

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 676 413**

51 Int. Cl.:

C04B 28/08 (2006.01)

C04B 7/153 (2006.01)

C04B 7/17 (2006.01)

C04B 111/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.04.2014 PCT/GB2014/051300**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.10.2014 WO14174312**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.04.2014 E 14719845 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.05.2018 EP 2989063**

54 Título: **Composición de aglutinante que comprende escoria de alto horno granulada molida, escoria básica de oxígeno y un material residual inorgánico alcalino seleccionado de polvo de derivación, polvo de horno de cemento o mezclas de los mismos**

30 Prioridad:

26.04.2013 GB 201307622

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

19.07.2018

73 Titular/es:

**COVENTRY UNIVERSITY (100.0%)
Priory Street
Coventry, West Midlands CV1 5FB, GB**

72 Inventor/es:

GANJIAN, ESHMAIEL

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 676 413 T3

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

DESCRIPCIÓN

Composición de aglutinante que comprende escoria de alto horno granulada molida, escoria básica de oxígeno y un material residual inorgánico alcalino seleccionado de polvo de derivación, polvo de horno de cemento o mezclas de los mismos

La presente invención se refiere a nuevas mezclas cementosas formadas a partir de materiales residuales industriales que encuentran un uso particular en la producción de bloques de pavimentación y materiales de construcción de hormigón compactado con rodillo (RCC). Como alternativa el cemento Portland tradicional, esto proporciona el potencial de construir materiales con una huella de carbono reducida sin afectar negativamente a su durabilidad y a otras características físicas.

El hormigón siendo un importante material de construcción. Es un material compuesto que comprende áridos, arena, cemento y, opcionalmente, materiales adicionales tales como aditivos y refuerzos. El árido consiste en pedazos de material, típicamente fragmentos relativamente grandes. Típicamente estos son grava gruesa, rocas machacadas tales como caliza o granito u otros materiales similares. A menudo el árido se complementa con arena. El cemento es el aglutinante que fragua y endurece para unir las partículas del árido entre sí. Los cementos más comunes comprenden puzolanas: materiales silíceos o silíceo-aluminosos que, cuando están finamente divididos y en presencia de agua, reaccionarán químicamente con el hidróxido de calcio u otros álcalis a temperaturas ordinarias para formar compuestos que poseen propiedades cementosas (véase la norma ASTM C618).

Las composiciones de hormigón convencionales típicamente emplean cemento Portland, a menudo abreviado "OPC" o Cemento Portland Ordinario. El cemento Portland se prepara calentando piedra caliza (carbonato de calcio) con pequeñas cantidades de otros materiales (tales como arcilla) a temperaturas muy altas en un proceso conocido como calcinación, mediante el cual una molécula de dióxido de carbono se libera del carbonato de calcio para formar óxido de calcio, o cal viva, que después se combinan con otros materiales en la mezcla. La sustancia dura resultante, denominada "clínker", se muele después con una pequeña cantidad de yeso para dar un polvo. El cemento Portland consiste en al menos dos tercios en masa de silicatos de calcio ($3 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$ y $2 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$), consistiendo el resto en fases de clínker que contienen aluminio y hierro y otros compuestos. La proporción de CaO a SiO_2 típicamente no es menor de 2,0, mientras que el contenido de óxido de magnesio (MgO) no supera el 5,0 % en masa. Por tanto, el cemento Portland es típicamente una combinación de silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico, aluminoferrita tetracálcica y yeso.

En una base anual, el cemento Portland se produce en una cantidad de aproximadamente 1600 millones de toneladas. La producción de cada tonelada de cemento Portland libera aproximadamente 1 tonelada de dióxido de carbono (CO_2), uno de los principales contribuyentes a las emisiones de gases invernadero responsables del calentamiento global. Por tanto, se estima que su producción es responsable del 7 al 8 % de las emisiones de CO_2 globales anuales.

La pasta cementosa en forma de bloques de pavimentación pre-colados se usa ampliamente para un amplio intervalo de aplicaciones incluyendo paisajismo de exteriores. El atractivo de los bloques de pavimentación es que son capaces de proporcionar una superficie dura que es visualmente atractiva (los bloques están disponibles en un número de diferentes formas y colores), y es fácil caminar sobre ellos mientras que, al mismo tiempo, permiten un fácil mantenimiento y tienen una larga vida útil. Por lo tanto, pueden usarse para la mayor parte de fines de altas prestaciones, siendo capaces de tratar con cargas considerables así como de ofrecer resistencia a aquellas fuerzas que podrían cizallar o dañar de otra manera su superficie. Actualmente, el cemento Portland es un componente esencial en todos los bloques de pavimentación. En su fabricación, la cantidad mínima de cemento usada es de 200 kg por m^3 (aunque a menudo en el intervalo de 300 a 400 kg/m^3).

Se han realizado intentos continuos para encontrar materiales adecuados para reemplazar (completamente, o en parte) el cemento Portland. Un número de estos materiales, tales como puzolana natural, piedra caliza y metacaolín aparecen de forma natural, mientras que otras puzolanas artificiales (industriales), tales como cenizas volantes, escoria que se ha producido por ciertos procesos metalúrgicos, sílice pirógena y otros, son los subproductos de otras industrias. Usar una mayor cantidad de materiales residuales disminuye su efecto sobre el medioambiente y ayuda a ahorrar materias primas naturales así como a reducir la energía global requerida para producir un material cementoso y, de esta manera, a reducir las emisiones de CO_2 .

Lizarrzo-Marriaga J. et al.: "Effect of Steel Slag and Portland Cement in the Rate of Hydration and Strength of Blast Furnace Slage Pastes", Jour. Mat. in Civil Engineering, vol. 23, n.º 2, febrero 2011 divulga un estudio experimental sobre el efecto de la escoria básica de oxígeno y OPC sobre la hidratación y resistencia de escoria de alto horno granulada. Chaunsali P. et al. "Evolution of strength, microestructura and mineralogical composition of a CKD-GGBKS binder", Cement and Concrete Research, Pergamon composition of a CKD-GGBFS binder", Cement and Concrete Research, Pergamon Press, páginas 197-208, vol. 41, n.º 2, febrero 2011 divulga la evolución de la resistencia, microestructura y composición mineralógica de una combinación binaria de aglutinante CKD-GGBFS. Abo-el-Enein S.A. et al.: "Hydration characteristics of mixtures of by-pass dust and slag", Zement-Kalk-Gips - ZKG International, páginas 158-160, vol. 54, n.º 3, marzo 2001 divulga una combinación binaria de aglutinante de polvo

de derivación y escoria. Sadeghi Pouya H. *et al*: "Development of novel cementitious binders using plasterboard waste and pozzolanic materials for road bases", Sustainable Construction Materials and Technologies, páginas 209-213, enero 2017 y Ganjian Eshmeiel *et al*: "Strength Optimization of Novel Binder Containing Plasterboard Gypsum Waste", ACI Materials Journal, American Concrete Institute, páginas 653-659, vol. 104, n.º 6, noviembre 2007
 5 divulgan combinaciones ternarias de aglutinante de yeso residual de pladur, escoria básica de oxígeno y de polvo de horno de cemento.

La presente invención aborda la necesidad de materiales alternativos al cemento Portland, reduciendo de esta manera la huella de carbono de la industria de la construcción. Tal objetivo es deseable desde el punto de vista de
 10 combatir el calentamiento global.

Se ha descubierto ahora, sorprendentemente, que el cemento Portland puede reemplazarse por un nuevo aglutinante como se define en la reivindicación 1 en forma de una mezcla de residuo mineral y subproductos industriales, más específicamente una mezcla de escoria de alto horno granulada molida (GGBS) y escoria básica de oxígeno (BOS) junto con un material residual inorgánico alcalino, tal como polvo de derivación (BPD) o polvo de horno de cemento (CKD). Tales composiciones no solo proporcionan una huella de CO₂ reducida, sino que
 15 posibilitan un método de construcción semi-seco que tiene excelente calidad, constructabilidad y eficacia medioambiental. El hormigón formado a partir de tales composiciones es particularmente adecuado para su uso como materiales de construcción de RCC (Hormigón Compactado con Rodillo), por ejemplo en la producción de
 20 capas de pavimento o bloques de pavimentación.

Las composiciones de la invención proporcionan otro beneficio ambiental reutilizando materiales residuales industriales/minerales. Esto conducirá a una reducción en la acumulación de tales materiales residuales, disminuyendo de esta manera su impacto sobre el medio ambiente y facilitando los problemas asociados con la
 25 evacuación de los materiales residuales a un vertedero. Los beneficios económicos se apreciarán también en la industria debido a los costes reducidos de evacuación de residuos y libertad respecto a leyes y normativas complejas relacionadas con la evacuación del material residual. Los productores de hormigón se beneficiarán también de unos menores costes de producción debido a la fácil disponibilidad y bajo coste del residuo industrial.

Otro beneficio asociado con las composiciones de la presente invención es que se requiere menor contenido de agua que con las composiciones convencionales de cemento Portland-hormigón. El menor contenido de agua da lugar a un aumento significativo en la resistencia a la compresión de las mezclas de pasta y hormigón formadas usando las nuevas composiciones, así como aumentando el atractivo de estas para su uso como una alternativa al
 30 cemento Portland en la producción de RCC y materiales de construcción de compactación por vibro-presión, tales como bloques de pavimento, en donde se usa un método semi-seco para la colada.
 35

Por lo tanto, en un primer aspecto, la invención proporciona una composición de aglutinante que está exenta de cemento Portland y que comprende:

- 40 (a) escoria de alto horno granulada molida (GGBS) en una cantidad del 30 al 60 % p. en peso de la composición de aglutinante en una base de sólidos secos,
- (b) escoria básica de oxígeno (BOS) en una cantidad del 30 al 60 % p. en peso de la composición de aglutinante en una base de sólidos secos y
- 45 (c) un material residual inorgánico alcalino seleccionado de polvo de derivación (BDP), polvo de horno de cemento (CKD) y mezclas de los mismos en una cantidad del 3 al 12 % p. en peso de la composición de aglutinante en una base de sólidos secos. La GGBS es un subproducto no metálico producido a partir de un alto horno cuando se reduce el mineral de hierro a arrabio. La escoria en forma líquida se enfría rápidamente para formar una puzolana granulada. Esta puede macharse y molerse para producir un grano fino que se presenta como un polvo blanco fino. La composición exacta de la GGBS dependerá de las condiciones exactas y de los
 50 materiales encontrados en el alto horno, aunque la GGBS típicamente comprende como sus componentes principales CaO y SiO₂. Otros componentes típicos incluyen Al₂O₃ y MgO y otras bases que se desarrollan en una condición fundida simultáneamente con el hierro en un alto horno. Típicamente, la GGBS comprenderá CaO en un intervalo de aproximadamente 30-50 % y SiO₂ en un intervalo de aproximadamente 28-38 % en peso en una base de sólidos secos. La GGBS típicamente contiene menos del 1 % p. de sílice cristalina y menos de 1
 55 ppm de cromo soluble en agua (IV). Los silicatos y aluminosilicatos de calcio, cuando están presentes, generalmente constituirán aproximadamente el 99 % p. de la GGBS. Sus partículas son irregulares con una densidad relativa (peso específico) de aproximadamente 2,9 kg/m³. La composición química de los óxidos en la GGBS es similar a la del cemento Portland, pero la proporción varía (véase por ejemplo Dubey *et al.*, International Journal of Scientific & Engineering Research, Vol. 3, Ejemplar 8, 2012). La GGBS adecuada para su
 60 uso en la invención está ampliamente disponible y puede obtenerse a partir de numerosas fuentes. Generalmente se comercializa con una composición que se adapta a los criterios expuestos en la norma BS EN 15167-1:2006.

La escoria básica de oxígeno (BOS), conocida también como polvo de escoria de acero o escoria del convertidor LD, es un subproducto que se obtiene como resultado cuando el hierro se convierte en acero usando un horno básico de oxígeno o a partir de chatarra de fusión para crear acero en un horno de arco eléctrico. El proceso de oxígeno
 65

básico se describe en Caiju, S., Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 16(3): 230-236, 2004. En este proceso, el metal caliente se trata soplando oxígeno para retirar el carbono y otros elementos que tienen una alta afinidad por el oxígeno. La escoria se genera por la adición de fundentes, tales como caliza y/o dolomita, que se combinan con los silicatos y óxidos para formar escoria líquida. Algunas cantidades de chatarra se añaden también para controlar la temperatura de las reacciones exotérmicas. Cuando el proceso de reacción se ha completado, el acero en bruto fundido se recoge en el fondo del horno y la escoria líquida flota en la parte superior del mismo. El acero en bruto y la escoria se golpean en recipientes separados a temperaturas típicamente por encima de 1600 °C. Después del golpeo la escoria líquida en el recipiente puede tratarse adicionalmente por inyección de SiO₂ y oxígeno para aumentar su estabilidad en volumen. La escoria fundida después se vierte en fosos o estanques de tierra donde se enfría con aire en condiciones controladas que forman escoria cristalina. Para ajustar las propiedades técnicas requeridas para un uso específico, pueden realizarse diferentes medidas tales como meteorización, machacado y/o tamizado sobre la escoria cristalina.

La BOS adecuada para su uso en la invención puede obtenerse a partir de un número de fuentes. Un proveedor particular es Tarmac UK. Antes de su uso en las composiciones de aglutinante de acuerdo con la invención, este material puede machacarse o molerse usando métodos de molienda convencionales y opcionalmente tamizarse para proporcionar un material que tenga una distribución seleccionada del tamaño de partícula.

El polvo de derivación (BPD) es un subproducto de la fabricación del cemento Portland recogido del horno. Se usa la derivación para arrastrar los materiales volátiles que de lo contrario se recircularían alrededor del horno y el sistema precalentador (condensando en las partes más frías del horno causando bloqueos) o eventualmente acabando en el clínker de cemento. El polvo de derivación de cemento y el polvo de horno de cemento (CKD) se producen a diferentes temperaturas. El CKD se extrae del horno durante su longitud inicial (desde los precipitadores electrostáticos en el cañón de la chimenea) a una temperatura de 300 °C mientras que el BPD se extrae de la parte del horno (la derivación) donde la temperatura es de aproximadamente 1000 °C. Como resultado, el BPD contiene más fases cementosas en comparación con el CKD, que contiene una mayor cantidad de carbonato de calcio (caliza).

Las composiciones de CKD típicas comprenderán CaCO₃ como un componente principal junto con cantidades más pequeñas de SiO₂ y otros materiales. Los ejemplos de composiciones de CKD pueden encontrarse en Haynes, B.W. y Kramer, G.W., *Characterization of U.S. Cement Kiln Dust*, Bureau of Mines, United States Department of Interior, Washington, DC, USA Information Circular #8885, 1982.

La Tabla 1 a continuación proporciona un análisis de una composición de CKD típica, tomada a partir de la referencia citada anteriormente. Esto se proporciona puramente con fines ilustrativos. Como reconocerán los expertos en la materia, existe un amplio intervalo de composiciones de CKD alternativas y sería igualmente apropiado para su uso en las composiciones de aglutinante de la invención.

Tabla 1: Composición típica de polvo de horno de cemento (Haynes y Kramer, 1982)

Constituyente	% en peso	Constituyente	% en peso
CaCO ₃	55,5	Fe ₂ O ₃	2,1
SiO ₂	14,6	KCl	1,4
CaO	8,1	MgO	1,3
K ₂ SO ₄	5,9	Na ₂ SO ₄	1,3
CaSO ₄	5,2	KF	0,4
Al ₂ O ₃	4,5	Otros	0,7

Como se ha indicado anteriormente, una ventaja particular de la composición de aglutinante descrita en el presente documento es que esta puede usarse sin necesidad de ningún cemento Portland. Las composiciones de aglutinante descritas en el presente documento que están sustancialmente exentas de (por ejemplo, exentas de) cemento Portland forman un aspecto particularmente preferido de la invención.

Típicamente, en una composición de acuerdo con la invención, los componentes GGBS y BOS formarán juntos la parte principal de la composición de aglutinante, formando el material residual inorgánico (es decir, BPD, CKD o mezclas de los mismos) el componente minoritario.

Todas las referencias en el presente documento a composiciones de aglutinante como porcentaje (%) o porcentaje en peso (% p.) se refieren a composiciones en una base de sólidos secos "en peso de aglutinante" (epda) a menos que se indique de otra manera, es decir, en peso respecto a la composición básica que es capaz de formar un material aglutinante.

El componente (a), GGBS, está presente en una cantidad del 30 al 60 % p. en peso de una composición de aglutinante en una base de sólidos secos, por ejemplo al menos 35 % p. epda o al menos 40 % p. o hasta 60 % p. epda, por ejemplo hasta 55 % p. epda, hasta 50 % p. epda o hasta 45 % p. epda. Las cantidades adecuadas de GGBS para su uso en las composiciones de aglutinante de acuerdo con la invención, por ejemplo, pueden ser del 30

al 35 % p. epda, del 35 al 50 % p. epda o del 35 al 45 % p. epda. Se prefiere una cantidad del 35 al 45 % p. epda. En una realización preferida la GGBS está presente en una cantidad del 40 % p. epda.

El componente (b), BOS, está presente en una cantidad del 30 al 60 % p. en peso de la composición de aglutinante en una bases de sólidos secos, por ejemplo al menos 35 % p. epda, al menos 40 % p. epda o al menos 45 % p. epda. La BOS está presente en una cantidad de hasta el 60 % p. epda, hasta el 55 % p. epda, o hasta 50 % p. epda. Las cantidades adecuadas de BOS para su uso en las composiciones de aglutinante de acuerdo con la invención por lo tanto, puede ser por ejemplo, del 35 al 60 % p. epda, del 40 al 60 % p. epda o del 45 al 55 % p. epda. Se prefiere del 45 al 55 % p. epda. En una realización preferida la BOS está presente en una cantidad del 50 % p. epda.

El componente (c), el material residual inorgánico alcalino seleccionado de polvo de derivación (BPD), polvo de horno de cemento (CKD) y mezclas de los mismos, está presente en una cantidad del 3 al 12 % p. en peso de la composición de aglutinante en una base de sólidos secos, por ejemplo al menos del 3,5 % p. epda, al menos 4 % p. epda, o al menos 4,5 % p. epda. El componente (c) está presente en una cantidad de hasta el 12 % p. epda, por ejemplo hasta el 11,5 % p. epda, hasta el 11 % p. epda o hasta el 10,5 % p. epda.

Las cantidades adecuadas del componente (c) para uso en las composiciones de aglutinantes de acuerdo con la invención, por lo tanto, pueden ser por ejemplo, del 3,5 al 11,5 % p. epda, del 3,5 al 11 % p. epda, del 3,5 al 10,5 % p. epda, del 4 al 11,5 % p. epda, del 4 al 11 % p. epda, del 4 al 10,5 % p. epda o del 4,5 al 10,5 % p. epda. Los intervalos particularmente preferidos son del 4 al 6 % p. epda y del 9 al 11 % p. epda. En una realización preferida el componente (c) está presente en una cantidad de 5 % p. epda o del 10 % p. epda.

El BPD es particularmente preferido para su uso como el componente (c). Donde se usan mezclas de BPD y CKD, estas generalmente comprenderán 50 % p. o mayor de BPD como una proporción de la mezcla BPD/CKD.

Los componentes (a), (b) y (c) pueden estar presentes juntos en las composiciones de la invención en cualquier combinación de las cantidades dadas anteriormente. La invención proporciona una composición de aglutinante que está exenta de cemento Portland y que comprende:

- (a) GGBS en una cantidad de aproximadamente 30 a aproximadamente 60 % p. epda,
- (b) BOS en una cantidad de aproximadamente 30 a aproximadamente 60 % p. epda,
- (c) BPD en una cantidad de aproximadamente 3 a 12 % p. epda.

En tal realización, las cantidades de los componentes (a), (b) y (c) pueden elegirse independientemente entre los diversos intervalos citados anteriormente, con tal que el % p. epda total de los componentes no supere el 100 % p. epda.

En una realización particularmente preferida, la invención proporciona una composición de aglutinante que comprende GGBS en una cantidad del 40 % p. epda, BOS en una cantidad de 50 % p. epda y BPD en una cantidad del 10 % p. epda.

Los métodos de preparación de las composiciones de aglutinante descritas en el presente documento forman un aspecto adicional de la invención. Tales métodos comprenden la etapa de mezclar los diversos componentes de la composición (en forma seca) en los intervalos definidos. Si fuera apropiado, antes de la mezcla, el componente BOS del aglutinante puede molerse, por ejemplo, usando un molino de bolas, y hacerse pasar a través de un tamiz para mejorar el grado de homogeneidad de los tamaños de partícula. El mezclado de los diversos componentes puede realizarse manualmente, mecánicamente (por ejemplo, empleando una mezcladora de cubeta), o usando una combinación de mezclado manual y mecánico (por ejemplo, alternando etapas de mezclado mecánicas y manuales), según se desee, para alcanzar el grado de homogeneidad deseado.

Para formar hormigón, las composiciones de aglutinante de la invención se mezclan con agua para experimentar una reacción de hidratación como se analizado anteriormente. Esto forma una mezcla de pasta que consiste en una composición de aglutinante como se ha descrito en el presente documento y agua. Tales mezclas de pasta son adecuadamente semi-secas, es decir, comprenden suficiente agua para permitir que tengan lugar las reacciones de hidratación necesarias, lo que conduce al endurecimiento de la mezcla de aglutinante, pero no comprende un exceso significativo de agua. La razón de agua a aglutinante (W/B) en las mezclas de pasta es deseablemente de 0,1 a 0,25. Particularmente preferentemente la razón W/B es de 0,15.

Aunque las mezclas de pasta son capaces de experimentar las reacciones apropiadas de hidratación y solidificación para formar un artículo sólido con buena resistencia física, tales artículos típicamente son inadecuados para aplicaciones de ingeniería civil, puesto que aunque son fuertes, no satisfacen los requisitos de durabilidad necesarios para los fines prácticos, tales como los ensayos resistencia a la meteorización (por ejemplo, resistencia a congelación-descongelación y absorción de agua). Además de agua, las composiciones de aglutinante de la invención, por lo tanto, generalmente se mezclarán con otros componentes formadores de hormigón convencionales incluyendo áridos y arena, que se unirán con el aglutinante para formar hormigón. La presencia de árido y opcionalmente arena sirve para mejorar los criterios de resistencia a la meteorización y de rendimiento del material

compuesto global. El árido y la arena proporcionan también un aumento de volumen al material. Colectivamente, el árido y la arena pueden denominarse en el presente documento como "piedras". Idealmente, tales mezclas de hormigón excluyen cemento Portland. Opcionalmente, el aglutinante puede proporcionarse a clientes tales como fábricas, como una mezcla pre-combinada lista para mezclarla con otros componentes formadores de hormigón. El aglutinante pre-combinado, por lo tanto, puede almacenarse en la fábrica en un silo, más que requerir múltiples silos para alojar por separado los componentes individuales del aglutinante.

El uso de una composición como se describe en el presente documento como un aglutinante en una mezcla de hormigón forma un aspecto adicional de la invención

Todas las referencias en el presente documento a mezclas de hormigón en porcentaje (%) o porcentaje en peso (% p.) se refieren a composiciones sobre una base de sólidos secos a menos que se indique de otra manera. Tales referencias al contenido como porcentaje (%) o porcentaje en peso (% p.) no deberían confundirse con las referencias a la composición en peso de aglutinante (epda) que se usa para hacer referencia a la composición del aglutinante. De esta manera, por ejemplo, una composición de aglutinante que comprende componentes que hacen un total del 100 % p. epda forma por sí misma menos del 100 % p. de la mezcla de hormigón global.

En un aspecto adicional, la invención proporciona una mezcla de hormigón que comprende:

- (i) una composición de aglutinante como se ha descrito en el presente documento;
- (ii) árido;
- (iii) arena; y opcionalmente
- (iv) fibras.

En las mezclas de hormigón de la invención, el componente (i), el aglutinante, típicamente puede estar presente en una cantidad del 5 al 30 % p. de la composición, por ejemplo del 5 al 9 % p. o del 12 al 16 % p. Se prefiere especialmente que el componente (i) esté presente en una cantidad del 25 al 30 % p. En una realización particularmente preferida el componente (i) está presente en una cantidad del 28 % p.

El componente (ii), el árido, típicamente puede estar presente en una cantidad del 40 al 65 % p. Preferentemente este está presente en una cantidad del 45 al 55 % p. En una realización particularmente preferida el componente (ii) está presente en una cantidad del 50 % p.

El componente (iii), la arena, puede estar presente típicamente en una cantidad del 15 al 25 % p. En una realización particularmente preferida el componente (iii) está presente en una cantidad del 20 % p.

Opcionalmente, la mezcla de hormigón puede comprender adicionalmente, como componente (iv), fibras para proporcionar una resistencia superior al agrietamiento en hormigón en estado endurecido así como una resistencia máxima al daño por impacto pesado y carga dinámica. Las características positivas y beneficios adicionales proporcionados por la inclusión de fibras incluyen un aumento de la tenacidad a flexión / resistencia residual, mejor rendimiento post-agrietamiento y aumento de la resistencia al impacto y la abrasión. En ausencia de fibras, tales propiedades pueden conseguirse variando (por ejemplo, aumentando) las proporciones de aglutinante, arena y/o árido en la mezcla de hormigón, según sea apropiado para producir el resultado deseado. Las proporciones apropiadas las determinarán fácilmente los expertos en la materia. Sin embargo, el uso de fibras proporciona un medio más económico de conseguir este objetivo debido al menor coste de la fibra en comparación con los materiales aglutinantes y el árido.

Preferentemente, las fibras usadas en las mezclas de hormigón de la invención son fibras metálicas. Particularmente preferentemente, las fibras son fibras de acero. Pueden usarse también fibras de carbono y proporcionar una resistencia a la tracción similar a la de las fibras de acero.

Adecuadamente, las fibras pueden tener una longitud de 35 mm y un diámetro de 0,55 mm. Preferentemente, la resistencia a la tracción de las fibras es de 1250 N/mm². Opcionalmente, las fibras pueden tener extremos en forma de gancho para mejorar el enlace de las fibras con la matriz de hormigón, aunque pueden usarse también fibras que no tengan forma de gancho (corte recto).

Cuando están presentes, las fibras típicamente pueden estar presentes en una cantidad del 1 al 2 % p. Preferentemente estas presentes en una cantidad del 1,5 % p.

Los componentes (i)-(iii) y, cuando están presente cualquier fibra (iv), pueden estar presentes juntos en las mezclas de hormigón de la invención en cualquier combinación adecuada de cantidades para proporcionar una composición con las propiedades deseadas cuando fragua. Las cantidades de estos componentes, por tanto, pueden seleccionarse independientemente de los diversos intervalos citados anteriormente, con la condición de que el % p. total de los componentes (i)-(iii) no supere el 100 % p.

En el contexto específico de las fibras, el % p. de las fibras se calcula por separado del % p. de los componentes (i)-(iii). Los componentes (i)-(iii) juntos pueden hacer un total de, aunque sin superar, el 100 % p., como se ha descrito anteriormente. El contenido de fibra se calcula entonces como un % p. (adicional) del peso combinado de los componentes (i)-(iii) y, cuando está presente, cualquier otro componente que no sea fibra.

En una realización preferida, la invención proporciona una mezcla de hormigón que comprende el componente (i) en una cantidad del 28 % p., el componente (ii) en una cantidad del 52 % p., el componente (iii) en una cantidad del 20 % p. y el componente (iv) (fibras) en una cantidad del 1,5 % p., en donde la mezcla de hormigón está exenta de cemento Portland.

En una realización especialmente preferida la invención proporciona una mezcla de hormigón que comprende

- (i) una composición de aglutinante como se ha descrito en el presente documento en una cantidad del 28 % p.
- (ii) árido en una cantidad del 52 % p.;
- (iii) arena en una cantidad del 20 % p.;
- (iv) fibras en una cantidad del 1,5 % p.; en donde el componente (i) consiste en
 - (a) GGBS en una cantidad del 40 % p. epda,
 - (b) BOS en una cantidad del 50 % p. epda, y
 - (c) BPD en una cantidad del 10 % p. epda

Los métodos de fabricación de una mezcla de hormigón como se describe en el presente documento forman parte también de la invención. Vista desde otro aspecto, la presente invención proporciona por tanto un método de fabricación de una mezcla de hormigón, comprendiendo dicho método la etapa de mezclar áridos finos y gruesos y opcionalmente arena junto con una composición de aglutinante como se ha definido en el presente documento. El método puede incluir adicionalmente el mezclado de fibras. La mezcla de los diversos componentes puede realizarse manualmente, mecánicamente (por ejemplo, empleando una mezcladora de cubeta), o usando una combinación de mezclado manual y mecánico (por ejemplo, alternando etapas de mezclado mecánicas y manuales) según se desee para alcanzar el grado de homogeneidad deseado.

El árido usado en las mezclas de hormigón de la invención preferentemente comprende o consiste en partículas de cuarzo natural aplastadas. Ventajosamente, el árido comprende una combinación de partículas que tienen diferentes tamaños de partícula para promover un "empaquetamiento" o llenado de espacios eficaz. Un empaquetamiento más eficaz generalmente permitiría la producción de un material más fuerte, aunque a medida que aumenta la eficacia de empaquetamiento disminuye el volumen de "espacios huecos" disponibles para ser ocupados por el aglutinante. Hay por lo tanto un equilibrio a alcanzar entre conseguir una eficacia de empaquetamiento máxima y mantener una cantidad suficiente de espacios huecos para permitir que el aglutinante permee a través del árido y una eficazmente las partículas de árido juntas. La selección apropiada de equilibrio de los diferentes tamaños de partícula permite, por tanto, conseguir un equilibrio óptimo entre empaquetamiento de alta densidad del material y la provisión del espacio hueco para que lo ocupe el aglutinante.

Preferentemente, el árido comprende (por ejemplo, consiste esencialmente en) una mezcla de partículas finas y gruesas. En una realización el árido consiste en una combinación de partículas de cuarzo machado finas y gruesas.

Los tamaños de partículas finas y gruesas y la razón de partículas finas:gruesas pueden variar dependiendo del fin pretendido del artículo de hormigón acabado. El tamaño de partícula puede determinarse adecuadamente por un ensayo de gradación. El ensayo de gradación, conocido también como análisis de tamiz, es un procedimiento común usado para evaluar la distribución del tamaño de partícula (gradación) de un material granular y se realiza comúnmente de acuerdo con la norma ASTM C136-06 o BS EN 12620:2002. En el contexto de los bloques de pavimentación, "partículas finas" normalmente son aquellas que tienen un diámetro máximo de aproximadamente 4 mm y "partículas gruesas" son normalmente aquellas que tienen un diámetro máximo de aproximadamente 6-10 mm.

Como se ha descrito anteriormente, la razón de partículas finas a gruesas debería elegirse para conseguir un empaquetamiento óptimo. En el caso de partículas finas que tienen un diámetro máximo de 4 mm y partículas gruesas que tienen un diámetro máximo de 6 mm, la razón de partículas finas a gruesas típicamente están en el intervalo de 5:1 a 6:1. Como reconocerá un experto habitual en la materia, un intervalo de tamaños de partícula alternativos y razones de partículas finas a gruesas puede ser apropiado dependiendo de las propiedades pretendidas y el fin del artículo de hormigón acabado. La variación en los tamaños y la razón de partículas de árido puede necesitar también una modificación de las proporciones relativas de otros componentes en la mezcla de hormigón para mantener un conjunto dado de características físicas. La determinación de las combinaciones apropiadas de tamaños de partícula, razones y proporciones de otros componentes en la mezcla de hormigón serán una materia rutinaria para el experto.

De esta manera, en una realización preferida, el árido usado en las mezclas de hormigón de la invención comprende o consiste en una combinación de partículas de árido finas que tienen un tamaño máximo de 4 mm y partículas de

5 árida gruesas que tienen un tamaño máximo de 6-10 mm. En una realización particularmente preferida el árido comprende o consiste en una combinación de partículas de árido finas que tienen un tamaño máximo de 4 mm y partículas de árido gruesas que tienen un tamaño máximo de 6 mm, en donde las partículas árido son áridos de cuarzo machacado natural y la razón de partículas finas a gruesas es de 5:1 a 6:1.

10 Para formar un artículo de hormigón, las mezclas de hormigón de la invención se mezclan con agua para experimentar una reacción de hidratación como se ha analizado anteriormente. Adecuadamente, la reacción puzolánica que da como resultado la formación de un artículo de hormigón endurecido puede conseguirse mezclando una mezcla de hormigón de acuerdo con la invención con agua para formar una composición semi-seca. Como se ha descrito anteriormente, por "semi-seco" se entiende que el agua se añade en una cantidad tal que esta comprende una razón de agua a aglutinante (W/B) de 0,1 a 0,25. Se prefiere particularmente que la razón W/B sea de 0,15.

15 De esta manera, vista desde otro aspecto, la invención proporciona una composición semi-seca que comprende una mezcla de hormigón como se describe en el presente documento en combinación con agua.

20 Opcionalmente, la composición semi-seca puede comprender adicionalmente aditivos químicos en forma de polvos o fluidos que modifican adicionalmente las características del hormigón, por ejemplo para acelerar o retardar la velocidad de hidratación, alterar el color por razones estéticas o aumentar la plasticidad (trabajabilidad) del hormigón antes de la solidificación. Pueden usarse clases convencionales de aditivos usados en solitario o combinación, incluyendo aceleradores, retardantes, sustancias de arrastre de aire, plastificantes, pigmentos, inhibidores de la corrosión, agentes de unión, adyuvantes de bombeo, etc. Cuando están presentes, los aditivos normalmente proporcionan hasta un máximo del 5 % p. de la composición semi-seca global (calculada de la misma manera que el % p. de las fibras que se ha descrito anteriormente).

25 Preferentemente, sin embargo, las composiciones semi-secas de la invención no incluyen mezclas y consisten esencialmente en una mezcla de hormigón como se ha descrito anteriormente (que opcionalmente incluye fibras) en combinación con agua. Como alternativa, las composiciones semi-secas de la invención pueden consistir esencialmente en una mezcla de hormigón como se ha descrito anteriormente (que opcionalmente incluye fibras) en combinación con agua y al menos un pigmento.

30 Tras el mezclado del agua con una mezcla de hormigón de acuerdo con la invención, la composición experimentará una reacción espontánea y exotérmica que da como resultado la formación de un artículo de hormigón endurecido. Por lo tanto, vista desde otro aspecto, la invención proporciona el uso de una composición de aglutinante, mezcla de hormigón o composición semi-seca como se describe en el presente documento en la fabricación de un artículo de hormigón. Los artículos de hormigón formados a partir de una composición de aglutinante, mezcla de hormigón o composición semi-seca como se describe en el presente documento forman otro aspecto de la invención.

35 Los artículos de hormigón de acuerdo con la invención pueden consistir en una única capa o pueden comprender una pluralidad de capas. Las capas adyacentes preferentemente están formadas a partir de mezclas de hormigón de diferente composición.

40 Por lo tanto, vista desde otro aspecto, la invención proporciona un artículo de hormigón formado a partir de una composición de aglutinante, mezcla de hormigón o composición semi-seca como se describe en el presente documento, comprendiendo dicho artículo de hormigón una pluralidad de capas, en donde las capas adyacentes difieren en composición. En una realización preferida los artículos de hormigón pueden comprender una capa inferior sin pigmento añadido y una capa superior que comprende al menos un pigmento. Tales artículos proporcionan un aspecto estético mejorado sobre una superficie del artículo que se pretende que quede expuesta a la vista, mientras que reducen la cantidad de pigmento necesaria para conseguir el aspecto mejorado. Un artículo de hormigón particularmente preferido de la invención es un bloque de pavimentación, especialmente un bloque de pavimentación multi-capas.

45 Cuando los bloques de pavimentación de acuerdo con la invención se forman a partir de mezclas de hormigón que comprenden fibras, se prefiere que el bloque de pavimentación comprenda una capa superior exenta de fibras y una capa inferior que comprende fibras. Esto evita que las fibras queden expuestas con el tiempo (por ejemplo, debido al daño tal como meteorización o abrasión), lo que podría suponer por lo demás un peligro de seguridad. Típicamente, la capa superior tendrá una profundidad de al menos 5 mm, por ejemplo aproximadamente 10 mm.

50 Preferentemente, el bloque de pavimentación de hormigón multi-capas comprende una capa superior exenta de fibras y que comprende un pigmento y una capa inferior exenta de pigmento que comprende fibras.

55 Para su uso en Reino Unido, los bloques de pavimentación deben satisfacer ciertos estándares mínimos como se expone en BS EN 1338:2003 con respecto a resistencia, resistencia a la meteorización y absorción de agua y características de resbalamiento/patinado. Se especifica una resistencia a la tracción mínima de 3,6 MPa en la norma BS EN1338:2003 para los bloques de pavimentación. El potencial para resbalamiento podría clasificarse como "satisfactorio", requiriendo una resistencia al resbalamiento/patinado de al menos 40 BPN (Números de

Péndulo Británico). El ensayo de absorción de agua debería mostrar un resultado de menos del 6 %. El ensayo de congelación/descongelación debería producir un resultado de $< 1,0 \text{ kg/m}^2$ (medido como la cantidad de pérdida de material debido al descascarillado de la superficie cuando se somete a ciclos de congelación-descongelación). Los detalles de los procedimientos de ensayo se describen en los Ejemplos y pueden encontrarse también en la documentación para la Norma Británica la que se hace referencia en el presente documento. Cuando sea apropiado, por optimización rutinaria, las cantidades relativas de cualquiera de los componentes de las composiciones descritas en el presente documento pueden variarse para satisfacer estos requisitos.

En un aspecto adicional la invención proporciona un bloque de pavimentación formado con una composición de aglutinante como se describe en el presente documento, teniendo dicho bloque de pavimentación al menos una de las siguientes propiedades según se determina de acuerdo con BS EN 1338:2003:

- (i) una resistencia a la tracción mínima de 3,6 MPa;
- (ii) una absorción de agua de menos del 6 %;
- (iii) una resistencia a la congelación-descongelación $< 1,0 \text{ kg/m}^2$; y
- (iv) una resistencia al resbalamiento/patinado de al menos 40 BPN.

Los bloques de pavimentación que tienen al menos dos de las propiedades anteriores, por ejemplo todas estas propiedades, forman una realización preferida de la invención.

Los métodos de preparación de cualquiera de los artículos de hormigón descritos en el presente documento también forman parte de la invención. Vista desde otro aspecto más, la invención proporciona, por tanto, un método de fabricación de un artículo de hormigón, preferentemente un bloque de pavimentación, comprendiendo dicho método las etapas de:

- (i) preparar una mezcla de hormigón como se define en el presente documento; y
- (ii) mezclar dicha mezcla de hormigón con agua, con lo que se forma una composición semi-seca como se describe en el presente documento; y opcionalmente
- (iii) colar la composición semi-seca en un molde que tiene la forma deseada.

Preferentemente, después de colar la composición semi-seca en el molde, la composición se comprime, por ejemplo usando una máquina de compresión, para compactar totalmente los materiales. Las cargas adecuadas son, por ejemplo, 150 kN para la producción de una pasta (agua + aglutinante solo) o 400 kN para la producción de hormigón. Los métodos de compresión/colada adecuados y las condiciones las conoce bien el experto y pueden llevarse a cabo usando un equipo de fábrica normal, tal como máquinas de pavimentación y mesas vibratorias de alta frecuencia, siempre y cuando estas sean capaces de conseguir el alto nivel de compactación y uniformidad de resistencia requeridos. Típicamente, se desean presiones de compactación hidráulica de al menos 5,5 MPa y vibración de alta intensidad de 3000 vibraciones por minuto (VMP).

Cuando se produce un artículo de hormigón multi-capa, pueden prepararse por separado dos o más composiciones semi-secas diferentes. Estas se vierten entonces una después de la otra en el mismo molde. La compactación se lleva a cabo típicamente después del vertido de la capa final. De esta manera, puede formarse un artículo de hormigón multi-capa que tienen dos o más capas de diferente composición.

De esta manera, vista a partir de otro aspecto, la invención proporciona un método de fabricación de un artículo de hormigón multi-capa, preferentemente un bloque de pavimentación, comprendiendo dicho método las etapas de:

- (i) preparar una primera mezcla de hormigón como se define en el presente documento; y
- (ii) mezclar dicha primera mezcla de hormigón con agua, con lo que se forma una primera composición semi-seca como se describe en el presente documento;
- (iii) verter la primera composición semi-seca en un molde que tiene una forma deseada;
- (iv) preparar una segunda mezcla de hormigón como se describe en el presente documento, en donde la composición de dicha segunda mezcla de hormigón es diferente de la primera mezcla de hormigón;
- (v) añadir agua a dicha segunda mezcla de hormigón, con lo que se forma una segunda composición semi-seca;
- y
- (vi) verter la segunda composición semi-seca en el molde, con lo que se forma una capa encima de la primera composición semi-seca.

Las etapas (iv)-(vi) pueden repetirse según sea necesario para producir un artículo de hormigón que tenga cualquier número de capas deseado, por ejemplo tres o más capas.

Los métodos adecuados de mezclado, vertido y colado los conoce bien el experto. Los aglutinantes y mezclas de hormigón de la presente invención pueden mezclarse adecuadamente, verterse y colarse de acuerdo con las mismas técnicas de fábrica convencionales que se emplean actualmente para la producción de composiciones que contienen cemento Portland.

En el contexto de los métodos a escala de laboratorio descritos en los Ejemplos a continuación, después de la colada, los materiales preferentemente se cubren con una hoja impermeable (por ejemplo, polietileno) o se curan en cámaras de curado para evitar la pérdida de agua y después se dejan durante una noche. Los materiales después se desmoldan y preferentemente se almacenan en cámaras de curado a una temperatura de aire constante de aproximadamente 22 °C ± 2 °C y una humedad relativa de aproximadamente el 95 % hasta que se necesiten. En la producción de la fábrica, el molde generalmente se retirará inmediatamente después de la colada y la compactación (por ejemplo, vibro-presión).

La invención se ilustrará ahora adicionalmente con referencia a los siguientes Ejemplos no limitantes y Figuras adjuntas, en las que:

- La Figura 1 muestra los resultados del análisis termogravimétrico (TGA) para una escoria básica de oxígeno no meteorizada (UW-BOS) y escoria básica de oxígeno meteorizada (W-BOS);
- la Figura 2 muestra los resultados del análisis TGA para polvo de derivación de cemento (BPD);
- la Figura 3 muestra un análisis de tamiz de áridos de 6 mm;
- la Figura 4 muestra un análisis de tamiz de áridos de 4 mm;
- la Figura 5 muestra los resultados de un ensayo de resistencia a la tracción por fraccionamiento (en MPa) sobre mezclas de OPC-GGBS-BOS de acuerdo con la invención llevado a cabo después de 14 días usando diferentes métodos de compactación;
- la Figura 6 muestra los resultados del ensayo de resistencia a la tracción por fraccionamiento (en MPa) sobre mezclas de OPC-GGBS-BOS de acuerdo con la invención llevado a cabo después de 14 días usando diferentes cargas de presión (en kN);
- la Figura 7 muestra los resultados de un análisis de difracción de rayos X (XRD) de una mezcla BOS-BPD-GGBS de acuerdo con la invención llevado a cabo después de 28 días; y
- la Figura 8 muestra una fotografía de un bloque de pavimentación preparado usando la composición de aglutinante de la invención (mezcla 5), tomada después de realizar el ensayo de tracción.

En los Ejemplos se emplean los siguientes acrónimos y abreviaturas:

Cemento Portland Ordinario	OPC
Escoria Básica de Oxígeno	BOS
Escoria de Alta Horno Granulada Molida	GGBS
Polvo de Derivación de Cemento	BPD
Ceniza de Combustible Pulverizada	PFA
Fibra de Acero	SF
Pérdida por Ignición	LoI
Número de Péndulo Británico	BPN
Cenizas Volantes Producidas	ROSA

La escoria de alto horno granulada molida (GGBS) se obtuvo de Civil and Marine, una parte de Hanson UK. El material se comercializaba bajo la norma BS EN 15167-1:2006 y tenía una densidad relativa de 2,9.

La escoria básica de oxígeno se adquirió en Tarmac UK de la planta Corus-Tata en Scunthorpe. Esta se molió usando un molino de bolas de laboratorio y se hizo pasar a través de un tamiz de 600 µm antes de añadirla a las mezclas. El tamaño de partícula promedio de la escoria BOS usada era de 40-60 µm según se determina mediante análisis láser con Malvern Mastersize 2000 con una precisión de ±1 %. La Figura 1 muestra los resultados del análisis termogravimétrico (TGA) de BOS meteorizada y no meteorizada, según se determina mediante el analizador termogravimétrico Perkin Elmer Pyris 1. La BOS meteorizada no se produce de forma reciente si no que se toma de un almacén y, de esta manera, tiende a estar más carbonata, es decir, tiene menos cal libre que la BOS no meteorizada.

El BPD se obtuvo de una empresa de cemento local, Castle Cement (grupo cementero Heidelberg, Rugby, UK). El BPD se proporcionó en forma de polvo. El tamaño promedio de partículas finas era de aproximadamente 10 µm para el BPD y el tamaño de partícula máximo era de 200 µm. Los resultados de TGA se muestran en la Figura 2.

Se obtuvo una fibra de cable de acero con extremos con gancho de 35 mm de longitud y 0,55 mm de diámetro con una resistencia a la tracción de aproximadamente 1250 N/mm² de KrampeHarex.

Los áridos usados en los Ejemplos eran originarios de dos fuentes. La arena natural usada tenía una densidad de 2,6 g/cm³ según se determina usando un picnómetro de helio. Se usaron dos tamaños diferentes máximos, 4 mm y 6 mm de áridos de cuarzo machado natural.

Las Tablas 2 y 3 y las Figuras 3 y 4 muestran los resultados del análisis de tamiz de los áridos usados. Estos áridos satisfacen las normas BS 882:1992 y BS EN 12620:2002.

Tabla 2: Calibrado de áridos de 6 mm usados para bloques de pavimentación de hormigón

Tamaño del tamiz (mm)	Peso retenido (g)	Peso que pasa (g)	Porcentaje que pasa (%)
9,0	0	2000	100
6,3	157,8	1842,2	92,11
6,0	730,9	1111,3	55,57
5,0	43,1	1068,2	53,41
4,75	175,9	892,3	44,62
4,0	284,5	607,8	30,39
3,35	129,9	477,9	23,89
2,8	71,6	406,3	20,32
2,36	24,3	382	19,1
1,18	37,3	344,7	17,24
600	13,5	331,2	16,56
300	29,5	301,7	15,09
150	268,3	33,4	1,67
75	22,9	10,5	0,53
<75	10,5	-	-
Peso total	2000		

Tabla 3: Calibrado de áridos de 4 mm usados para bloques de pavimentación de hormigón

Tamaño del tamiz (mm)	Peso retenido (g)	Peso que pasa (g)	Porcentaje que pasa (%)
5,00	0	2000	100
4,75	119,3	1880,7	94,04
4,0	94,7	1786	89,3
3,35	92,2	1693,8	84,69
2,8	142,7	1551,1	77,56
2,36	122,5	1428,6	71,43
1,18	615,0	813,6	40,68
600	610,5	203,1	10,16
300	141,8	61,3	3,07
150	28,3	33	1,65
75	24,4	8,6	0,43
<75	8,5	-	-
Peso total	2000		

5 Ejemplo 1: Comparación de la simulación de compactación en laboratorio con los métodos de fábrica que usan mezclas de bloque pavimentación que contienen cemento Portland convencional

10 Las mezclas que contienen cemento Portland convencional se prepararon y se sometieron a un número de diferentes métodos de compactación. Esto se llevó a cabo para optimizar los métodos de compactación que se van a usar en el ensayo de laboratorio de las composiciones de la invención

15 El método óptimo de compactación examinado era un método de acción de presión que hacía uso de una máquina de compresión. En esta técnica, se aplicaron diferentes magnitudes de carga para determinar los mejores resultados para obtener resultados consistentes de densidad y resistencia a la flexión óptima. Los materiales se compactaron en una capa. Se usó también una abrazadera de molde para retener el material dentro del molde.

20 La Figura 5 muestra que la acción de presión da la resistencia a la tracción por fraccionamiento más alta para la pasta en comparación con otros métodos (aplicación de martillo neumático, compactación con martillo perforador, y compactación con martillo perforador y mesa vibratoria). La Figura 6 muestra el efecto de las diferentes cargas de compactación sobre la resistencia a la tracción de la pasta.

La Tabla 4 muestra los resultados obtenidos para la resistencia a la tracción de mezclas de pasta (promediada sobre tres muestras) usando diversas cargas de compactación.

Tabla 4: Resultados de la técnica de acción de la presión (usando una máquina de compresión)

Nombre de código				Tipo	Tiempo transcurrido (días)	Carga (kN)	Peso promedio (g)	Carga de fallo promedio (kN)	Densidad promedio (kg/m ³)	Resistencia a la tracción promedio (MPa)
OPC-GGB-BOS				Bloque	14	15	2673,4	53,20	1833	2,3
						20	2737,2	55,52	1877	2,4
						25	2730,4	57,83	1872	2,5
OPC	GGBS	BOS	Agua			30	2911,2	64,77	1996	2,8
40 %	30 %	30 %	15 %			40	2930,7	67,08	2010	2,9
						70	2975,2	71,71	2030	3,1
						100	3138,0	76,33	2009	3,3
						150	3174,5	87,89	2162	3,8
						200	3270,3	92,53	2176	3,9
						250	3261,5	129,54	2242	4,0
						400	3261,5	129,54	2236	5,6

Los resultados indican que cargas por encima de 70 kN daban resultados más consistentes que cargas inferiores. Como era de esperar, los 400 kN dieron la mayor resistencia. Se encontró que 150 kN era práctico, puesto que no era necesario el uso de una abrazadera para el molde. Se encontró que una carga de 400 kN proporcionaba valores de resistencia comparables a las muestras producidas en fábrica, pero requería un mayor uso de abrazaderas para los moldes para evitar la deformación. No se requerían cargas de más de 400 kN puesto que se obtenían resultados de densidad similares a los bloques de pavimentación producidos en fábrica y la utilización de abrazaderas para los moldes hubiera resultado difícil. Otra preocupación para cargas de compactación de mayores de 400 kN era el aplastamiento de los áridos en los bloques de pavimentación de hormigón.

Se adoptaron por lo tanto las cargas de 150 y 400 kN respectivamente, para la colada de los experimentos para pasta y bloques de pavimentación de hormigón usando las composiciones sin cemento Portland de la invención.

Ejemplo 2: Comparación de bloques fabricados en la fábrica y en el laboratorio que incluyen cemento Portland

En la siguiente Tabla 5 se da un diseño de mezcla obtenido a partir de un fabricante de bloques de pavimentación. Los materiales usados por la fábrica se obtuvieron también y usaron en el laboratorio para colar el diseño de mezcla replicado de la fábrica y comparar los resultados.

Tabla 5: Dos diseños de mezcla de bloques de pavimentación usados por una fábrica (porcentaje en peso)

Color	Cemento Portland	GGBS	4 mm - polvo	6 mm - limpio	Arena
Natural	10 %	4 %	53 %	9 %	24 %
Color	Cemento Portland	PFA	4 mm - polvo	6 mm - limpio	Arena
Carbón	10 %	4 %	53 %	9 %	24 %

Los resultados de las dos mezclas diferentes diseñadas en fábrica coladas y ensayadas en el laboratorio se dan en las Tablas 6 y 7. Se usó la carga de compactación de 400 kN en el laboratorio para estas mezclas. Los resultados indican una resistencia a la tracción de los 28 días de 3,2 y 2,6 MPa, respectivamente, para las mezclas GGBS y PFA que incluyen el tradicional 10 por ciento en peso de cemento.

Es destacable que los bloques de fábrica de la mezcla GGBS que se llevaron al laboratorio dieron también una resistencia a la tracción promedio de 3,2 MPa. Esto supone que el método de compactación en laboratorio de 400 kN para bloques de hormigón da una coincidencia exacta con el método de compactación en fábrica. Es destacable que en la norma BS EN1338: 2003 se especifica una resistencia a la tracción mínima de 3,6 MPa para que los bloques de pavimentación sean aceptables para los consumidores. Por esta razón, todos los bloques se colaron en el laboratorio para asegurar la satisfacción de los requisitos de la norma.

ES 2 676 413 T3

Tabla 6: Diseño de mezcla de fábrica con GGBS que muestra resultados de resistencia a la compresión y a la tracción por fraccionamiento a los 14 y 28 días llevados a cabo en el laboratorio.

Cemento			GGBS	4 mm - polvo	6 mm - limpio			Arena	
10 %			4 %	53 %	9 %			24 %	
C u b o s	N.º	Tiempo transcurrido (días)	Masa (g)	Carga de fallo (kN)	Densidad (kg/m ³)	Resistencia a la compresión de cubos de 50 mm (N/mm ²)		Resistencia promedio a la compresión (N/mm ²)	
	1	14	274,0	30,8	2192,0	12,3		11,7	
	2		273,5	29,7	2188,0	11,9			
	3		273,5	28,5	2188,0	11,4			
	4		273,0	27,2	2184,0	10,9			
	1	28	290,5	45,1	2324,0	18,0		18,6	
	2		291,0	46,3	2328,0	18,5			
	3		291,5	47,5	2332,0	19,0			
	4		290,0	40,9	2320,0	16,4			
	5		292,0	47,5	2336,0	19,0			
B L O Q U E S	N.º	Tiempo (días)	Masa (g)	Carga de Fallo (kN)	Longitud de fallo (mm)	Espesor de Fallo (mm)	Densidad (kg/m ³)	Resistencia a la tracción por fraccionamiento 190x100x76 (N/mm ²)	Resistencia promedio a la tracción por fraccionamiento (N/mm ²)
	1	14	3467,0	47,3	190	76	2377,2	2,1	2,0
	2		3466,5	45,7	190	76	2376,9	1,9	
	3		3465,5	43,9	190	76	2376,2	1,9	
	1	28	3477,0	74,6	190	76	2384,1	3,2	3,2
	2		3484,5	75,9	190	76	2389,2	3,3	
	3		3474,0	72,5	190	76	2381,9	3,1	
	4		3470,0	70,1	190	76	2379,6	3,0	
	5		3474,5	73,2	190	76	2382,3	3,2	

Tabla 7: Diseño de mezcla en fábrica con PFA que muestra resultados de resistencia a la compresión y a la tracción por fraccionamiento a los 14 y 28 días llevados a cabo en el laboratorio

Cemento			GGBS	4 mm - polvo	6 mm - limpio			Arena	
10 %			4 %	53 %	9 %			24 %	
C u b o s	N.º	Tiempo transcurrido (días)	Masa (g)	Carga de fallo (kN)	Densidad (kg/m ³)	Resistencia a la compresión de cubos de 50 mm (N/mm ²)		Resistencia promedio a la compresión (N/mm ²)	
	1	14	283,5	30,2	2268,0	12,1		12,9	
	2		285,0	32,8	2268,0	13,1			
	3		284,5	31,6	2276,0	12,6			
	1	28	290,5	42,3	2324,0	16,9		15,7	
	2		289,0	38,8	2312,0	15,5			
3	289,5		39,5	2316,0	15,8				
B L O Q U E S	N.º	Tiempo (días)	Masa (g)	Carga de Fallo (kN)	Longitud de fallo (mm)	Espesor de Fallo (mm)	Densidad (kg/m ³)	Resistencia a la tracción por fraccionamiento 190x100x76 (N/mm ²)	Resistencia promedio a la tracción por fraccionamiento (N/mm ²)
	1	14	3479,0	44,7	190	76	2385,4	1,9	2,0
	2		3480,5	46,9	190	76	2386,5	2,0	
	3		3487,5	48,7	190	76	2391,3	2,1	
	1	28	3493,0	58,7	190	76	2395,0	2,5	2,6
	2		3493,5	60,3	190	76	2395,4	2,6	
	3		3519,0	62,3	190	76	2412,8	2,7	
	4		3495,0	60,6	190	76	2396,4	2,6	
	5		3501,0	61,8	190	76	2400,5	2,7	

Ejemplo 3: Aglutinante sin cemento Portland y composiciones de pasta

Materiales y Métodos

5 *Métodos de mezclado y colada:* Todas las mezclas se mezclaron mecánicamente en una mezcladora de cubeta para producir una distribución uniforme de los materiales. Se usaron moldes para bloques de pavimentación de acero de 190 mm de longitud, 100 mm de anchura y 76 mm de profundidad para la colada de los bloques de pavimentación. Se usó una máquina de compresión para compactar completamente los materiales en una capa con una carga de 150 kN para las pastas y de 400 kN para el hormigón.

10 *Mezcla de pasta y hormigón:* Se usó una máquina mezcladora Hobart para todas las mezclas de pasta. La técnica de mezclado adoptada para la pasta fue la siguiente:

- 15 • Los materiales secos se mezclaron usando una mezcladora de cubeta mecánica durante 2 minutos. Después la pasta se mezcló a mano para asegurar que los materiales en el fondo del cuenco se habían mezclado minuciosamente.
- Los materiales secos se mezclaron de nuevo durante 2 minutos más.
- Después se añadió agua y la pasta se mezcló durante 2 minutos más, a velocidad media y alta.

20 El mezclado para el hormigón se llevó a cabo de acuerdo con procedimientos convencionales seguidos en la producción de bloques de pavimentación de hormigón. Se usó una mezcladora de cubeta de aproximadamente 15 litros de capacidad para preparar las mezclas de hormigón. Este procedimiento de mezclado fue el siguiente:

- 25 • Se midieron áridos finos y gruesos en las proporciones de diseño (véase las Tablas 10 y 19) y se vertieron en la mezcladora de cubeta. Después se mezclaron en seco durante 45 segundos.
- Se midieron BOS, BPD y GGBS, se vertieron en la mezcladora y se mezclaron en seco durante 45 segundos.
- Se añadió la mitad del agua necesaria para la mezcla y el mezclado continuó durante 1 minuto más.
- La mezcladora se detuvo y la mezcla se raspó de las esquinas y del fondo de la cubeta y las paletas.
- 30 • El resto del agua se añadió y el mezclado se llevó a cabo durante 2 minutos más.

Cuando se añadieron fibras de acero, estas se añadieron (según sea aplicable) y se mezclaron apropiadamente después de que los áridos se hubieran mezclado apropiadamente con el material cementoso.

35 *Colada y curado:* Los materiales se colaron en bloques pre-aceitados y moldes cúbicos mediante una máquina de compresión. Una vez coladas, las muestras se cubrieron con una hoja de polietileno de manera que no hubo pérdida de agua. Al siguiente día todas las muestras se desmoldaron y después se almacenaron en cámaras de curado a una temperatura de aire constante de 22 ± 2 °C y 98 % de humedad relativa hasta que se ensayaron.

40 Métodos de ensayo

Resistencia a la compresión: La resistencia a la compresión de los cubos y muestras de bloques de pavimentación puede definirse como la resistencia máxima medida de un hormigón a la carga axial. Este ensayo se llevó a cabo cuando hubo transcurrido un tiempo de 14 y 28 días para cada muestra, y después se determinó la densidad. La resistencia a la compresión de las muestras se determinó usando la máquina de ensayo de compresión Avery-Denison, con una capacidad de carga máxima de 2000 kN, de acuerdo con métodos convencionales como se describe en la norma BS EN 12390-3:2009. Para los cubos de 50 x 50 mm, la carga de compresión se aplicó a la cara lisa. La resistencia a la compresión de los cubos se determinó dividiendo la carga máxima por el área de carga de la muestra.

50 *Ensayo de resistencia a la tracción por fraccionamiento:* Se usó la norma BS EN 1338: 2003 para determinar la resistencia a la tracción por fraccionamiento de los bloques de pavimentación y la carga se aplicó a lo largo de la sección de fraccionamiento más larga del bloque de muestra. Antes del ensayo, la muestra de bloque se emplazó en el marco de acero de tracción para fraccionamiento, usando piezas de madera en la parte superior e inferior de la muestra para proporcionar compacidad.

En este ensayo las muestras de bloque se sumergieron en agua a 20 ± 5 °C durante 24 horas, después de lo cual se retiraron, se secaron y los ensayos se llevaron a cabo inmediatamente. Se realizó contacto entre las placas de la máquina de carga y la parte superior e inferior de las placas de acero del marco de ensayo, antes de que la carga se aplicara lentamente a una velocidad de $(0,05 \pm 0,01)$ MPa/s hasta el punto de fallo, punto en el cual el ensayo se terminó y la muestra se dividió en dos mitades. Se realizó un registro de la carga de fallo y las tensiones de tracción por fraccionamiento se calcularon en MPa de acuerdo con la norma BS EN1338: 2003 como se da a continuación:

65
$$\text{Resistencia al fraccionamiento} = 0,637 \times \text{carga de fallo} \times \text{factor de espesor} / (\text{longitud de fallo} \times \text{espesor de fallo})$$

La resistencia media puede ser de al menos 3,6 N/mm², no existiendo ningún resultado individual por debajo de 2,9 N/mm².

Tabla 8: Factores dados en la norma BSEN1338

Espesor	Factor
50 mm	0,79
60 mm	0,87
70 mm	0,94
80 mm	1
100 mm	1,11

5 La norma especifica que debe obtenerse una resistencia a la tracción mínima de 3,6 MPa para que los bloques de pavimentación sean aceptables por la industria. La resistencia a la compresión de los cubos se define como la resistencia máxima medida de un hormigón a la carga uni-axial. Los bloques y cubos se ensayaron cuando hubo transcurrido un tiempo de 14 y 28 días, para fines de comparación únicamente.

10 *Resistencia al resbalamiento/patinado:* La probabilidad de que los peatones se resbalen y que los vehículos patinen se mide determinando su resistencia al resbalamiento/patinado. Para medir la resistencia al resbalamiento sin pulido se hace uso de un material de "caucho convencional" que se fija a una máquina de Ensayo de Fricción de Péndulo; esto después se ensaya en condiciones húmedas. Se usó la norma BS EN 1338: 2003 Anexo I para encontrar el valor de resistencia al resbalamiento sin pulido. Los bloques de pavimentación de hormigón tienen una resistencia al resbalamiento/patinado satisfactoria, puesto que su superficie superior completa no se ha esmerilado y/o pulido para producir una superficie muy suave. Este ensayo es capaz de medir la resistencia al resbalamiento de un bloque de pavimentación en condiciones de laboratorio después de someterlo a cargas de tráfico simuladas. Esto sirve para reproducir la situación que experimentarán los bloques de pavimentación en condiciones de tráfico.

20 El ensayo se llevó a cabo de la siguiente manera:

- El equipo para el ensayo de fricción se mantuvo en una sala a una temperatura de 20 ± 2 °C durante 30 minutos antes del ensayo.
- Las muestras de bloque se sumergieron en agua a 20 ± 2 °C 30 minutos antes del ensayo.
- 25 • Después, la máquina de ensayo de fricción se puso sobre la mesa de nivelado firme y los tornillos de nivelado se ajustaron para asegurar que la columna de soporte del péndulo era vertical.
- Después, la muestra de ensayo se puso sobre el equipo con la dimensión más larga tendida para seguir al péndulo y colocada centralmente con respecto al deslizador de caucho.
- El péndulo y el indicador se liberaron entonces y los valores del indicador (medido en Números de Péndulo Británico (BPN)) se registraron sobre la escala.

30 Este proceso se repitió cinco veces para cada muestra y se registró la media de las últimas tres lecturas. La media es el valor aceptado para la resistencia al resbalamiento/patinado. La norma BS EN 1338: 2003 Anexo I da la siguiente tabla de resistencia al resbalamiento (Tabla 9) como una indicación del valor frente al potencial de resbalamiento.

Tabla 9: Valores de ensayo de péndulo tomados de la norma BS EN 1338: 2003 Anexo I

Valor de ensayo de péndulo (BPN)	Potencial para resbalamiento	Descripción de la superficie
Por debajo de 19	Alto	Peligrosa
De 20 a 39	Moderado	Marginal
De 40 a 74	Bajo	Satisfactoria
Por encima de 75	Extremadamente bajo	Excelente

40 *Resistencia a la meteorización:* Esta es una expresión de la extensión a la cual los bloques de pavimentación de hormigón son capaces de soportar la meteorización cuando existen circunstancias particulares, tales como superficies frecuentemente sometidas al contacto con sal de deshielo cuando hay heladas. Es posible evaluar esta capacidad en condiciones de laboratorio realizando una medición de la cantidad del material descamado acumulado sobre una superficie cuando esta se somete a congelación y descongelación repetida con el uso de una sal de deshielo. Cuando no se ha usado una sal de deshielo, deberían realizarse mediciones de la porosidad midiendo la absorción de agua de los bloques.

45 El ensayo de absorción de agua se lleva a cabo después del acondicionamiento de la muestra de ensayo a 20 ± 5 °C empapada a una masa constante y después secado en horno hasta una masa constante. La pérdida en la masa se expresa en porcentaje de la masa de la muestra seca. Las muestras se empaparon durante 3 días, que es el periodo mínimo requerido. Se calculó la absorción de agua W_a de cada muestra en porcentaje de su masa usando la ecuación:

50

$$W_a = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100\%$$

donde

M_1 es la masa inicial de la muestra en gramos

M_2 es la masa final de la muestra en gramos

El valor de la absorción de agua es la media de todos los valores de las muestras. La resistencia a la meteorización se determinó mediante ensayos de acuerdo con el anexo D de la norma BS EN 1338 para la resistencia a la congelación-descongelación o el anexo E de la norma BS EN 1338 para absorción de agua. En este estudio se

Diseños y características de la mezcla de aglutinante: Se preparó un intervalo de diferentes composiciones de aglutinante sin cemento Portland. En la Tabla 10 se dan las mezclas de pasta (es decir, que no contenían áridos o fibras) usadas junto con una razón de agua a aglutinante (W/B) constante por peso de 0,15.

Tabla 10: Diseño de mezcla de pasta

Código de mezcla	BOS (%)	BPD (%)	GGBS (%)	W/B
BOS35/BPD10/GGBS55	35	10	55	0,15
BOS40/BPD5/GGBS55	40	5	55	0,15
BOS45/BPD5/GGBS50	45	5	50	0,15
BOS40/BPD10/GGBS50	40	10	50	0,15
BOS50/BPD10/GGBS40	50	10	40	0,15
BOS50/BPD5/GGBS45	50	5	45	0,15
BOS55/BPD5/GGBS40	55	5	40	0,15
BOS60/BPD10/GGBS30	60	10	30	0,15
BOS60/BPD5/GGBS35	60	5	35	0,15

En la Tabla 11 se dan los análisis químicos de los materiales usados. Lol denota Pérdida por Ignición, en la que una muestra se quema a una temperatura específica, permitiendo que escapen las sustancias volátiles hasta que su masa deja de cambiar.

La pérdida por ignición se usa como un ensayo de calidad y se muestra como parte de un análisis elemental o de óxido de un mineral. Los materiales volátiles perdidos normalmente consisten en "agua combinada" (hidratos y compuestos hidroxil inestables) y dióxido de carbono de los carbonatos.

Tabla 11: Análisis químico de las materias primas llevado a cabo usando técnicas de fluorescencia de rayos X (XRF) como se describe en la norma ASTM D5381-93 (2009)

Muestra	OPC (%)	BOS (%)	ROSA (%)	PBD (%)	GGBS (%)
SiO ₂	20,00	11,43	45,91	21,86	37,28
TiO ₂	-	0,39	1,41	0,29	0,58
Al ₂ O ₃	6,00	1,60	26,51	3,85	10,79
Fe ₂ O ₃	3,00	28,24	5,23	2,57	0,43
MnO	-	4,35	0,08	0,02	0,68
MgO	1,50	8,27	2,13	1,13	8,83
CaO	63,00	41,29	6,88	53,40	40,12
Na ₂ O	1,00	0,02	0,61	0,41	0,27
K ₂ O	1,00	0,02	1,35	3,64	0,37
P ₂ O ₅	-	1,48	0,98	0,08	< 0,05
SO ₃	2,00	0,44	1,37	7,10	0,15
Lol	0,50	3,12	7,11	5,64	1,03

Usando los códigos de mezcla dados en la Tabla 10, se da la densidad y resistencia a la tracción de las mezclas en la Tabla 12.

Tabla 12: Densidad promedio y resistencia a la tracción de bloques de pavimentación de pasta

Código de mezcla	BOS (%)	BPD (%)	GGBS (%)	Densidad promedio (kg/m ³)		Resistencia a la tracción promedio (MPa)	
				14 días	28 días	14 días	28 días
BOS35/BPD10/GGBS55	35	10	55	2119	2160	2,9	3,1
BOS40/BPD5/GGBS55	40	5	55	2091	2116	2,6	3,3
BOS45/BPD5/GGBS50	45	5	50	2149	2191	3,1	3,5
BOS40/BPD10/GGBS50	40	10	50	2209	2283	3,2	4,5
BOS50/BPD10/GGBS40	50	10	40	2248	2304	3,9	5,1
BOS50/BPD5/GGBS45	50	5	45	2268	2301	3,0	3,9
BOS55/BPD5/GGBS40	55	5	40	2299	2323	2,9	3,9
BOS60/BPD10/GGBS30	60	10	30	2323	2360	3,7	4,4
BOS60/BPD5/GGBS35	60	5	35	2304	2391	3,1	4,0
BOS35/BPD35/GGBS30	35	35	30	2171	2221	3,7	4,8

La mezcla BOS50/BPD10/GGBS40 mostrada en la Tabla 12 anterior da la mayor resistencia. Esta pasta se usó para la fabricación de los bloques de pavimentación de hormigón.

5 El análisis químico de la composición de la mezcla global se llevó a cabo usando el método XRF. Los resultados de XRD y XRF para esta mezcla se dan en la Tabla 13 y la Figura 7.

10 Puesto que la inclusión de áridos como un constituyente de los bloques reduciría su resistencia, se eligió la mezcla BOS50/BPD10/GGBS40 con resistencia a la tracción máxima para continuar con las investigaciones sobre bloques de pavimentación de hormigón.

Tabla 13: Análisis químico de BOS-BPD-GGBS

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	LOI	Total
21,11	0,51	6,33	12,36	1,92	6,53	39,22	0,32	0,45	0,63	1,10	8,70	99,17

15 Ejemplo 4: Bloques de pavimentación y mezclas de cemento

Los bloques de pavimentación se prepararon con las mismas proporciones que las usadas en los bloques producidos en fábrica, es decir con 14 % de aglutinante (pero sin cemento Portland, a diferencia de los bloques producidos en fábrica) y con 86 % de piedras (es decir, áridos y arena combinados). Las mezclas usadas se dan en la Tabla 14. Como puede verse, los valores medios de resistencia a la tracción son menores que la mezcla de cemento de fábrica y la resistencia requerida convencional. Para mejorar esto, se usó un 1,5 por ciento de fibras de acero (calculado como se ha descrito anteriormente) para aumentar la resistencia requerida. Esto demostró que usando fibra sin pasta de cemento Portland puede conseguirse el requisito de resistencia necesario de los bloques de pavimentación (véase la Tabla 15).

25 La cantidad de aglutinante (pasta) aumentó en las mezclas 3 (dada la Tabla 16) y 4 (Tabla 17) para mejorar adicionalmente la resistencia. Los bloques de hormigón de la mezcla 3 contenían un 28 por ciento en peso de aglutinante y los bloques de hormigón de la mezcla 4 contenían un 42 por ciento en peso. Los diseños de mezcla y los resultados de estas mezclas de hormigón se dan en las Tablas 16 y 17, respectivamente. En la última mezcla (mezcla 5, Tabla 18) se usó fibra de acero para potenciar la resistencia y alcanzar la resistencia a la tracción requerida por encima de 3,6 MPa.

Tabla 14; Mezcla 1 - Diseño de mezcla y resistencia a la tracción por fraccionamiento a los 14 y 28 días para 14 por ciento de aglutinante.

Nombre de código		BOS50/BPD10/GGBS40						Mezcla n.º 1				
BOS		BPD		GGBS		4 mm-Polvo		6 mm Limpio		Arena		
7 %		1,4 %		5,6 %		53 %		9 %		24 %		
B L O Q U E S	n.º	Tiempo transcurrido (días)	Masa (g)	Carga de fallo (kN)	Longitud de fallo (mm)	Espesor de fallo (mm)	Densidad (kg/m ³)	Resistencia a la tracción por fraccionamiento (N/mm ²)		Resistencia promedio a la tracción por fraccionamiento (N/mm ²)		
	1	14		3543,0	23,1	190	76	2429,3	1,0		1,0	
	2			3551,0	23,9	190	76	2434,8	1,0			

ES 2 676 413 T3

Nombre de código		BOS50/BPD10/GGBS40					Mezcla n.º 1		
BOS		BPD	GGBS	4 mm-Polvo		6 mm Limpio		Arena	
7 %		1,4 %	5,6 %	53 %		9 %		24 %	
BLOQUES	3		3548,0	23,5	190	76	2432,7	1,0	1,1
	1	28	3564,5	23,7	190	76	2444,0	1,0	
	2		3578,5	30,1	190	76	2453,6	1,3	
	3		3561,5	24,3	190	76	2441,9	1,1	
	4		3568,0	25,4	190	76	2446,4	1,1	
	5		3578,0	26,8	190	76	2453,3	1,1	

Tabla 15: Mezcla 2 - Diseño de mezcla y resistencia a la tracción por fraccionamiento a los 14 y 28 días para 14 por ciento de aglutinante con fibra de acero

Nombre de código		BOS50/BPD10/GGBS40/Fibra de Acero 1,5					Mezcla n.º 2		
BOS		BPD	GGBS	4 mm-Polvo		6 mm Limpio		Fibra de acero	Arena
7 %		1,4 %	5,6 %	53 %		9 %		1,5 %	24 %
BLOQUES	n.º	Tiempo transcurrido (días)	Masa (g)	Carga de fallo (kN)	Longitud de fallo (mm)	Espesor de fallo (mm)	Densidad (kg/m ³)	Resistencia a la tracción por fraccionamiento (N/mm ²)	Resistencia promedio a la tracción por fraccionamiento (N/mm ²)
	1	14	3512,0	62,5	190	76	2408,1	2,7	2,5
	2		3511,5	50,9	190	76	2407,7	2,2	
	3		3507,0	57,8	190	76	2404,6	2,5	
	1	28	3517,5	67,1	190	76	2411,8	2,9	3,1
	2		3519,5	76,3	190	76	2413,2	3,3	
	3		3518,0	71,7	190	76	2412,2	3,1	
	4		3516,5	66,8	190	76	2411,1	2,9	

Tabla 16: Mezcla 3 - Diseño de mezcla y resistencia a la tracción por fraccionamiento a los 14 y 28 días para 28 por ciento de aglutinante

Nombre de código		BOS50/B P D10/G BS40					Mezcla n.º 3		
BOS		BPD	GGBS	4 mm-Polvo		6 mm Limpio		Arena	
14 %		2,8 %	11,2 %	44,4 %		7,5 %		20,1 %	
BLOQUES	n.º	Tiempo transcurrido (días)	Masa (g)	Carga de fallo (kN)	Longitud de fallo (mm)	Espesor de fallo (mm)	Densidad (kg/m ³)	Resistencia a la tracción por fraccionamiento (N/mm ²)	Resistencia promedio a la tracción por fraccionamiento (N/mm ²)
	1	14	3532,1	15,0	190	76	2437	0,65	0,69
	2		3529,9	14,6	190	76	2436	0,63	
	3		3533,0	18,3	190	76	2438	0,79	
	1	28	3560,0	32,6	190	76	2456	1,41	1,39

ES 2 676 413 T3

Nombre de código	BOS50/B P D10/G BS40					Mezcla n.º 3		
BOS	BPD	GGBS	4 mm-Polvo		6 mm Limpio		Arena	
14 %	2,8 %	11,2 %	44,4 %		7,5 %		20,1 %	
	2	3558,5	31,9	190	76	2455	1,38	
	3	3554,6	31,7	190	76	2453	1,37	

Tabla 17: Mezcla 4 - Diseño de mezcla y resistencia a la tracción por fraccionamiento a los 14 y 28 días para 42 por ciento de aglutinante

Nombre de código	BOS5050/BPD10/GGBS40					Mezcla n.º 4			
BOS	BPD	GGBS	4 mm-Polvo		6 mm Limpio		Arena		
21 %	4,2 %	16,8 %	35,7 %		6,1 %		16,2 %		
B L O Q U E S	n.º	Tiempo transcurrido (días)	Masa (g)	Longitud de fallo (kN)	Longitud de fallo (mm)	Espesor de fallo (mm)	Densidad (kg/m ³)	Resistencia a la tracción por fraccionamiento (N/mm ²)	Resistencia promedio a la tracción por fraccionamiento (N/mm ²)
	1	14	3665,4	31,2	190	76	2529	1,35	1,35
	2		3668,6	34,5	190	76	2531	1,49	
	3		3663,5	27,9	190	76	2528	1,21	
	1	28	3666,0	45,1	190	76	2529	1,95	1,95
	2		3669,5	46,5	190	76	2532	2,01	
3	3665,0		43,7	190	76	2529	1,89		

Tabla 18: Mezcla 5 - Diseño de mezcla y resistencia a la tracción por fraccionamiento a los 14 y 28 días para 28 por ciento de aglutinante con fibra de acero

Nombre de código	BOS50/BPD10/GGBS40 Fibra de acero 1,5					Mezcla n.º 5			
BOS	BPD	GGBS	4 mm-Polvo		6 mm Limpio	Fibra de acero		Arena	
14 %	2,8 %	11,2 %	44,4 %		7,5 %	1,5 %		20,1 %	
B L O Q U E S	No	Tiempo transcurrido (días)	Masa (g)	Longitud de fallo (kN)	Longitud de fallo (mm)	Longitud de fallo (mm)	Densidad (kg/m ³)	Resistencia a la tracción por fraccionamiento (N/mm ²)	Resistencia promedio a la tracción por fraccionamiento (N/mm ²)
	1	14	3619,0	77,7	190	76	2497	3,36	3,4
	2		3622,0	78,4	190	76	2499	3,39	
	3		3625,5	78,9	190	76	2502	3,41	
	1	28	3645,0	83,3	190	76	2515	3,75	3,7
	2		3646,0	87,9	190	76	2516	3,67	
	3		3648,0	82,4	190	76	2517	3,62	
	4		3637,3	85,6	190	76	2510	3,56	

5 La Tabla 19 muestra el sumario de los diseños de mezcla y resultados de resistencia a la tracción para las cinco mezclas preparadas. Como puede verse, la mezcla 3, que tiene un 28 por ciento de aglutinante (pasta), puede conseguir la resistencia requerida mínima añadiendo fibras de acero (esta es la mezcla 5). Sin embargo, puesto que la mezcla 4 tiene mayor resistencia, esta puede conseguir también el requisito de resistencia mínima, pero la mezcla 4 tiene un 42 por ciento de aglutinante y, por tanto, aumentará el coste. Por esta razón se seleccionó la mezcla 3 para añadir fibras a la misma.

Tabla 19: sumario de mezclas de BOS/BPD/GGBS preparadas con y sin un 1,5 % de fibra de acero (porcentaje en peso).

Mezcla n.º	GGBS (%)	BPD (%)	BOS (%)	SF (%)	4 mm (%)	6 mm (%)	Arena (%)	Resistencia a la tracción (MPa)	
								14 días	28 días
Mezcla 1 (Tabla 14)	5,6	1,4	7,0	-	53	9	24	1,0	1,1
Mezcla 2 (Tabla 15)	5,6	1,4	7,0	1,5	53	9	24	2,5	3,1
Mezcla 3 (Tabla 16)	11,2	2,8	14,0	-	44,4	7,5	20,1	0,69	1,39
Mezcla 4 (Tabla 17)	16,8	4,2	21,0	-	35,7	6,1	16,2	1,35	1,95
Mezcla 5 (Tabla 18)	11,2	2,8	14,0	1,5	44,4	7,5	20,1	3,4	3,7

10 Como puede verse en la Tabla 19, la mezcla 5, que contenía un 28 % de pasta de BOS50/BPD10/GGBS40 con 72 % de piedras y 1,5 % de fibra de acero, satisface la resistencia a la tracción por fraccionamiento mínima requerida por BS EN 1338: 2003 de 3,6 MPa.

15 La mezcla 5, que contenía BOS 14 % - BPD 2,8 % - GGBS 11,2 % - SF 1,5 % - Áridos 51,9 % - Arena 20,1 % con una W/B de 0,15, satisface todos los requisitos de la norma BS EN 1338: 2003 incluyendo resistencia a la tracción por fraccionamiento, resistencia a resbalamiento/patinado, absorción de agua y resistencia a congelación/descongelación.

20 Esta mezcla sin cemento Portland es de la misma consistencia y propiedades que las mezclas de bloque de pavimentación convencionales, y puede colarse fácilmente en la fábrica con la maquinaria habitual disponible en la planta.

25 *Resultados de densidad:* en las Tablas 14-18 se presentan las densidades promedio medidas de los bloques de pavimentación preparados. Puede verse que las densidades para los diferentes grupos están principalmente en el mismo intervalo debido a las diferentes densidades relativas de los ingredientes en cada mezcla. La densidad varía entre aproximadamente 2400 a 2530 kg/m³ como era de esperar.

30 *Resultados del ensayo de resbalamiento/patinado y resistencia a la meteorización:* la Tabla 20 muestra la resistencia al resbalamiento/patinado, absorción de agua y resistencia a la congelación/descongelación para cinco mezclas de BOS/BPD/GGBS mostradas en la Tabla 19 y las dos mezclas de control de fábrica preparadas en el laboratorio para hacer que todas ellas tengan la misma condición de colada, curado y ensayo.

Tabla 20: resultados del ensayo de durabilidad

Mezcla	Resistencia al resbalamiento/patinado (BPN)	Resistencia a la meteorización	
		Absorción de agua (%)	Resistencia a la congelación/descongelación (kg/m ²)
Mezcla de Fábrica I (Mezcla de Control I)	100	5,4	Todos los bloques < 1,0

ES 2 676 413 T3

Mezcla de Fábrica II (Mezcla de Control II)	92	5,8	
Mezcla 1 (BOS7/BPD1.4/GGBS5.6)	92	5,9	
Mezcla 2 (BOS7/BPD1.4/GGBS5.6/SF1.5)	89	6,0	
Mezcla 3 (BOS14/BPD2.8/GGBS11.2)	90	5,8	
Mezcla 4 (BOS21/BPD4.2/GGBS16.8)	92	6,0	
Mezcla 5 (BOS14/BPD2.8/GGBS11.2/SF1.5)	93	5,9	

5 Los resultados de resistencia al resbalamiento/patinado muestran que todas las mezclas de bloques de pavimentación preparadas en el laboratorio tenían superficies con una resistencia al patinado "excelente" (como se define en la Tabla 9) y el potencial para resbalamiento es extremadamente bajo de acuerdo con la norma BS EN1338: 2003. Además, el resultado de la resistencia a la congelación/descongelación muestra que todas las mezclas satisfacen la norma británica BS EN 1338: 2003. Por otro lado, el ensayo de absorción de agua debería mostrar un resultado de menor del 6 % de acuerdo con la norma BS EN1338: 2003.

10 Ejemplo 5: Bloque de pavimentación

15 Se prepararon bloques de pavimentación a partir de la mezcla 5 en la Tabla 18. Se muestra una fotografía de uno de estos bloques en la Figura 8. Los 10 mm superiores de la superficie están hechos sin fibras de acero pero el cuerpo principal de los bloques sí tiene fibra de acero. Esto sirve para hacer que los bloques tengan la misma textura superficial que los bloques convencionales en el mercado. El color del bloque es blanco/gris. El color rojizo se debe al color de los áridos y arena usados.

20 Los bloques de pavimentación preparados a partir de esta mezcla satisfacen todas las normas y especificaciones industriales. La mezcla es de la misma consistencia y tiene las mismas propiedades que las mezclas de bloque de pavimentación convencionales. Incluso a los 14 días, la resistencia a la tracción por fraccionamiento característica de los bloques de pavimentación preparados con la mezcla ternaria de pasta de BOS50/BPD10/GGBS40 muestra mejores resultados que la resistencia a la tracción mínima requerida de 3,6 MPa. Esta mezcla puede usarse también para producción en fábrica basándose en consideraciones económicas.

REIVINDICACIONES

1. Una composición de aglutinante que está exenta de cemento Portland y que comprende:
- 5 (a) escoria de alto horno granulada molida (GGBS) en una cantidad del 30 al 60 % p. en peso de la composición de aglutinante en una base de sólidos secos;
- (b) escoria básica de oxígeno (BOS) en una cantidad del 30 al 60 % p. en peso de la composición de aglutinante en una base de sólidos secos, y
- 10 (c) un material residual inorgánico alcalino seleccionado de polvo de derivación (BPD), polvo de horno de cemento (CKD) y mezclas de los mismos en una cantidad del 3 al 12 % p. en peso de la composición de aglutinante en una base de sólidos secos.
2. Una composición de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el material residual inorgánico alcalino es BPD.
- 15 3. Una mezcla de hormigón que comprende:
- (i) una composición de aglutinante de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2;
- (ii) árido;
- 20 (iii) arena; y opcionalmente
- (iv) fibras.
4. Una mezcla de hormigón de acuerdo con la reivindicación 3 que comprende:
- 25 del 5 al 30 % p. del componente (i) en una base de sólidos secos,
- del 40 al 65 % p. del componente (ii) en una base de sólidos secos,
- del 15 al 25 % p. del componente (iii) en una base de sólidos secos, y
- del 1 al 2 % p. del componente (iv) basado en el peso combinado de los componentes (i)-(iii) y, cuando está presente, cualquier otro componente distinto de fibra.
- 30 5. Una mezcla de hormigón de acuerdo con la reivindicación 3 o la reivindicación 4, en donde las fibras son fibras metálicas, preferentemente fibras de acero.
6. Una composición semi-seca que comprende una mezcla de hormigón de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5 en combinación con agua.
- 35 7. Un método de fabricación de un artículo de hormigón, preferentemente un bloque de pavimentación, comprendiendo dicho método las etapas de:
- (i) preparar una mezcla de hormigón como se define en una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5;
- 40 (ii) añadir agua de un modo que se forme una composición semi-seca; y
- (iii) colar la composición semi-seca en un molde que tiene la forma deseada.
8. Un método de fabricación de un artículo de hormigón multicapa, preferentemente un bloque de pavimentación, comprendiendo dicho método las etapas de:
- 45 (i) preparar una primera mezcla de hormigón como se define en una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5; y
- (ii) mezclar dicha primera mezcla de hormigón con agua, con lo que se forma una primera composición semi-seca;
- (iii) verter la primera composición semi-seca en un molde que tiene una forma deseada;
- 50 (iv) preparar una segunda mezcla de hormigón como se define en una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5, en donde la composición de dicha segunda mezcla de hormigón es diferente de la primera mezcla de hormigón;
- (v) añadir agua a dicha segunda mezcla de hormigón, con lo que se forma una segunda composición semi-seca;
- y
- (vi) verter la segunda composición semi-seca en el molde, con lo que se forma una capa encima de la primera
- 55 composición semi-seca.
9. Uso de una composición como se define en la reivindicación 1 o la reivindicación 2 como un aglutinante en una mezcla de hormigón.
- 60 10. Uso de una composición como se define en la reivindicación 1 o la reivindicación 2, una mezcla de hormigón como se define en una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5 o una composición semi-seca como se define en la reivindicación 6, en la fabricación de un artículo de hormigón, preferentemente un bloque de pavimentación.
11. Un artículo de hormigón formado a partir de una mezcla de hormigón como se define en una cualquiera de las
- 65 reivindicaciones 3 a 5 o una composición semi-seca como se define en la reivindicación 6.

ES 2 676 413 T3

12. Un artículo de hormigón de acuerdo con la reivindicación 11, en donde el artículo comprende una pluralidad de capas y en donde las capas adyacentes difieren en composición.

5 13. Un artículo de hormigón de acuerdo con la reivindicación 12, en donde el artículo comprende una capa superior que está exenta de fibras y una capa inferior que comprende fibras, preferentemente en donde la capa superior comprende un pigmento y la capa inferior está exenta de pigmento.

10 14. Un artículo de hormigón de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13 que es un bloque de pavimentación.

15 15. Un bloque de pavimentación de acuerdo con la reivindicación 14 que tiene al menos una de las siguientes propiedades según se determina de acuerdo con BS EN 1338: 2003.

- (i) una resistencia a la tracción mínima de 3,6 MPa;
- (ii) absorción de agua de menos del 6 %;
- (iii) resistencia a la congelación-descongelación de $<1,0 \text{ kg/m}^2$; y
- (iv) una resistencia al resbalamiento/patinado de al menos 40 BPN.

20

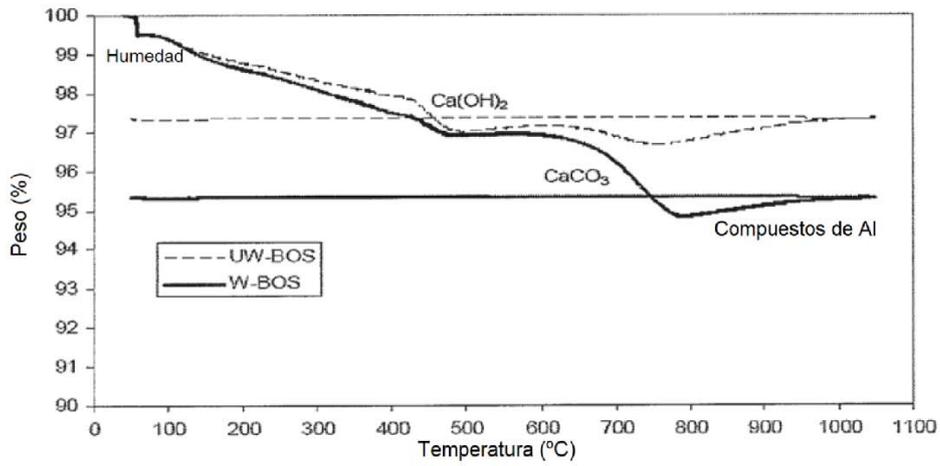


Figura 1

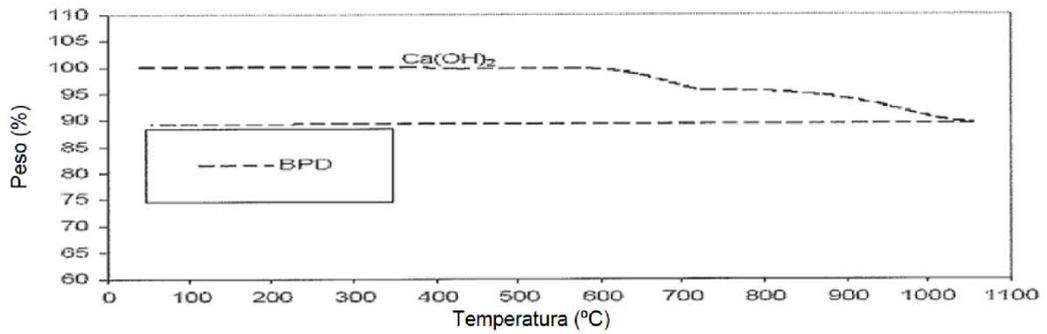


Figura 2

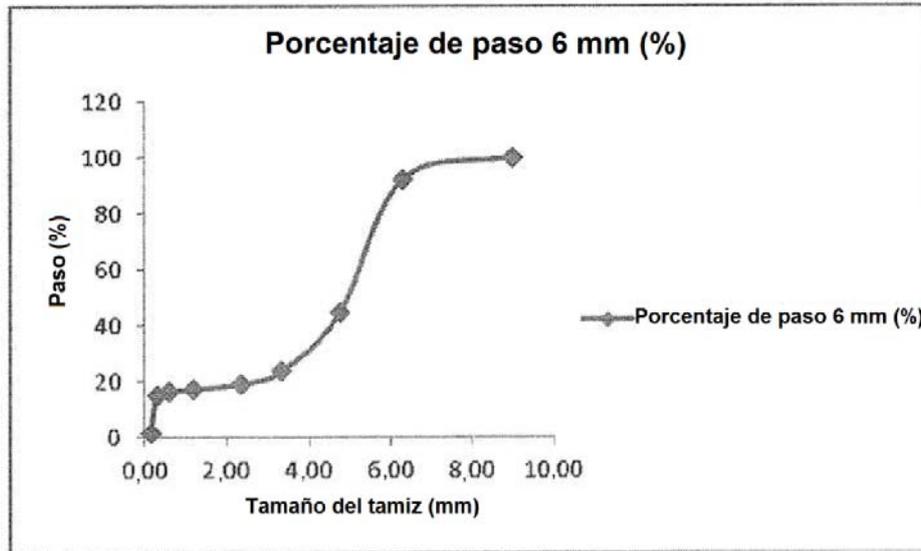


Figura 3

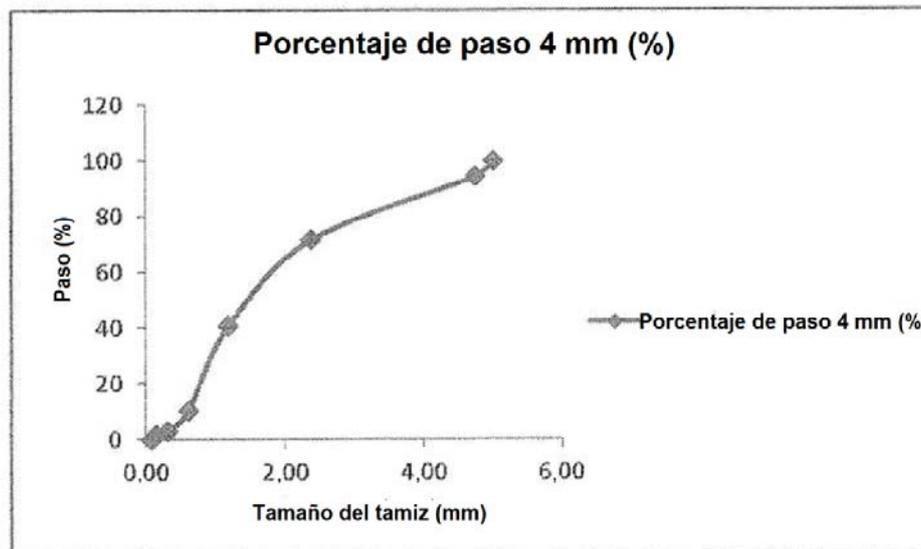


Figura 4

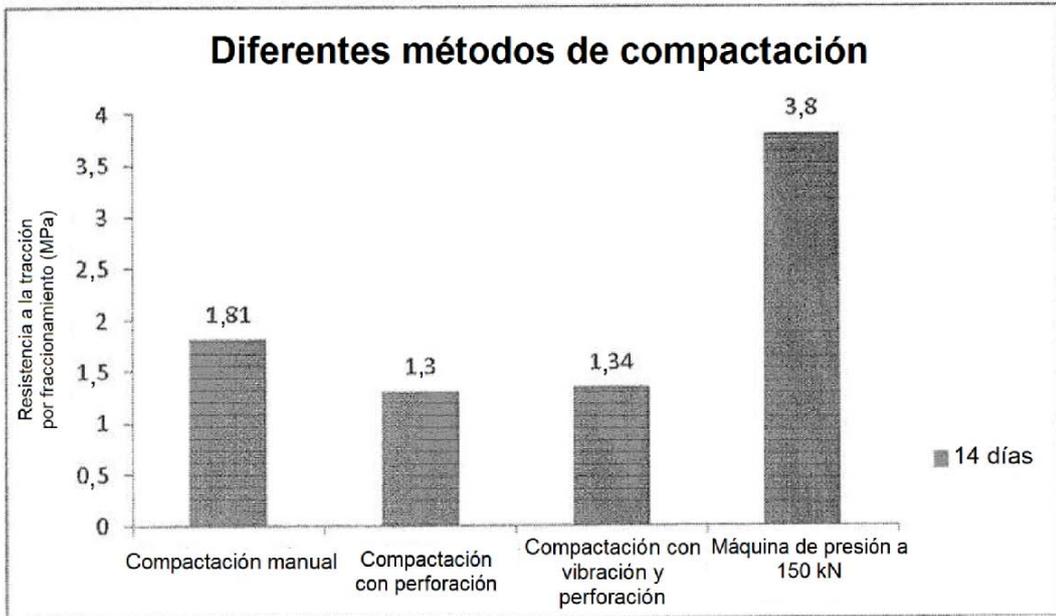


Figura 5

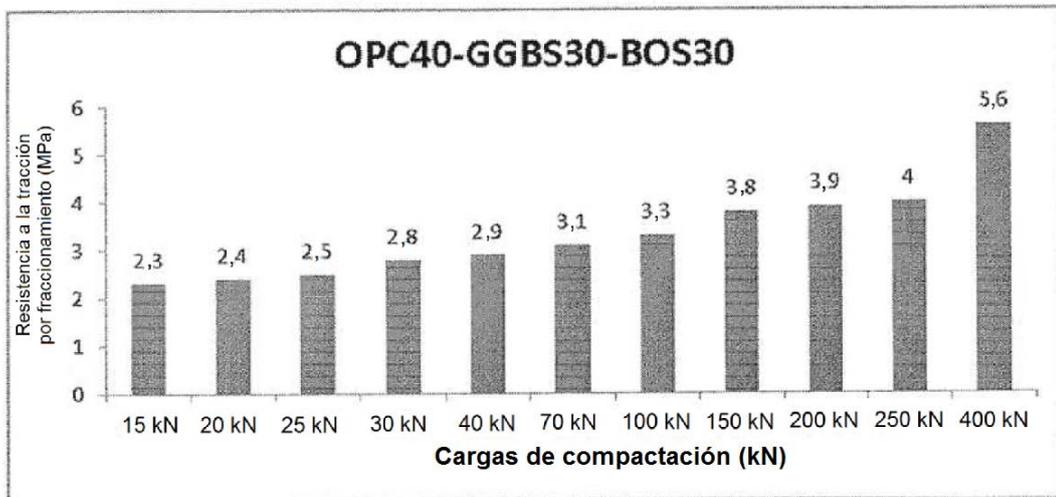


Figura 6

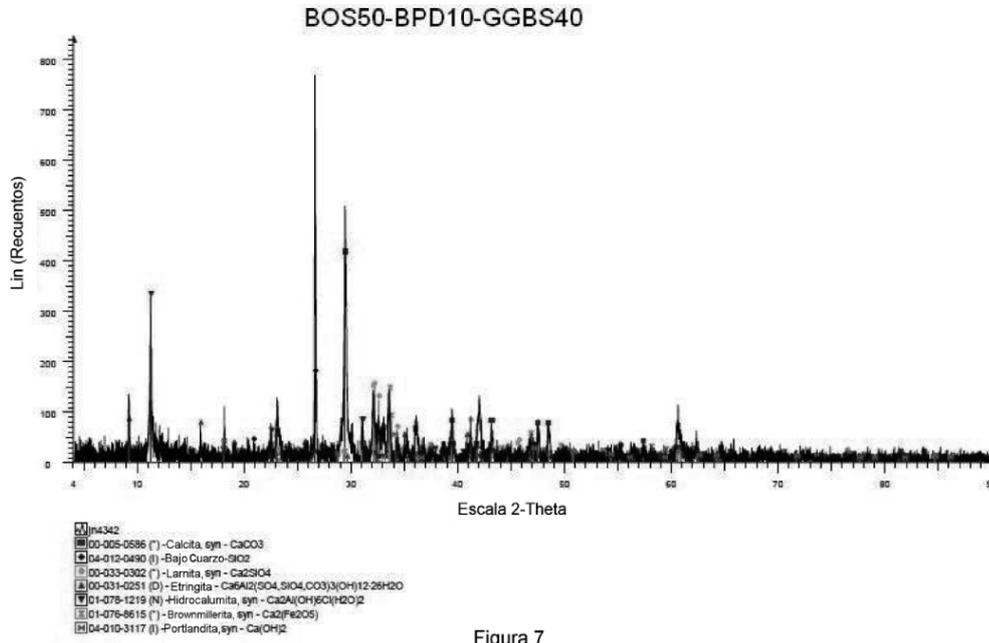


Figura 7

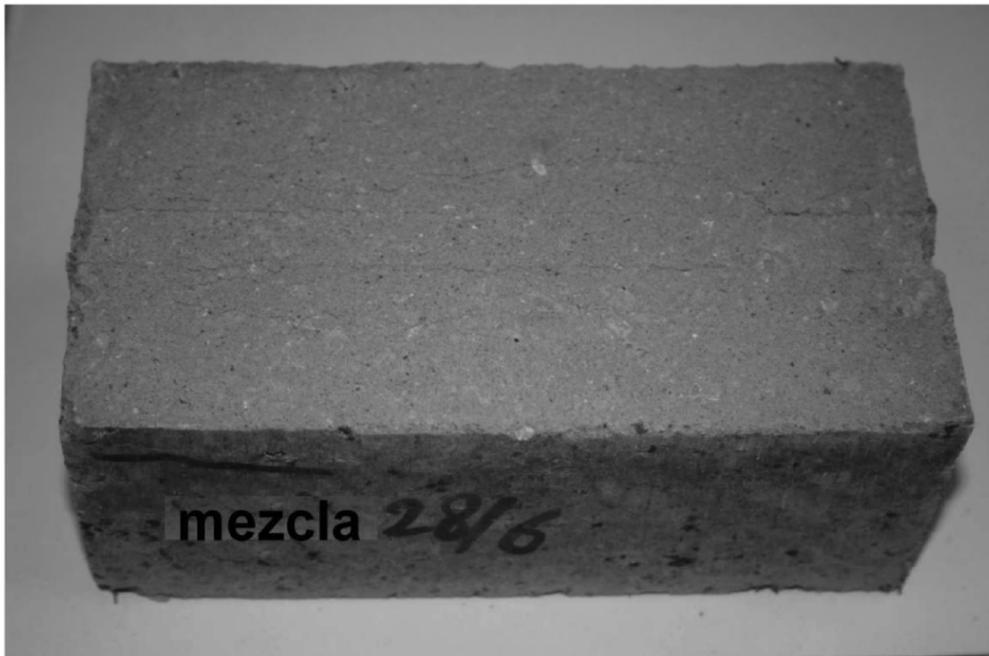


Figura 8