

DESCRIPCIÓN

Diseños avanzados de mezcla de concreto reforzado con fibra y aditivos

Campo de la invención

- 5 La presente invención se refiere a formulaciones de concreto para alto desempeño mecánico en diseños estructurales, diseños de mezclas especiales de refuerzos de fibra para limitar y evitar barras de refuerzo o pretensado. Más específicamente, la invención divulga diseños de mezcla de concreto con alto contenido volumétrico de fibras y que el concreto contiene diferentes tipos de fibras para formar un denominado sistema de fibras híbrido.

Antecedente de la invención

- 10 Se conoce la tecnología de concreto reforzados con fibras convencional, que se ha descrito en diversas Normas Nacionales e Internacionales, por ejemplo, RILEM 162 T DF Internacional), Model Code 2010 (Internacional), CNR DT 204 (Italia SS 812310 (Suecia), TR63 (RU) ACI 318 (EUA) ACI 360 (EUA), DBV (Alemania), DAFSTB (Austria). Los diseños de mezclas de concreto reforzados con fibras que contienen diferentes tipos de fibras han sido divulgados, por ejemplo, en el
- 15 documento WO 2011/053103 y más recientemente en CN102976697 y KR100940550. Dichos concretos se utilizan principalmente para reparación de muelles o pavimento o para minimizar el encogimiento del concreto durante endurecimiento.

- 20 En el documento WO 2011/053103, el principal objetivo es proporcionar un concreto para construir losas grandes, por lo tanto, una propiedad que se debe lograr es la resistencia al encogimiento con el fin de evitar la formación de grietas. Por lo tanto, los agentes reductores de encogimiento, es decir, etilenglicol, cal libre o sulfoaluminato de calcio, se utilizan en combinación con fibras de polímeros (fibras sintéticas) cuya función es principalmente reducir el agrietamiento debido a encogimiento.

- 25 De acuerdo con el documento WO 2011/053103, la funcionabilidad en el concreto se ubica en las clases F5 a F6, sin embargo, no se divulgan datos que se relacionen con la retención de funcionabilidad (tiempo de apertura) del concreto final producido. Adicionalmente, no se divulgan datos ni resultados relacionados con la resistencia a la compresión y flexión de los concretos de acuerdo con la invención.

- 30 Entre otros, una ventaja importante de la solicitud de patente WO 2011/053103 es el requisito de preparar una suspensión separada que contiene agua, cemento y todos los plastificadores y reductores de encogimiento (o mezcla de reductores de agua - es decir, melamina en polvo o fosfonatos), o rellenos, así como rellenos. La suspensión se agrega luego al concreto preparado por separado y se agregan las fibras. Una desventaja importante adicional de la invención de acuerdo con el documento WO 2011/053103 es el hecho de que el concreto colocado al final se
- 35 tiene que curar utilizando agua después de colocación.

- 40 Una desventaja adicional de la invención de acuerdo con el documento WO 2011/053103 es que el volumen de la pasta es muy bajo para asegurar encogimiento limitado y evitar agrietamiento, reduciendo de esta manera el alcance de la aplicación y las propiedades de colocación y también como el nivel de resistencia mecánica que se puede alcanzar, tanto en términos de resistencia a la compresión y como en términos de resistencia a la flexión o ductilidad. Finalmente, el documento no divulga el contenido de agua/total de aglutinante (kg/kg) diferente de 0.42 y 0.46, que limita drásticamente el tipo de propiedades que se puede alcanzar.

Descripción de la invención

La información pertinente relacionada con las pruebas normativas y normas mencionadas en esta solicitud de patente se describe en las tablas 1 y 2.

Tabla 1: Consistencia de concreto (Hundimientos) con respecto a pruebas normativas y normas EN (Europea) y FR (Francesa).

EN 12350-2		NF P 18-305	
Consistencia	Hundimiento [mm]	Consistencia	Hundimiento [mm]
SI	10 a 40	Rígido	0 a 40
S2	40 a 90	Plástico	50 a 90
S3	100 a 150	Altamente plástico	100 a 150
S4	160 a 210	fluido	> 160
S5	> 220		

5

Tabla 2: Consistencia del concreto (flujo) con respecto a las normas EN 12350-8 (europea)

EN 206-1	
Categoría	Flujo [mm]
SF1	550 -650
SF2	660 -750
SF3	760 - 850

La presente invención proporciona una mezcla de concreto que comprende arena, agregados finos, aglutinante, fibras y diversas mezclas, que tienen una consistencia desde S2 hasta SF3, una resistencia a la compresión en el rango de 30-60 Mpa y una ductilidad, representada en los siguientes valores:

$$30 < f_c < 80 \text{ MPa}$$

$$3 < f_{fl} < 12 \text{ Mpa}$$

$$3 < f_{R1} < 12 \text{ Mpa}$$

$$2.5 < f_{R3} < 15 \text{ MPa}$$

en el que la mezcla de concreto contiene por lo menos 390 Kg de aglutinante, la mezcla de concreto comprende un volumen de pasta de 300-600 litros, la mezcla de concreto contiene por lo menos dos sistemas de fibras A y B, el sistema de fibras A consiste de fibras metálicas con una dosificación

de 25-100 kg/m³ con respecto a la mezcla de concreto y resistencia mecánica (o resistencia final) de por lo menos 1200 MPa, el sistema B de fibras tiene una dosificación de 0.2%-0.9% x m³ de concreto, la mezcla de concreto contiene un sistema de mezcla general que está compuesto de por lo menos 2 sistemas I y II de submezcla, en el que el primer sistema I de mezcla comprende por lo menos 2 copolímeros de ácido policarboxílicos (PCE), un PCE fuerte reductor de agua y una PCE de retención de funcionabilidad, en el que el segundo sistema II de mezcla es un estabilizador obtenido a partir de un compuesto seleccionado del grupo que consiste de celulosa modificada, carboximetil celulosa, celulosa hidroximetil, hidroxipropil metil celulosa, almidón natural, almidón modificado, almidón modificado ramificado, gomas naturales, goma xantano, sílice fina, sílice coloidal, humos de sílice y cualesquiera combinaciones de los mismos, junto con mezcla de concreto de la invención.

El significado de f_c , f_{fl} , f_{R1} y f_{R3} es lo siguiente: (véase figura 1)

f_c la es resistencia de la compresión, f_{fl} es la resistencia a la flexión, f_{R1} es la resistencia para la apertura de la boca de grieta de 0.5 mm, f_{R2} es la resistencia de CMOD 1.5mm y f_{R3} es la resistencia en CMOD 2.5 mm.

La mezcla de concreto de la invención es para losas, pisos o construcciones estructurales con alta ductilidad y retención de funcionabilidad.

La presente invención propone una solución para superar las diversas desventajas del documento WO 2011/053103. Los diseños de mezcla de concreto de acuerdo con la presente invención no se limitan a la mejora de la resistencia de encogimiento utilizando reductores de encogimiento y fibras sintéticas para estas propiedades estructurales reales y metas únicas que se van a utilizar en ingeniería estructural para muelles, puentes, pilares, etcétera. También, los diseños de mezcla de concreto fresco reforzado con fibras de acuerdo con la invención se diseñan con ingeniería para cumplir con los requisitos de producción industrial, se producen en plantas de mezcla de concreto convencional, se pueden transportar sobre distancias grandes en razón a que tienen una alta retención de funcionabilidad y no necesitan técnicas de curado especiales una vez se ubican.

También, la presente invención permite proporcionar un concreto que presenta un comportamiento de ductilidad real en fractura (o endurecimiento por tensión) como se puede ver en la Figura 1, a partir del punto de agrietamiento de matriz, que exhibe refuerzo pico posterior liso sin reducción abrupta en la resistencia mecánica.

Idealmente, el comportamiento de la fractura en flexión no mostrará ninguna evidencia de primera fractura, por lo que la pendiente de la curva de esfuerzo/CMOD siempre es positiva.

Otra realización es la mezcla de concreto de la invención, que comprende adicionalmente agregados ásperos.

Otra realización es la mezcla de concreto de la invención, en la que las fibras del sistema de fibras A tienen una longitud de 35-100 mm.

Otra realización es la mezcla de concreto de la invención, en la que el sistema de fibras B comprende un 65-90% en volumen de fibras metálicas.

Otra realización es la mezcla de concreto de la invención, en la que las fibras metálicas tienen una longitud de 5-35 mm.

Otra realización es la mezcla de concreto de la invención, en el que la dosificación del sistema I de mezcla es de 0.5-5% en peso con respecto al contenido de aglutinante y la dosificación del sistema

II de mezcla es de 0.1 -2% en peso con respecto al aglutinante. Esta mezcla de concreto es para losas delgadas de alta ductilidad o pisos con una consistencia de S5-SF3.

- 5 Otra mezcla es la mezcla de concreto de la invención, en el que la dosificación del sistema I de mezcla es de 0.1-1% en peso con respecto al contenido de aglutinante y la dosificación del sistema II de mezcla es de 0.1 -0.05% en peso con respecto al aglutinante. Esta mezcla de concreto es para losas delgadas de alta ductilidad o pisos con una consistencia de S2-S4.

- 10 Otra realización es la mezcla de concreto de la invención, en el que la mezcla de concreto comprende un sistema III de mezcla, en el que el sistema III de mezcla se obtiene a partir de un compuesto seleccionado del grupo que consiste de microfibras de celulosa, ceras sintéticas, ceras naturales, polímeros supeabsorbentes, polímeros entrecruzados de almidón, polímeros entrecruzados de acrilato, hexilen glicol (2-metil-2, 4-pentanediol) y cualesquier combinaciones de los mismos y una dosificación del sistema III de mezcla es de 0.3-6 % con respecto al aglutinante. Otra realización es la mezcla de concreto de la invención, en el que el sistema C de fibras, que comprende fibras sintéticas, se agrega a la mezcla de concreto.

- 15 Otra realización es la mezcla de concreto de la invención, en el que una parte de la arena o los agregados finos o los agregados ásperos se sustituye por agregados livianos seleccionados del grupo que consiste de vidrio expandido, arcilla expandida, piedra pómez y arcilla expandida. Otra realización es la mezcla de concreto de la invención, en el que el índice de substitución para todos los agregados (agregados ásperos y/o finos y/o arena) tiene por lo menos el 30% en volumen.

- 20 La invención se refiere a diseños de mezcla de concreto especiales para lograr cualquiera clase de resistencia compresiva deseada, mientras proporciona una alta ductilidad y las etapas de fresca y de endurecimiento.

- 25 La ductilidad en las etapas de endurecimiento (28 días) se mide utilizando medición de tensión – deformación flexural de acuerdo con la norma EN 14561 (aumento de carga necesario hasta abertura adicional del tamaño de boca de la muesca utilizando un CMOD (dispositivo de abertura de boca de grieta)).

La tabla 3 indica los valores de ductilidad y resistencia expresados mediante la resistencia en diversos CMOD con respecto a la norma EN 14 651 y resistencias.

Tabla 3: Diversos requerimientos para resistencias mecánicas en concreto de fibra reforzada.

Aplicación para concreto reforzado con fibra	Requerimientos de resistencia			
	fc [MPa]	ffl [MPa]	fR1 [MPa]	fR3 [MPa]
Losa grado industrial	30-60	3-8	2-10	2-10
ICF	40-100	4-10	5-13	3-25
Rehabilitación estructural/diseño sísmico para edificaciones antiguas/refuerzo de estructuras viejas	80-200	8-15	10-30	15-60
Industria de prefabricados-segmentos de puentes	60-200	5-15	7-35	15-50

Industria de prefabricados-segmentos de recubrimientos de túnel	30-100	3-8	2-12	2-20
Industria de prefabricados-nuevos recubrimiento	30-50	3-5	2-8	2-8
Industria de prefabricados-tuberías	40-80	3-7	4-10	4-10
Industria de prefabricados-concretos refractarios	40-100	4-9	8-30	5-15
Columnas	30-200	3-10	3-10	5-40

Los diseños de mezcla de concreto de acuerdo con la invención contienen por lo menos 2 sistemas A de fibras y sistemas B de fibras que en combinación proporcionan las propiedades mecánicas objetivo. El sistema A de fibras contiene solamente fibras metálicas como se describe en la tabla 4:

5 Tabla 4: Características del sistema de fibra (alta resistencia estructural)

Geometría	Cable de extremo de gancho, lámina o alambre de hendidura recta, lámina o alambre de hendidura deformada, lámina o alambre de hendidura de extremo aplanado, viruta maquinada, extracto fundido
Modulo E [Gpa]	150-250
Límite de elasticidad YS [MPa]	1000-4000
Resistencia final [MPa]	1200-5000
Longitud [mm]	35-100
longitud/diámetro	30-120
recubrimiento	Zínc o sin recubrimiento
densidad [kg/m3]	6800-8000

El sistema A de Fibras se puede preparar con diferentes tipos de fibras metálicas que corresponden a las características indicadas en la Tabla 4.

10 El sistema B de fibras contiene fibras de alta resistencia que son más cortas que las fibras de las fibras del sistema A y se describe en la tabla 5.

Tabla 5: Características del sistema B de fibras para fibras de tipo mono o múlti-filamentos (alta resistencia, estructural)

	Vidrio	Aramida	Carbono	Basalto	Acero
Modulo E [Gpa]	40-100	40-200	100-400	50-500	150-220
Resistencia final (US) [MPa] en tensión	900 -1800	3500 - 4500	1000 -7000	2000 - 6000	1300 – 5000
Resistencia a la rotura (YS) [MPa] en tensión	na	3000-4000	na	na	1200-4000
longitud [mm]	5-60	5-60	0.1-30	5-100	5-35
longitud/diámetro	10-300	30-150	10-1000	10-10000	30-120
recubrimiento	sin recubrimiento	sin recubrimiento	sin recubrimiento	sin recubrimiento	Zinc o sin recubrimiento
densidad [kg/m3]	2000-4000	1200-1600	800-2500	1500-4000	6800-8000

El sistema B de fibras puede ser hecho de fibras de acero, fibras de vidrio, Poliaramida, fibras de carbono y/o fibras de basalto o cualquier combinación de las mismas.

5 La geometría de la fibra no metálica normalmente es recta mientras que las fibras metálicas en el sistema B pueden ser de cable de extremo de gancho, recto, lámina de hendidura recta o cable, cable o lámina de hendidura deformada, cable o lámina de hendidura de extremo aplanado, viruta mecanizada, extracto fundido, o recto, etcétera. Las fibras metálicas pueden ser hechas de metales amorfos.

10 Las fibras en el sistema A se utilizan para puentear macro grietas y proporcionan ductilidad mediante extracción mientras que las fibras tipo B tienen principalmente la función de puentear micro grietas y retardar la propagación de micro grietas con dispersión de energía y extracción y micro agrietamiento adicional.

15 Preferiblemente, las fibras en el sistema A son enganchadas, con una resistencia a la rotura por encima de 1000000 MPa, preferiblemente por encima de 1200 MPa e incluso más preferiblemente por encima de 1400 MPa.

La relación de longitud dividida por diámetro (mm/mm) se ubica normalmente entre 40 y 100, preferiblemente entre 45 y 95.

20 Preferiblemente, las fibras de acero en el sistema B son rectas o enganchadas con una resistencia a la rotura por encima de 1200 MPa, preferiblemente por encima de 1300 MPa e incluso más preferentemente por encima de 1500 MPa.

La relación de longitud dividida por diámetro (mm/mm) se ubica normalmente entre 50 y 95 preferiblemente entre 55 y 90.

Preferiblemente el sistema B de fibras puede contener fibras no metálicas tipo fibras de vidrio, con una resistencia final mínima de 900 MPa, más preferiblemente más de 1300 MPa e incluso más preferiblemente por encima de 1500 Mpa, y una longitud mínima de 5 mm. El sistema B de fibras **también** puede contener fibras de basalto, preferiblemente con una resistencia mínima de 2500 MPa y una longitud mínima de 12 mm. Las fibras de basalto y de vidrio utilizadas son rectas y **multifilamento**.

En otra realización preferida, el sistema B de fibras contiene al menos 2 tipos de fibras, una de ellas son fibras de acero de alto rendimiento. Preferiblemente, el contenido de fibras de acero de alto rendimiento en el sistema B de Fibra está situado entre 65% y 90% en volumen, mientras que las fibras restantes en el sistema B de Fibra pueden ser de vidrio o basalto o cualquier combinación de los mismos.

Alternativamente un tercer sistema C de fibras sintéticas se puede agregar a la mezcla de concreto de acuerdo con la invención, por ejemplo, fibras acrílicas, fibras de polietileno, fibras de polipropileno, fibras de poliéster para mejorar las propiedades como resistencia al fuego o encogimiento intrínseco. Alternativamente, se pueden utilizar fibras de celulosa en el sistema C de fibras.

Tabla 6 características del sistema C de fibras

	Acrílico	Nilón	Poliéster	Polietileno	Polipropileno
Modulo E [Gpa]	5-30	1-10	5-40	1 -1 5	1-15
Resistencia Final (US) [MPa]	150-1400	100-2000	500-1500	100-600	100-1100
longitud [mm]	1-100	1-100	1-100	1-100	1-100
longitud/diámetro	30-150	30-150	30-150	30-150	30-150
enmarañamiento	suelto	suelto	suelto	suelto	suelto
recubrimiento	sin recubrimiento	sin recubrimiento	sin recubrimiento	sin recubrimiento	sin recubrimiento
densidad [kg/m3]	10001400	10001400	1200-1500	800-1200	800-1200

El concreto se diseña para permitir alcanzar desempeños objetivo en términos de resistencia, ductilidad, módulo de elasticidad, propiedades reológicas y de ubicación, retención de funcionalidad, etcétera.

Las propiedades objetivo no se alcanzan al seleccionar el diseño de mezcla de fibras adecuado. La formulación de concreto también tiene una función importante y hace parte integral de la invención. Las propiedades mecánicas y ductilidad requeridas se obtienen de esta manera mediante un efecto combinado del diseño especial y la matriz de concreto del diseño de mezcla de fibras híbrido.

Normalmente, el concreto de acuerdo con la invención contiene los siguientes ingredientes por metro cúbico de concreto producido (tabla 7).

Tabla 7: Ingredientes de matriz de concreto sin sistemas de mezcla

	Unidad	Valor
Total aglutinante	kg/m ³	280-1000
Cemento (cualquier tipo)	% en masa de aglutinante total	40-100
Ceniza volante	% en masa de aglutinante total	0-50
Humo de Sílice	% en masa de aglutinante total	0-40
GGBS	% en masa de aglutinante total	0-40
Otros materiales pozzolánicos	% en masa de aglutinante total	0-40
Rellenos (cal, ...)	% en masa de aglutinante total	0-40
Polvo de derivación	% en masa de aglutinante total	0-40
Total agregados + arena	kg/m ³	1000-2000
Arena- 0/4 mm	% en volumen de agregados totales	20-100
Agregados - 4/8 mm o equivalente	% en volumen de agregados totales	0-80
Agregados > 7-8 mm, menos de 20 mm	% en volumen de agregados totales	0-50
Aglutinante agua/total en peso	kg/Kg	0.1-0.8
Aire	% en volumen de concreto	0.1-20
Volumen de pasta	litros	min 250
Volumen de sistema A de fibra	% en volumen de concreto	0.03 a 4
Volumen de sistema B de fibras		0.03 a 3
Volumen de sistema C de fibras		0 a 2
Sistemas de mezclas PCE	% en peso de contenido de sólido seco del aglutinante total	0.1 a 5

Sistema de mezcla de curado interno	% en peso de contenido de sólido seco del aglutinante total	0 a 3
-------------------------------------	---	-------

El cemento es normalmente CEM I, II y III, la ceniza volante es una ceniza volante convencional, la arena es arena redonda o triturada, normalmente 0-4 mm y los agregados ásperos o finos son redondos o triturados.

- 5 Todos los ingredientes del concreto final se mezclan utilizando mezcladores de concreto industriales convencionales. El tiempo de mezcla es convencional durante aproximadamente 30 segundos hasta algunos minutos.

- 10 Se preparan muestras de concreto de dimensiones 700 x 150 mm x 150 mm, se desmoldan en 24 horas y se curan durante 28 días a temperatura constante 22°C, humedad del aire (humedad relativa 95%) antes de prueba mecánica.

La máquina de prueba es una Máquina de Prueba Universal (UTM) se usó para realizar las pruebas de fractura por flexión un Zwick Roell Z250.

De acuerdo con la invención, la mezcla de concreto tiene los siguientes valores de propiedades mecánicas

- 15 $30 < f_c < 80$ MPa

$$3 < f_{fl} < 12 \text{ MPa}$$

$$3 < f_{R1} < 12 \text{ MPa}$$

$$2.5 < f_{R3} < 15 \text{ MPa}$$

- 20 con consistencias de S2 a SF3, con mezcla de concreto de la invención, que contiene preferiblemente un peso de aglutinante total que se ubica entre 370 y 800 Kg por m³ de concreto, agua hasta un total de aglutinante ubicado entre 0.2 y 0.6, más preferiblemente entre 0.3 y 0.55 , un volumen total de pasta que se ubica entre 300 y 600 litros, un contenido de peso total de arena + agregados finos + agregados ásperos de 1000-1900 Kg por m³ de concreto, la cantidad de arena representa 30-60% de la masa total de agregados ásperos + finos + arena.

- 25 Preferiblemente, la mezcla de concreto de la invención contiene:

- Sistema A de fibras de 0.3 a 1.2% en volumen de concreto

- Sistema B de fibras de 0.1 a 1.2% en volumen de concreto

- 30 Se puede utilizar opcionalmente un tercer sistema C de fibras opcional, mientras que el volumen de fibras en el sistema C de fibras varía de 0 a 1.2% en volumen de concreto. Más preferiblemente, la mezcla de concreto de la invención tiene las siguientes características:

$$30 < f_c < 80 \text{ MPa}$$

$$3.5 < f_{fl} < 11 \text{ MPa}$$

$$3.5 < f_{R1} < 11 \text{ MPa}$$

$3.4 < f_{R3} < 13 \text{ MPa}$

- Sistema A de fibras de 0.3 a 1% en volumen de concreto 0.3-1
- Sistema B de fibras de 0.2 a 0.9 % en volumen de concreto 0.2-0.9

La mezcla de concreto de la invención comprende opcionalmente:

- 5 - Sistema C de fibras de 0 a 0.08% en volumen de concreto

Las fibras en el sistema B contienen 100% de fibras metálicas en volumen o 100% de fibras no metálicas o una mezcla de fibras estructurales metálicas y no metálicas. Preferiblemente las fibras no metálicas son fibras de vidrio o fibras de basalto o cualquier mezcla de estas.

- 10 De acuerdo con otra realización de la invención, la mezcla de concreto de la invención contiene un sistema C de Fibras, un sistema A de fibras que es consistente de al menos 2 diferentes tipos de fibras metálicas y un sistema B de fibras que contiene cualquier mezcla o combinación de fibras metálicas de alta resistencia, orgánicas, basadas en vidrio, basadas en carbono o basadas en basalto.

Los 3 sistemas de mezcla I, II y III utilizados de acuerdo con la invención se caracterizan adelante:

- 15 Sistema I de mezcla: Superplastificante

Este sistema de mezcla es una combinación de por lo menos dos éteres de policarboxilato, con estructura homo-o polimérica, con base en unidades de repetición constitucional acrílicas, metacrílicas, maléicas o alílicas:

- 20 -Un reductor PCE de agua fuerte de peso molecular que varía de 20000 a 100000 g/mol, con densidad de injerto que varía de 10 y 35%, cadenas laterales etéreas que varían de 750 a 5000 g/mol, opcionalmente entrecruzadas con puentes alquílicos y etéreos de longitud de hasta 14 EO (unidades de óxido de etileno), PO (unidades de óxido de propileno), unidades de carbono, que contienen opcionalmente funciones eteroatómicas, tal como derivados orgánicos de sulfonato o fosfonato.

- 25 -Como PCE de retención de funcionabilidad, de peso molecular que varía de 20000 a 100000 g/mol, con densidad de injerto que varía de 10 a 60%, las cadenas laterales etéreas varían de 750 a 5000 g/mol, opcionalmente entrecruzada con puentes etéreos y alquílicos de longitud de hasta 14 EO, PO, unidades de carbono, que contienen opcionalmente funciones eteroatómicas, tal como derivados orgánicos de sulfonato o fosfonato, opcionalmente llevan grupos protectores en residuos acrílicos, con base en alcoholes lineales o ramificados, metoxi alquilo, etoxi, grupos lineales de extremo romo propoxi o cadenas etéreas de hasta 5000 g/mol.
- 30

La dosificación del sistema I de mezcla varía normalmente de 0.05-5% de contenido de sólidos con base en peso de aglutinante total (cemento total + escoria o ceniza volante total + humo de sílice total) dependiendo de las propiedades de colocación de concreto dirigidas.

- 35 La relación en peso (contenido de sólido seco) de PSE reductor de agua fuerte y PCE de retención de funcionabilidad se ubica normalmente entre 20:80 y 60:40 dependiendo de la aplicación objetivo.

Sistema II de mezcla: estabilización

El estabilizador es un sólido, una solución acuosa, emulsión o dispersión de compuestos tal como:

-Celulosa modificada, tal como carboximetilcelulosa, hidroxietil celulosa, hidroxipropil metil celulosa.

-Almidón modificado y natural, preferiblemente ramificado.

-Gomas naturales tales como goma xantano.

-Sílice fino, tal como sílice coloidal,

5 o cualquier combinación de los mismos.

La dosificación del sistema B de mezcla se ubica normalmente entre 0.05-2.5% de contenido de sólidos con base en peso de aglutinante (cemento total + escoria o ceniza volante total + humo de sílice total), dependiendo del riesgo de segregación relacionado con las fibras y la retención de funcionalidad objetivo.

10 Sistema III de mezclas: curado interno

El agente de curado interno: un sólido, pasta, una solución acuosa, emulsión o dispersión de compuestos tal como:

-Microfibras de celulosa

-Ceras sintéticas o naturales

15 -Polímeros súper absorbentes, tal como almidón modificado o polímeros entrecruzados de acrilato.

-Hexilen glicol (2-metil-2, 4-pentanediol)

La dosificación total del sistema I y sistema II de mezcla no pueden exceder sin embargo el valor del 5% en peso de aglutinante total.

20 La dosificación típica del sistema III de mezcla varía de 0.05 a 6% de contenido de sólidos con base en el peso de aglutinante dependiendo de las condiciones (tamaño, temperatura, humedad relativa del aire, etcétera).

25 Alternativamente, la mezcla de concreto de la invención puede tener una sustitución parcial o total de la arena y agregados con arena y agregados ligeros (lutitas expandidas, arcilla expandida, vidrio expandido o piedra pómez, puzolanas naturales, etc.) - Esto permite obtener concretos reforzados con fibras estructurales livianas con densidades por debajo de 1800 kg/m³, preferiblemente por debajo de 1600 Kg/m³ o incluso más preferiblemente por debajo de 1400 kg/m³.

30 La mezcla de concreto de la invención puede contener aceleradores de desarrollo de resistencia, para alcanzar una resistencia de 4-6 MPa después de un par de horas. Esto es importante para el tratamiento posterior de las losas (acabado de helicóptero por ejemplo) que puede ser hecho un par de horas después de fundir la losa, ahorrando de esta manera tiempo y mejorando la eficiencia.

La mezcla de concreto de la invención también puede incluir un agente retardante, por ejemplo, y estructuras modificadas de azúcar, vinazas, molasas, o agentes quelantes, etcétera.

35 La mezcla de concreto de la invención puede utilizar un atrapador de aire (de tipo surfactantes, jabones o compuestos hidrófobos) para asegurar un volumen de aire atrapado de 2% a 15% en volumen del concreto final para resistencia de congelamiento-descongelamiento o resistencia al fuego dependiendo de la aplicación.

El sistema de mezcla general, que consiste de 3 sistemas I, II y III de mezcla no sólo permiten obtener funcionalidad controlada sobre varias clases (S1 a SF3), también permite dispersar perfectamente la mayor cantidad de fibras en el sistema A y B de fibras (y opcionalmente en el sistema C de fibras) que proporcionan una estabilidad muy buena de las fibras en la matriz de concreto, evitando la segregación de las fibras o el sangrado de las fibras no metálicas gracias a condiciones de mezcla optimizadas. Esto explica porqué la mezcla de concreto de la invención se puede producir utilizando técnicas de mezclado de concreto convencionales.

Existen muchas ventajas asociadas con los concretos de acuerdo con la invención, como se verá a partir de los ejemplos adelante.

- 10 La primera ventaja es que la combinación de los diseños de mezcla de concreto, diseños de mezcla de fibra (sistemas A, B y, opcionalmente C de fibra) y sistemas de mezcla (I, II, y III) permite superar todos los problemas de la técnica anterior y proporcionar un amplio rango de consistencias, que se pueden manejar y controlar mediante 3 sistemas I, II y III de mezcla. Adicionalmente, la invención proporciona mezclas de concreto que tienen alto volumen de pasta que puede alcanzar muy alto encogimiento reduciendo y permitiendo moldear losas muy grandes de hasta 3000 m² sin la aparición de grietas debido a la ductilidad y resistencia elevada sin tener que utilizar fibras sintéticas que estén debilitando la resistencia de la matriz y limitan las aplicaciones. El uso combinado del sistema B de fibras de alta resistencia y los sistemas de mezcla proporcionan una combinación óptima de reducción de encogimiento y desempeño mecánico (resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y ductilidad).

- 20 Una ventaja adicional de la invención es que las propiedades de la pasta de concreto, como resultado de la combinación del contenido de pasta y los sistemas de mezcla, permiten utilizar fibras metálicas cortas (menos de 40 mm) y/o altas dosificaciones de fibras metálicas. (más de 70 Kg/m³ de concreto hasta 165 kg/m³ de concreto) sin riesgos de segregación sin impactar la consistencia deseada del concreto final o la retención de la capacidad funcionalidad.

La mezcla de concreto de la invención no requiere acciones de curado no efectivas de alto coste y que consumen tiempo, debido a la presencia cuando se necesita del sistema III de mezcla, que permite el autocurado.

- 30 La mezcla de concreto de la invención aplica un amplio rango de elementos de construcción, como losas de hasta 3000 m² sin uniones y sin grietas de encogimiento, pisos, aplicaciones sísmicas, Estructuras de Concreto Aisladas para paredes verticales, segmentos de puente, industria de prefabricados- segmentos de revestimiento de túneles, rehabilitación estructural, etcétera.

La reología controlada de la mezcla de concreto de la invención permite construir losas planas o losas con una pendiente diseñada.

- 35 La mezcla de concreto de la invención tiene aplicaciones en losas delgadas grandes sin uniones, pisos y niveles, elementos de puente, vigas de concreto, concreto para resistencia a los impactos, aplicaciones sísmicas, etcétera. La mezcla de concreto de la invención no requiere ningún proceso de mezcla particular o secuencias que se puedan obtener en cualquier planta de lotes de concreto en seco o en húmedo.

- 40 Una característica adicional de la mezcla de concreto de la invención es que proporciona consistencia de hasta clases de consistencia de autonivelación y autocolocación SF3 en una forma controlada a través de un sistema de mezclas general sofisticado y no requieren ninguna protección de curado específica (pulverización de agua, recubrimiento de superficie, etcétera).

- La mezcla de concreto de la invención tiene altos tiempos de abertura o retención de funcionabilidad (periodo de tiempo a partir del mezclado inicial de los ingredientes durante el cual la funcionabilidad expresada por las clases de consistencia de los concreto S1 - S5 y SF1 - SF3 para concretos de autocolocación) de los concretos no cambia y permanece en la misma clase de consistencia. La combinación del diseño de mezcla de concreto, el diseño de mezcla de fibras y el sistema de mezcla juntos permiten alcanzar propiedades y mejoras objetivo.

Definiciones

- 10 Aglutinante hidráulico Material con propiedades de cemento que se fija y endurece debido a hidratación incluso bajo el agua. Los aglutinantes hidráulicos hidratos de silicato de calcio también conocidos como CSH.
- Cemento Aglutinante que se fija y endurece y agrupa materiales. El cemento más común es el cemento Portland ordinario (OPC) y una serie de Cementos Portland, mezclado con otros materiales cementosos.
- 15 Cemento Portland ordinario Cemento hidráulico hecho de clínker con yeso. El cemento Portland contiene fases de silicato de calcio, aluminato de calcio y ferroaluminato de calcio. Estas fases minerales reaccionan con agua para producir resistencia.
- Adición Mineral la mezcla mineral (que incluye los siguientes polvos: humos de sílice, cenizas volantes, escorias) agregados al concreto mejoran las propiedades frescas, desarrollo de resistencia a la compresión y durabilidad mejorada.
- 20 Humo de silicato. la fuente de silicio amorfo obtenida como un subproducto de la producción de aleación de ferrosilicio y silicio. También conocido como microsílico.
- Aglutinante total es la suma de todos los componentes cementosos (cemento, arcilla volante, escoria, humo de sílice, etcétera).
- 25 Volumen de pasta es el volumen total de cemento, + ceniza volante + escoria + humo de sílice + agua + aire atrapado.
- Fibras Material utilizado para aumentar el desempeño estructural de concreto. Las fibras incluyen: fibras de acero, fibras de vidrio, fibras sintéticas y fibras naturales.
- 30 Subproducto de silicato de Aluminio (ceniza volante-cenizas de fondo) componentes aglutinantes reactivos álcali que junto con el activador forman la pasta cementosa. Estos minerales ricos tanto en alúmina como en sílice, tienen estructura cristalina y amorfa.
- Pozzolan natural Material de Aluminosilicato de origen volcánico que reacciona con el hidróxido de calcio para producir hidratos de silicato de calcio o CSH como hidratación del cemento Portland.
- 35 Relleno inerte Un material que no altera las propiedades físicas del concreto, pero no tiene lugar en la reacción de hidratación.
- Mezcla de materia bruta Componente químico en un sistema de formulación de mezcla de un polímero químico principal.
- Mezcla mezclas químicas utilizadas para modificar o mejorar las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido. Estos pueden ser atrapadores de aire, reductores de

agua, retardantes de fraguado, aceleradores, estabilizantes, superplastificantes y otros.

Aire atrapado Volumen total de aire atrapado en el concreto mediante el atrapador de aire.

- 5 PCE y copolímeros de ácido policarboxílico utilizados como una clase de mezclas de cemento y concreto, y son combinaciones de tipo polímeros que se basan en: una estructura de polímero hecha de monómeros acrílicos, metacrílicos, ácido maleico y monómeros relacionados, que se injertan con cadenas laterales de polioxialquilenos tal como EO y/o PO. El injerto puede ser, pero no se limita a, éster, éter, amida o imida.
- 10 Dispersante Inicial el dispersante inicial es una mezcla química utilizada en composiciones de cemento hidráulico tal como concreto de cemento Portland, parte de la familia de plastificante y superplastificante, que permiten buena dispersión de partículas de cemento durante la etapa de hidratación inicial.
- 15 Superplastificantes los superplastificantes se relacionan con una clase de mezcla química utilizada en composiciones de cemento hidráulico tal como concreto de cemento Portland que tiene la capacidad de reducir en gran medida la demanda de agua mientras mantiene una buena dispersión de las partículas de cemento. En particular, los superplastificantes evitan la agregación de las partículas y mejoran las propiedades reológicas y funcionabilidad del cemento y concreto en las diferentes etapas de reacción de hidratación.
- 20 Concreto el concreto es principalmente una combinación de aglutinante hidráulico, arena, agregados finos y/o ásperos, agua. La mezcla también se puede agregar para proporcionar propiedades específicas tal como flujo, menor contenido de agua, aceleración.
- 25 Materiales de construcción que se pueden verter un material se considera vertible tan pronto como su fluidez (con o sin vibración) permite llenar completamente una estructura de trabajo o ser colocado en una superficie definida.
- 30 Materiales de construcción Cualesquiera materiales que se pueden utilizar para construir una estructura o elemento de construcción. incluye concreto, mampostería (bloques - ladrillos), piedra, ICF...
- Aplicaciones estructurales un material de construcción se considera como estructural tan pronto como la resistencia a la compresión de del material es mayor de 25MPa.
- Funcionabilidad La funcionabilidad de un material se mide con la prueba de hundimiento (tabla 1: hundimiento).
- 35 Retención de funcionabilidad es la capacidad de una mezcla para mantener su funcionabilidad durante el tiempo. El tiempo total requerido depende de la aplicación y el transporte.
- Mezcla interna de curado Agente que retiene el agua y libera al comedor internamente en una mezcla retardada para compensar el agotamiento del agua debido al secado.
- 40 Resistencia El tiempo de ajuste comienza cuando el material de construcción cambia de desarrollo de plástico a rígido. En la etapa rígida, el material ya no puede verse ni

moverse ni ya no se endurece. Después de esta fase, el desarrollo de la resistencia correspondiente al endurecimiento del material

Agregados ásperas minerales fabricados, naturales o reciclados con un tamaño de partícula mayor de 6mm y un tamaño inferior máximo de 32mm.

- 5 Agregados finos minerales fabricados, naturales o reciclados con un tamaño de partícula normalmente mayor de 3mm con un tamaño inferior máximo de 10 mm.

Agregados de arena minerales manufacturados, naturales o reciclados con un tamaño de partícula menor de 3 o 4 mm

- 10 Ductilidad es la capacidad de concreto para deformarse en una forma no elástica, conservando resistencias expresadas mediante resistencia residual en un determinado desplazamiento (CMOD) de acuerdo con la norma EN 14651

Límite de elasticidad (YS) es la resistencia medida en tracción o tensión a partir de la cual la ley constitutiva entre el alargamiento y la tensión aplicada no es más lineal

- 15 Resistencia a la flexión es la resistencia medida en pruebas de unión de 3 puntos (muestras prismáticas en ranuras 500 x 150 mm x 150 mm) de acuerdo con la norma EN 14651

Resistencia a la Rotura (US) resistencia a la rotura de las fibras antes de ruptura en tracción

w/b masa de agua libre total (w) en Kg dividido por la masa del aglutinante total en Kg

Breve descripción de las figuras

- 20 Figura 1. Resultados de prueba a la flexión que muestran abertura de boca de grieta (CMOD) contra resistencia de acuerdo con EN 14651. Esta figura muestra los valores ffl, fR1 y fR3.

Ejemplos de la invención

Diversos ejemplos de diseños de mezcla y resultados correspondientes se presentan aquí de acuerdo con la invención

- 25 Ejemplo 1

Material	Unidad	Cantidad
Contenido de aglutinante total	kg/m3	390
CEM II 32.5 N A-LL	kg/m3	390
w/b eff	-	0.4
Sistema I de mezcla	% de contenido de aglutinante total	0.80%
Sistema II de mezcla	% de contenido de aglutinante total	0.30%
Arena 0/4 redonda	kg/m3	736
Agregados finos de grava 4/8 redonda	kg/m3	461

Agregados gruesos de grava 8/16 redonda	kg/m3	646
tipo A de Fibra - l/d=65-l=60mm, US= 1350 Mpa, YS= 1200 MPa en gancho	%en volumen	1.00%
Tipo B de fibra- acero l/d =60-l=16 mm, US=2350 MPa , YS= 2100 Mpa recta	% en volumen	0.20%
Aire atrapado	l/m3	25
Volumen de pasta	l/m3	308,87

Resultados

	Unidad	Valor
Clase de hendidura	-	S3
Flujo de Hendidura	mm	145
retención de funcionabilidad	min	80

fc	MPa	32
ffl	MPa	4.1
fr1	MPa	3.6
fr3	MPa	3.9
Módulo E	Gpa	27.9

Este ejemplo con un bajo volumen de pasta permite lograr la clase de hundimiento SF2 (o consistencia). En este ejemplo, solo se usan fibras de acero en el sistema B de fibra.

Ejemplo 2

Material	Unidad	Cantidad
Contenido de aglutinan total	kq/m3	430
CEM I 42.5 N	kg/m3	300
Ceniza volante	kg/m3	130
w/b eff	-	0.55
Sistema I de mezcla	% de contenido total de aglutinante	0.10%
Sistema II de mezcla	% de contenido total de aglutinante	0.20%
Arena 0/4 triturada	kg/m3	735

Agregados finos de grava 4/8 redonda	kg/m3	327
Agregados gruesos de grava 8/11 triturada	kg/m3	573
Tipo A de fibra - l/d =50-l=55mm, US=1780 Mpa, YS=1530 MPa, en gancho	% en volumen	0.75%
Tipo B de fibra - l/d =57-l=12mm, US=1650 Mpa, recta	% en volumen	0.30%
Aire atrapado	l/m3	20
Volumen de pasta	l/m3	385.90

Resultados

	Unidad	Valor
Clase de hendidura	-	S4
hendidura	mm	165
Retención de funcionabilidad	min	85
fc	MPa	35.2
ffl	MPa	3.9
fr1	MPa	3.3
fr3	MPa	3.6
Módulo E	Gpa	27.2

Este otro ejemplo usa solo fibras metálicas en el sistema B de fibra.

Ejemplo 3

Material	Unidad	Calidad
Contenido de aglutinan total	kg/m3	510
CEM 42.5 R/A-P	kg/m3	330
Ceniza volante	kg/m3	130
Humo de sílice	kg/m3	50
w/b eff	-	0.45
Sistema I de mezcla	% de contenido total de aglutinante	1.30%
Sistema II de mezcla	% de contenido total de aglutinante	1.30%

Sistema III de mezcla	% de contenido total de aglutinante	2.80%
retardante de gluconato	% de contenido total de aglutinante	0.20%
Arena 0/2 redonda	kg/m3	311
Arena 0/4 redonda		543
Agregados finos de grava 4/7 Triturada	kg/m3	389
Agregados gruesos de grava 6/12 triturada	kg/m3	311
Tipo A de fibra- l/d=80-l=44mm, US=2540 MPa, YS= 2350 MPa, en gancho	%volumen	0.35%
Tipo A de fibra – l/d=90-l=50 mm, US= 3020 Mpa, YS= 2860 Mpa, en gancho	%volumen	0.25%
Tipo B de fibra – acero – l/d= 60-l= 6 mm, US=2130 Mpa, YS= 1810 Mpa, recta	%volumen	0.20%
Aire atrapado	l/m3	12
Volumen de pasta	l/m3	423.16

Clase de hendidura	-	SF3
Flujo de Hendidura	mm	810
Retención de funcionabilidad	min	120

Resultados	Unidad	Valor
fe	MPa	57.9
ffl	MPa	6.8
fr1	MPa	8
fr3	MPa	7.8
Módulo E	Gpa	30.7

- 5 Este ejemplo muestra una alternativa de acuerdo con las invenciones con 2 tipos diferentes de fibras metálicas utilizadas en el sistema A de fibras y solo fibras de acero en el sistema B de fibras.

Ejemplo 4

Material	Unidad	Cantidad
Contenido de aglutinante total	kg/m3	520

CEM III/A 42.5N	kg/m3	400
Relleno de piedra caliza	kg/m3	120
w/b eff	-	0.4
Sistema I de mezcla	% de contenido de aglutinante total	0.80%
Sistema II de mezcla	% de contenido de aglutinante total	0.48%
Sistema III de mezcla	% de contenido de aglutinante total	5.10%
Arena 0/4 redonda	kg/m3	1021
Agregados finos de grava 4/9 Triturada	kg/m3	682
Tipo A de fibra- l/d=50-l=50mm, US=1250 MPa , YS=1080 MPa , recta	% de volumen	0.35%
Tipo B de fibra – Basalto – l/d= 1100-l=12 mm, US=3500 Mpa, recta		0.35%
Aire atrapado	l/m3	34
Volumen de pasta	l/m3	417.59

Resultados	Unidad	Valor
Clase de hendidura	-	S4
Hendidura	mm	175
Retención de funcionabilidad	min	60

fc	MPa	51.2
ffl	MPa	5.7
fr1	MPa	5.1
fr3	MPa	4.7
Modulo E	Gpa	34.9

Este ejemplo utiliza solo fibras minerales (basalto) en el sistema B de Fibras

5 Ejemplo 5

Material	Unidad	Cantidad
Contenido de aglutinante total	kg/m3	650
CEM I 42.5 N	kg/m3	400
Humo de sílice	kg/m3	70
GGBS	kg/m3	180
w/b eff	-	0.38

Sistema I de mezcla	% de contenido de aglutinante total	3.70%
Sistema II de mezcla	% de contenido de aglutinante total	1.80%
Sistema III de mezcla	% de contenido de aglutinante total	0.70%
Arena 0/1 Redonda	kg/m3	308
Arena 0/4 Redonda	kg/m3	228
Agregados finos de grava 2/6 redonda	kg/m3	403
Agregados gruesos de grava 4/13 redonda	kg/m3	403
Tipo de fibra A, l/d=92-l=60 mm, US=2470 Mpa, YS= 2250 Mpa, en gancho	% de volumen	0.70%
Tipo B de fibra- Acero – l/d= 60-l= 30 mm, US=2850 Mpa, YS= 2650 en gancho,	% de volumen	0.25%
Tipo B de fibra- Aramida - l/d=100-l= 18 mm, US= 4500 Mpa, recta	% de volumen	0.10%
Aire atrapado	l/m3	17
Volumen de pasta	l/m3	484.66

Resultados	Unidad	Valor
Clase de hendidura	-	SF1
Hendidura	mm	600
Retención de funcionabilidad	min	120

fc	MPa	78
ffl	MPa	11.4
fr1	MPa	11.6
fr3	MPa	14.3
Modulo E	Gpa	41.2

- 5 Ejemplo de concreto de muy alta ductilidad, con 2 tipos de fibras de alta resistencia en el sistema B de fibras (acero y aramida).

Ejemplo 6

Material	Unidad	Cantidad
----------	--------	----------

Contenido de aglutinante total	kg/m3	500
CEM II/A-T 42.5N	kg/m3	300
Ceniza Volante	kg/m3	200
w/b eff	-	0.49
Sistema I de mezcla	% de contenido de aglutinante total	0.90%
Sistema II de mezcla	% de contenido de aglutinante total	0.20%
Sistema III de mezcla	% de contenido de aglutinante total	2.50%
Acelerador – Formiato de calcio	% de contenido de aglutinante total	2.00
Arena 0/4 redonda	kg/m3	703
Grava gruesa y fina 4/12 redonda		861
Tipo A de fibra – l/d=50-l=50 mm, U= 1220 Mpa, YS= 1070 Mpa, en gancho	% de volumen	0.50%
Tipo B de fibra – Acero – l/d=80-l= 30 mm, US=3020 Mpa, YS 2810= Mpa en gancho	% de volumen	0.25%
Tipo B de fibra – Vidrio – l/d= 80-l= 30 mm, US= 3020 Mpa	% de volumen	0.10%
Aire atrapado	l/m3	24
Volumen de pasta	l/m3	447.57143

Resultados	Unidad	Volumen
Clase de hendidura	-	S5
Hendidura	mm	220
Retención de funcionabilidad	min	45

fc	MPa	46
ffl	MPa	4.9
fr1	MPa	5.4
fr3	MPa	5.7
Modulo E	Gpa	28.5

Ejemplo de acuerdo con la invención en el que el sistema B de fibras contiene fibras de alta resistencia tanto metálicas como de vidrio y un acelerador de resistencia que utiliza formiato de calcio en el sistema de mezclas.

Ejemplo 7

Material	Unidad	Cantidad
Contenido de aglutinante total	kg/m3	430
CEM II 32.5 B-LL	kg/m3	280
Ceniza Volante	kg/m3	150
w/b eff	-	0.58
Sistema I de mezcla	%Contenido de aglutinante total	1.70%
Sistema II de mezcla	%Contenido de aglutinante total	0.60%
Arena 0/3 redonda	kg/m3	725
Agregados finos de grava 3/10 redonda	kg/m3	403
Agregados gruesos de grava 10/20 redonda	kg/m3	484
Tipo A de fibra- $l/d=65-l=55$ mm, US= 1570 Mpa, YS= 1380 Mpa, en gancho,	% de volumen	0.30%
Tipo B de fibra – Acero – $l/d=55-l=18$ mm, US= 2360 Mpa, YS= 2130 Mpa, recta	% de volumen	0.20%
Tipo C de fibra- Polipropileno - $l/d=80-l=50$ mm, US= 570 Mpa, recta	% de volumen	0.28%
Aire atrapado	l/m3	26
Volumen de pasta	l/m3	431.23

5

Resultados	Unidad	Valor
Clase de hendidura	-	SF2
Hendidura	mm	710
Retención de funcionabilidad	min	90

fc	MPa	34.9
ffl	MPa	3.5
fr1	MPa	3.1
fr3	MPa	4.7
Modulo E	Gpa	25.7

Este diseño de mezcla de acuerdo con la invención incluye el sistema C de fibra con fibras sintéticas de baja resistencia (polipropileno) específicamente diseñado para aplicaciones de resistencia al fuego.

Ejemplo 8

Material	Unidad	Cantidad
Contenido de aglutinante total	kg/m3	390
CEM II 32.5 B-LL	kg/m3	390
w/b eff	-	0.4
Sistema I de mezcla	%Contenido de aglutinante total	0.80%
Sistema II de mezcla	%Contenido de aglutinante total	0.30%
Arena 0/4 redonda	kg/m3	736
Grava 4/8redonda	kg/m3	461
Grava 4/16 redonda	kg/m3	646
Tipo A de fibra- l/d=85-l= 50 mm, YS= 670 Mpa, US= 755 Mpa, recta	% de volumen	0.50%
Tipo B de fibra – Acero – l/d= 60-l= 20 mm, YS= 2740 Mpa, US= 3020 Mpa, en gancho	% de volumen	0.25%
Tipo B de fibra- Vidrio - l/d=57-l= 12 mm, US= 2750 Mpa, recta	% de volumen	0.05%
Aire atrapado	l/m3	32
Volumen de pasta	l/m3	311.81
Clase de hendidura	-	S3
Hendidura	mm	120
Retención de funcionabilidad	min	80
fc	MPa	31.2
ffl	MPa	3.5
fr1	MPa	2.1
fr3	MPa	1.4
Modulo E	Gpa	26.7

5

Este ejemplo muestra que los requisitos de ductilidad y resistencia mecánica no se logran ya que las fibras en el sistema de fibras A tienen una resistencia (YS y US) que no se corresponde con la invención.

Ejemplo 9:

Material	Unidad	Cantidad
Contenido de aglutinante total	kg/m3	390

CEM II 32.5 A-LL	kg/m ³	390
w/b eff	-	0.4
Sistema I de mezcla	%Contenido de aglutinante total	0.80%
Sistema II de mezcla	%Contenido de aglutinante total	0.30%
Arena 0/4 redonda	kg/m ³	736
Grava 4/8redonda	kg/m ³	461
Grava 4/16 redonda	kg/m ³	646
Tipo A de fibra-l/d=85-l= 50 mm, YS= 1680 Mpa, US= 1845 Mpa, en gancho	% de volumen	0.40%
Aire atrapado	l/m ³	32
Volumen de pasta	l/m ³	311.81
Clase de hendidura	-	S4
Hendidura	mm	170
Retención de funcionabilidad	min	80
fc	MPa	31.2
ffl	MPa	3.8
fr1	MPa	1.4
fr3	MPa	0.8
Modulo E	Gpa	27.3

El Ejemplo 9 muestra que un diseño típico de mezcla de concreto que contiene solo fibras del sistema A (aunque con una alta resistencia) es una referencia en el mercado. El ejemplo demuestra la necesidad de que el sistema de fibras B alcance el nivel de ductilidad de acuerdo con la invención.

- 5 Está claro que la invención no se limita a los ejemplos proporcionados y que la selección de los diversos ingredientes depende de la aplicación final, la colocación y las propiedades de orientación mecánica y el coste del diseño de la mezcla.