

(12) APLICACIÓN INTERNACIONAL PUBLICADA BAJO EL TRATADO DE COOPERACIÓN EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la Propiedad Intelectual
Oficina Internacional



(43) Fecha de Publicación Internacional
16 de febrero de 2017 (07.07.2016)

WIPO PCT

(10) Número de Publicación Internacional

WO 2016/106450 A1

(51) Clasificación Internacional de la Patente:

C04B 28/00(2006.01) C04B 111/00(2006.01)
C04B 28/02(2006.01) C04B 111/62(2006.01)

(21) Número de Solicitud Internacional:
PTC/EP2015/068366

(22) Fecha de Presentación Internacional:
10 de agosto del 2015 (10.08.2015)

(25) Lenguaje de Presentación:
inglés

(26) Lenguaje de Publicación:
inglés

(71) Participante: CEMEX RESEARCH GROUP AG [CH/CH]: Römersttasse 13, CH-2555 Briigg Bei Biel (CH).

(72) Inventores: GUERINI, Alexandre; Rosengasse 5A, CH- 3250 Lyss (CH). CHAPELAT, Julien; Rue du Pilate, 25, CH-2502 Biel/Bienne (CH). INIGUEZ SANCHEZ, Cyndy Arlenn; Roggenstrasse 6, CH-8005 Zürich (CH).

(74) Agentes: CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel et al.; C/Suero de Quiñones, 34-36, E-28002 Madrid (ES).

(81) Estados Designados (a menos que se indique de otra manera, para todo tipo de protección nacional disponible): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN,

BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

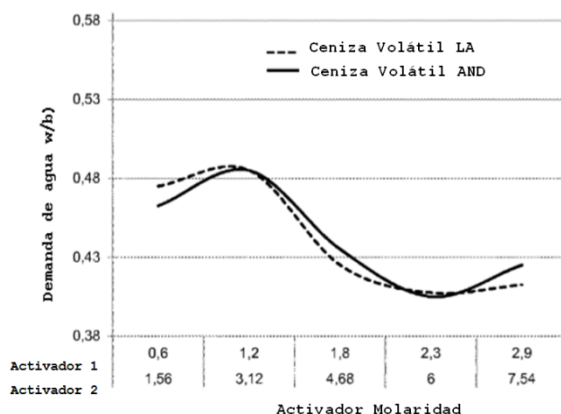
(84) Estados Designados (a menos que se indique de otra manera, para todo tipo de protección nacional disponible): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiáticos (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europeos (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Declaraciones conforme a la Regla 4.17:
- Sobre la calidad de inventor (Regla 4.17(iv))

Publicado:
- Con el informe de búsqueda internacional (Art. 21(3))

(54) Título: MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN MALEABLES A BASE DE CENIZAS VOLÁTILES CON FLUJO CONTROLADO Y RETENCIÓN DE LA MANEJABILIDAD

Figura 1



(57) Resumen: Un material de construcción maleable con flujo controlado y retención de la manejabilidad, que comprende (a) un aglutinante con entre el 75% al 100% en peso de cenizas volátiles, que comprenden entre el 1.5% al 35% en peso de CaO y un valor de Pérdida de la Incandescencia (LOI) del 0.5% al 5.5% en peso, (b) un activador que comprende un hidróxido alcalino y un silicato alcalino, donde el activador es de entre el 3% al 25% en peso, con respecto al material de construcción maleable, (c) arena, (d) agregados finos, (e) agregados gruesos, (f) agua libre y (g) un agente de retención de la manejabilidad seleccionado del grupo que consiste en: polímeros de policarboxilato de éter (PCE), poliaminas, polietileniminas, poliacrilamidas, poliacrilatos (EO, PO éster, éster de polimetacrilato (EO, PO)), derivados de poliamonio y copolímeros de los mismos, cloruro de polidialildimetilamonio, cloruros de benzalconio, sales de amonio

WO 2017/025127 A1

cuaternario sustituidas, quitosanos, caseínas y
sílice coloidal catiónicamente modificado.

MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN MALEABLE BASADO EN CENIZA VOLÁTIL
CON FLUJO CONTROLADO Y RETENCIÓN DE LA MANEJABILIDAD

CAMPO DE LA INVENCION

5

El campo de esta invención se refiere a materiales de construcción. Específicamente, la presente invención se refiere a materiales de construcción que comprenden un aglutinante que contiene cenizas volátiles, agregados de
10 activador y un agente de retención de la manejabilidad, con propiedades de colocación controladas y que exhiben una excelente retención de la manejabilidad. El material puede comprender opcionalmente escorias granuladas molidas de alto horno y puzolanas.

15

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Se han descrito ampliamente materiales de construcción basados en la mezcla activada de cenizas volátiles, escoria u otras
20 fuentes de aluminosilicatos, incluyendo o no el cemento clínter.

La técnica anterior relacionada con estos materiales no reveló alcances relacionados con la manejabilidad y la retención de la manejabilidad de estos materiales. En el documento WO2009024829 se han proporcionado algunas propiedades de flujo para mostrar que el asentamiento de dichas mezclas de construcción podría oscilar entre unos 20 cm y 25 cm, pero no se informa sobre la retención de la manejabilidad y la relación con los parámetros reológicos de las mezclas. También se pudo observar en el documento WO2009024829 que los valores altos de asentamiento se relacionaron con la alta relación de agua / aglutinante, lo que condujo a un pobre desarrollo de la fuerza inicial.

La mayoría de la literatura disponible no demuestra ninguno de los requisitos de las aplicaciones industriales (efecto de grandes y pequeños agregados en grandes cantidades, mezcla, colocación, riesgo de segregación, transporte, etc.).

- 5 La literatura disponible es relevante desde el punto de vista del soporte químico y de reactividad; sin embargo, escalar desde pruebas de pasta (aglutinante + activador + agua) hasta material de construcción real para aplicaciones industriales y restricciones relacionadas, no es evidente y muchos sistemas
- 10 descritos como pastas nunca se han usado como material de construcción, debido a la dificultad de resolver los problemas.

Uno de los problemas conocidos de estas mezclas es que su alcalinidad es tan alta que la tecnología de mezcla normal (basada sólo en polímeros orgánicos como melamina o policarboxilatos con base de superplastificantes), no puede emplearse con éxito, y que la estabilidad de los agregados en el aglutinante (pegar) no está garantizado, lo que lleva a una segregación importante tan pronto como aumenta el asentamiento. La segregación es inaceptable para aplicaciones industriales ya que produce heterogeneidades y fallas.

En el documento WO 2015/049010, los sistemas de mezcla se describen para proporcionar control de flujo y retención de la manejabilidad de mezclas activadas con álcalis de cenizas volátiles y escoria, mientras que la cenizas volátiles representa entre el 10% al 60% del peso total del aglutinante.

La solución provista por el documento WO 2015/049010 es aplicable al material maleable que contiene arena, agregados finos y gruesos, utilizando un ácido inorgánico para mejorar la retención de la manejabilidad. No se aplica a las cenizas volátiles y a las mezclas de escoria para las cuales el contenido de escoria en porcentaje en peso representa menos del 40%, preferiblemente menos del 30% del aglutinante total. Mezclas aglutinantes de escoria de cenizas volátiles que contienen más del 60%, respectivamente más que

el 70% en peso de las cenizas volátiles, requieren dosis más altas de un activador alcalino (generalmente expresado por la molaridad de los silicatos en el agua total) que las mezclas que contienen menos del 60% en peso de cenizas volátiles. Las
5 dosis más altas de un activador tienen la desventaja de que el efecto del ácido orgánico es muy limitado y no se puede usar para la retención de la capacidad de manejabilidad durante algunos minutos.

Los materiales de construcción maleables se ofrecerán en
10 una amplia gama de manejabilidad, incluidas las mezclas bombeables y autocompactantes (SCC) y una amplia gama de resistencia final de 15 a 80 MPa. Además, la resistencia inicial debe ser lo suficientemente alta como para permitir la eliminación del marco de los moldes en menos de 2 días,
15 preferiblemente en 1 día o menos.

Finalmente, la retención de la manejabilidad (por ejemplo, la capacidad de los parámetros reológicos como flujo, viscosidad, límite elástico, etc.) debe ser lo suficientemente alta como para abarcar problemas de despacho relacionados con
20 la demora, el tráfico, etc., por lo que las propiedades de colocación en el lugar de trabajo no se ven afectadas por problemas de logística.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

En un primer alcance, la presente invención proporciona un material de construcción maleable, con flujo controlado y retención de la manejabilidad, que comprende:

- 5 (a) Un aglutinante que contiene de entre 75% a 100% en peso de cenizas volátiles con entre el 1.5% y el 30% en peso de CaO y un valor de Pérdida de Incandescencia (LOI) de 0.5% a 5.5% en peso.
- (b) Un activador que comprende un hidróxido alcalino y un
10 silicato alcalino, en el que el activador es de 3% a 25% en peso, con respecto al material de construcción maleable.
- (c) Arena
- (d) Agregados finos
- 15 (e) Agregados gruesos
- (f) Agua libre
- (g) Un agente de retención de la manejabilidad que se selecciona del grupo constituido por polímero de policarboxilato de éter (PCE), poliaminas, polietileniminas,
20 poliacrilamidas, poliacrilato (EO, PO) éster, polimetacrilato (EO, PO) éster, derivados de poliamonio y copolímeros de los mismos, cloruro de polidialildimetilamonio, cloruros de benzalconio, sales de amonio cuaternario sustituidas,

quitosanos, caseínas y sílice coloidal modificada catiónicamente.

Esta invención proporciona un nuevo material de construcción robusto, que comprende un aglutinante que contiene
5 principalmente cenizas volátiles (más del 75% en peso del aglutinante total). Dicho material de construcción nuevo tiene propiedades de colocación que se clasifican de S1 a SF3 sin segregación entre agregados y pastas, desarrollando una resistencia inicial mayor o igual a 2 MPA después de 1 día y
10 retención de la capacidad de manejabilidad que oscila entre 15 minutos y 180 minutos.

En las mezclas de cenizas volátiles de escoria, la optimización del contenido de cenizas volátiles en la mezcla es una ventaja para los costos de la misma, ya que las cenizas
15 volátiles son un material muy barato y ampliamente disponible. Sin embargo, los aglutinantes que contienen alto contenido de cenizas volátiles son más difíciles de activar y requieren dosis más altas de activadores para lograr una resistencia aceptable a los 2 días (más de 5 MPa) y una resistencia de 28
20 días de al menos 17-20 MPa.

Dosis altas de activadores tienen como consecuencia que el tiempo de fraguado de la mezcla que contiene arena, así como agregados finos y gruesos, sea muy breve y puede tener lugar

unos minutos después de mezclar los ingredientes. Esta invención proporciona ventajosamente una solución para usar cantidades muy altas de cenizas volátiles en el aglutinante (más del 70% en peso), mientras se mantiene la retención de la
5 manejabilidad de al menos 15 minutos a 120 minutos, incluso con dosis altas de activadores.

El material maleable para la construcción, según esta invención, se caracteriza preferiblemente por un volumen total de aglutinante que se encuentra entre los 350 kg/m³ y 750 kg/m³
10 de material moldeado.

Según un primer alcance, el material maleable, de acuerdo con esta invención, contiene un aglutinante que consiste únicamente en cenizas volátiles y un sistema activador que tiene una relación molar entre silicatos y álcalis totales de
15 0.25 a 0.5, preferiblemente de entre 0.3 y 0.4.

La relación efectiva de agua / aglutinante total en Kg se localiza típicamente entre 0.3 y 0.6, preferiblemente entre 0.4 y 0.55. La relación de agua / agua total en peso, por debajo de 0.3 no permite obtener el rango esperado de las
20 propiedades naturales (flujo, retención de la manejabilidad) y la relación por encima de 0.6 presenta el riesgo de segregación de los agregados y caída de la resistencia mecánica.

Se ha encontrado que la dosis del activador, expresada en molaridad del agua total, es el parámetro más importante que influye en el flujo (ver Figura 1).

Para aglutinantes totales con una proporción de escoria /
5 cenizas volátiles en peso, inferior a 0.33, el activador es de 6% a 20% en peso, con respecto al material de construcción maleable.

Otro alcance de esta invención es el material de construcción maleable del primer alcance, que comprende un
10 elemento seleccionado del grupo que consiste de 0% a 25% en peso de escoria de alto horno granulada molida, que contiene de 40% a 70% en peso de CaO y de 30% a 60% en peso de SiO₂; de 0% a 25% en peso de puzolanas, las cuales contienen de 4% a 7% en peso de álcali y un valor de Pérdida de Incandescencia (LOI)
15 de 0.01% a 7%; y de 0% a 25% en peso, de cualquier combinación de escoria y puzolanas.

La escoria de alto horno granulada molida y las puzolanas naturales, se muelen hasta una finura del 93% pasando las 45 micras. Las cenizas volátiles generalmente se usan cuando
20 llegan sin procesamiento pre mecánico.

Otro alcance, de acuerdo con esta invención, es que el aglutinante total contiene al menos un 75% de cenizas volátiles

y un máximo de 25% de escoria o puzolanas o cualquier combinación de las mismas.

Aunque la mayoría de los resultados se presentan para varias cenizas volátiles o mezclas de escorias volátiles, esta invención no se limita a dicho material y cualquier puzolana natural o industrial, incluyendo metacaolín, arcillas calcinadas, materiales cementosos activados mecánicamente o vidrio reciclado, se pueden usar como componentes del aglutinante.

10 Otro alcance de esta invención es el material de construcción maleable del primer alcance, en el que la relación de hidróxido alcalino / silicato alcalino es de entre 1:1.5 a 1:2.5.

15 Otro alcance de esta invención es el material de construcción maleable del primer alcance, en el que dicho hidróxido alcalino se encuentra en la solución, donde el contenido de sólidos en peso de dicho hidróxido alcalino en la solución es del 30% al 50% en peso y la molaridad (mol por litro de agua añadida libre) es de 2.5 a 6.

20 Otro alcance de esta invención es el material de construcción maleable del primer alcance, en el que el intervalo de concentración de dicho polímero de éter de

policarboxilato es del 0.12% al 0.75% en peso total del aglutinante.

Otro alcance de esta invención es el material de construcción maleable del primer alcance, en el que la
5 concentración de cenizas volátiles es del 80% al 100% en peso.

Otro alcance de esta invención es el material de construcción maleable del primer alcance, en el que dicho silicato alcalino es metasilicato de sodio. Dicho metasilicato de sodio puede ser metasilicato de sodio pentahidratado.

10 Un segundo alcance de esta invención es el material de construcción maleable del primer alcance, donde dicho silicato alcalino se encuentra en la solución, en donde el contenido en sólidos en peso de dicho silicato alcalino en la solución es del 30% al 50% en peso y la molaridad de dicho hidróxido
15 alcalino en la solución (mol por litro de agua añadida libre) es de 1 a 2.5.

Otro alcance de esta invención es el material de construcción maleable del segundo alcance, en el que la molaridad de dicho silicato alcalino es de 1 a 1.8. La
20 resistencia final de este material de construcción maleable es superior a 18 MPa a los 28 días y el flujo o asentamiento es de S1 a S2, según la norma europea EN 12350-2.

Otro alcance de esta invención es el material de construcción maleable del segundo alcance, en el que la molaridad de dicho silicato alcalino es de 1.2 a 2.0. La resistencia final de este material de construcción maleable es superior a 18 MPa a los 28 días y el flujo o asentamiento es de S3 a S4, según la norma europea EN 12350-2.

Otro alcance de esta invención es el material de construcción maleable del segundo alcance, en el que la molaridad de dicho silicato alcalino es de 1.5 a 2.2. La resistencia final de este material de construcción maleable es superior a 18 MPa a los 28 días y el flujo o asentamiento es de S5 a S6, de acuerdo con la norma europea EN 12350-2.

Otro alcance de esta invención es el material de construcción maleable del segundo alcance, en el que la molaridad de dicho silicato alcalino es de 1.8 a 2.3. La resistencia final de este material de construcción maleable es superior a 18 MPa a los 28 días y el flujo o asentamiento es de SF1 y SF2, según la norma europea EN 12350-8.

Otro alcance de esta invención es el material de construcción maleable del segundo alcance, en el que la molaridad de dicho silicato alcalino es de 2 a 2.5. La resistencia final de este material de construcción maleable es

superior a 18 MPa a los 28 días y el flujo o asentamiento es SF3, según la norma europea EN 12350-8.

Otro alcance de esta invención es el material de construcción maleable del primer alcance, en el que dicho agente de retención de la manejabilidad se encuentra en una
5 dosis de contenido sólido seco de 0.15 a 0.6%.

Otro alcance de esta invención es el material de construcción maleable del primer alcance, en el que dicho agente de retención de la manejabilidad se encuentra en una
10 dosis de contenido sólido seco de 0.6 a 1.2%.

Otro alcance de esta invención es el material de construcción maleable del primer alcance, en el que dicho agente de retención de la manejabilidad se encuentra en una
15 dosis de contenido sólido seco de 1.2 y 1.6%.

Lista de Definiciones

Aglutinante Hidráulico: Material con propiedades cementantes que fragua y endurece debido a la hidratación, incluso bajo el agua. Los aglutinantes hidráulicos producen
20 hidratos de silicato de calcio también conocidos como CSH.

Cemento: Aglutinante que fragua y endurece y une materiales. El cemento más común es el cemento Portland

ordinario (OPC) y una serie de cementos Portland mezclados con otros materiales cementosos.

Cemento Portland Ordinario (OPC): Cemento hidráulico hecho apartir de la trituración y mezcla de clínter con yeso.

- 5 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.

- Pérdida de Incandescencia (LOI):** Porcentaje en peso de pérdida de un material expuesto a alrededor de 950°C durante
10 una hora en el aire.

Hidratación: Mecanismo a través del cual el OPC u otros materiales inorgánicos reaccionan con el agua para desarrollar resistencia. Se forman hidratos de silicato de calcio y otras especies como etringita, monosulfato, Portlandita, etc.

- 15 **Geopolimerización:** Reacción de la interacción entre una solución alcalina (activador) y un polvo reactivo de aluminosilicato (aglutinante). La geopolimerización comprende una fase de disolución y una fase de condensación que desarrolla una red tridimensional de materiales de
20 silicoaluminato unidos mediante enlaces covalentes.

Cementos alcalinos activados: Cementos con un bajo o nulo nivel de clínter, activados por el uso de álcalis cáusticos o sales alcalinas.

Adición mineral: Aditivos minerales (incluidos los siguientes polvos: microsílica, cenizas volátiles, escorias, añadidos al cemento para mejorar las propiedades naturales, el desarrollo de la resistencia a la compresión y mejorar la durabilidad.

Microsílica: Fuente de silicio amorfo obtenido como un subproducto de la producción de aleación de silicio y ferrosilicio. También conocida como humo de sílice.

Fibras: Material utilizado para aumentar el rendimiento estructural del cemento. Las fibras incluyen: fibras de acero, fibras de vidrio, fibras sintéticas y fibras naturales.

Aluminio de silicato por producto (Cenizas volátiles - cenizas de fondo): Los componentes del aglutinante reactivo alcalino que forman, junto con el activador, componen la pasta de cemento. Estos minerales son ricos en alúmina y sílice, tanto en la estructura amorfa como en la cristalina.

Puzolana natural: Material de aluminosilicato de origen volcánico que reacciona con el hidróxido de calcio para producir hidratos de silicatos de calcio o CSH, como se conocen en la reacción de hidratación del cemento Portland.

Relleno inerte: Material que altera las propiedades físicas del cemento, pero que no tiene lugar en la reacción de hidratación.

Aditivos: Especies químicas utilizadas para modificar o mejorar las propiedades del cemento en estado fresco y endurecido. Estos pueden ser atrapadores de aire, reductores de agua, retardadores de fraguado, superplastificantes y otros.

5 **Silicato:** Nombre genérico para una serie de compuestos con la fórmula $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$. El reactivo líquido se usa como un líquido alcalino cuando se mezcla con el hidróxido de sodio. Usualmente es silicato de sodio, también puede comprender silicatos de potasio y litio. La versión en polvo de este
10 reactivo es conocida como metasilicatos y podrían ser pentahidratos o nonahidratos. Los silicatos se denominan Activador 2 en algunos ejemplos de este documento.

Hidróxido de sodio. Compuesto inorgánico con fórmula NaOH , también conocido como soda cáustica o lejía, que se utiliza
15 para la activación química. El hidróxido de sodio se denomina Activador 1 en algunos ejemplos de este documento.

Activación química. El uso de reactivos químicos para promover la disolución de aluminosilicatos, con el objeto de aumentar la reactividad de los componentes aglutinantes.

20 **PCE:** Los copolímeros de ácido policarboxílico se utilizan como una tipo de aditivos de cemento, y son polímeros de tipo peine que se basan en: una cadena principal de polímero, hecha de ácido acrílico, metacrílico, maleico y monómeros

relacionados, la cual está injertada con una cadena lateral de polioxialquileno tal como EO o PO. El injerto podría ser, pero no está limitado a, éster, éter, amida o imida.

Dispersante inicial: Es un aditivo químico utilizado en composiciones de cemento hidráulico, como el cemento de cemento Portland, parte del plastificante y la familia de los superplastificantes, que permiten una buena dispersión de las partículas de cemento durante la etapa de hidratación inicial.

Superplastificantes: Se refiere a una tipo de mezcla química utilizada en composiciones de cemento hidráulico, tales como el cemento Portland, la cual tiene la capacidad de reducir altamente la demanda de agua mientras se mantiene una buena dispersión de las partículas del cemento. En particular, los superplastificantes evitan la agregación de partículas y mejoran las propiedades reológicas y la manejabilidad del cemento, así como el cemento mismo, en las diferentes etapas de la reacción de hidratación.

Agregados gruesos: Minerales manufacturados, naturales o reciclados, con un tamaño de partícula mayor a 8 mm y un tamaño máximo inferior a 32 mm.

Agregados finos: Minerales manufacturados, naturales o reciclados con un tamaño de partícula mayor a 4 mm y un tamaño máximo inferior a 8 mm.

Arena: Minerales manufacturados, naturales o reciclados, con un tamaño de partícula inferior a 4 mm.

Cemento: El cemento es principalmente una combinación de aglutinante hidráulico, arena, agregados finos o gruesos y
5 agua. También se le pueden agregar aditivos, para proporcionar propiedades específicas tales como flujo, menor contenido de agua, aceleración, etc.

Materiales de construcción verticales: Un material se considera tan líquido como su fluidez (con o sin vibración)
10 permita llenar completamente una estructura o colocarse en una superficie definida.

Materiales de construcción: Cualquier material que pueda emplearse para construir elementos o estructuras de construcción. Incluye cemento, materiales para albañilería
15 (ladrillos - bloques), piedra, ICF, etc.

Aplicaciones estructurales: Un material de construcción se considera estructural tan pronto como la resistencia a la compresión del material sea superior a 25 MPa.

Manejabilidad: La manejabilidad de un material se mide
20 con una prueba de asentamiento (ver más adelante).

Retención de la manejabilidad: Capacidad de una mezcla para mantener su manejabilidad durante el tiempo. El tiempo total requerido depende de la aplicación y el transporte. Por

lo general, la retención de la capacidad de manejabilidad se expresa por un tiempo, en minutos u horas, desde el cual el asentamiento de la mezcla permanece con la misma consistencia.

w/b: Masa total de agua libre (w) en Kg, dividida entre
5 la masa total del aglutinante en Kg.

Desarrollo de la fuerza ajuste / endurecimiento: El tiempo de ajuste comienza cuando el material de construcción cambia de plástico a rígido. En la etapa rígida, el material ya no se puede verter ni mover. Después de esta fase, el desarrollo de
10 la resistencia corresponde al endurecimiento del material.

Consistencia del cemento: La consistencia refleja las propiedades reológicas del cemento fresco por medio del flujo y del asentamiento, como se define a continuación:

Tabla 1: Consistencia del cemento (asentamiento), con
15 respecto a las normas EN (Europa) y FR (Francia) y pruebas normativas.

EN 12350-2		NF P 18-305	
Consistencia	Asentamiento [mm]	Consistencia	Asentamiento [mm]
S1	10 a 40	Duro	0 a 40
S2	40 a 90	Plástico	50 a 90
S3	100 a 150	Altamente plástico	100 a 150
S4	160 a 210	Líquido	> 160
S5	> 220		

Tabla 2: Consistencia del cemento (flujo) con respecto a la Norma EN 12350-8 (Europea)

EN 12350-8	
Categoría	Flujo [mm]
SF1	550 -650
SF2	660 -750
SF3	760 - 850

5

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA FIGURA

Figura 1

Muestra la dependencia entre el flujo del material nuevo maleable y la dosis del activador, para un primer alcance de acuerdo con esta invención, en la que el aglutinante son cenizas volátiles puras. Los resultados se obtuvieron preparando muestras de mortero con dos tipos diferentes de cenizas volátiles (ver la Tabla 3 para cenizas volátiles de referencia LA y cenizas volátiles AND), y una arena estándar de 0-4 mm, en diferentes dosis de activador. Los activadores se dosificaron en una relación constante, y la dosis se expresó

10

15

como molaridad basada en el agua total. El flujo objetivo fue de 150 ± 10 mm y la demanda de agua para lograrlo se registró y se expresó como la relación de agua / aglutinante. La demanda de agua - flujo del geopolímero varió significativamente al cambiar la dosis del sistema activador.

Ejemplos de la Invención

10 Los ejemplos se prepararon utilizando varias cenizas volátiles y escorias granuladas molidas de alto horno; las composiciones químicas se indican respectivamente en las Tablas 3 y 4.

Las muestras de mortero se prepararon utilizando arena estándar de 0-4 mm, las muestras de cemento se prepararon
15 utilizando arena de 0-4 mm (natural o comprimida), agregados medianos 4-8 mm, redondos o comprimidos y grandes 8-16, de hasta un máximo de 25 mm (redondos o comprimidos).

Los morteros y el cemento se mezclan con equipos estándar, durante un tiempo entre 20 segundos a algunos minutos. Todos
20 los morteros y cementos se prepararon mezclando todos los ingredientes sin ninguna secuencia o metodología específicas, para acercarlos a las condiciones industriales. El tamaño de

los lotes varía de algunos litros a más de 100 litros, en una planta de mini lotes semi industrial.

Excepto cuando se especifica, las muestras se curaron en cámaras de curado (20°C min 95% de humedad) durante 1.7 y 28
5 días.

Las mediciones de resistencia se realizaron mediante pruebas de compresión en cubos para morteros y cementos (4 x 4 x 4 cm, para morteros y 16 x 16 x 16 cm, para cemento).

El flujo se midió de acuerdo con la EN 12350-2.

10 Se proporcionan ejemplos para un metro cúbico (1 m³) de material maleable fresco resultante, cuando se mezclan todos los ingredientes.

En todos los ejemplos, el contenido total de aglutinante, escoria, cenizas volátiles, arena y de agregados, se
15 proporciona en cantidad de Kg por metro cúbico (1 m³) de material maleable fresco resultante, cuando se mezclan todos los ingredientes.

El contenido total de aglutinante representa la suma en peso de todas las puzolanas (cenizas volátiles, escoria, etc.)
20 contenidas en un metro cúbico (1 m³) de material maleable fresco resultante, cuando se mezclan todos los ingredientes.

La relación w/b representa la relación en peso, entre el agua eficiente (o agua libre, que participa en la reacción) y

el contenido total de aglutinante para un metro cúbico (1 m^3) de material maleable fresco resultante, cuando se mezclan todos los ingredientes.

Los activadores y el agente de retención de la
5 manejabilidad o las mezclas, se expresan en peso de contenido sólido (SC).

Las dosificaciones se expresan mediante la relación peso (Kg/Kg) del contenido sólido de un activador o un agente de retención de la manejabilidad o una mezcla y el contenido total
10 de aglutinante.

Tabla 3. Composición química de diferentes muestras de cenizas volátiles, analizadas mediante Rayos X
15 (fluorescencia).

	MEL	STO	LA	ALE	AND	SA
	1	2	3	4	6	9
SiO ₂ (%)	53.42	51.38	49.14	36.49	58.64	57.39
Al ₂ O ₃ (%)	33.65	25.30	26.55	19.41	23.06	22.00
Fe ₂ O ₃ (%)	5.35	8.70	6.29	6.10	6.09	6.94
CaO (%)	1.25	4.38	5.84	23.53	1.90	2.64
MgO (%)	0.85	0.90	2.58	5.10	1.31	1.95
SO ₃ (%)	0.01	0.39	0.51	1.00	0.25	0.24
Na ₂ O (%)	0.28	0.40	0.84	3.05	0.25	0.73

K ₂ O (%)	0.97	2.43	3.02	0.46	1.74	1.92
TiO ₂ (%)	3.23	1.38	1.04	1.49	1.65	1.10
P ₂ O ₅ (%)	0.04	0.23	0.41	0.73	0.43	0.34
Mn ₂ O ₃ (%)	0.24	0.04	0.10	0.03	0.08	0.07
LOI 950 C (%)	0.52	2.89	2.90	0.99	2.50	4.92
Total (%)	99.81	98.41	99.22	99.71	97.89	100.24
Contenido Vítreo (%)	86.11	87.5	81.95	89.28	72.25	79.98

Tabla 4. Composición química de diferentes muestras de escorias granuladas molidas de alto horno, analizadas mediante Rayos X (fluorescencia).

	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂ (%)	34.020	32.62	32.20	32.39	35.88	34.83	36.80	34.83
Al ₂ O ₃ (%)	11.760	14.13	14.21	14.07	10.61	11.48	10.94	11.48

5

Fe ₂ O ₃ (%)	0.880	1.11	0.58	0.47	0.57	0.37	0.40	0.37
CaO (%)	41.910	41.92	41.99	42.21	41.17	41.46	41.15	41.46
MgO (%)	5.750	6.19	6.52	6.49	7.74	6.98	8.62	6.98
SO ₃₅ (%)	2.780	2.76	1.84	1.96	1.52	2.39	2.20	2.39
Na ₂ O (%)	0.050	0.20	0.16	0.21	0.00	0.34	0.22	0.34
K ₂ O (%)	0.280	0.38	0.29	0.37	0.35	0.39	0.37	0.39
TiO ₂ (%)	1.070	0.52	0.49	0.49	0.55	1.64	0.56	1.64
P ₂ O ₅ (%)	0.430	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.38	0.32
Mn ₂ O ₃ (%)	0.010	0.31	0.29	0.36	0.42	0.32	0.01	0.01
LOI950 C (%)	0	-0.91	0.73	-0.50	0.26	0.00	-0.95	0.11

Total (%)	98.94	99.24	99.32	98.55	99.10	100.21	100.67	100.21
Contenido Vítreo (%)	93	95	91	89	90	95	96	92

Ejemplo 1 - Mezcla de Cemento de Referencia SF1

Material	Unidad	Cantidad
Contenido total aglutinante	kg/m ³	400
Cenizas volátiles de referencia (Tabla 3)	-	LA
Contenido cenizas volátiles	kg/m ³	400
Escorias de referencia (Tabla 4)	-	-
Contenido escorias	kg/m ³	0
w/b efec	-	0.41
Relación escorias/cenizas volátiles	Kg/Kg	-
Dosis activador 1	Molaridad Mol	2.3
Dosis activador 2	Molaridad Mol	6
Total contenido solido (SC) activadores 1 y 2	% SC contenido total aglutinante en peso	19
Dosis agente retención de la manejabilidad	% SC contenido total aglutinante	-
Arena 0/4 redonda	kg/m ³	687
Agregados finos arena 4/8 redonda	kg/m ³	431
Aire atrapado	l/m ³	20
Volumen de la pasta	l/m ³	373
Resultados		

	Unidad	Valor
Tipo asentamiento	-	SF1
Flujo asentamiento	mm	620
Retención manejabilidad	min	10
Fuerza en 2 días	Mpa	4.5
Fuerza en 7 días	Mpa	12.3
Fuerza en 28 días	Mpa	21.5

Ejemplo 2 - Mezcla de Cemento de Referencia SF1 con Agente de Retención de la Manejabilidad

Material	Unit	Quantity
Contenido total aglutinante	kg/m ³	400
Cenizas volátiles de referencia (Tabla 3)	-	LA
Contenido cenizas volátiles	kg/m ³	400
Escorias de referencia (Tabla 4)	-	-
Contenido escorias	kg/m ³	0
w/b efec	-	0.41
Relación escorias/cenizas volátiles	Kg/Kg	-
Dosis activador 1	Molaridad Mol	2.3
Dosis activador 2	Molaridad Mol	6
Total contenido solido (SC) activadores 1 y 2	% SC contenido total aglutinante en peso	19
Dosis agente retención de la manejabilidad	% SC contenido total aglutinante	1.2

Arena 0/4 redonda	kg/m ³	687
Agregados finos arena 4/8 redonda	kg/m ³	431
Agregados gruesos arena 8/16 redonda	kg/m ³	481
Aire atrapado	l/m ³	20
Volumen de la pasta	l/m ³	373
Resultados		
	Unidad	Valor
Tipo escorias	-	
Flujo escorias	mm	615
Retención manejabilidad	min	45
Fuerza en 2 días	Mpa	4.85
Fuerza en 7 días	Mpa	11.9
Fuerza en 28 días	Mpa	23.1

De los ejemplos 1 y 2, el efecto del agente de retención de la manejabilidad se demuestra mediante el aumento de la retención de la capacidad de manejabilidad de 10 minutos a 45 minutos. Los 2 ejemplos también muestran que las propiedades naturales iniciales y las propiedades mecánicas finales no se ven afectadas por la adición del agente de retención de la manejabilidad. Los siguientes ejemplos 3 y 4 muestran diferentes diseños de mezcla, los cuales utilizan diversos contenidos de aglutinante y diversas composiciones del mismo, utilizando el agente de retención de la manejabilidad para asegurar ésta por lo menos 45 minutos.

Ejemplo 3 - Tipo de Flujo del Cemento S4

Material	Unidad	Cantidad
Contenido total aglutinante	kg/m ³	450
Cenizas volátiles de referencia (Tabla 3)	-	MEL
Contenido cenizas volátiles	kg/m ³	340
Escorias de referencia (Tabla 4)	-	GER
Contenido de escorias	kg/m ³	110
w/b efec	-	0.38
Relación escorias/cenizas volátiles	Kg/Kg	0.32
Dosis activador 1	Molaridad Mol	2
Dosis activador 2	Molaridad Mol	5
Total contenido sólido(SC) de activadores 1 y 2	%SC contenido total de aglutinante en peso	16
Dosis agente de retención de manejabilidad	%SC contenido total de aglutinante	0.6
Arena 0/4 redonda	kg/m ³	679
Agregados finos arena 4/8 redonda	kg/m ³	426
Agregados gruesos arena 8/16 redonda	kg/m ³	475
Aire atrapado	l/m ³	18
Volumen de la pasta	l/m ³	386
Resultados		
	Unidad	Valor
Tipo asentamiento	-	S4
Flujo asentamiento	mm	220

Retención manejabilidad	min	45
Fuerza en 1 día	Mpa	2.05
Fuerza en 7 días	Mpa	13.8
Fuerza en 28 días	Mpa	23.9

Ejemplo 4 - Tipo de Flujo del Cemento SF2

Material	Unit	Quantity
Contenido total aglutinante	kg/m ³	350
Cenizas volátiles de referencia (Tabla 3)	-	LA
Contenido cenizas volátiles	kg/m ³	350
Escorias de referencia (Tabla 4)	-	-
Contenido escorias	kg/m ³	0
w/b efec	-	0.42
Relación escorias/cenizas volátiles	Kg/Kg	-
Dosis activador 1	Molaridad Mol	2.3
Dosis activador 2	Molaridad Mol	6
Total contenido sólido(SC) de activadores 1 y 2	%SC contenido total de aglutinante en peso	
Dosis agente de retención de manejabilidad	%SC contenido total de aglutinante	1.2
Arena 0/4 redonda	kg/m ³	726
Agregados finos arena 4/8 redonda	kg/m ³	456
Agregados gruesos arena 8/16 redonda	kg/m ³	508
Aire atrapado	l/m ³	2.2%
Volumen pasta	l/m ³	338

Resultados		
	Unidad	Valor
Tipo asentamiento	-	SF2
Flujo asentamiento	mm	670
Retención manejabilidad	min	60
Fuerza en 1 día	Mpa	2.1
Fuerza en 7 días	Mpa	4.5
Fuerza en 28 días	Mpa	20.0

Ejemplo 5: Tipo de Flujo del Cemento S1: Diseño de mezcla específica elaborado para la producción de tuberías de cemento para aguas residuales.

- 5 El cemento se produjo en una mezcladora central utilizando técnicas y procedimientos convencionales. El cemento fue transportado por cintas transportadoras a las diferentes unidades de vaciado. Los diferentes tamaños de RCP se produjeron mediante los métodos de "vaciado en seco" y
- 10 "prensado radial".

Material	Unidad	Cantidad
Contenido total aglutinante	kg/m ³	400
Cenizas volátiles de referencia (Tabla 3)	-	STO
Contenido cenizas volátiles	kg/m ³	400
Escorias de referencia (Tabla 4)	-	-
Contenido escorias	kg/m ³	0
w/b efec	-	0.32

Relación escorias/cenizas volátiles	Kg/Kg	-
Dosis activador 1	Molaridad Mol	1.8
Dosis activador 2	Molaridad Mol	4.7
Total contenido sólido (SC) de activadores 1 y 2	%SC contenido total de aglutinante en peso	12
Dosis agente de retención de manejabilidad	%SC contenido total de aglutinante	1.2
Arena 0/4 triturada	kg/m ³	827
Agregados finos arena 4/8 triturada	kg/m ³	570
Agregados gruesos arena 8/11 triturada	kg/m ³	329
Aire atrapado	l/m ³	20
Volumen pasta	l/m ³	322
Resultados		
	Unidad	Valor
Tipo asentamiento	-	S1
Flujo asentamiento	mm	<50
Retención manejabilidad	min	60
Fuerza en 1 día*	Mpa	14.57
Fuerza en 7 días	Mpa	16.72
Fuerza en 28 días	Mpa	23.22

*Las muestras se curaron con vapor a 60°C durante 12 hrs, antes de las condiciones normales de curado.

Ejemplo 6 - Tipo de Flujo de Cemento S1 - Diseño de mezcla específica elaborada para la producción de tuberías de cemento para aguas residuales.

El cemento se produjo en una mezcladora central, utilizando técnicas y procedimientos convencionales. El cemento fue transportado por cintas transportadoras a las diferentes unidades de vaciado. Los diferentes tamaños RCP fueron producidos por el equipo "Hawk Eye".

Material	Unidad	Cantidad
Contenido total aglutinante	kg/m ³	350
Cenizas volátiles de referencia (Tabla 3)	-	ALE
Contenido cenizas volátiles	kg/m ³	350
Escorias de referencia (Tabla 4)	-	-
Contenido escorias	kg/m ³	0
w/b efec	-	0.33
Relación escorias/cenizas volátiles	Kg/Kg	-
Dosis activador 1	Molaridad Mol	1.5
Dosis activador 2	Molaridad Mol	3
Total contenido sólido (SC) de activadores 1 y 2	% SC contenido total de aglutinante en peso	8
Dosis agente retención de manejabilidad	% SC contenido total de aglutinante	1.5
Arena 0/4 triturada	kg/m ³	944
Agregados finos arena 4/8 triturada	kg/m ³	946
Agregados gruesos arena 8/11 triturada	kg/m ³	-
Aire atrapado	l/m ³	20
Volumen pasta	l/m ³	274
Resultados		

	Unidad	Valor
Tipo asentamiento	-	S1
Flujo asentamiento	mm	<50
Retención manejabilidad	min	120
Fuerza en 1 día*	Mpa	12.7
Fuerza en 7 días	Mpa	18.5
Fuerza en 28 días	Mpa	24.9

*Las muestras se curaron con vapor a 60°C durante 12 hrs, antes de las condiciones normales de curado.

Alternativamente, el material maleable, de acuerdo con
5 esta invención, puede contener ventajosamente fibras de alta resistencia (acero o aramida o carbono o fibra de vidrio o fibras minerales), fibras orgánicas o sintéticas.

Alternativamente, la mezcla de cemento de esta invención puede tener una sustitución parcial o total de la arena y los
10 agregados con arena y agregados ligeros (pizarra expandida, arcilla expandida, vidrio expandido o piedra pómez, puzolanas naturales, etc.). Esto permite obtener cementos estructurales ligeros, reforzados con fibra con densidades inferiores a 1800 kg/m³, preferiblemente inferiores a 1600 Kg/m³ o incluso más
15 preferiblemente inferiores a 1400 kg/m³, para reducir el peso del elemento estructural y aumentar la resistencia térmica (o reducir la conductividad térmica).

Finalmente, el material maleable, de acuerdo con esta invención, puede contener otro tipo de aditivos como atrapadores de aire, para aumentar la cantidad de aire controlado en el producto final endurecido, reductores de agua y plastificantes o superplastificantes, etc.

Esta invención proporciona muchas ventajas que no hubieran podido lograrse antes:

- La presente invención permite usar altas dosis de cenizas volátiles en el aglutinante (de más del 75% de cenizas en porcentaje en peso a 100% de cenizas), reduciendo así los costos de las materias primas y proporcionando una solución que puede utilizarse en muchos lugares donde la escoria de buena calidad no se encuentra disponible.
- La presente invención permite conseguir una retención de la manejabilidad de al menos 45 minutos, independientemente del flujo inicial del material maleable nuevo.
- Esta invención se puede utilizar para la fabricación de tuberías, más específicamente para tuberías de aguas residuales, utilizando la excelente resistencia química a los sulfatos y a los ácidos de las puzolanas activadas

con los álcalis, en comparación con el cemento a base de cemento normal.

- La presente invención permite el uso del material maleable para la colada en los sitios de trabajos que requieren varias propiedades de colocación nuevas (pavimento, construcción, infraestructura, aplicaciones marinas, etc.), así como para la industria de la prefabricación.

10

15

20

