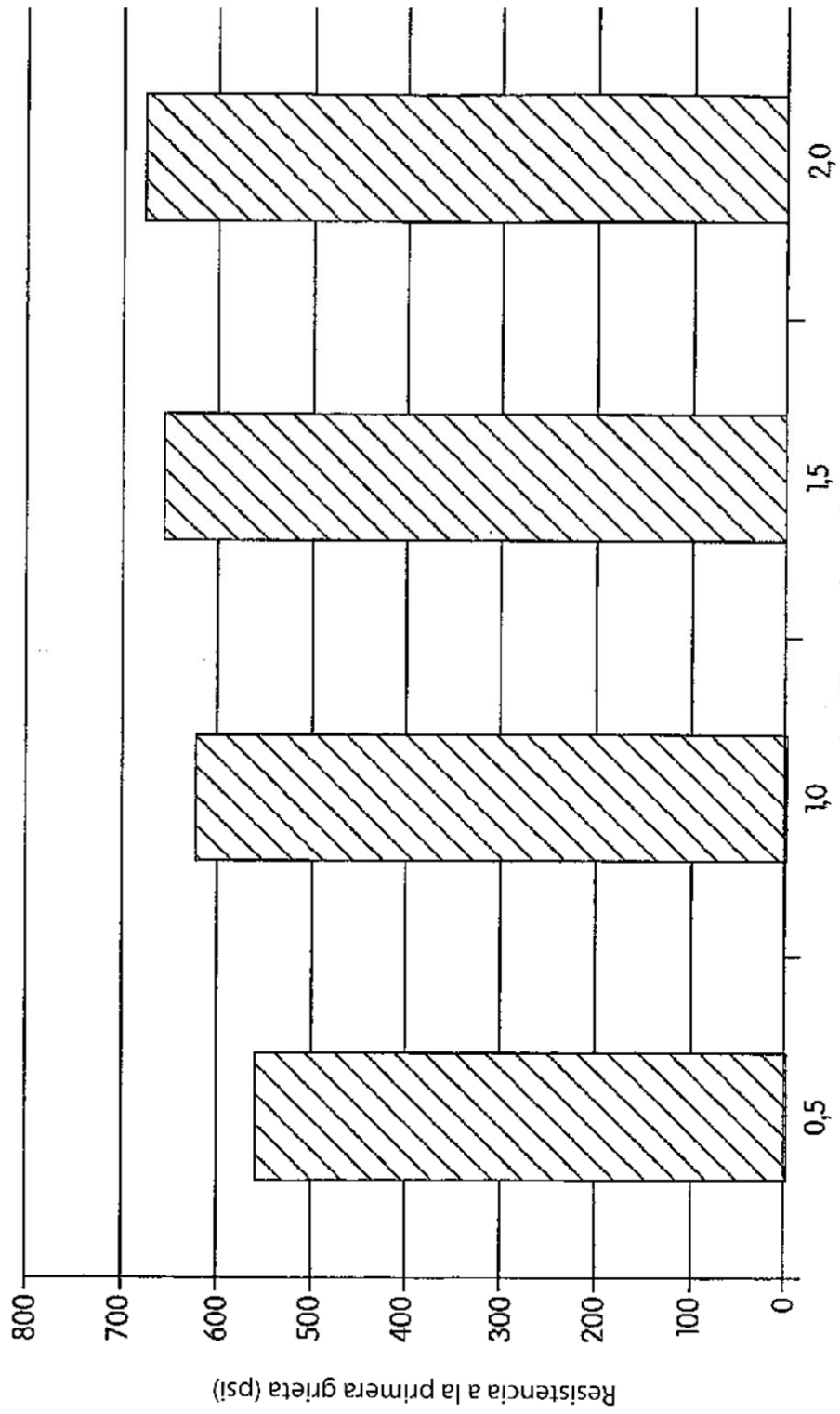
Comparación de las superficies con grietas como porcentaje de control para diferentes contenidos de fibras

FIG. 5



Comparación de la reducción de la superficie de las grietas para diferentes contenidos de fibras

FIG. 6



Resistencia a la primera grieta respecto al contenido de fibras

FIG. 7

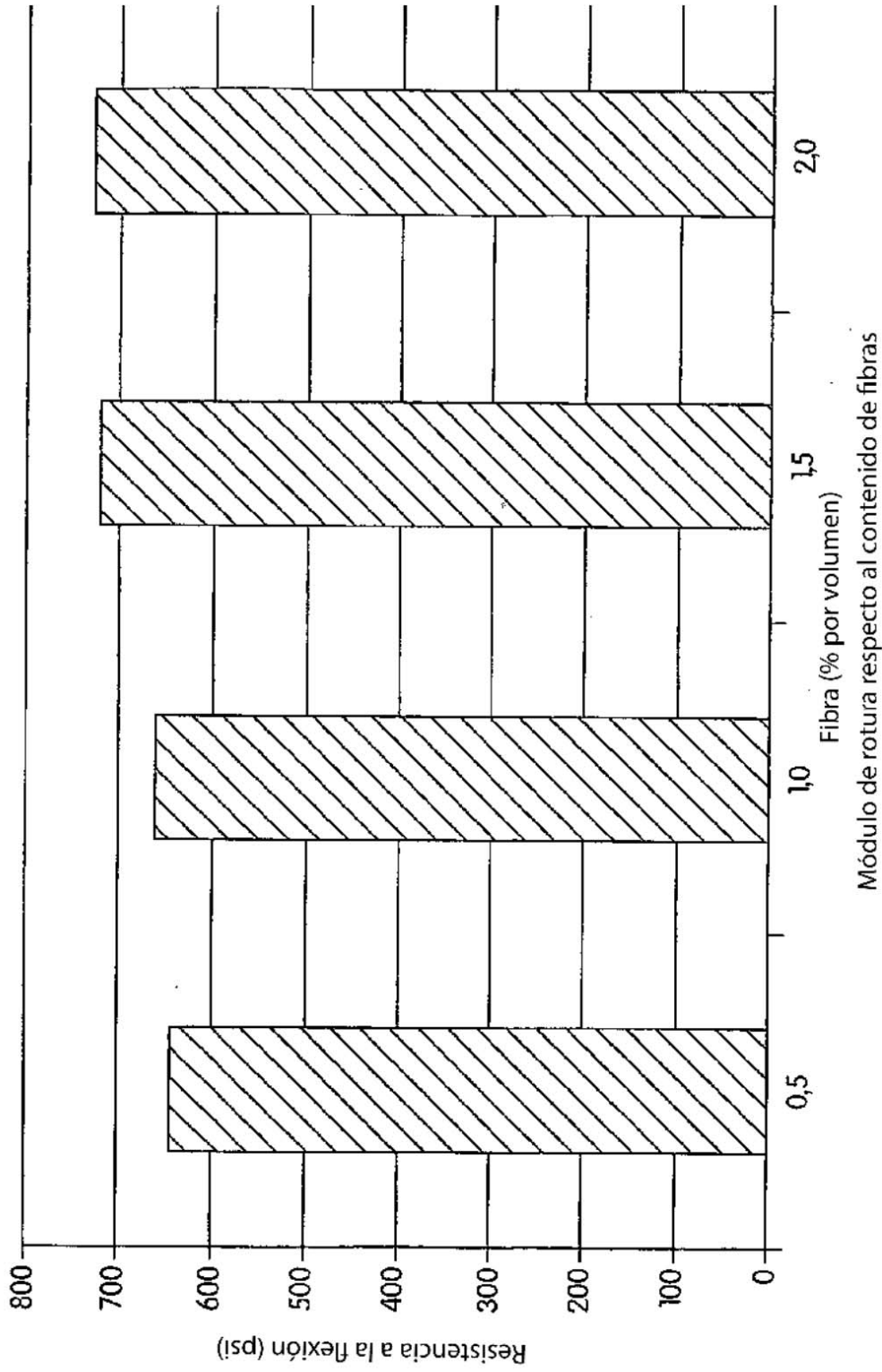
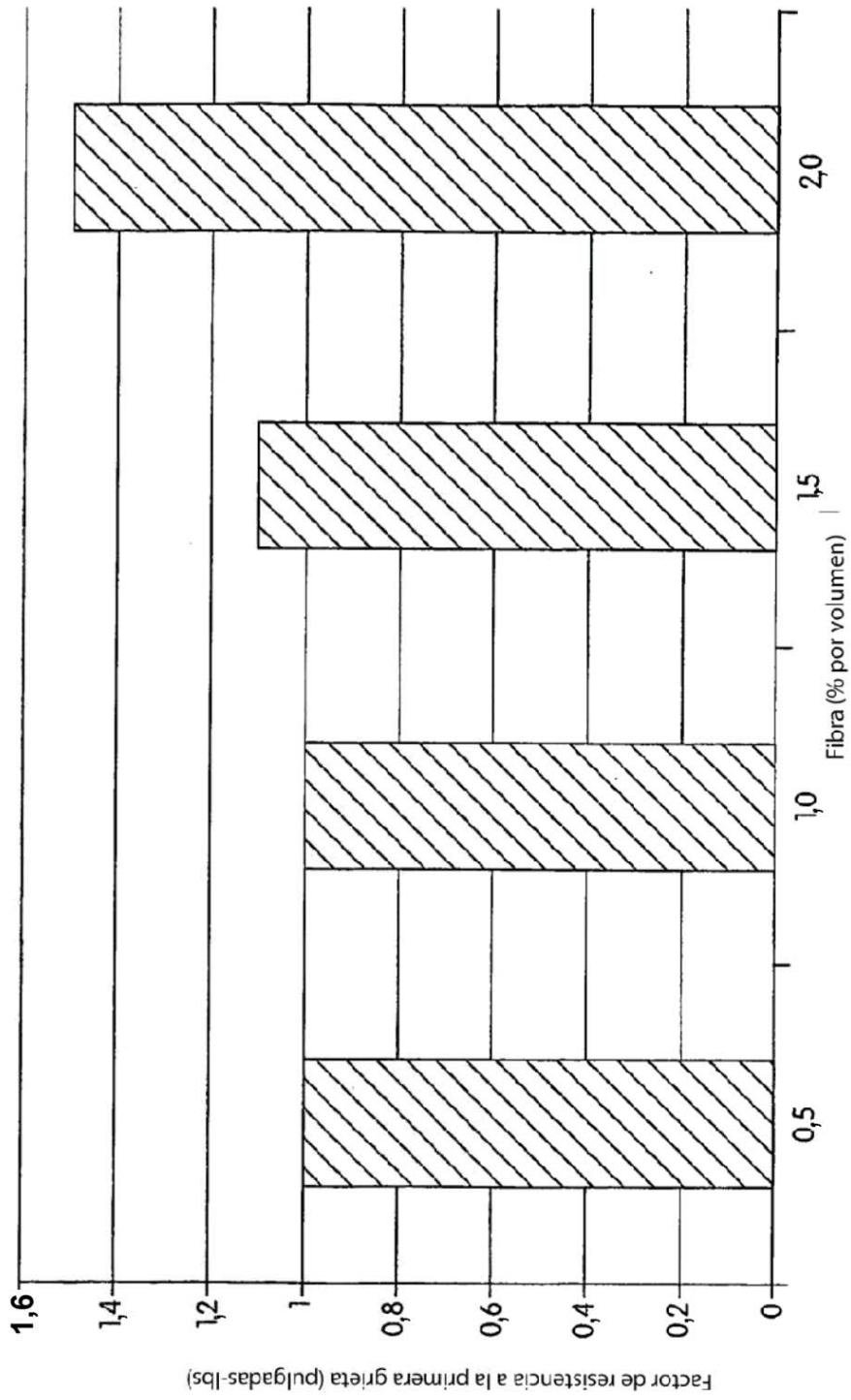
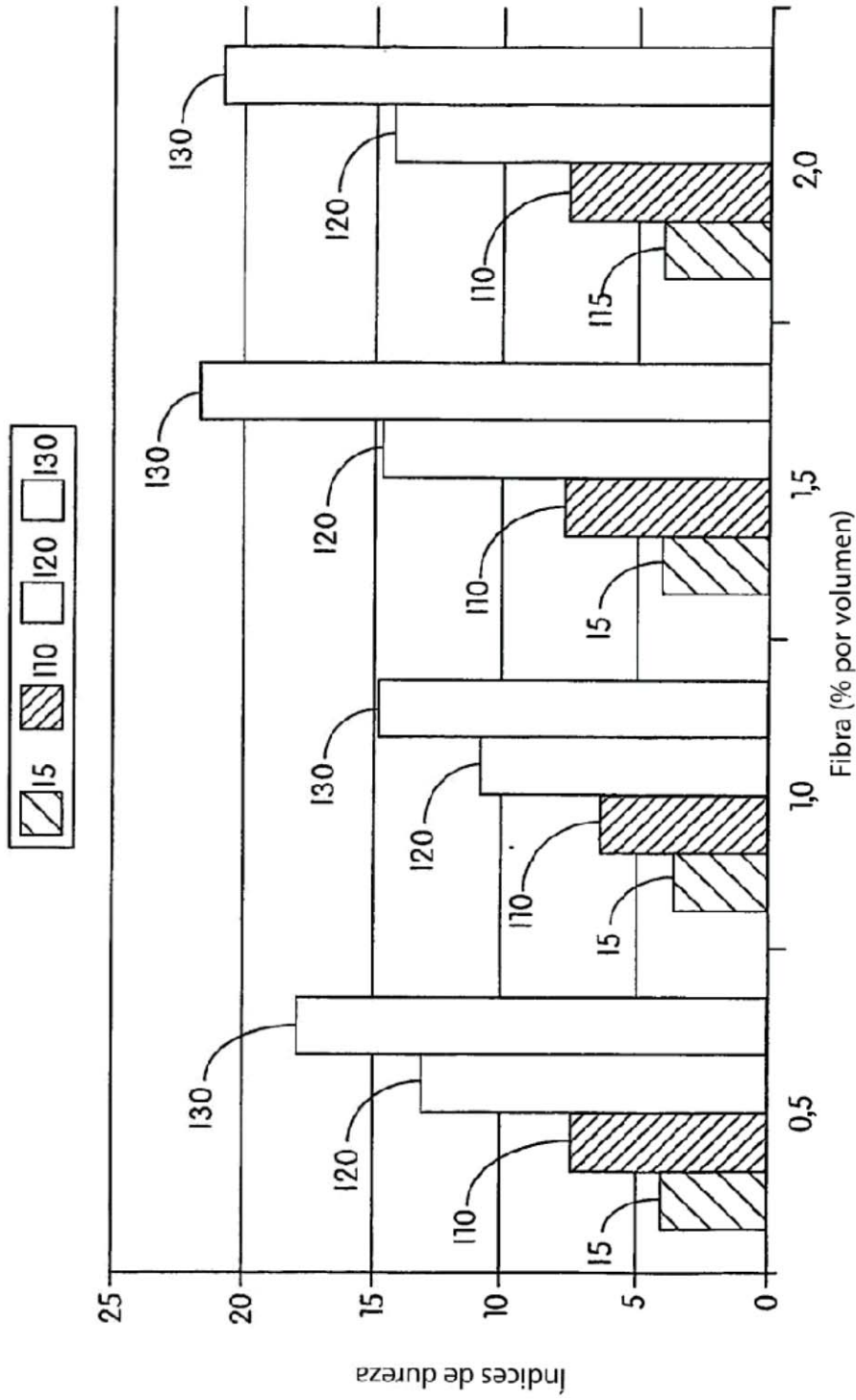


FIG. 8



Factor de resistencia a la primera grieta respecto al contenido de fibras

FIG. 9



Índices de dureza respecto al contenido de fibras
FIG. 10

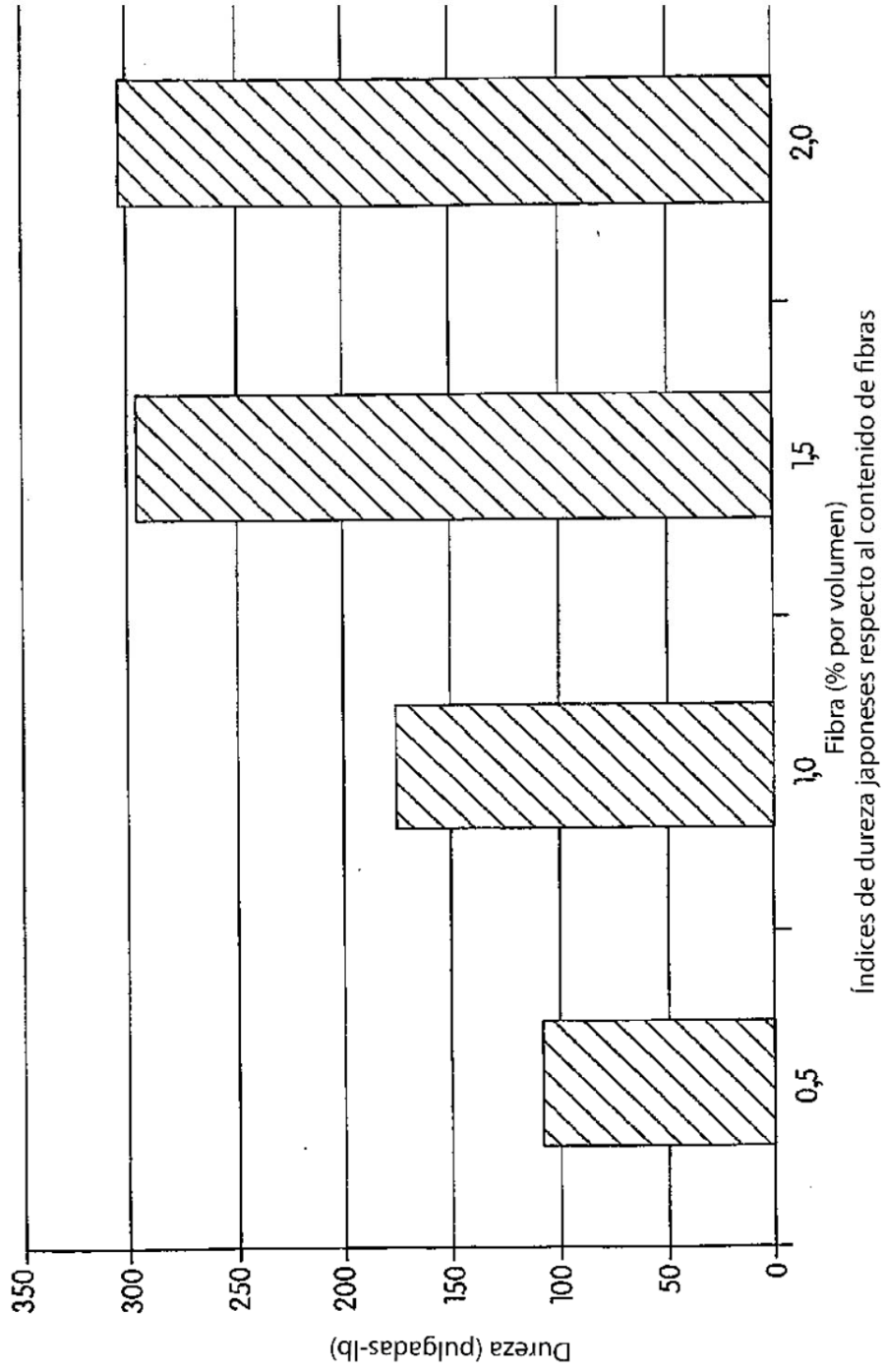
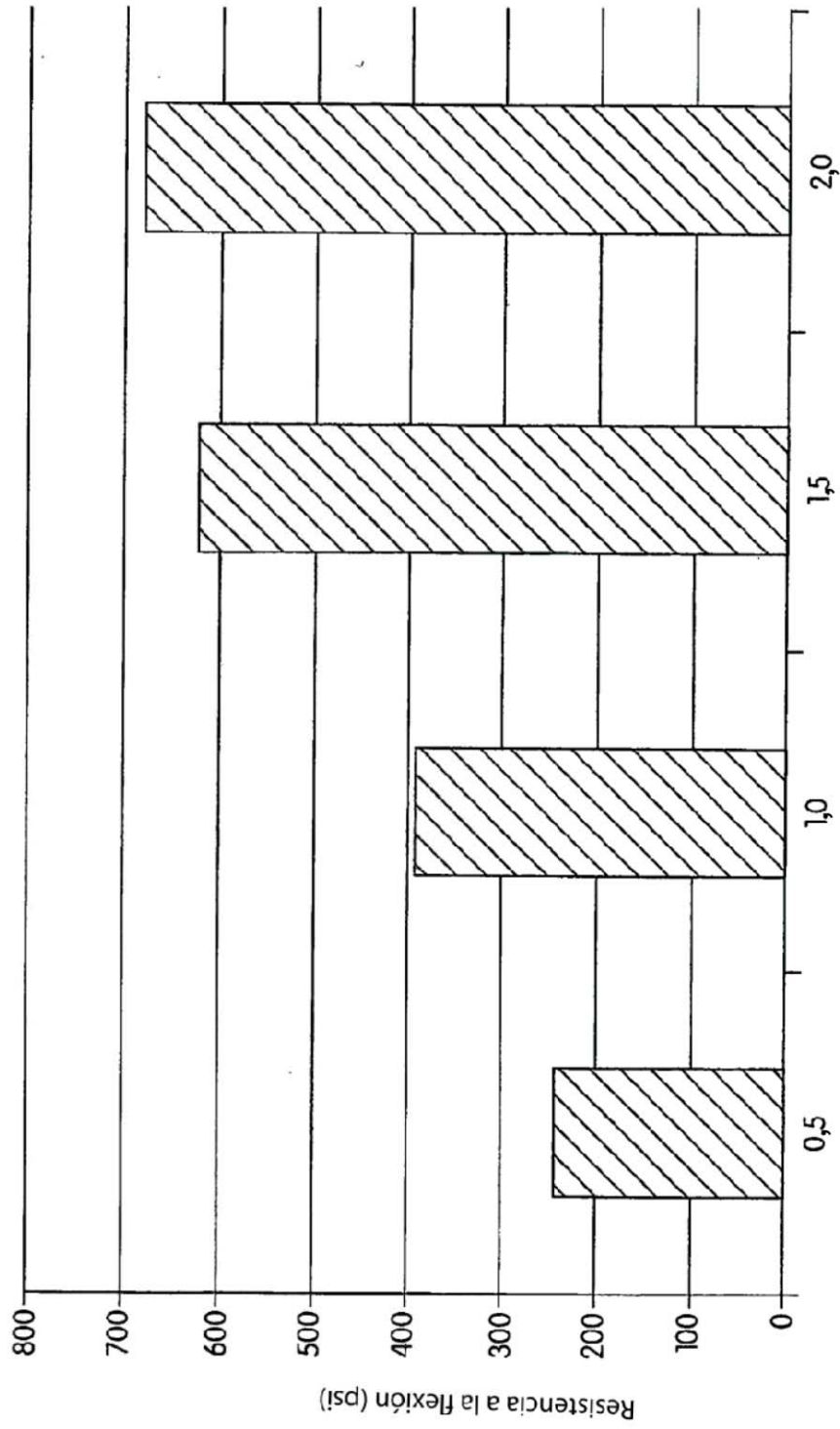


FIG. 11



Resistencia a la flexión japonesa respecto al contenido de fibras

FIG. 12

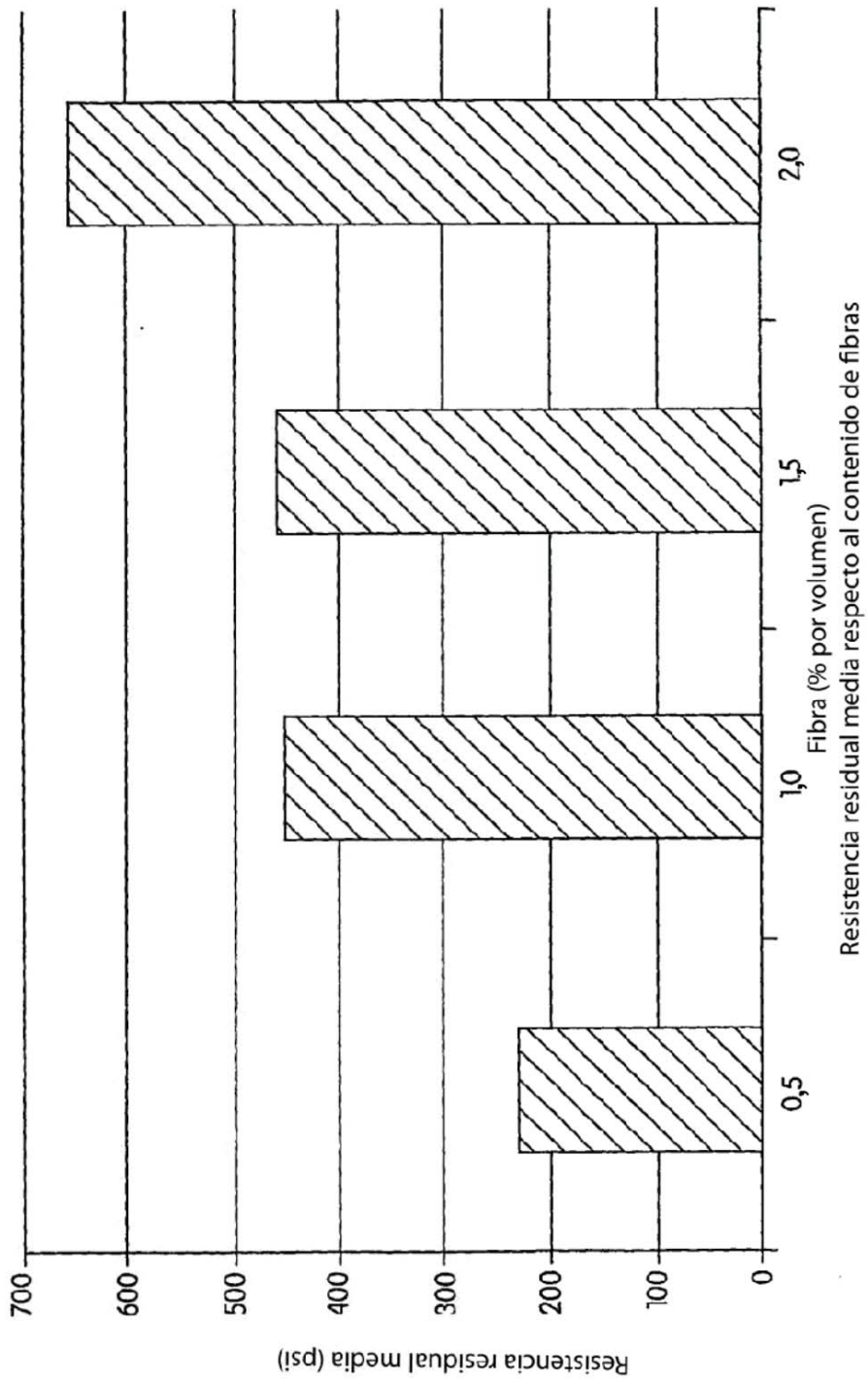
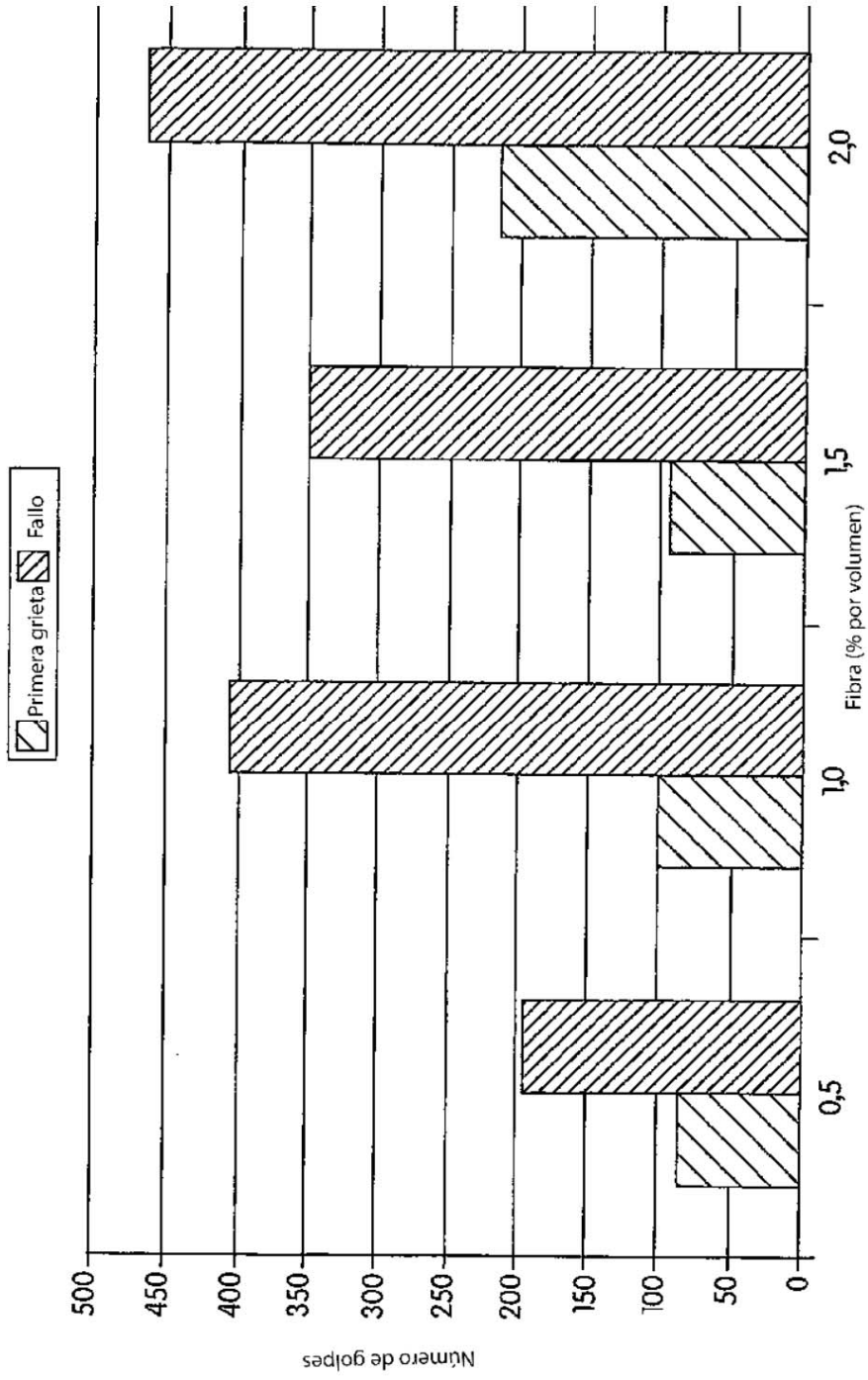


FIG. 13



Número de golpes hasta la primera grieta y hasta el fallo respecto al contenido de fibras

FIG. 14

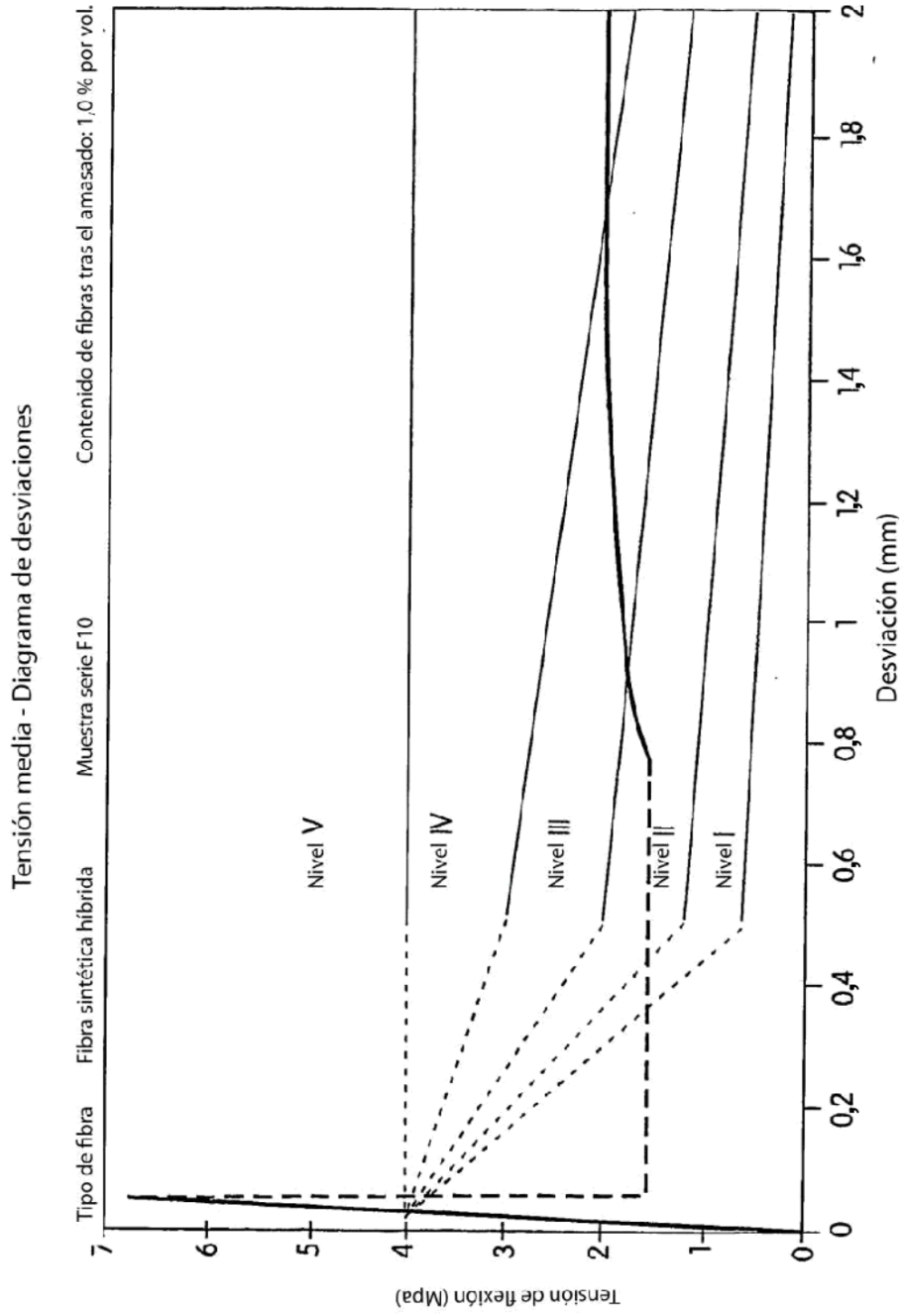


FIG. 15

Tensión - Diagrama de desviaciones según ASTM C1018

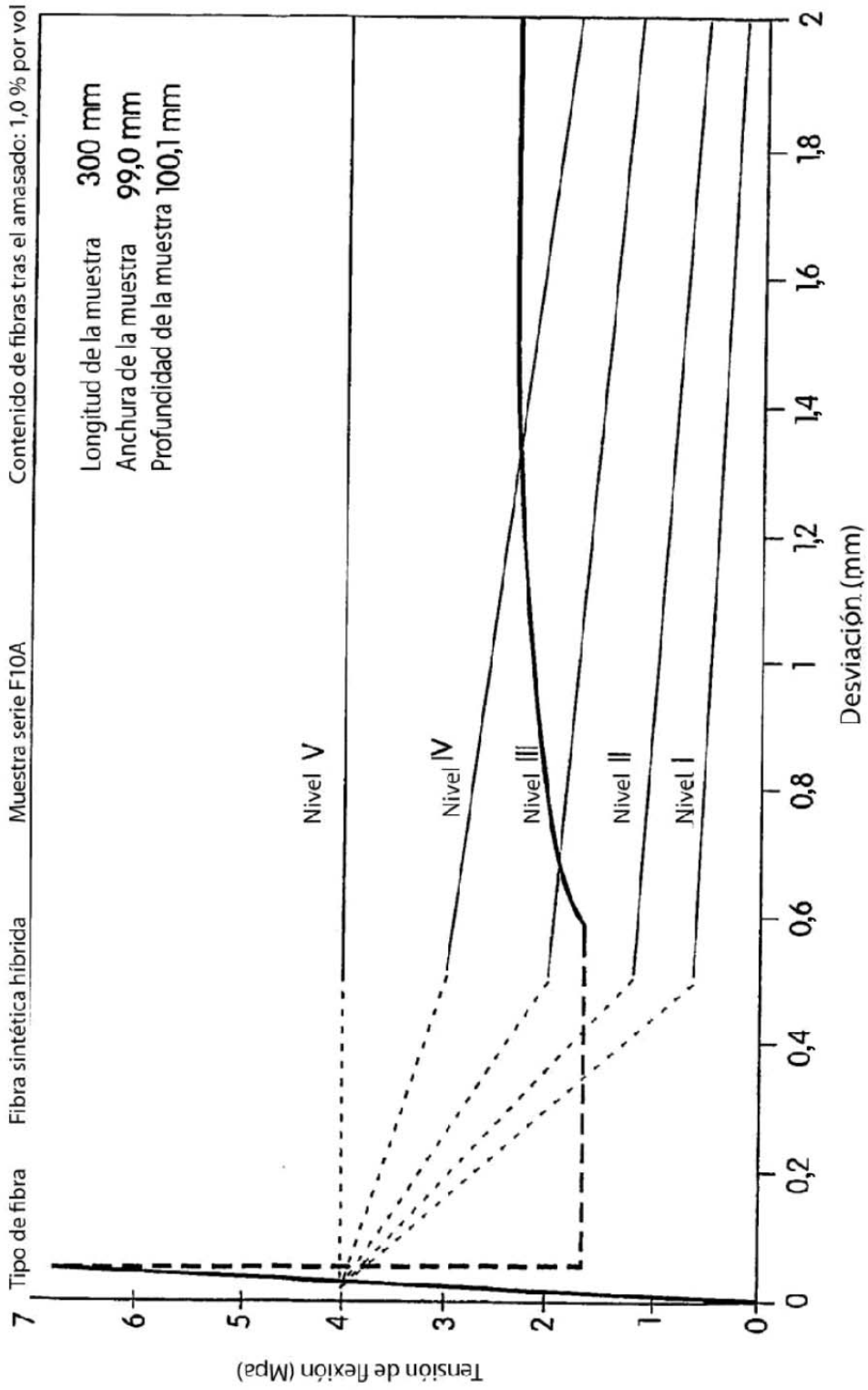
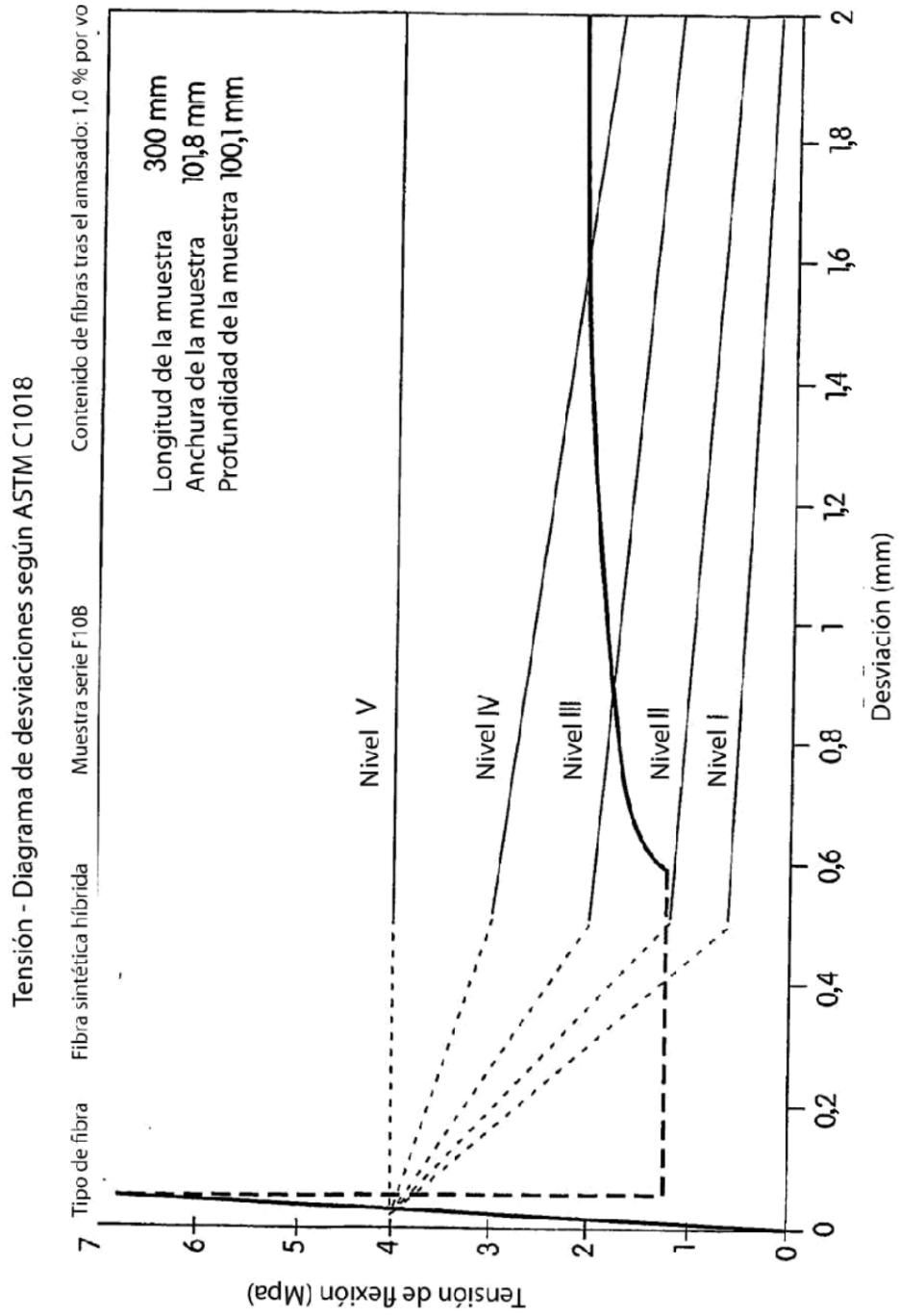


FIG. 16



Tensión - Diagrama de desviaciones según ASTM C1018

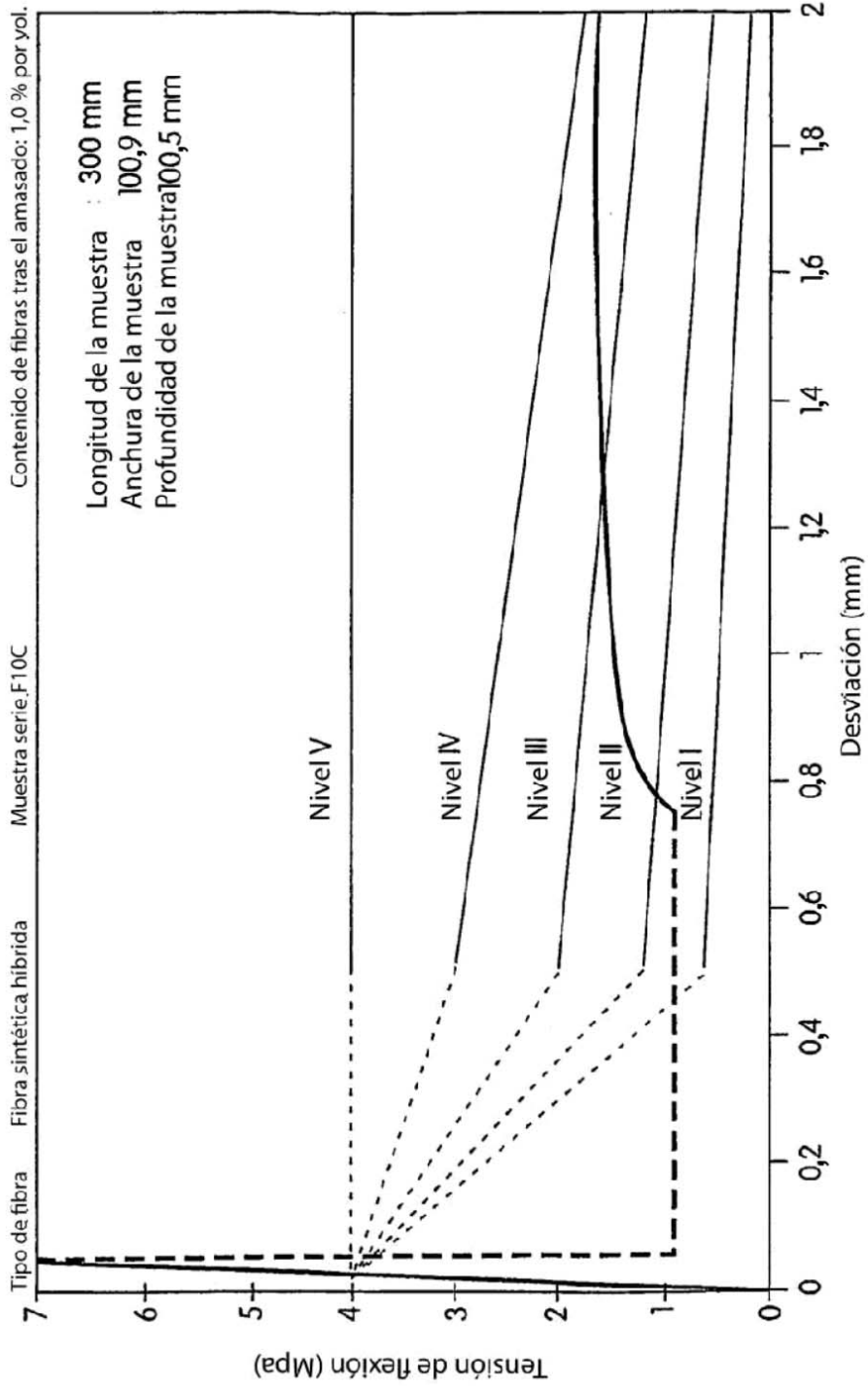


FIG. 18

Tensión media - Diagrama de desviaciones

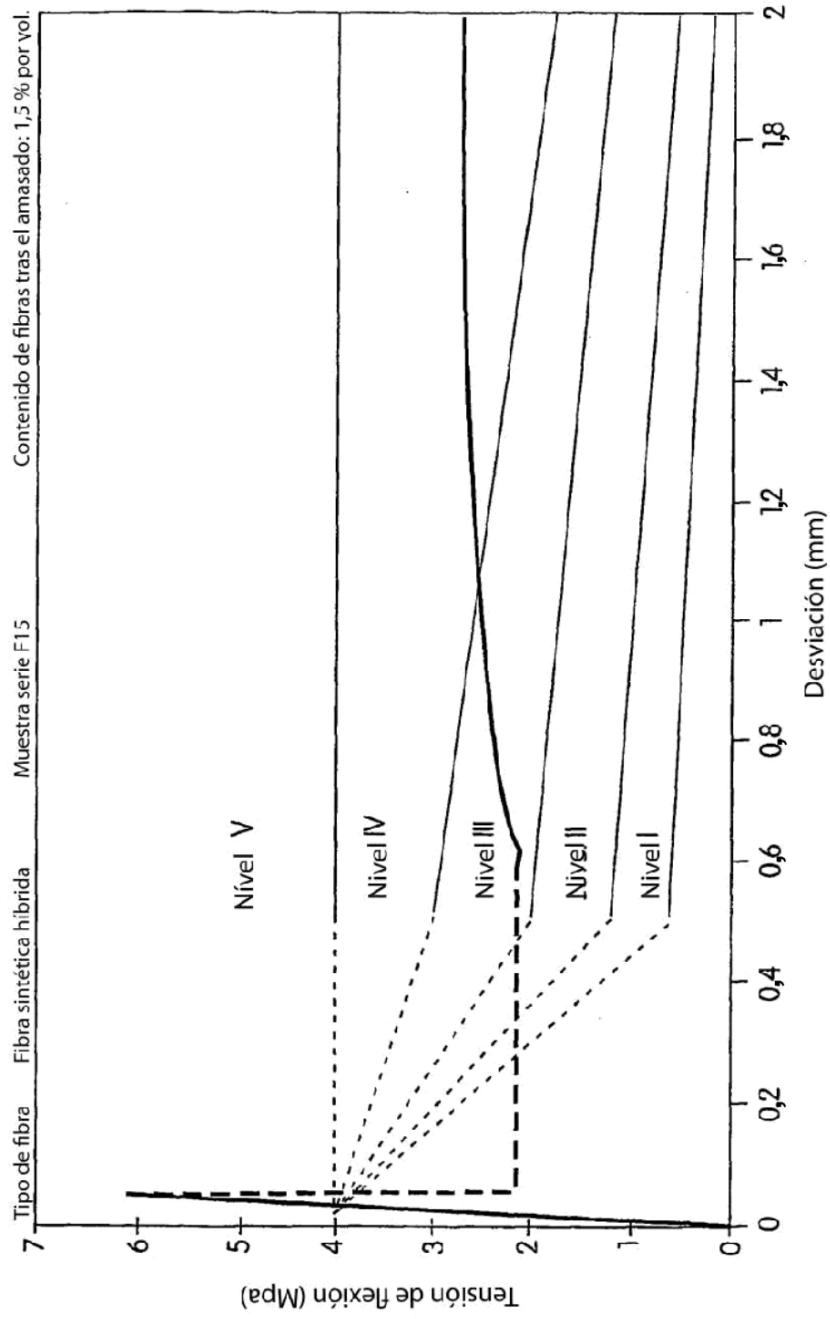


FIG. 19

Tensión - Diagrama de desviaciones según ASTM C1018

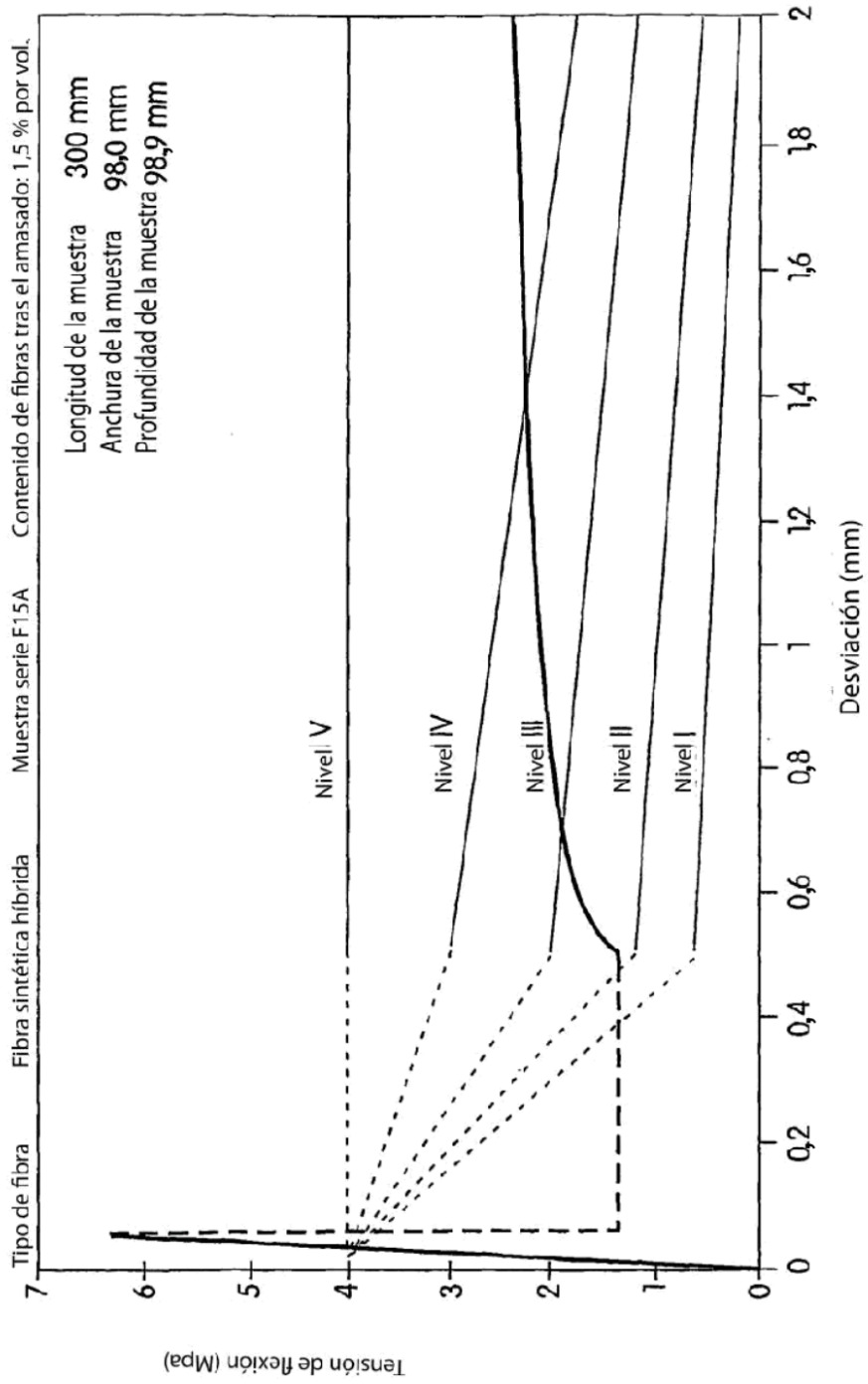


FIG. 20

Tensión - Diagrama de desviaciones según ASTM C1018

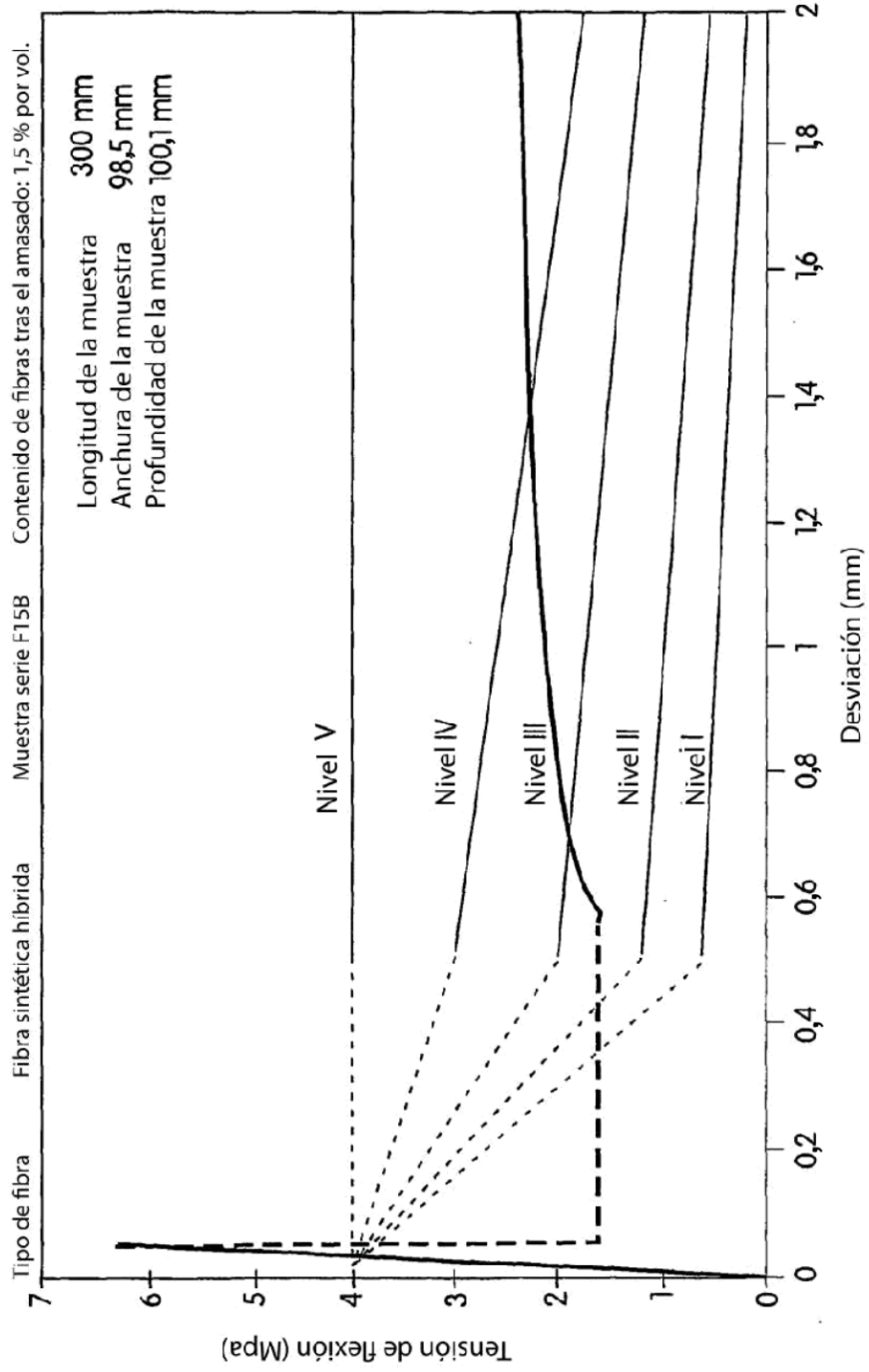


FIG. 21

Tensión - Diagrama de desviaciones según ASTM C1018

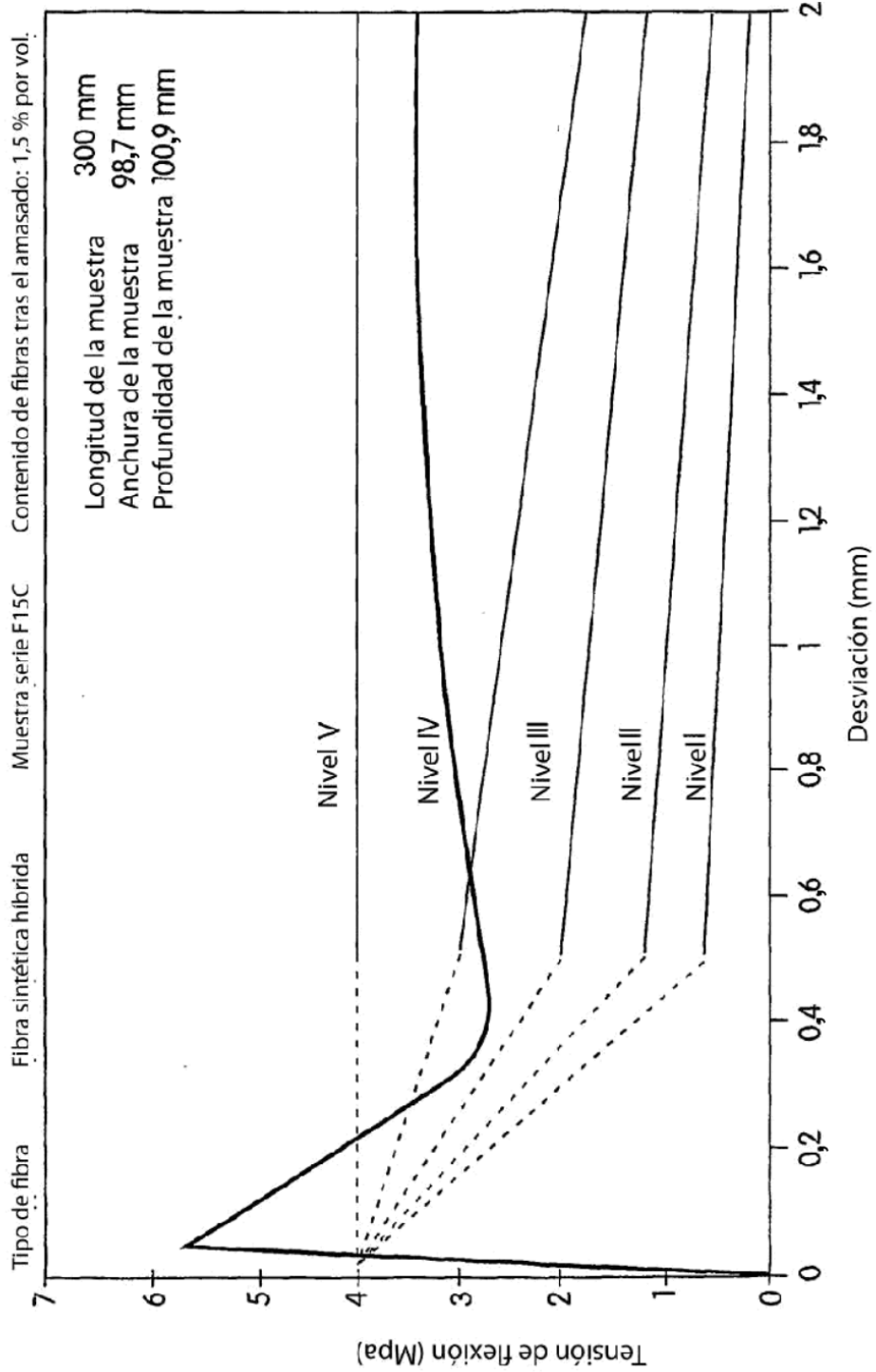


FIG. 22

Tensión media - Diagrama de desviaciones

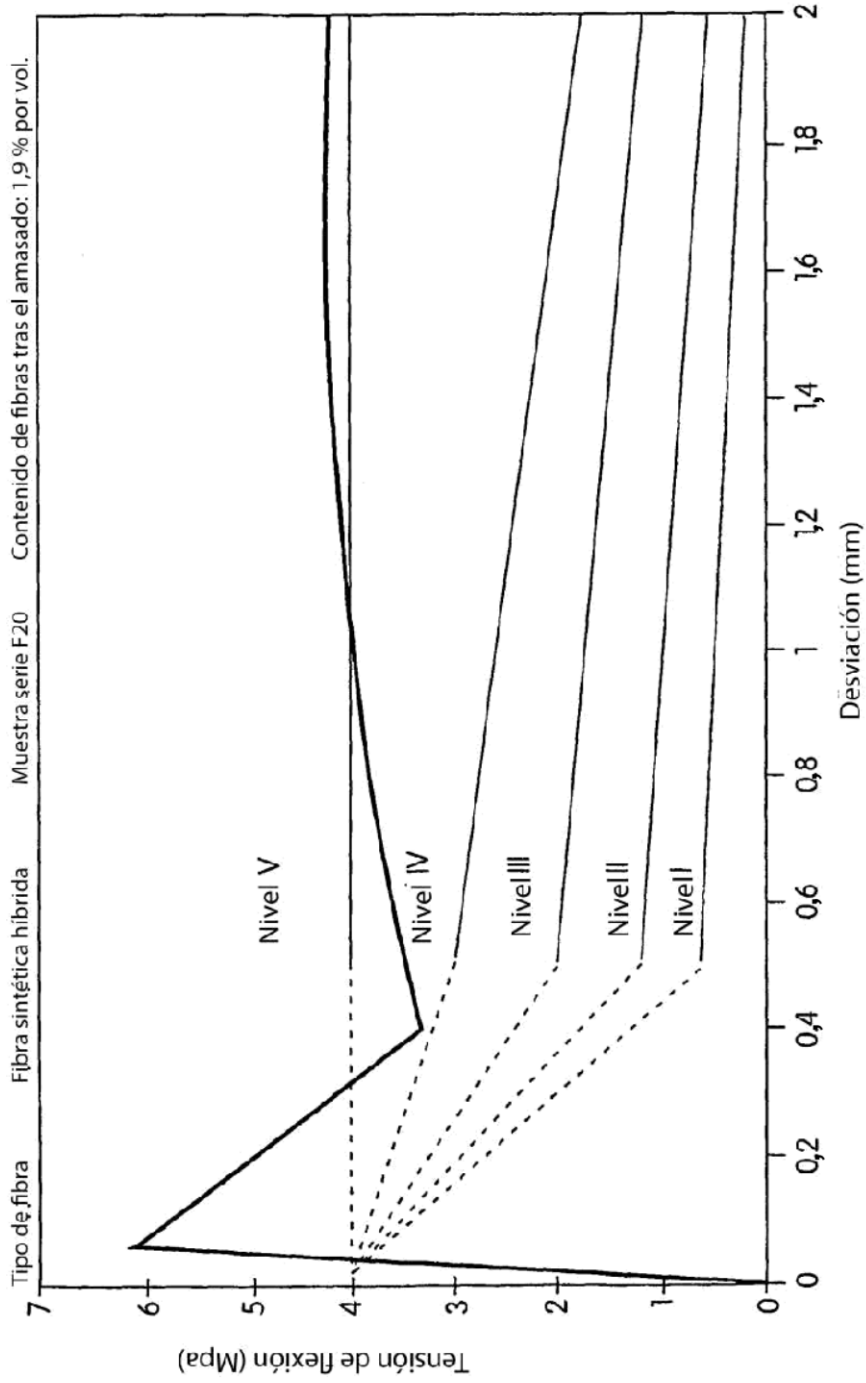


FIG. 23

Tensión - Diagrama de desviaciones según ASTM C1018

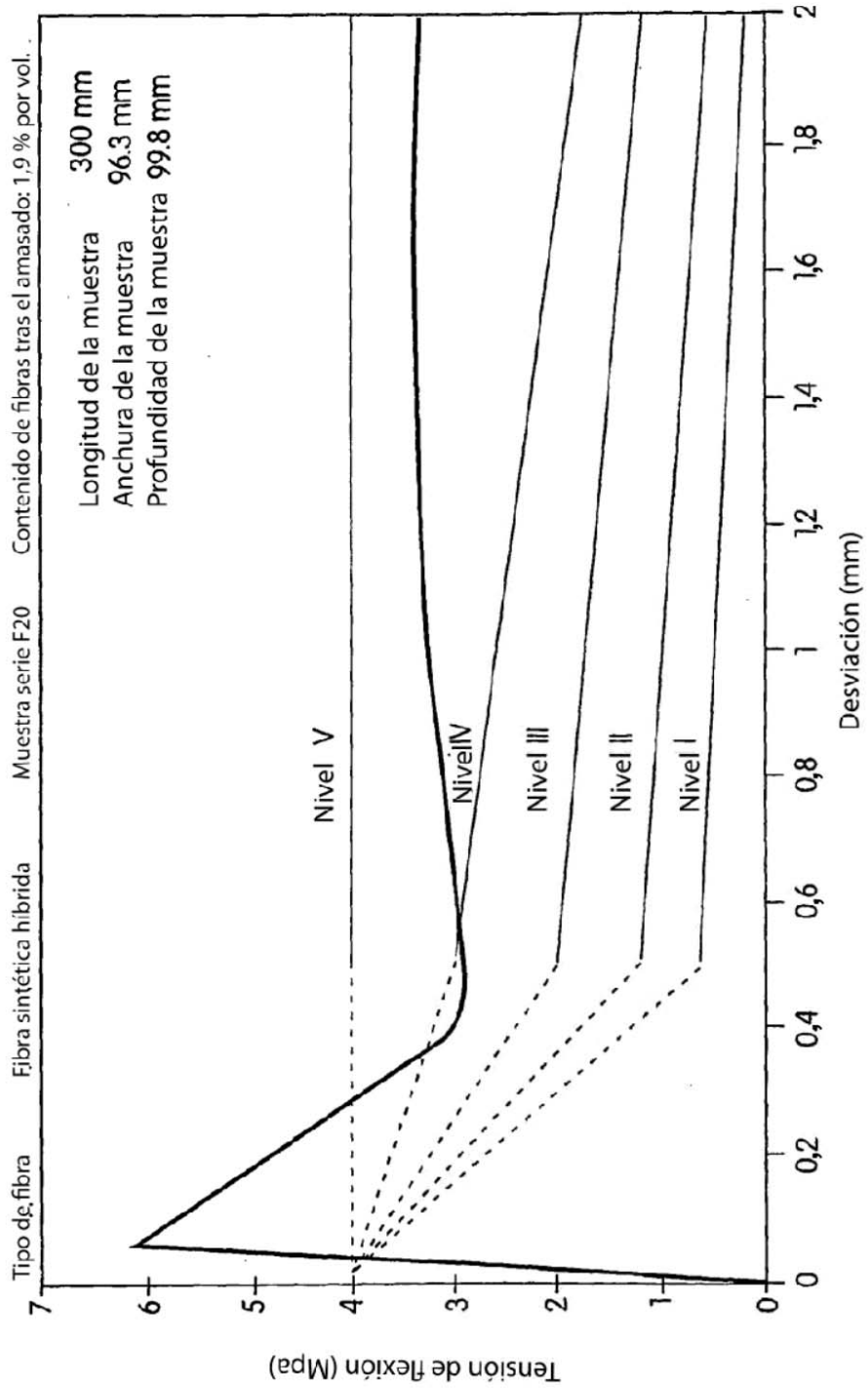


FIG. 24

Tensión - Diagrama de desviaciones según ASTM C1018

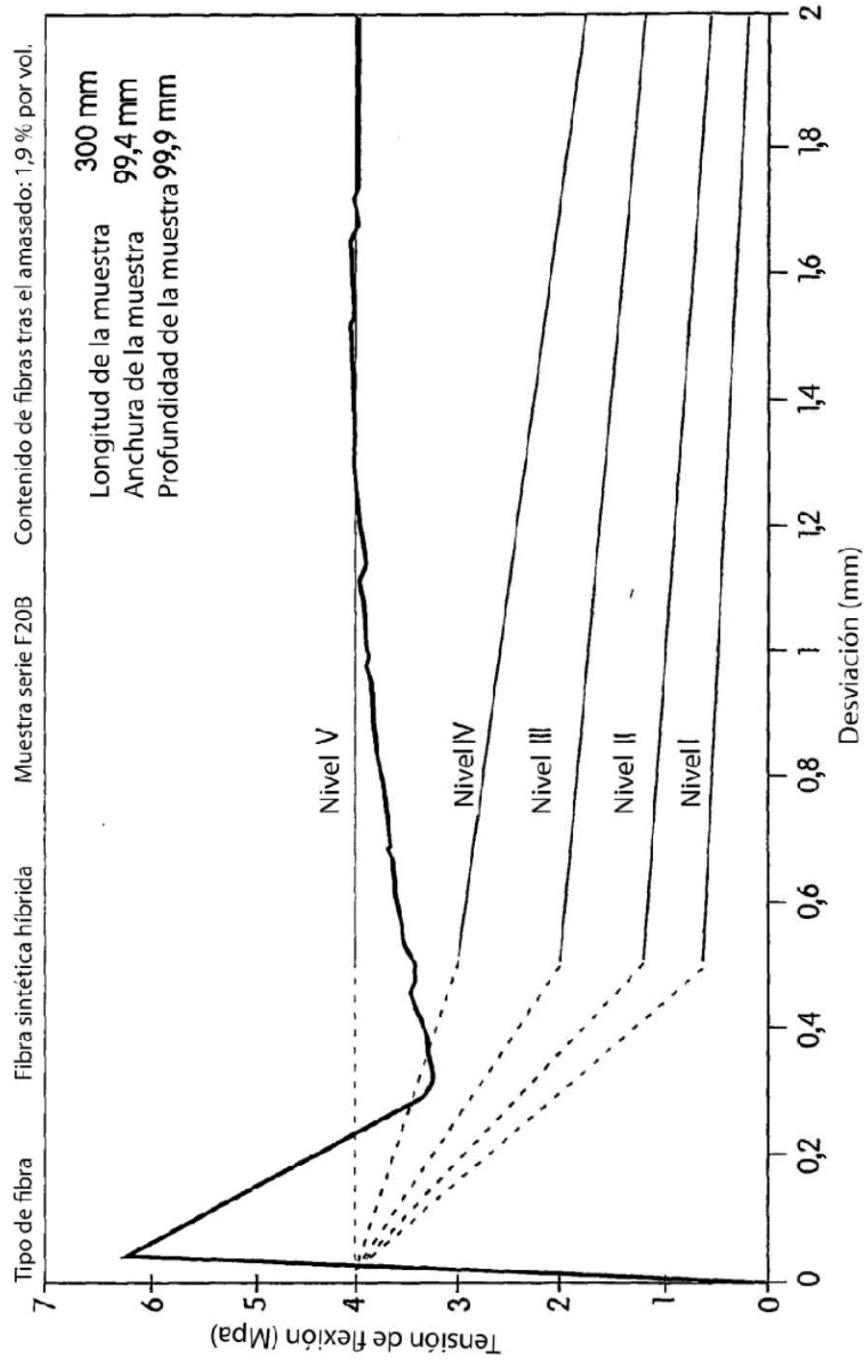


FIG. 25

Tensión - Diagrama de desviaciones según ASTM C1018

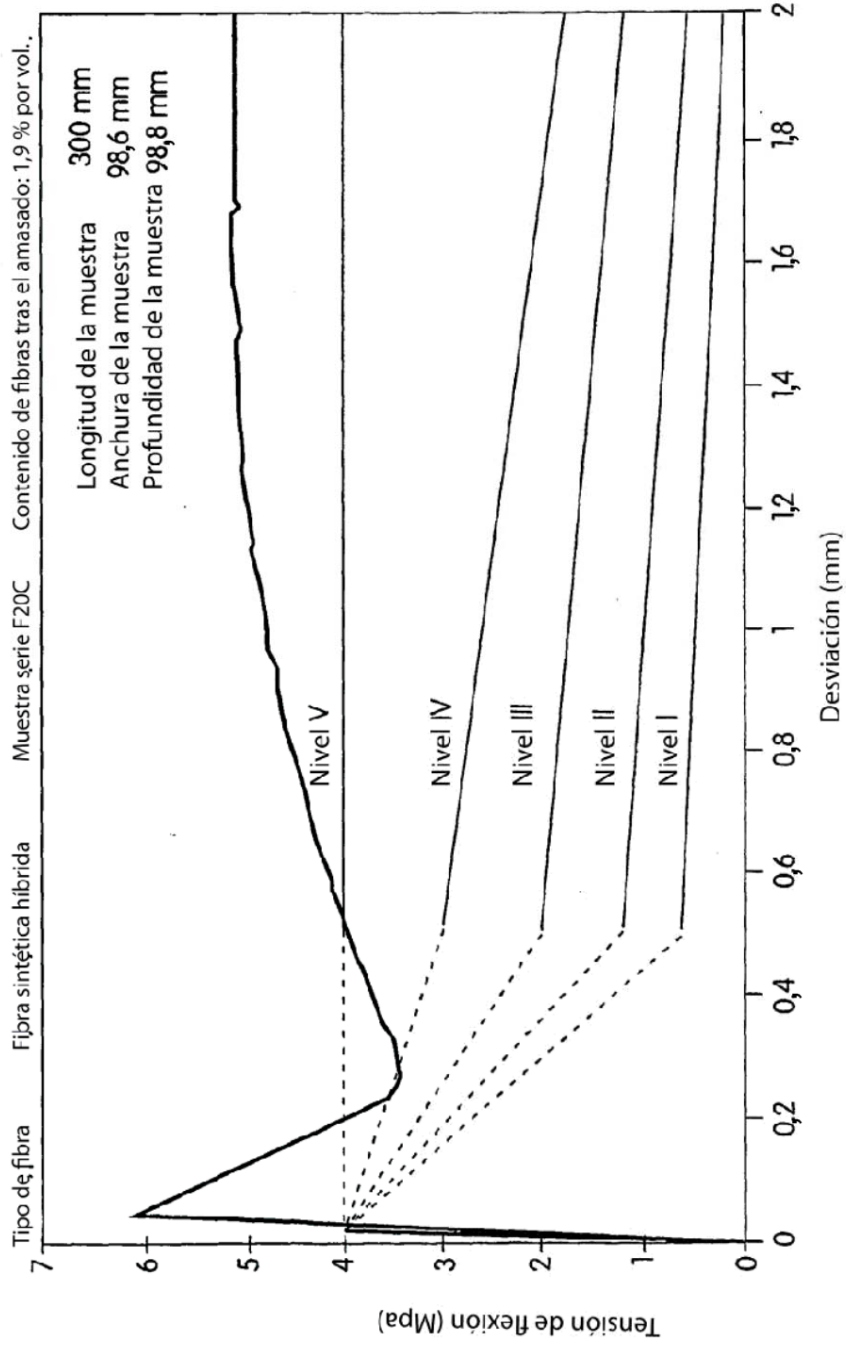


FIG. 26

Pruebas de panel redondo de hormigón proyectado - Mezcla F10
Fibra estructural sintética híbrida, 1,0 % por vol., hormigón proyectado con exceso de agua

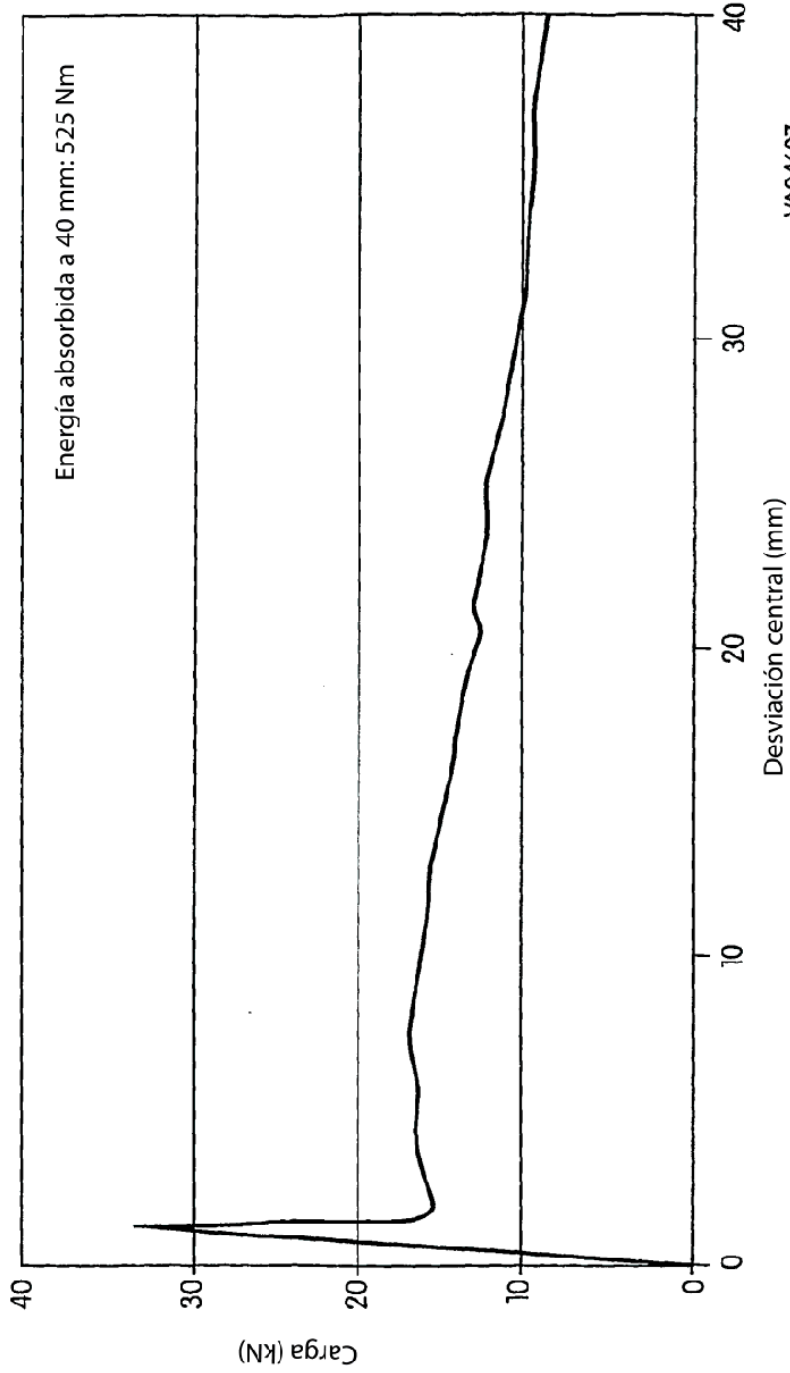
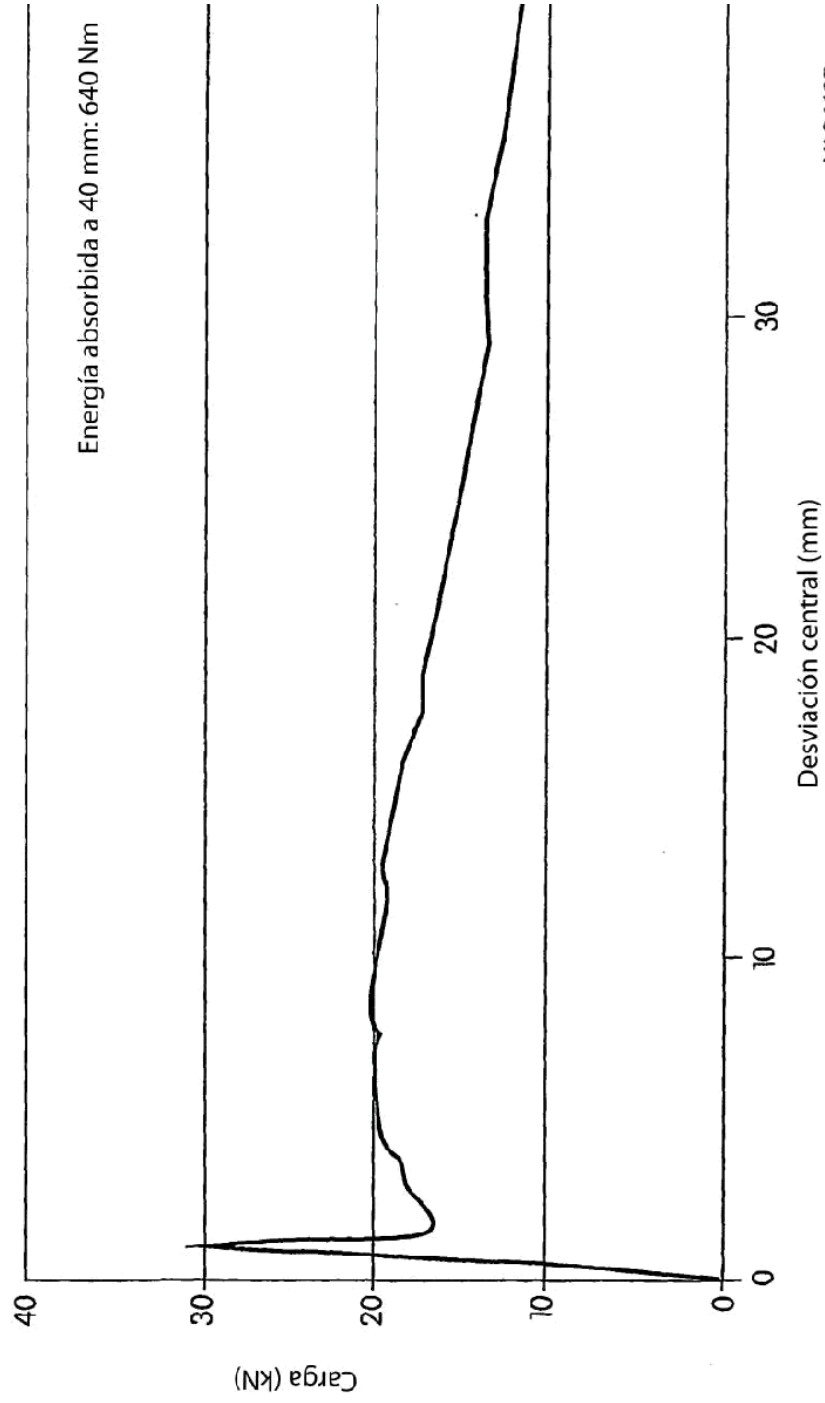


FIG. 27

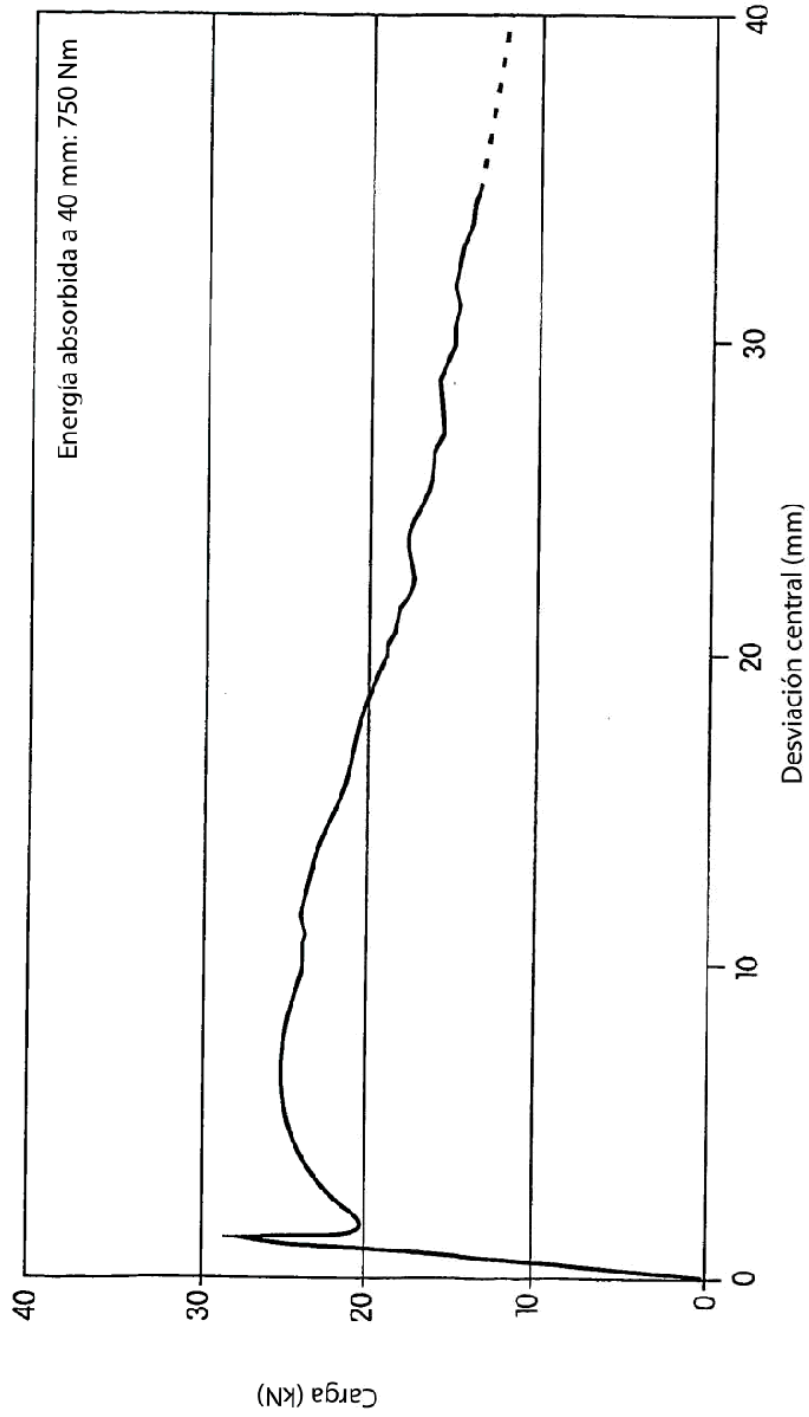
Pruebas de panel redondo de hormigón proyectado - Mezcla F15
Fibra estructural sintética híbrida, 1,5 % por vol., hormigón proyectado con exceso de agua



VA04607

FIG. 28

Pruebas de panel redondo de hormigón proyectado - Mezcla F20
Fibra estructural sintética híbrida, 1,9 % por vol., hormigón proyectado con exceso de agua



VA04607

FIG. 29

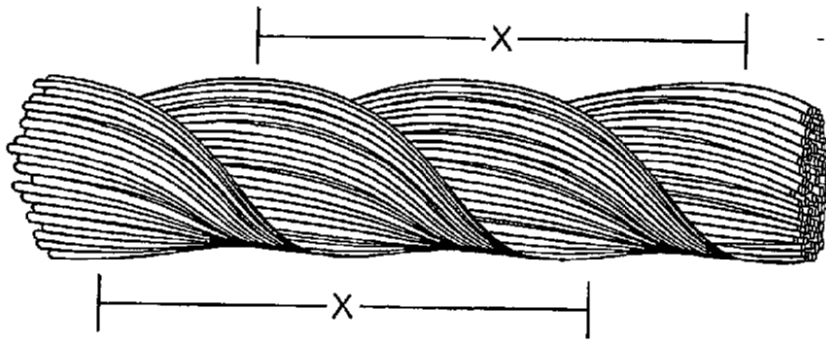


FIG. 30

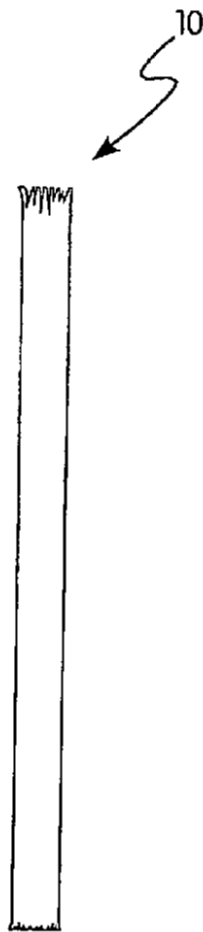


FIG. 31