

PROCESO DE PRODUCCIÓN SIN FORMA PARA COLOCAR UN MATERIAL
DE CONSTRUCCIÓN DE MANERA CONTINUA

DESCRIPCIÓN

5

Campo técnico de la invención

La presente invención se relaciona con un nuevo proceso de producción sin forma para permitir colocar un material de construcción mediante extrusión o impresión
10 3D de manera continua o semicontinua.

Estado de la técnica

Tradicionalmente, los materiales de construcción como el concreto se colocan o vierten usando material
15 fluido que se vierte en una forma, ya sea in situ en los sitios de trabajo, o en operaciones de prefabricación. El concreto se mantiene después en la forma hasta lograr cierto nivel de resistencia (entre algunas horas y 14 días dependiendo de los diseños de mezcla de concreto y
20 sistemas de mezclas). Después se retira la forma, y el concreto continúa curándose y endureciéndose.

Los requisitos industriales modernos en términos de productividad, producción continua, o reducción de los costos de manipulación están provocando un cambio en la
25 forma en que los materiales de construcción (p. ej., concreto o similar) se colocan en el sitio de trabajo.

Tal es típicamente el caso para la extrusión de concreto, la impresión 3D o lo similar, que permiten colocar el concreto sin usar una forma, evitando la inmovilización de formas o marcos costosos. Esta nueva tendencia industrial requiere sin embargo un control mucho más sofisticado de la reología del concreto en diferentes momentos de la cadena productiva (mezclar el concreto, transportar el concreto, añadir el concreto a la línea de producción continua, extrudir el concreto a través de una matriz), para finalmente obtener una forma de concreto fresco que sostendrá su propio peso o el peso de capas adicionales en el caso de la impresión 3D sin cambios dimensionales con el tiempo (p. ej., colapsar) y desarrollar rápidamente resistencia.

La velocidad de producción, expresada como metros lineales de concreto extrudido colocados por hora, de volumen extrudido por hora, es un factor crítico para la eficiencia económica del proceso de colocación. Existe un número importante de patentes y solicitudes de patente relacionadas con el tema.

US 5123831, por ejemplo, describe un dispositivo de extrusión de concreto para la fabricación de concreto de partes de formas huecas. Sin embargo la patente no proporciona ninguna información sobre los diseños de mezcla del concreto o la tecnología usada para asegurar autosostenibilidad mecánica del material una vez que sale

de la matriz. El concreto usado es un concreto de asentamiento cero que permanece en constante fluidez/viscosidad a través de toda la máquina de extrusión.

5 The RILEM (A. Perrot et al., RILEM Technical Letters (2018) 3: 91-97) publicó una revisión sobre diversas tecnologías que abordan la extrusión de concreto y cita el uso de agentes modificadores de la reología sin detalles sobre la dosificación, el tipo de productos
10 químicos o detalles sobre los diseños de mezclas de concreto.

 EP3626420B1 describe un sistema para producir partes usando concreto proyectado, pero no proporciona detalles sobre los diseños de mezcla de concreto.

15 EP2954133B1 describe un aparato y método para el encofrado deslizante vertical de estructuras de concreto, usando un encofrado móvil para la producción continua de partes de concreto. El documento no proporciona ninguna información sobre el diseño de la mezcla o la rigidez del
20 concreto.

 EP3421201B1 describe una formulación cementosa y de mortero para extrusión o impresión 3D que contiene agentes de relleno minerales y adiciones de escoria encima de los ingredientes convencionales de concreto o
25 morteros (cemento, agua, arena). La patente se limita a los agregados de tamaño menor que 1 mm y usa una

combinación de PCE, modificadores de la viscosidad y agentes reductores de contracción. Además, EP3421201B1 describe una relación agua/cemento muy alta (más de 0,6) que limitará la resistencia máxima disponible del mortero
5 endurecido. Por último, EP3421201B1 proporciona una formulación de mortero constante en todo el sistema de extrusión, sin modificación de la reología durante el proceso de extrusión/impresión 3D.

WO2011066192A1 también describe una formulación
10 de mortero o concreto para extrusión, que contiene entre otras fibras de base orgánica (fibras de celulosa y fibras de alcohol polivinílico), uso de agentes modificadores de la reología y otras mezclas (aminas potenciadoras de la resistencia y otros reforzantes,
15 dispersantes, reductores de agua, superplastificantes, agentes aglutinantes de agua, modificadores de viscosidad, inhibidores de corrosión, pigmentos, agentes humectantes, polímeros solubles en agua, etc.). Como se indicó anteriormente, la composición del concreto y las
20 diversas mezclas permanecen constantes durante todo el proceso de extrusión. Esta tecnología tiene limitaciones importantes en términos de la resistencia final ya que todas las mezclas necesitan incluirse en el diseño de mezcla de concreto/mortero que se alimenta a la
25 extrusión. La tecnología sí permite fibras metálicas.

WO2019089771A1 describe similarmente un diseño de mezcla cementosa que contiene solo arena como agregados y fibras orgánicas.

EP3558679B1, el documento describe un método y
5 un dispositivo para la impresión 3D de concreto, pero no proporciona ningún ejemplo o detalle de diseños de mezcla de concreto.

Por último, EP3260258B1 describe una metodología para modificar la reología de la composición del mortero
10 durante el proceso de impresión 3D, mediante la adición al mortero de un agente modificador de reología en un mezclador estático ubicado muy antes de la boquilla de impresión. El agente modificador de la reología se selecciona de éter de almidón, éter de celulosas,
15 poliacrilamida soluble en agua, caseína, y/o goma Welan. La patente solo proporciona ejemplos de diseños de mezcla que comprenden arena como agregados (no agregados mayores que 2 mm) y no menciona el posible uso de fibras (orgánicas, minerales o metálicas). La alta resistencia
20 solo puede obtenerse mediante el uso de cemento de resistencia súper alta (premezcla Ductal®) ya que la relación agua-aglutinante permanece bastante alta en los ejemplos (por encima de 0,45), o potenciadores de resistencia, aceleradores de fraguado, etc. También es
25 claro que el uso de agentes modificadores de la reología

tiene inconvenientes ya que la rigidez de los morteros que pueden obtenerse saliendo de la boquilla es limitada.

Como conclusión, la técnica anterior no describe ningún proceso de producción que describa el uso de una gran variedad de diseños de mezcla de concreto o mortero, que contengan opcionalmente fibras metálicas o presenten agregados mayores que 2 mm. Además, la técnica anterior no revela una tecnología resistente para transformar radicalmente un concreto fluido con una baja relación agua/aglutinante, en un concreto muy rígido una vez que sale de la boquilla de impresión o de la matriz de extrusión.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

15

El objetivo de la presente invención es proporcionar un proceso de producción general para colocar un amplio rango de materiales de construcción de cualquier forma, hueca o no, con resistencia endurecida (compresión de acuerdo con el documento EN 12390-3 o RILEM) que varía de 1 MPa a 150 MPa, con densidades de materiales que varían de 300 kg/m³ a 2400 kg/m³, con o sin refuerzo de fibras (por ejemplo, fibras de acero de 15 kg/m³ a 100 kg/m³ o cualquier otro tipo de fibras) sin usar marcos ni formas, usando extrusión o impresión 3D y asegurando una alta velocidad de producción mientras que

proporciona un cambio radical de las propiedades reológicas del material de construcción fluido/plástico entre el estado anterior a la matriz o boquilla de extrusión y el material que sale de la matriz/boquilla.

5 Por lo tanto, la invención consiste en o comprende un proceso de producción sin forma para material de construcción fresco que permita colocar dicho material de construcción mediante extrusión o impresión 3D de manera continua o semicontinua, como se describe en
10 la Figura 1.

Un objetivo de la presente invención es, por lo tanto, un proceso de producción sin forma para material de construcción fresco que contiene aglutinante hidráulico que comprende o que consiste en las siguientes
15 etapas:

A- Preparar un segundo material de construcción (CM2) a partir del siguiente diseño de mezcla de un primer material de construcción (CM1) en una mezcladora o planta de procesamiento por lotes de concreto o
20 mezcladora de concreto estacionaria o camión de concreto:

- Aglutinante (100 a 800 kg/m³ de CM1);
- Agua (50 a 350 kg/m³ de CM1);
- Arena (10 a 1500 kg/m³ de CM1);
- Agregados que tienen un tamaño de 4-16 mm,
25 preferentemente de 4-12 mm (0 a 1500 kg/m³ de CM1); y

un sistema de mezcla (ADMS1) que se
añade a CM1 para obtener el segundo
material de construcción (CM2),
en donde ADMS1 comprende al menos un
5 componente soluble en agua no iónico, de
alto peso molecular (ADMS1-CA), y se
dosifica en un rango entre 0,001 % en
peso y 2 % en peso de contenido de
aglutinantes.

10 B- Transportar CM2 obtenido en A- de la
mezcladora o planta de procesamiento por lotes de
concreto o mezcladora de concreto estacionaria o camión
de concreto a un dispositivo de extrusión, mientras se
añade un segundo sistema de mezcla (ADMS2) a CM2 para
15 obtener un tercer material de construcción (CM3) que se
mueve dentro del dispositivo de extrusión hacia la
boquilla/matriz, hacia arriba de la matriz o boquilla de
extrusión del dispositivo de extrusión pero a una
distancia se ubica entre 0,2 m y 4,0 m de la matriz o
20 boquilla de extrusión,
en donde ADMS2 comprende al menos un sistema polimerizado
que contiene un sistema conjugado o aromático, anillo
doble o múltiple que contiene grupos funcionales
solubilizantes (ADMS2-CA), y se dosifica en un rango de
25 0,01 % a 5 % de contenido de aglutinantes;

C- Extrudir CM3 obtenido en B- a través de la matriz o boquilla de extrusión.

D- Recuperar el material de construcción rígido (CM3S) después de la boquilla o cabezal de impresora, que
5 permita que la forma extrudida mantenga su forma o que la capa impresa soporte su propio peso sin cambios dimensionales.

Dicho material de construcción rígido CM3S puede someterse de por lo tanto endurecimiento/curado
10 convencional (entre 5 °C a 50 °C y con una humedad del aire entre 10 % a 95 %) mediante medios muy conocidos por el experto en la técnica, para lograr su resistencia final.

De acuerdo con una modalidad particular de la
15 presente invención, el primer material de construcción (CM1) es una mezcla seca de aglutinante, arena, y agregados a la que después se añade agua. Todos dichos componentes se mezclan en la mezcladora para producir el primer material de construcción (CM1) al que se añade
20 adicionalmente el primer sistema de mezcla ADMS1 que contiene opcionalmente aceleradores para obtener el segundo material de construcción (CM2).

De acuerdo con una modalidad particular de la presente invención, el material aglutinante se selecciona
25 de cemento Portland regular (CEM, CEM II CEM III CEM IV), o aglutinante libre de cemento que contiene escoria,

cenizas volantes, puzolanas naturales, arcilla activada, piedra caliza, vidrio o cualquier otro aluminosilicato, o cualquier combinación de estos (p. ej., véase la solicitud internacional WO2017122916).

5 De acuerdo con una modalidad particular de la presente invención, el componente soluble en agua no iónico de alto peso molecular, (ADMS1-CA) se selecciona de polietilenglicol (PEG) u óxido de polietileno (PEO), poliamina, o una mezcla de estos. Por ejemplo, el
10 polietilenglicol consiste en cadenas de éter dimetílico repetitivas con grupos terminados en hidroxilo, $\text{OH-CH}_2\text{-(CH}_2\text{-O-CH}_2\text{)}_n\text{-CH}_2\text{-OH}$, cuyo contenido de sólidos comprende entre 0,001 % en peso y 2 % en peso o 1 % en peso de contenido de aglutinante. Por ejemplo, la
15 poliamina es un copolímero de poliamina que puede tener un rango de peso molecular bajo a alto y una carga catiónica baja a alta cuyo contenido sólido comprende entre 0,001 % en peso y 2 % en peso de contenido de aglutinantes.

20 De acuerdo con una modalidad particular de la presente invención, el sistema de mezcla ADMS1 puede comprender además al menos una mezcla fuerte de reducción de agua a base de PCE (ADMS1-CB), para permitir un bajo contenido de agua/aglutinante y una construcción
25 endurecida de alta resistencia, mientras que mantiene una buena fluidez y capacidad de bombeo.

De acuerdo con una modalidad particular de la presente invención, la relación entre ADMS1-CB y ADMS1-CA en ADMS1 expresada en peso de contenido sólido seco se encuentra entre 0 y 1000.

5 De acuerdo con una modalidad particular de la presente invención, el material de construcción CM1 o CM2 puede comprender además al menos un componente entre: espuma, agregados livianos, fibras orgánicas, minerales y/o metálicas, o cualquier combinación de estas, agentes
10 de relleno, micro o nano silicatos, pigmentos, humos de sílice, vidrio activado, puzolanas, escoria granulada, cenizas volantes, arcilla activada, acelerador de ajuste, arrastrante de aire, reductor de contracción, activadores, sistemas de mezcla autocurables, etc.

15 De acuerdo con una modalidad particular de la presente invención, el reactivo de ADMS2-CA que comprende al menos un sistema polimerizado que puede ser químico que contiene un sistema conjugado o aromático, de anillo doble o múltiples ADMS2-CA (múltiples anillos igual a dos
20 o más anillos de cualquier tamaño) que contiene grupos funcionales solubilizantes seleccionados denaftaleno, antraceno, pireno, fenantreno, isoquinolina, criseno.

De acuerdo con una modalidad particular de la presente invención, el segundo sistema de mezcla (ADMS2)
25 puede contener componentes adicionales como aceleradores

de fraguado o endurecimiento (p. ej., nitrato de calcio, formato de calcio, cloruro de calcio).

De acuerdo con una modalidad particular de la presente invención, el primer sistema de mezcla ADMS1 se dosifica de manera que el asentamiento del material de construcción CM2 se ubica entre S3 y S5 de acuerdo con EN 206, o el flujo de asentamiento entre SF1 y SF3 de acuerdo con EN 206, o entre 200 mm y 700 mm de acuerdo con EN 12350-8.

De acuerdo con una modalidad particular de la presente invención, el segundo sistema de mezcla ADMS2 se dosifica al segundo material de construcción CM1 que contiene ADMS1 (CM2) en el rango de 0,01 % a 5 % de contenido de aglutinantes de manera que la relación ADMS1-CB a ADMS1-CA en ADM1S expresada en peso sólido seco % de contenido de aglutinantes se ubica entre 0 y 1000 y la relación entre ADMS1-CA en ADMS1 y el sistema polimerizado ADMS2-CA en ADMS2 expresado en peso sólido seco % de contenido de aglutinantes se ubica entre 0,001 y 1, para desencadenar una fuerte interacción entre ADMS1 y ADMS2 de manera que la reacción proporciona la mayor rigidez posible del material a CM3S. La dosificación de ADMS2-CA en ADMS2 permite ajustar la rigidez de CM1 dependiendo de los requerimientos y condiciones de operación.

Otro objetivo de la presente invención es, por lo tanto, el uso de CM3S para producir continuamente rieles, placas, barreras, varillas, barras, tubos huecos, tejas de techo o lo similar; o para depositar mediante
5 impresión 3D capas sucesivas para formar paredes, pilotes, pilares o lo similar.

El aumento importante del valor de la paleta de cizallamiento del rendimiento, o capacidad para mantener la forma después de la extrusión del material de
10 construcción después de añadir ADMS2 se debe a una fuerte interacción química entre ADMS1 y ADMS2. La reacción en la forma una polimerización produce una red conectada 3D que reduce inmediatamente la fluidez de la construcción mediante un efecto matriz y proporciona propiedad de
15 rigidez que permite que el material extrudido/impreso soporte su propio peso sin deformación, manteniendo dimensiones estables y geometrías de partes/capas provenientes de la boquilla/matriz

El efecto de rigidez es el resultado de las
20 interacciones electrostáticas ($\text{CH}-\pi$) entre el ADMS1 (p. ej., PEO/PEG) y ADMS2 (p. ej., anillo de naftaleno en el naftaleno sulfonato poli β) donde la densidad de electrones se desplaza del sistema π aromático a los protones de etileno del ADMS1. El alto peso molecular del
25 ADMS1 y la red polimérica del ADMS2 potencia la resistencia de unión y por lo tanto la formación de una

red supramolecular que da el aumento en el estrés de rendimiento y por lo tanto resulta en la reacción de rigidez observada.

La razón principal por la que se añade el componente ADMS2-CA (p. ej., naftaleno) en la etapa C- y el ADMS1-CA se añade en la etapa B-, se relaciona con la opción de modificar fuertemente la reología de CM1 usando ASDMS1-CB. El ADMS2-CA por sí solo no puede proporcionar una reducción eficiente del agua en CM1, y añadir ADMS1-CA junto con ADMS2-CA, resulta en una fuerte interacción entre los 2 componentes que afectaría muy negativamente la fluidez solicitada de CM2 que sería difícil bombear.

Definiciones

Acelerador	Para aumentar la velocidad de hidratación del cemento hidráulico, acortar el tiempo de fraguado y aumentar la velocidad de desarrollo temprano de resistencia. Permite que el material se acumule ya que resistiría la presión de las capas superiores.
Mezcla	Mezclas químicas usadas para modificar o mejorar las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido. Podrían ser arrastrantes de aire, reductores de agua, retardantes de fraguado, aceleradores, estabilizadores, superplastificantes y otros.
Arrastrante de aire	Volumen total de aire arrastrado en el concreto mediante el arrastrante de aire.
Agregados	Los agregados son materiales granulares inertes tales como arena, grava, o piedra triturada que, junto con el agua y el cemento Portland, son un ingrediente esencial en el concreto.
Relación de aspecto	La relación de longitud a ancho de las partes individuales de fibra.
Aglutinante	Material mineral con propiedades de endurecimiento, que incluye cementos o puzolanas o cualquier mezcla de los dos, GGBS, cenizas volantes, agentes de relleno de piedra caliza con microsilíce
Cemento	Aglutinante que fragua y endurece y une los materiales. El cemento más común es el cemento Portland regular (OPC) y una serie de cementos Portland mezclados con otros materiales cementosos.

Agregados gruesos	Minerales manufacturados, naturales o reciclados con un tamaño de partícula mayor que 4 mm y un tamaño máximo menor que 40 mm
Concreto	El concreto es principalmente una combinación de aglutinante hidráulico, arena, agregados finos y/o gruesos, agua. También puede añadirse mezcla para proporcionar propiedades específicas tales como fluidez, menor contenido de agua, aceleración...
Consistencia	Grado de humedad del concreto.
Materiales de construcción	Cualquier material que pueda usarse para construir elementos o estructuras de construcción. Incluye concreto, mampostería (bloques de ladrillos), piedra, ICF...
Fibra	Material usado para aumentar el rendimiento estructural del concreto. Las fibras incluyen: fibras de acero, fibras de vidrio, fibras sintéticas y fibras naturales.
Material de construcción fresco	Estado de un material de construcción (p. ej., concreto) desde el momento en que se añade agua hasta el momento en que comienza a fraguarse, tiene plasticidad que le permite moverse, deformarse y/o moldearse, aunque este no es un factor permanente.
Agregados finos o arena	Minerales manufacturados, naturales o reciclados con un tamaño de partícula típicamente mayor que 0- 4 mm y un tamaño máximo menor que 4 mm
Resistencia a la flexión	Es la resistencia medida en pruebas de flexión de 3 puntos (muestras prismáticas muescadas de 500 mm x 150 mm x 150 mm) de acuerdo con la norma EN 14651
Concreto de alta resistencia	La resistencia de este tipo de concreto es mayor que 41 Mpa.
Agregado de peso liviano	Cualquier agregado con una densidad a granel aparente seca de menos de 1200 kg/m ³ .
Resistencia mecánica	Resistencia mecánica de las fibras antes de la ruptura.
Adición de minerales	Aditivo mineral (que incluye los siguientes polvos: humos de sílice, cenizas volantes, escorias) añadido al concreto para potenciar propiedades frescas, desarrollo de resistencia a la compresión y mejorar la durabilidad.
Puzolana natural	Material aluminosilicato de origen volcánico que reacciona con hidróxido de calcio para producir hidratos de silicato de calcio o CSH, como se conoce en la hidratación del cemento Portland.
Concreto de resistencia normal	La resistencia de este tipo de concreto variará de 10 Mpa a 40 Mpa. El concreto de resistencia normal tiene un tiempo de fraguado inicial de 30 a 90 minutos que depende de las propiedades del cemento y de las condiciones climáticas del sitio de construcción.
Cemento Portland regular	Cemento hidráulico fabricado al moler clínker con yeso. El cemento Portland contiene silicato de calcio, aluminato de calcio y fases de ferroaluminato de calcio. Estas fases minerales reaccionan con el agua para producir resistencia.
PCE	Los PCE son copolímeros de ácido policarboxílico usados como una clase de mezclas de cemento y concreto, y son polímeros tipo peine que se basan en: una cadena principal polimérica hecha de acrílico, metacrílico, ácido maleico, y monómeros relacionados, que se injerta con polioxiálquilenos de cadena lateral

	tal como EO y/o PO. El injerto podría ser, pero no se limita a, éster, éter, amida o imida.
Humos de sílice	Fuente de silicio amorfo obtenido como subproducto de la producción de aleaciones de ferrosilicio y silicio. También conocido como microsilice.
Asentamiento	La consistencia del concreto fresco antes de que se fragüe, cuanto mayor es el asentamiento, más fluido es el concreto. Medido en mm.
Rigidez	Capacidad para mantener la forma después de la extrusión sin fluir ni colapsar. Se caracteriza por un valor de la paleta de cizallamiento o un asentamiento reducido, antes del tiempo de fraguado del concreto fresco. Un concreto rígido permanece blando y puede deformarse plásticamente siempre que la tensión sea lo suficientemente alta.
Desarrollo de resistencia - fraguado/endurecimiento	El tiempo de fraguado comienza cuando el material de construcción cambia de plástico a duro y fuerte. En la etapa dura, el material ya no puede verse o moverse más. Después de esta fase el desarrollo de la resistencia corresponde al endurecimiento del material
Aplicaciones estructurales	Un material de construcción se considera estructural tan pronto como la resistencia a la compresión del material es mayor que 25Mpa
Superplastificantes	Los superplastificantes se relacionan con una clase de mezcla química usada en composiciones de cemento hidráulico como el concreto de cemento Portland que tiene la capacidad de reducir en gran medida la demanda de agua manteniendo al mismo tiempo una buena dispersión de las partículas de cemento. En particular, los superplastificantes evitan la agregación de partículas y mejoran las propiedades reológicas y la maleabilidad del cemento y concreto en las diferentes etapas de la reacción de hidratación.
Aglutinante total	Es la suma de todos los componentes cementosos (cemento, ceniza volante, escoria, humos de sílice, etc.)
w/b	Masa total de agua libre (w) en kg dividida entre la masa aglutinante total en kg
Capacidad de funcionamiento	La capacidad de funcionamiento de un material se mide con una prueba de asentamiento (Tabla 1: asentamiento)
CM1	Material de construcción de acuerdo con la invención en la etapa A
CM2	Material de construcción de acuerdo con la invención en la etapa B, después de añadir ADMS1
CM3	Material de construcción de acuerdo con la invención en la etapa D, después de añadir ADMS2 a CM2, que se mueve hacia la boquilla o matriz del dispositivo de extrusión
CM3S	Material de construcción rígido de acuerdo con la invención recuperado en la etapa E, después de la extrusión a través de la boquilla o matriz

La información relevante relacionada con las normas y pruebas normativas con respecto a la medición de la consistencia del concreto se describe en A y B, C

Tabla A- Consistencia del concreto (asentamiento) con respecto a las normas EN (europeas) y FR (francesas) y pruebas normativas.

5

EN 12350-2		NF P 18-305	
Consistencia	asentamiento [mm]	Consistencia	asentamiento [mm]
S1	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	Muy fluido	>210 mm

Tabla B - Consistencia del concreto (flujo) con respecto a las normas EN 12350-8 (europeas)

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

10

Tabla C- Consistencia de la rigidez del concreto medida mediante probador de la paleta de cizallamiento manual y evaluación visual. Probador equipado con una cuchilla modificada de 100 mm x 50 mm.

15

Valor de la paleta de cizallamiento		
Evaluación de la capacidad de extrusión	Valor de cizallamiento (kPa)	Consistencia concreta
No extrudible	0-20	Fluido
Extrudible	20-50	Asentamiento bajo o ninguno/sólido/suave

No extrudible	>50	Seco/muy rígido/duro
---------------	-----	----------------------

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La Figura 1 es una representación esquemática del dispositivo de la invención que puede usarse para realizar la invención reivindicada, presentada para comprender mejor la invención.

Ejemplos

10

Ejemplo 1: Implementación del proceso de producción sin forma reivindicado para material de construcción fresco

Las mezclas descritas en las Tablas 1 y 2 a continuación se obtuvieron usando el proceso de procesamiento por lotes convencional de concreto muy conocido por el experto en la técnica, en una mezcladora convencional de 500 l de capacidad, de acuerdo con el proceso reivindicado y la Figura 1.

Los cementos usados son cementos comercializados disponibles en Europa.

Los agregados son calcáreos/sílice con un tamaño de 4 a 16 mm.

La arena es de base calcárea/sílice con tamaños de 0 a 4 mm.

Los agregados de peso liviano y la arena se obtienen de arcilla expandida o vidrio expandido, con densidades a granel de 150 kg/m^3 a 1000 kg/m^3 .

Las fibras metálicas se caracterizan por una
5 relación longitud a diámetro que oscila entre 20 y 120, con una longitud total ubicada entre 10 mm y 100 mm. Las fibras metálicas son fibras rectas o en forma de gancho con resistencia a la tracción ubicadas entre 600 MPa y 4000 MPa y el Módulo E ubicado entre 185 GPa y 215 GPa

10 Alternativamente, las fibras orgánicas o las fibras minerales han sido como se describe en el EP EP3307692B1.

Las matrices de extrusión tienen tamaños de abertura que varían desde $0,04 \text{ m}^2$ hasta 1 m^2 ,
15 preferentemente hasta $0,6 \text{ m}^2$.

Los tamaños de boquillas de impresión 3D están en rango de 10 cm^2 a 150 cm^2 , preferentemente de 20 cm^2 a 100 cm^2 con formas rectangulares, redondas, cuadradas o elípticas, o cualquier otra forma.

20 Los rangos de ADMS1 de la mezcla se limitan para dosificaciones bajas al nivel mínimo de consistencia requerido (min = S3 o SF1); pasar el límite de dosificación superior generará un riesgo de segregación de los agregados ya que el material de construcción será
25 demasiado fluido.

Se midieron las propiedades de consistencia de acuerdo con los detalles proporcionados en la Tabla 1.

La rigidez se mide usando un probador de la paleta de cizallamiento manual o evaluación visual (capacidad para mantener la forma después de la extrusión). La resistencia se mide en cubos estándar EN en compresión de acuerdo con la norma EN 12390-3.

Tabla 1: Ejemplos de diseños de mezcla y propiedades usando agregados de silicatos/calizas densos y arena

	MD1	MD2	MD3	MD4	MD5	MD6
Tipo de aglutinante principal	Cemento	Cemento	Cemento	Cemento	Cemento	Cemento
Dosificación de aglutinante principal kg/m ³	450	450	370	450	450	450
Segundo tipo de aglutinante	NA	Microsílice	Agente de relleno de piedra caliza	NA	NA	NA
Dosificación de segundo aglutinante (kg/m ³)	NA	45	130	NA	NA	NA
Agua kg/m ³	200	160	190	280	200	280
Arena kg/m ³	798	908	804	693	798	693
Tamaño de agregados grandes	4-10 mm triturado	4-8 mm redondo	4-12 mm redondo	4-8 mm redondo	4-8 mm redondo	4-8 mm redondo
Agregados grandes kg/m ³	877,8	817	804	763	878	762
Fibras metálicas	NA	NA	40 kg/m ³	NA	NA	NA
Fraguar aceleradores	En dosificaciones usuales, 0-5,00 % del contenido total de aglutinante	0	En dosificaciones usuales, 0-5,00 % del contenido total de aglutinante	0	En dosificaciones usuales, 0-5,00 % del contenido total de aglutinante	0
Componente de ADMS1 ADMS1-CB	PCE	PCE	PCE	NA	PCE	NA
Componente de ADMS1 ADMS1-CA	PEO/PEG	PEO/PEG	PEO/PEG	PEO/PEG	PEO/PEG	PEO/PEG

Dosificación de ADMS1-CB como un porcentaje del aglutinante total	0,084 % (0,38 kg/m ³)	0,35 % (1,72 kg/m ³)	0,09 % (0,45 kg/m ³)	NA	0,084 % (0,38 kg/m ³)	NA
Dosificación del componente ADMS1-CA vs. contenido de aglutinante	0,0042 % (0,0189 kg/m ³)	0,0058 % (0,029 kg/m ³)	0,0043 % (0,01075 kg/m ³)	0,0042 % (0,0189 kg/m ³)	0,0014 % (0,0063 kg/m ³)	0,0010 % (0,0045 kg/m ³)
Consistencia con ADMS1 (etapa B) en CM1	Flujo de asentamiento entre 300-550 mm	Flujo de asentamiento entre 300-550 mm	Flujo de asentamiento entre 300-550 mm	Flujo de asentamiento entre 300-550 mm	Flujo de asentamiento entre 300-550 mm	Flujo de asentamiento entre 300-550 mm
ADMS2-CA	NPS	NPS	NPS	NPS	NPS	NPS
Dosificación de ADMS2-CA de contenido de aglutinantes total	0,16 %	0,12 %	0,16 %	0,16 %	0,16 %	0,16 %
Consistencia después de ADMS2-CA (etapa F)	Extrudible, sin concreto de asentamiento	Extrudible, sin concreto de asentamiento	Extrudible, sin concreto de asentamiento	Extrudible, sin concreto de asentamiento	No extrudible	No extrudible
Valor de la paleta de cizallamiento (kPa)	30	28	42	38	8	10
Resistencia a 1 día (en cubos)	20 MPa	40,3 MPa	18 MPa	8 MPa	20,0 MPa	8 MPa
Resistencia a 7 días (en cubos)	46,8 MPa	80,5 MPa	35,8 MPa	13 MPa	46,8 MPa	13 MPa
Resistencia a 14 días (en cubos)	50 MPa	85 MPa	40 MPa	18 MPa	50,0 MPa	18 MPa
Resistencia a 28 días (en cubos)	53,9 MPa	90 MPa	45 MPa	22 MPa	53,9 MPa	22 MPa

Los componentes del primer sistema de mezcla ADMS1 se seleccionan de PEO/PEG, y eventualmente plastificantes, superplastificantes, que proporcionan valores de consistencia excelentes incluso para mezclas CM1 con muy baja relación agua/aglutinante (menor que 0,45), de manera que se presentan la resistencia final del material final endurecido y curado como puede verse en la Tabla 1 para diferentes diseños de mezcla. La consistencia obtenida en la etapa B- presenta la ventaja de permitir un material de construcción que sea fácilmente bombeable, reduciendo de esta manera los esfuerzos y el consumo de energía del transporte de la etapa C-. Además, la consistencia en la etapa B- puede elegirse sin considerar la baja consistencia final (o alta rigidez) del material final extrudido/impreso 3D, como sería el caso si todos los ingredientes requeridos estuvieran presentes en un diseño de mezcla único con propiedades reológicas constantes a lo largo de todo el proceso.

Puede observarse en la Tabla 1 que si la dosificación de ADMS1-CA es demasiado baja, el cambio de consistencia no es lo suficientemente alto y el valor de la paleta de cizallamiento es bajo. El concreto muestra un valor de asentamiento y no puede obtenerse la rigidez requerida (no extrudible).

Si ADMS2-CA está por debajo de la dosificación especificada, el cambio de consistencia no es lo suficientemente alto o eficiente y el concreto es demasiado blando y demasiado fluido para ser extrudible.

5 Si ADMS2-CA está por encima de la dosificación especificada, el cambio de consistencia será demasiado importante y la consistencia del concreto será demasiado seca o rígida para ser extrudible a través de la matriz o boquilla y podría crear un bloqueo.

10 Si ADMS1-CB es demasiado bajo, el efecto de reducción de agua es demasiado limitado, y no puede lograrse un concreto de alta resistencia porque no es posible reducir la relación agua/aglutinante suficientemente. Si ADMS1-CB es demasiado alto, el
15 concreto podría segregarse debido a un efecto de reducción de agua muy fuerte que provoca fallas de bombeo y extrusión.

Tabla 2: Ejemplos de diseños de mezcla y propiedades usando agregados de peso liviano y arrastrante de aire

20

	MD1	MD2
Tipo de aglutinante principal	Cemento	Cemento
Dosificación de aglutinante principal kg/m ³	360	250
Segundo tipo de aglutinante	Cenizas volantes	NA
Dosificación de segundo aglutinante kg/m ³	200	NA
Agua kg/m ³	170	138

Arena de peso liviano kg/m ³	120,1	140
Tamaño de agregados de peso liviano grandes	2-10 mm	NA
Agregados de peso liviano grandes kg/m ³	406,5	0
Tipo de arrastrante de aire	NA	ISOFOAM 6000 de mezclas CEMEX GmbH
Aire medido	NA	50 %
Fibras metálicas	NA	
Componente de ADMS1 ADMS1-CB	PCE	PCE
Componente de ADMS1 ADMS1-CA	PEO/PEG	PEO/PEG
Dosificación de ADMS1-CB del componente ADMS1 como un porcentaje del aglutinante total	0,33 % o 1,85 kg/m ³	0,1 % o 0,24 kg/m ³
Dosificación de ADMS1-CA del componente ADMS1 como un porcentaje del aglutinante total	0,0055 % o 0,031 kg/m ³	0,0016 % o 0,004 kg/m ³
Consistencia con ADMS1 (etapa B) en CM1	S4-S5	S4-S5
Otra consistencia con ADMS1 (etapa B) en CM1	SF1 a SF3	SF1 a SF3
Tipo ADMS2-CA	NPS	NPS
Dosificación de ADMS2-CA como porcentaje del aglutinante total	0,16 % (0,9 kg/m ³)	0,16 % (0,40 kg/m ³)
Consistencia después de ADM2 (etapa F)	Extrudible	Extrudible
Otra consistencia con ADMS2-CA (etapa F)	S1 a S2	S1 a S2
Resistencia a 1 día	21 MPa	0,5 MPa
Resistencia a 7 días	36 MPa	1 MPa
Resistencia a 14 días	40 MPa	1,5 MPa
Resistencia a 28 día	43 MPa	2 MPa

Podría demostrarse que usar ADMS1-CB en ADMS1 no impacta la rigidez resultante en CM3 cuando se usan las dosificaciones reivindicadas para los diferentes

5 componentes.

La implementación del proceso de la presente invención no se limita por el esquema presentado en la

Figura 1. Se prepara un material de construcción extrudible vertible CM2 en una mezcladora o planta de procesamiento por lotes de concreto o mezcladora de concreto estacionaria o camión de concreto (1) típicamente con ayuda de hélices mezcladoras (2). Los diversos ingredientes del CM1, así como ADMS1, se almacenan por ejemplo en la serie de silos (3) o dispensadores. El CM1 mezclado homogeneizado que contiene el ADMS1 (CM2) se transfiere desde la mezcladora de tipo concreto o la planta de procesamiento por lotes de concreto o la mezcladora de concreto estacionaria o camión de concreto (1), usando por ejemplo una bomba (4) y una tubería (5) (o cualquier otro medio de transporte continuo o discontinuo) al cuerpo del extrusor/impresora 3D (6/8), que comprende entre otros un dispositivo de bombeo (9) y una boquilla/matriz (10). Por ejemplo, el CM1 que contiene el ADMS1 (CM2) se vierte en una tolva, un tanque de almacenamiento de transición o cualquiera de lo similar (no se muestra) conectado al cuerpo del extrusor/impresora 3D (6/8) o directamente inyectado, y se transporta a la boquilla/matriz de impresión/extrusión (10) usando una bomba o un tornillo infinito (9). Una entrada (11) (no se muestra) proporcionada en el cuerpo del cabezal del extrusor/impresora (6/8), permite la adición del ADMS2 al CM1 que contiene el ADMS1 (CM2) para obtener CM3 que se mueve hacia la matriz o la boquilla

(10), que contiene tanto ADMS1 como ADMS2. En una modalidad preferida, el ADMS2 se añade a la bomba o tornillo (9), usando un sistema de tuberías, una bomba, un sistema de dosificación y un silo de ADMS2 (no se muestra en la Figura 1). El material de construcción CM3, que contiene tanto ADMS1 como ADMS2, que reaccionan juntos para formar la red 3D de polímeros, se extrude, prensa a través de la boquilla de la matriz (10). El material de constitución rígido resultante (CM3S), que sale de la boquilla o de la matriz (10) es suficientemente resistente para soportar su propio peso sin cambios dimensionales, por ejemplo para formar una parte o una capa de deposición continua sobre capas previamente impresas/depositadas.

Finalmente, la aplicación exitosa de la invención se realizó usando aglutinantes no cementosos (p. ej., geopolímeros) obtenidos usando escoria, escoria granulada de horno molida, puzolanas naturales, residuos de vidrio activados mecánicamente o subproductos industriales de silicatos de aluminio, cenizas volantes o cualquier combinación de estos. Con respecto a la presente invención, el proceso requiere añadir un activador químico a CM1 o a ADMS1 (p. ej., silicatos solubles, silicatos coloidales, Na(OH) o Ca(OH)_2 , etc.) y los tipos exactos de productos químicos para ADMS1-CA y

ADMS2-CA dependen del tipo de aglutinantes y no se describen en esta solicitud.

Ventajas

5 Típicamente, la invención permite extrudir continuamente formas tales como rieles, placas, barreras, varillas, barras, tubos huecos, tejas de techo o lo similar; y permite que una impresora deposite capas sucesivas de CM3S para formar paredes, pilotes, pilares o
10 lo similar.

 El uso de fibras metálicas reemplaza ventajosamente barras de acero que son imposibles de colocar en un proceso normal de extrusión o impresión 3D.

 Este inconveniente de la tecnología de acuerdo
15 con la técnica anterior se resuelve mediante la presente invención.

 Las ventajas resultantes de la invención son múltiples:

- Proporciona un proceso muy versátil que
20 permite usar casi cualquier tipo de aglutinante, para aplicaciones como extrusión de partes (varillas, perfiles, rieles, tubos) o impresión 3D capa por capa.
- Proporciona una solución para controlar la
25 reología del material de construcción en estado fresco a lo largo de todas las etapas

- de fabricación A a H de manera que la fluidez del material de construcción puede adaptarse a lo largo del proceso para minimizar problemas de transporte, desgaste o que requiera el uso de equipos costosos y de alto mantenimiento.
- Proporciona una solución para controlar la resistencia endurecida final del material de construcción extrudido ajustando dosificaciones de componentes en los 2 sistemas de mezcla, sin tener por ejemplo, que usar cementos de ultra alta resistencia para lograr altas resistencias como en EP3260258.
 - Proporciona solución para extrudir/imprimir en 3D un material de construcción que contiene grandes agregados (4-16 mm de tamaño) y no se limita al uso de arena como en la técnica anterior.
 - Proporcionaba una solución que permite usar agregados de peso liviano por ejemplo para mejorar el aislamiento térmico del producto final.
 - Proporciona una solución para usar altas dosificaciones de fibras de refuerzo.