

PRODUCTOS CEMENTOSOS, INCLUIDOS ADITIVOS, Y SISTEMAS Y MÉTODOS  
ASOCIADOS

REFERENCIA CRUZADA A SOLICITUDES RELACIONADAS

**[0001]** La presente solicitud reivindica la prioridad de la solicitud de patente provisional estadounidense n.º 63/510,592, presentada el 27 de junio de 2023, cuya divulgación se incorpora aquí por referencia en su totalidad. La presente solicitud está relacionada con (i) la solicitud de patente estadounidense n.º 18/087,728, presentada el 22 de diciembre de 2022, titulada COMPOSICIONES EXTENSORAS DE CEMENTO A BASE DE CAL, Y SISTEMAS Y MÉTODOS ASOCIADOS, y (ii) la solicitud de patente estadounidense n.º 18/390,399, presentada el 20 de diciembre de 2023, titulada SISTEMAS Y MÉTODOS PARA ALMACENAR Y MINERALIZAR DIÓXIDO DE CARBONO CON CAL, cuyas divulgaciones se incorporan aquí por referencia en su totalidad.

CAMPO TÉCNICO

**[0002]** La presente tecnología se refiere a aglutinantes, composiciones y/o productos cementosos a base de cal, incluidos aditivos, y sistemas y métodos asociados. Las realizaciones particulares de la presente tecnología se refieren a la combinación de una composición a base de cal, cemento y aditivos para producir productos para su uso en la minería, el cemento, la construcción y otras industrias.

ANTECEDENTES

**[0003]** Las soluciones convencionales de relleno de minas suelen incluir una combinación de cemento y cenizas volantes, que se utilizan como extensor de cemento o material cementoso suplementario. Sin embargo, el uso de cenizas volantes para el relleno de minas tiene ciertas desventajas, entre ellas que se necesitan cantidades significativas de cenizas volantes y que la resistencia a la compresión no confinada (UCS) de las cenizas volantes varía, por ejemplo, en función de la calidad de las cenizas volantes. Además, la disponibilidad de cenizas volantes está disminuyendo con el tiempo, en parte porque las cenizas volantes se producen como subproducto en instalaciones de carbón que están siendo desmanteladas o reducidas debido a problemas relacionados con el medio ambiente y las emisiones de gases de efecto invernadero. La disminución del suministro de cenizas volantes ha provocado un aumento de su coste (por ejemplo, en relación con el coste del cemento), lo que hace que la economía de la producción de relleno de minas con cenizas volantes sea impredecible y menos deseable. Por lo tanto, existe la necesidad de desarrollar alternativas a las cenizas volantes y/o mejorar las soluciones de relleno de minas.

## BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0004] Las características, aspectos y ventajas de la tecnología descrita en la presente pueden entenderse mejor con respecto a los siguientes dibujos.

[0005] La FIG. 1 es un diagrama de bloques esquemático de un sistema para fabricar composiciones a base de cal, de acuerdo con las realizaciones de la presente tecnología.

[0006] La FIG. 2 es un diagrama de flujo de un método para producir composiciones a base de cal, de acuerdo con las realizaciones de la presente tecnología.

[0007] La FIG. 3A ilustra la relación entre la UCS y las diferentes cantidades de cal viva, de acuerdo con las realizaciones de la presente tecnología.

[0008] La FIG. 3B ilustra la relación entre la UCS y las diferentes cantidades de piedra caliza, de acuerdo con las realizaciones de la presente tecnología.

[0009] La figura 3C ilustra la relación entre la UCS y cantidades variables de puzolana, de acuerdo con las realizaciones de la presente tecnología.

[0010] La figura 4A ilustra la UCS de varios cilindros de hormigón sin aditivos a lo largo del tiempo, de acuerdo con las realizaciones de la presente tecnología.

[0011] La FIG. 4B ilustra la UCS de varios cilindros de hormigón con aditivos a lo largo del tiempo, de acuerdo con las realizaciones de la presente tecnología.

[0012] Las FIGS. 4C-4E ilustran el Índice de Actividad de Resistencia (SAI) de varios tipos de cilindros de hormigón a lo largo del tiempo, de acuerdo con las realizaciones de la presente tecnología.

[0013] La FIG. 5 ilustra cómo varían las densidades húmedas del hormigón de varios tipos de pastas de mezcla de cemento con diferentes relaciones agua-cemento, de acuerdo con las realizaciones de la presente tecnología.

[0014] Una persona experta en la técnica relevante comprenderá que las características mostradas en los dibujos son a efectos ilustrativos, y que son posibles variaciones, incluyendo características y disposiciones diferentes y/o adicionales de las mismas.

## DESCRIPCIÓN DETALLADA

### 1. Descripción general

[0015] Las realizaciones de la presente tecnología se refieren a la combinación de cal, carbonato cálcico, puzolanas y/o un aditivo para producir un aglutinante a base de cal o una composición extensora de cemento. El aglutinante puede combinarse (por ejemplo, mezclarse) con cemento para formar una mezcla de cemento. Se puede añadir agua a la mezcla de cemento para formar una pasta de mezcla de cemento. La pasta de mezcla de cemento se puede combinar (por ejemplo, mezclar) con áridos (por ejemplo, arena, piedra, grava, etc.) para formar una mezcla de productos. En algunas realizaciones, dichas mezclas de productos se pueden utilizar en la minería u otras industrias (por ejemplo, como relleno de minas) o actuar como sustituto (o sustituto parcial) del cemento en aplicaciones de tratamiento de hormigón y suelo. Como se ha señalado anteriormente, las soluciones de relleno de minas pueden incluir

generalmente una combinación de cemento y cenizas volantes, que se utilizan como extensor de cemento o material cementoso suplementario. Sin embargo, debido a que la disponibilidad de cenizas volantes está disminuyendo con el tiempo, se necesitan cantidades significativas de cenizas volantes, y la resistencia a la compresión no confinada (UCS) de las cenizas volantes varía en función de la calidad de estas, el uso de cenizas volantes puede causar dificultades.

**[0016]** Las realizaciones de la presente tecnología abordan al menos algunas de las cuestiones descritas anteriormente asociadas con el uso de cenizas volantes en combinación con cemento, por ejemplo, para aplicaciones de relleno de minas, mediante la producción de una composición extensora de cemento a base de cal (también denominada material o composición cementosa suplementaria, o aglutinante a base de cal) que puede actuar eficazmente como sustituto o alternativa de las cenizas volantes cuando se combina con cemento. Además, las realizaciones de la presente tecnología también pueden utilizarse para sustituir o sustituir parcialmente el cemento en aplicaciones de tratamiento de hormigón y suelo, por ejemplo, para la industria de la construcción. Por ejemplo, como se describe en otra parte del presente documento, las realizaciones de la presente tecnología pueden comprender un aglutinante a base de cal o una composición extensora de cemento que incluya partículas de cal (por ejemplo, hidróxido de calcio y/u óxido de calcio), partículas de puzolana (por ejemplo, sílice activa, alúmina activa, óxido de silicio y/o dióxido de aluminio) y uno o más aditivos. En algunas realizaciones, la composición aglutinante a base de cal o extensor de cemento puede incluir además partículas de carbonato cálcico (por ejemplo, piedra caliza, carbonato cálcico pulverizado (PCC), carbonato cálcico fabricado). Además, o alternativamente, al menos el 90 % de las partículas de cal, las partículas de carbonato cálcico y/o las partículas de puzolana tienen un tamaño de partícula inferior a un tamaño predeterminado (por ejemplo, 75 micras). Los aditivos pueden incluir un acelerante, un retardante, un reductor de agua, un activador, un incorporador de aire, un superplastificante y/o un polímero sintético. El aditivo puede configurarse para promover reacciones entre las partículas de cal y las partículas de puzolana, por ejemplo, para acelerar el endurecimiento del cemento, aumentar la trabajabilidad del cemento y/o modificar otras propiedades del cemento. El aditivo puede configurarse para promover reacciones entre el óxido de calcio y al menos uno de los óxidos de aluminio o dióxido de silicio (u otro componente) presentes en la puzolana. En algunas realizaciones, la composición comprende no más del 10 %, 8 %, 6 %, 4 % o 2 % del aditivo.

**[0017]** Además o alternativamente, la composición extensora de cemento a base de cal puede comprender una concentración de óxido de calcio del 25-65 %, una concentración de óxido de magnesio del 0,5-2 %, una concentración de óxido de hierro del 0,5-2,0 %, una concentración de óxido de aluminio del 2-8 %, una concentración de dióxido de silicio del 20-50 %, una concentración de óxido de potasio de 20 000-45 000 ppm y una concentración de óxido de sodio de 10 000-30 000 ppm. Dichas concentraciones pueden determinarse basándose en un análisis elemental (por ejemplo, en el que un elemento de esta composición se vaporiza (por ejemplo, mediante plasma acoplado inductivamente (ICP)) y luego se analiza mediante espectrometría (por ejemplo, espectroscopia de emisión atómica (AES) o espectrometría

de masas)). Por ejemplo, el porcentaje de óxido de calcio puede determinarse basándose en la cantidad elemental de calcio, el porcentaje de óxido de magnesio puede determinarse basándose en la cantidad elemental de magnesio y el porcentaje de óxido de hierro puede determinarse basándose en la cantidad elemental de hierro. En algunas realizaciones, la composición o producto extensor de cemento a base de cal puede combinarse con cemento para producir una mezcla de cemento para su uso en la industria minera como relleno de minas.

**[0018]** Las realizaciones de la presente tecnología permiten la producción de composiciones mejoradas a base de cal, por ejemplo, para aplicaciones de relleno de minas, que no incluyen ni dependen de cenizas volantes o escoria (por ejemplo, escoria granulada molida de alto horno). Como tal, las realizaciones de la presente tecnología pueden no verse afectadas por la disminución del suministro y el aumento del precio de las cenizas volantes o la escoria. Además, las realizaciones de la presente tecnología, cuando se combinan con cemento, pueden formar un producto mejorado (por ejemplo, un producto de relleno de minas) que utiliza relativamente menos material, tiene menos variabilidad en su composición, dura más tiempo y tiene una mayor resistencia a la compresión no confinada en comparación con los productos que utilizan cenizas volantes o escoria. Además, las emisiones de gases de efecto invernadero y la huella de carbono asociadas a la producción de las realizaciones de la presente tecnología pueden ser menores que las del uso exclusivo de cemento o la producción de cenizas volantes o escoria, que se producen como subproductos de las instalaciones de carbón o los altos hornos, respectivamente.

**[0019]** En este sentido, la producción de cemento también puede tener una gran huella de carbono y de gases de efecto invernadero. El cemento incluye fases de silicatos tricálcicos (comúnmente denominadas fase «alita» en la producción tradicional de Clinker de cemento) que son responsables de unas tasas más altas y rápidas de aumento de la resistencia en el producto final (por ejemplo, el producto de relleno de minas). La producción de fases de alita, o más concretamente la energía asociada a la calcinación de materias primas (por ejemplo, emisiones de alcance 2) y las emisiones del proceso (por ejemplo, emisiones de alcance 1) para producir Clinker de cemento (un producto intermedio en la fabricación de cemento Portland) es en gran medida responsable de la huella de gases de efecto invernadero asociada al cemento.

**[0020]** Las realizaciones de la presente tecnología pueden permitir la producción de composiciones mejoradas a base de cal que tienen una menor huella de gases de efecto invernadero y de carbono, por ejemplo, sustituyendo total o parcialmente el efecto de las alitas en el cemento tradicional por aditivos, al tiempo que tienen una resistencia suficiente (por ejemplo, resistencia a la compresión sin confinamiento). Los aditivos de la presente tecnología pueden introducirse para actuar como catalizadores que influyen en la secuencia y aceleran la cinética de las reacciones puzolánicas entre la puzolana, la cal y el carbonato cálcico, y así permitir la formación de hidratos de silicato cálcico e hidratos de aluminato cálcico a velocidades aceleradas, lo que produce una mayor velocidad de ganancia de resistencia en el producto final (por ejemplo, producto de relleno de minas) que es comparable a las fases de los cementos

hidráulicos (por ejemplo, alita). Al hacerlo, la huella de gases de efecto invernadero asociada a la producción de cementos puzolánicos con ganancias de resistencia comparables a las fases de «alita» utilizando la presente tecnología que utiliza aditivos es significativamente menor (por ejemplo, al menos un 10 %, un 20 % o un 30 % menor) en comparación con la producción tradicional de Clinker, por ejemplo, debido a que se evita la energía asociada a la calcinación de materias primas para producir Clinker. Por lo tanto, las realizaciones de la presente tecnología permiten la producción de composiciones que tienen una resistencia equivalente o mejorada con respecto a los productos de cemento tradicionales, al tiempo que tienen una menor huella de gases de efecto invernadero y de carbono.

**[0021]** En las figuras, los números de referencia idénticos identifican elementos generalmente similares y/o idénticos. Muchos de los detalles, dimensiones y otras características que se muestran en las figuras son meramente ilustrativos de realizaciones particulares de la tecnología descrita. En consecuencia, otras realizaciones pueden tener otros detalles, dimensiones y características sin apartarse del espíritu o el alcance de la divulgación. Además, los expertos en la materia apreciarán que se pueden llevar a la práctica otras realizaciones de las diversas tecnologías descritas sin varios de los detalles que se describen a continuación.

## **II. Composiciones extensoras de cemento a base de cal y sistemas y métodos asociados**

**[0022]** La FIG. 1 es un diagrama de bloques esquemático de un sistema 100 para fabricar composiciones a base de cal, de acuerdo con las realizaciones de la presente tecnología. El sistema 100 puede incluir una fuente de cal viva y/o cal 105 («fuente de cal 105»), una fuente de carbonato cálcico 110, una fuente de puzolana 115 y una fuente de aditivos 140. La fuente de cal 105 puede comprender cal viva (es decir, óxido de calcio), cal viva dolomítica, cal (es decir, hidróxido de calcio), cal hidratada y/o cal mejorada (por ejemplo, cal con una superficie específica superior a 35 m<sup>2</sup>/g) y puede tener un tamaño de partícula inferior a 75 micras, 70 micras, 60 micras o 50 micras. Por ejemplo, al menos el 90 %, el 93 %, el 95 %, el 98 % o el 99 % de las partículas de cal tienen un tamaño inferior a 75 micras. La cal puede tener un contenido de calcio de al menos 80 %, 85 %, 86 %, 87 %, 88 %, 89 %, 90 %, 91 %, 92 %, 93 %, 94 % o 95 % en peso. La fuente de cal 105 puede proporcionar calcio y/o hidróxido de calcio disponibles a un pH alto (por ejemplo, superior a 11,5 o 12,0) a la mezcla posterior, lo que en parte permite que se produzcan reacciones puzolánicas y se obtenga resistencia para la mezcla posterior y/o el producto final. En algunas realizaciones, la fuente de carbonato cálcico 110 y/o la fuente de puzolana 115 pueden contener cada una hasta un 8 % de agua.

**[0023]** La fuente de carbonato cálcico 110 puede comprender partículas de carbonato cálcico que incluyen caliza con alto contenido en calcio, PCC, carbonato cálcico fabricado, caliza arcillosa y/o cal dolomítica. Las partículas de carbonato cálcico pueden tener un tamaño inferior a 75 micras, 70 micras, 60 micras o 50 micras. Por ejemplo, al menos el 90 %, el 93 %, el 95 %, el 98 % o el 99 % de las partículas de carbonato cálcico tienen un tamaño inferior a 75 micras. El carbonato cálcico puede tener una concentración de calcio de al menos el 80 %, 85 %, 86 %, 87 %, 88 %, 89 %, 90 %, 91 %, 92 %, 93 %, 94 % o 95 % en peso. La fuente de carbonato cálcico 110 puede permitir que la mezcla posterior tenga

una mayor resistencia y, sin estar limitada por la teoría, puede proporcionar sitios de nucleación para reacciones de cementación y proporcionar materiales de relleno finos que aumentan la resistencia al optimizar la distribución del tamaño de las partículas de las mezclas de relleno. En algunas realizaciones, la fuente de carbonato cálcico 110 puede omitirse del sistema 100.

**[0024]** La fuente de puzolana 115 puede comprender una puzolana natural, ceniza volcánica, zeolita, arcilla calcinada, silicato, aluminato, humo de sílice, residuo de bauxita, escoria de puzolana, ceniza volcánica y/o zeolita. En algunas realizaciones, la fuente de puzolana 115 puede comprender (i) al menos un 5 %, 6 %, 7 %, 8 %, 9 % o 10 % en peso de óxido de aluminio, (ii) al menos un 50 %, 55 %, 60 %, 61 %, 62 %, 63 %, 64 % o 65 % en peso de dióxido de silicio, (iii) al menos 50 000 ppm, 52 000 ppm, 54 000 ppm o 56 000 ppm de óxido de potasio, y (iv) al menos 30 000 ppm, 32 000 ppm, 34 000 ppm o 36 000 ppm de óxido de sodio, por ejemplo, según lo determinado por análisis elemental mediante métodos ICP. Las partículas de puzolana pueden tener un tamaño inferior a 75 micras, 70 micras, 60 micras o 50 micras. Por ejemplo, al menos el 90 %, el 93 %, el 95 %, el 98 % o el 99 % de las partículas de puzolana tienen un tamaño inferior a 75 micras, 70 micras o 65 micras. La fuente de puzolana 115 actúa como fuente de silicato y aluminato para la mezcla posterior y/o el producto final, y en parte permite que la mezcla posterior y/o el producto final adquieran resistencia mediante reacciones puzolánicas.

**[0025]** La fuente de aditivos 140 puede comprender un aditivo en forma de fluido o de material sólido (por ejemplo, un polvo). El aditivo puede comprender uno o más de los siguientes componentes: un acelerante, un retardante, un reductor de agua, un activador, un superplastificante, un incorporador de aire y/o un polímero sintético. Los aditivos pueden cumplir con la Especificación estándar para aditivos químicos para hormigón según ASTM C494/C494M. Un acelerador puede configurarse para acortar el tiempo de fraguado de una mezcla de cemento, reduciendo así el tiempo de curado del cemento y permitiendo que la mezcla alcance los objetivos de resistencia antes. Además, un acelerador puede permitir el fraguado y curado del cemento a bajas temperaturas (por ejemplo, durante el invierno). Un acelerante puede incluir cloruro de calcio, trietanolamina, tiocianato de sodio, formiato de calcio, nitrato de calcio y/o nitrato de calcio.

**[0026]** Un retardante puede configurarse para alargar el tiempo de fraguado de una mezcla de cemento, aumentando así el tiempo de curado del cemento y permitiendo que la mezcla permanezca fluida y/o trabajable durante un periodo de tiempo más largo. Un retardante puede incluir sales de calcio, sales de magnesio, sales de sodio, sales de amonio, óxidos de plomo y zinc, fosfatos, fluoratos, boratos y ciertos carbohidratos. En el caso de las mezclas que incluyen un retardante, la fluidez puede ser fundamental porque, por ejemplo, el lugar de relleno de la mina puede estar situado a gran distancia (por ejemplo, a más de 3 kilómetros del lugar de mezcla o del lugar donde se forma la mezcla de cemento). Por lo tanto, el retardante debe tener una fluidez mínima para garantizar que la mezcla de cemento pueda bombearse hasta el lugar de la mina. Las realizaciones de la presente tecnología pueden incluir una fluidez (medida como límite elástico) de un máximo o no más de 200 pascales, 250 pascales, 300 pascales, 350 pascales, 400 pascales, 500 pascales, 750 pascales o 1000 pascales. Las realizaciones de la presente

tecnología pueden incluir una trabajabilidad en la que el material se pueda introducir en los rebajes de la mina y mantener la cohesión hasta 1 hora, 2 horas, 3 horas o 4 horas después de la producción.

**[0027]** Un reductor de agua puede incluir un superplastificante y/o un polímero sintético (por ejemplo, sulfonato sintético o policarboxilato). El reductor de agua puede configurarse para reducir el contenido de agua en el cemento (por ejemplo, reducir la relación agua-cemento), disminuir la porosidad, aumentando así la resistencia y reduciendo la permeabilidad al agua del producto final, aumentar la trabajabilidad y el asentamiento, reducir el contenido de cemento y/o mejorar la durabilidad al reducir la difusividad de los agentes agresivos en el producto final. El reductor de agua puede proporcionar el asentamiento requerido con menos agua en la mezcla y puede proporcionar un hormigón de mayor resistencia sin aumentar la cantidad de cemento. La dosificación de los reductores de agua puede oscilar entre el 0,2 % y el 2,0 %, entre el 0,2 % y el 0,8 %, u otros rangos porcentuales en peso de cemento.

**[0028]** Un reductor de agua puede clasificarse en reductor de agua de rango bajo, rango medio y rango alto. Un reductor de agua de rango bajo puede lograr al menos un 5 % o un 5-10 % de reducción de agua, donde la reducción de agua es la reducción de la cantidad de agua de mezcla, y/o un aumento de 1-2 pulgadas de asentamiento. Un reductor de agua de rango bajo puede permitir que las mezclas tengan propiedades de fluidez comparables con relaciones agua-aglutinante más bajas, y puede incluir lignosulfonatos, carbohidratos y/o ácidos hidrocarboxílicos. Un reductor de agua de rango medio puede lograr una reducción de agua del 8-18 %, 8-15 %, etc., y/o un aumento del asentamiento de 4-5 pulgadas. Un reductor de agua de rango medio puede permitir que las mezclas tengan propiedades de fluidez comparables con ratios agua-aglutinante más bajos, y puede incluir, por ejemplo, lignosulfonatos. Un reductor de agua de rango medio también puede retrasar el tiempo de fraguado inicial del hormigón y mantenerlo trabajable durante la colocación. Un reductor de agua de alto rango puede lograr al menos un 12 %, 14 %, 16 % o 18 % de reducción de agua y/o al menos 6, 8 o 10 pulgadas de aumento de asentamiento. Un reductor de agua de alto rango puede permitir que las mezclas tengan propiedades de fluidez comparables con relaciones agua-aglutinante significativamente más bajas, y puede incluir policarboxilatos, melaminas sulfonadas, copolímeros de vinilo y/o lignosulfonatos.

**[0029]** Un aditivo incorporador de aire puede configurarse para facilitar el desarrollo de burbujas de aire microscópicas en la mezcla. Un aditivo incorporador de aire puede proporcionar una mayor durabilidad frente al hielo y el deshielo, una mayor resistencia al desconchado por productos químicos de deshielo, una mejor trabajabilidad, una mayor durabilidad y/o una mayor resistencia a los ciclos de humectación/secado. La dosificación de los aditivos incorporadores de aire puede oscilar entre el 4-10 %, el 5-8 % u otros rangos porcentuales por volumen de hormigón. Un aditivo aireante puede incluir, por ejemplo, sales de ácidos grasos, sales de ácido abiético y pimérico, alquilacrilosulfonatos, alquilsulfonatos, fenoletoxilatos, resinas de colofonia, alcoholes alifáticos sulfonatos, sales proteicas y sulfonatos de petróleo. El aditivo incorporador de aire puede cumplir con la especificación estándar para aditivos incorporadores de aire para hormigón según la norma ASTM C260.

**[0030]** Los aditivos también pueden comprender una combinación de dos o más de los tipos enumerados anteriormente. Por ejemplo, un aditivo reductor de agua y retardador puede presentar las propiedades y ventajas tanto de los reductores de agua como de los retardadores, y puede incluir ácidos lignosulfonatos y ácidos carboxílicos hidroxilados o una combinación de un aditivo reductor de agua típico y un aditivo retardador. Como otro ejemplo, un aditivo reductor de agua y acelerador puede presentar las propiedades y ventajas tanto de los reductores de agua como de los aceleradores, y puede incluir una combinación de un aditivo reductor de agua típico y un aditivo acelerador. Como otro ejemplo más, un aditivo reductor de agua y retardador de alto rango puede presentar las propiedades y ventajas tanto de los reductores de agua como de los retardadores de alto rango, y puede incluir naftalenos sulfonados y lignosulfonatos o una combinación de un aditivo reductor de agua y retardador típico de alto rango.

**[0031]** En algunas realizaciones, los aditivos también pueden afectar a la trabajabilidad de la composición o de la mezcla de cemento final. La trabajabilidad, también denominada tendencia de los materiales a la cohesión, aglomeración o agregación, se refiere a la capacidad de los materiales para agruparse en una bola y adherirse entre sí. La trabajabilidad puede ser importante para el transporte de los materiales, las propiedades de los materiales (por ejemplo, la resistencia) de la mezcla de cemento resultante, etc.

**[0032]** El sistema 100 puede incluir una pluralidad de dispositivos de pesaje configurados para pesar cada una de las fuentes de cal 105, carbonato cálcico 110, puzolana 115 y aditivos 140 («componentes de alimentación»), y una pluralidad de cintas transportadoras respectivas 106, 111, 116 y 141 configuradas para transportar los componentes de alimentación a una unidad de molienda (por ejemplo, molienda conjunta) y/o mezcla 120 («molino 120»). El molino 120 puede ser un molino de bolas (por ejemplo, un molino de bolas horizontal) configurado para moler y mezclar mecánicamente los componentes de alimentación para producir una mezcla molida que se suministra a un clasificador 125 a través de una entrada 121. La molienda mecánica de los componentes de alimentación mediante el molino 120 puede provocar que los componentes de alimentación se hidraten y sequen simultáneamente. Por ejemplo, la humedad residual de los componentes de alimentación (por ejemplo, el carbonato cálcico y/o la puzolana) puede convertir químicamente la cal viva en hidróxido cálcico mediante la reacción 1.



(Reacción 1)

**[0033]** El calor producido mediante la reacción 1 y, en algunas realizaciones, el calor de fricción procedente de la acción mecánica de trituración del molino de bolas reduce la humedad residual de los componentes de la alimentación. Por ejemplo, el contenido de humedad de la mezcla molida que sale del molino 120 puede ser inferior al 8 %, 7 %, 6 %, 5 %, 4 %, 3 % o 2 % en peso. De este modo, el sistema 100 es capaz de reducir el contenido de humedad de los componentes de la alimentación solo con el molino 120, sin necesidad de equipos adicionales (por ejemplo, un secador rotatorio, quemadores, etc.)

que aumentan los costes de capital y de funcionamiento y generan gases de combustión y otros gases de efecto invernadero que complican la obtención de permisos medioambientales. Esto mejora la rentabilidad de la producción de composiciones de extensión de cemento a base de cal.

**[0034]** La mezcla molida puede comprender (i) al menos un 10 %, un 15 %, un 20 %, un 25 %, un 30 % o un 10-30 % en peso de cal viva, (ii) 20 %, 25 %, 30 %, 35 %, 40 %, 45 %, 50 % o 25-50 % en peso de carbonato cálcico, (iii) 35 %, 40 %, 45 %, 50 %, 60 %, 65 %, 70 % o 35-70 % en peso de puzolanas, y (iv) no más del 10 %, 8 %, 6 %, 4 % o 2 % de un aditivo. Por ejemplo, la composición incluye al menos un 10 % en peso de partículas de cal, al menos un 20 % en peso de partículas de carbonato cálcico, al menos un 35 % en peso de partículas de puzolana y no más del 10 % en peso de la mezcla. En otro ejemplo, la composición incluye entre un 10 % y un 20 % en peso de partículas de cal, entre un 40 % y un 50 % en peso de partículas de carbonato cálcico, entre un 35 % y un 50 % en peso de partículas de puzolana y no más del 4 % en peso de aditivo. Además o alternativamente, la mezcla molida puede comprender (i) una concentración de óxido de calcio del 25-65 %, (ii) una concentración de óxido de magnesio del 0,5-2 %, (iii) una concentración de óxido de hierro del 0,5-2,0 %, (iv) una concentración de óxido de aluminio del 2-8 %, (v) una concentración de dióxido de silicio del 20-50 %, (vi) una concentración de óxido de potasio de 20 000-45 000 ppm, y (vii) una concentración de óxido de sodio de 10 000-25 000 ppm, por ejemplo, según lo determinado por análisis elemental mediante métodos ICP. En otro ejemplo, la composición incluye un 10-35 % en peso de partículas de cal, un 5-10 % en peso de partículas de carbonato cálcico, un 55-85 % en peso de partículas de puzolana y no más del 10 % en peso de la mezcla. En otro ejemplo, la composición incluye entre un 10 y un 20 % en peso de partículas de cal, entre un 40 y un 50 % en peso de partículas de carbonato cálcico, entre un 35 y un 50 % en peso de partículas de puzolana y no más del 4 % en peso de la mezcla.

**[0035]** La cantidad de óxido de calcio o hidróxido de calcio de la mezcla molida que está disponible para reaccionar como parte de las reacciones de puzolana puede ser de al menos un 10 % en peso, no más del 30 % en peso, o del 10 al 30 % en peso. La cantidad de óxido de calcio o hidróxido de calcio disponible puede determinarse basándose en la norma ASTM C 25-19: «Métodos de ensayo estándar para el análisis químico de la piedra caliza, la cal viva y la cal hidratada».

**[0036]** El sistema 100 puede comprender además una unidad de separación y clasificación de aire 125 («clasificador 125») configurada para recibir una corriente de aire ambiente 127 y producir una composición aglutinante o extensor de cemento (por ejemplo, aglutinante para producir un producto de relleno de minas) a través de una salida 126. El clasificador 125 puede comprender una entrada 121, una salida 126 y una línea de retorno 128 que se extiende desde el clasificador 125 hasta el molino 120. La entrada 121 del clasificador 125 puede comprender o estar acoplada a uno o más transportadores de tornillo y elevadores de cangilones configurados para transferir la mezcla molida desde el molino 120 al clasificador 125. El clasificador 125 puede incluir un separador mecánico de barrido por aire dimensionado de tal manera que al menos el 90 %, el 95 % o el 99 % de las partículas estén configuradas para pasar por un tamiz de 200 mallas y/o tener un tamaño de partícula no superior a 75 micras. Dicho

tamaño de partícula, en relación con las partículas grandes, aumenta la relación entre la superficie y el volumen y permite que el aglutinante reaccione rápidamente (o relativamente más rápido). Además, al reducir el tamaño de las partículas para que pasen por un tamiz de malla 200 y/o no superen las 75 micras, la distribución del tamaño de las partículas es más uniforme, lo que inhibe la probabilidad de segregación durante el transporte, y el tamaño de las partículas es más similar al del cemento, lo que permite una mejor mezcla e inhibe la segregación. Las partículas que no pasan por el separador impactarán en un miembro mecánico giratorio del separador y volverán al molino 120, por ejemplo, a través de la línea de retorno 128 (por ejemplo, una tolva) u otros medios, para su posterior molienda y reducción de tamaño. Después de un nuevo molido, estas partículas pueden redirigirse al clasificador 125 a través de uno o varios transportadores de tornillo y elevadores de cangilones y/o la entrada 121.

**[0037]** El sistema 100 puede comprender además un colector de polvo 130 (por ejemplo, un filtro de mangas) aguas abajo del clasificador 125 y un almacenamiento 135 aguas abajo del colector de polvo 130. Las partículas que tienen un tamaño adecuado y pasan a través del separador del clasificador 125 se dirigen al colector de polvo 130. El colector de polvo 130 emite una corriente de aire de escape 132 y está configurado para eliminar el polvo y otras partículas finas antes de que el aglutinante sea dirigido, por ejemplo, a través de transportadores y/o elevadores 131 al almacenamiento 135 (por ejemplo, silos de productos) para su distribución a los clientes.

**[0038]** El aglutinante o la composición extensora de cemento (por ejemplo, aglutinante para producir un producto de relleno de minas) enviado al almacenamiento 135 puede comprender partículas de las cuales al menos el 90 %, el 95 % o el 99 % pasan por un tamiz de 200 mallas y/o tienen un tamaño de partícula no superior a 75 micras. Además, el producto puede tener una composición similar o idéntica a la del molino 120. Por ejemplo, el aglutinante puede comprender (i) al menos un 10 %, un 15 %, un 20 %, un 25 %, un 30 % o un 10-30 % en peso de cal viva (ii) un 20 %, 25 %, 30 %, 35 %, 40 %, 45 %, 50 % o un 25-50 % en peso de carbonato cálcico, y (iii) un 35 %, un 40 %, un 45 %, un 50 %, un 60 %, un 65 %, un 70 % o un 35-70 % en peso de puzolanas, y no más del 10 %, el 8 %, el 6 %, el 4 % o el 2 % de la mezcla. Además o alternativamente, el aglutinante puede comprender (i) una concentración de óxido de calcio del 45-65 %, (ii) una concentración de óxido de magnesio del 0,5-2 %, (iii) una concentración de óxido de hierro del 0,5-2 %, (iv) una concentración de óxido de aluminio del 2-8 %, (v) una concentración de dióxido de silicio del 20-40 %, (vi) una concentración de óxido de potasio de 20 000-30 000 ppm, y (vii) una concentración de óxido de sodio de 10 000-20 000 ppm, por ejemplo, según lo determinado por análisis elemental a partir de métodos ICP.

**[0039]** En algunas implementaciones, el aglutinante (por ejemplo, la composición extensora de cemento a base de cal) comprende entre un 10 y un 33,4 % de óxido de calcio, entre un 33,4 y un 50 % de al menos uno de los siguientes: óxido de aluminio o dióxido de silicio, y al menos un 1 % de mezcla. Además, el extensor de cemento a base de cal puede incluir además entre un 10 % y un 33,4 % de óxido de calcio, entre un 33,4 % y un 50 % de carbonato de calcio, entre un 33,4 % y un 50 % de al menos uno de los siguientes: óxido de aluminio o dióxido de silicio, y al menos un 1 % de la mezcla.

[0040] El aglutinante (por ejemplo, la composición a base de cal) puede tener una UCS igual o superior a 0,70 megapascuales (MPa) (por ejemplo, al menos 28 días después de su formación) que aumenta con el tiempo. Una UCS relativamente alta es una característica deseable para las mezclas de productos utilizadas en la industria minera, por ejemplo, como relleno de minas. Como se muestra en los datos de UCS de la tabla 1 a continuación, que utiliza un 7 % en peso de TBC del sistema de relleno modelo (por ejemplo, incluyendo agua, TBC y relleno sin tratar), la UCS medida en el día 28 para cada una de las muestras mostradas que incluyen carbonato cálcico es superior a 0,70 MPa, y la mayor UCS obtenida es para aglutinantes que comprenden al menos un 21,25 % de carbonato cálcico y un 21,25 % de puzolana natural.

| Composición total del aglutinante (TBC) |          |               |                  | UCS a las 20 horas |       | UCS a los 28 días |       |
|-----------------------------------------|----------|---------------|------------------|--------------------|-------|-------------------|-------|
| Cemento Portland                        | Cal viva | Piedra caliza | Pozolana natural | MPa                |       | MPa               |       |
| 100,00 %                                | 0,00 %   | 0,00 %        | 0,00 %           | 0,20               | ±0,02 | 0,90              | ±0,01 |
| 50,00 %                                 | 50,00 %  | 0,00 %        | 0,00 %           | 0,12               | ±0,02 | 0,62              | ±0,07 |
| 50,00 %                                 | 10,00 %  | 20,00 %       | 20,00 %          | 0,10               | ±0,01 | 0,70              | ±0,10 |
| 75,00 %                                 | 10,00 %  | 20,00 %       | 20,00 %          | 0,10               | ±0,02 | 0,73              | ±0,02 |
| 50,00 %                                 | 7,50 %   | 21,25 %       | 21,25 %          | 0,10               | ±0,02 | 0,88              | ±0,05 |
| 50,00 %                                 | 5,00 %   | 22,50 %       | 22,50 %          | 0,17               | ±0,02 | 0,94              | ±0,02 |

Tabla 1

[0041] En algunas realizaciones, el aglutinante puede combinarse con cemento para producir una mezcla de cemento (y/o combinarse además con agua para producir una pasta de mezcla de cemento, y/o combinarse aún más con agregados para producir una mezcla de producto) para su uso en la industria minera, por ejemplo, como relleno de minas. En tales realizaciones, el aglutinante puede comprender al menos el 20 %, el 25 %, el 30 %, el 35 %, el 40 %, el 45 %, el 50 % o el 55 % de la mezcla de cemento, y el cemento comprende el resto. Por ejemplo, el aglutinante puede comprender entre el 45 % y el 55 % de la mezcla de cemento. Como se muestra en la tabla 2 a continuación, la mezcla de cemento puede tener una UCS que aumenta con el tiempo (por ejemplo, de los días 7 a 28) en un sistema de arena modelo con un contenido de aglutinante del 20 %. Por ejemplo, la resistencia a la compresión no confinada del aglutinante siete días después de su formación es de al menos 8 MPa, 9 MPa, 10 MPa, 11 MPa, 12 MPa o 13 MPa, y la resistencia a la compresión no confinada del aglutinante 28 días después de su formación es de al menos 11 MPa, 12 MPa, 13 MPa, 14 MPa, 15 MPa, 16 MPa o 17 MPa. Las mediciones de UCS que se muestran en la tabla 2 se determinaron basándose en parte en la norma ASTM C109 «Método de ensayo estándar para la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico» utilizando muestras cúbicas de 2 pulgadas (o 50 mm). Además, el TBC en peso de la mezcla de mortero (por ejemplo, incluyendo agua, TBC y arena) es del 20 %.

[0042] Como también se muestra en la tabla 2, la mezcla de cemento puede tener con el tiempo una UCS más alta en relación con el cemento solo. Es decir, para casi todas las «composiciones de aglutinante» (por ejemplo, la composición de extensor de cemento a base de cal) de la tabla 2 que comprenden un 50 % en

peso de cemento Portland y del aglutinante (es decir, una combinación de cal viva, piedra caliza y puzolana), la UCS de la composición de aglutinante al día 28 fue mayor que la del cemento Portland solo.

| Composición total del aglutinante (TBC) |          |               |          | Resistencia a la compresión sin confinamiento |           |        |           | Rendimiento relativo indexado al cemento Portland únicamente |        |
|-----------------------------------------|----------|---------------|----------|-----------------------------------------------|-----------|--------|-----------|--------------------------------------------------------------|--------|
| Cemento Portland                        | Cal viva | Piedra caliza | Pozolana | Día 7                                         |           | Día 28 |           | Día 7                                                        | Día 28 |
|                                         |          |               |          | MPa                                           | Des. Est. | MPa    | Des. Est. |                                                              |        |
| 50%                                     | 0,0%     | 25,0%         | 25,0%    | 10,3                                          | 1,8       | 12,8   | 3,0       | 0,78                                                         | 1,01   |
| 50%                                     | 16,7%    | 16,7%         | 16,7%    | 9,8                                           | 0,3       | 13,6   | 0,7       | 0,74                                                         | 1,07   |
| 50%                                     | 10,0%    | 20,0%         | 20,0%    | 10,8                                          | 0,5       | 14,7   | 1,4       | 0,81                                                         | 1,16   |
| 50%                                     | 5,0%     | 25,0%         | 20,0%    | 8,6                                           | 0,5       | 14,6   | 2,2       | 0,65                                                         | 1,15   |
| 50%                                     | 5,0%     | 20,0%         | 25,0%    | 9,1                                           | 1,0       | 17,1   | 2,2       | 0,68                                                         | 1,35   |
| 50%                                     | 5,0%     | 22,5%         | 22,5%    | 10,8                                          | 0,5       | 11,8   | 1,1       | 0,82                                                         | 0,93   |
| 50%                                     | 7,5%     | 21,3%         | 21,3%    | 10,7                                          | 0,6       | 15,2   | 1,2       | 0,80                                                         | 1,20   |
| 50%                                     | 12,5%    | 18,8%         | 18,8%    | 10,5                                          | 0,3       | 16,7   | 1,0       | 0,79                                                         | 1,31   |
| 50%                                     | 10,0%    | 20,0%         | 20,0%    | 9,8                                           | 1,7       | 15,7   | 1,9       | 0,74                                                         | 1,24   |
| 50%                                     | 5,0%     | 22,5%         | 22,5%    | 8,7                                           | 0,4       | 15,5   | 0,7       | 0,65                                                         | 1,22   |
| 50%                                     | 7,5%     | 21,3%         | 21,3%    | 10,3                                          | 0,4       | 15,0   | 1,7       | 0,77                                                         | 1,18   |
| 50%                                     | 7,5%     | 22,5%         | 20,0%    | 8,5                                           | 0,8       | 13,7   | 1,3       | 0,64                                                         | 1,08   |
| 50%                                     | 7,5%     | 20,0%         | 22,5%    | 11,3                                          | 0,3       | 17,7   | 2,4       | 0,85                                                         | 1,40   |
| 100%                                    | 0,0%     | 0,0%          | 0,0%     | 13,3                                          | 2,2       | 12,7   | 1,9       | 1,00                                                         | 1,00   |
| 50%                                     | 0,0%     | 0,0%          | 50,0%    | 10,8                                          | 2,0       | 14,0   | 1,2       | 0,81                                                         | 1,10   |
| 50%                                     | 0,0%     | 50,0%         | 0,0%     | 7,2                                           | 0,1       | 8,1    | 0,9       | 0,54                                                         | 0,64   |
| 50%                                     | 50,0%    | 0,0%          | 0,0%     | 4,2                                           | 0,6       | 3,8    | 0,2       | 0,32                                                         | 0,30   |

Tabla 2

**[0043]** Como se muestra en la tabla 2, múltiples composiciones de aglutinante que incluyen cemento Portland y el aglutinante tuvieron una UCS más alta que el cemento Portland combinado con solo uno de (i) cal viva, (ii) piedra caliza o (iii) puzolana. Es decir, la mejora en la resistencia a la compresión unidireccional de las mezclas de la presente tecnología descrita aquí se debe en parte al efecto combinado de cada uno de los siguientes elementos: cal viva, piedra caliza, puzolana y el aditivo. Por ejemplo, sin estar limitado por la teoría, (i) la cal viva puede proporcionar partículas de calcio y/o hidróxido de calcio y un entorno alcalino para el silicato y el aluminato que se encuentran en la puzolana para completar las reacciones del cemento que forman hidratos de silicato de calcio y/o hidratos de silicato de aluminio que aumentan la resistencia de la mezcla, (ii) la piedra caliza puede proporcionar sitios de nucleación para catalizar dichas reacciones del cemento, lo que permite que las reacciones se inicien más rápido y/o mejor, y (iii) la puzolana actúa como fuente de silicato y aluminato y reacciona con la cal viva y/o el calcio para permitir reacciones puzolánicas que aumentan la resistencia. Además, o como alternativa, al utilizar los aditivos, la resistencia unidireccional a la compresión (UCS) de las mezclas de la presente tecnología, en relación con la del cemento Portland solo, será mayor (por ejemplo, al tercer día, el día 7, el día 28, etc.)

(como se explica más adelante en el presente documento), al tiempo que se proporciona una disminución (por ejemplo, al menos un 30 %, un 40 % o un 50 % menos) del equivalente de dióxido de carbono durante la producción. Además, o alternativamente, la mejora en la UCS para las realizaciones de la presente tecnología puede deberse al efecto de relleno de finos, lo que sugiere que un tamaño de partícula específico (por ejemplo, partículas finas de piedra caliza) o una distribución del tamaño de las partículas de la composición optimiza la resistencia obtenida cuando se combinan para fabricar el producto de relleno de minas. Como se describe en el presente documento, omitir uno de los componentes de cal viva, carbonato cálcico o puzolana dará como resultado una composición con una UCS más baja con el tiempo. Cada composición que incluya cemento, cal viva, piedra caliza y puzolana proporcionará cierta resistencia, pero habrá una mezcla ideal que optimice estos mecanismos de beneficio, por ejemplo, a partir de los finos de piedra caliza frente a la adición de más reactivos para las reacciones del cemento.

**[0044]** La FIG. 2 es un diagrama de flujo de un método 200 para producir composiciones extensoras de cemento a base de cal, de acuerdo con las realizaciones de la presente tecnología. El método 200 incluye recibir componentes de alimentación que comprenden partículas de cal (por ejemplo, la fuente de cal 105; FIG. 1), partículas de carbonato cálcico (por ejemplo, la fuente de carbonato cálcico 110; FIG. 1), partículas de puzolana (por ejemplo, la fuente de puzolana 115; FIG. 1) y una mezcla (por ejemplo, la fuente de mezcla 140; FIG. 1) (parte del proceso 202). Cada una de las partículas de cal, partículas de carbonato cálcico, partículas de puzolana y aditivo puede proceder de las respectivas fuentes de cal, carbonato cálcico, puzolana y aditivo, y pesarse y transportarse mediante cintas transportadoras.

**[0045]** El método 200 comprende además la molienda de los componentes de alimentación (parte del proceso 204). La molienda de los componentes de alimentación puede realizarse en un molino de bolas horizontal y puede producir un producto molido que comprenda (i) al menos un 10 % en peso de partículas de cal, (ii) un 20 %, 25 %, 30 %, 35 %, 40 %, 45 %, 50 % o un 25-50 % en peso de partículas de carbonato cálcico, y (iii) un 35 %, 40 %, 45 %, 50 %, 60 %, 65 %, 70 % o un 35-70 % en peso de partículas de puzolana, y no más del 10 %, 8 %, 6 %, 4 % o 2 % en peso de la mezcla. Además o alternativamente, la mezcla molida puede comprender una concentración de óxido de calcio del 45-65 %, una concentración de óxido de magnesio del 0,5-2 %, una concentración de óxido de hierro del 0,5-2,0 %, una concentración de óxido de aluminio del 2-8 %, una concentración de dióxido de silicio del 20-40 %, una concentración de óxido de potasio de 20 000-30 000 ppm y una concentración de óxido de sodio de 10 000-20 000 ppm, por ejemplo, según lo determinado por análisis elemental a partir de métodos ICP, y una mezcla. La mezcla puede configurarse para promover reacciones entre el óxido de calcio y el óxido de aluminio y/o el dióxido de silicio. La mezcla puede incluir además al menos un 20 %, un 25 %, un 30 %, un 35 %, un 40 % o un 45 % de mezcla de cemento. La molienda (por ejemplo, trituración) de los componentes de la alimentación también puede mezclar simultáneamente los componentes individuales de la alimentación para formar una mezcla uniforme, así como secar los componentes de la alimentación para reducir su contenido de humedad residual. Sin estar limitado por la teoría, el calor para secar los componentes de la alimentación puede provenir del calor de fricción de la acción mecánica de molienda del molino de bolas.

Además, o alternativamente, el contenido de humedad también se puede reducir mediante la interacción de la cal viva de las partículas de cal y la humedad residual presente en el molino de bolas, que reaccionan entre sí (mediante la reacción 1) para formar hidróxido de calcio y calor.

**[0046]** El método 200 incluye además la separación de las partículas de tamaño excesivo de la mezcla molida para producir un aglutinante (por ejemplo, el aglutinante o la composición extensora de cemento a base de cal mencionada en otra parte del presente documento), de modo que al menos el 90 %, el 95 %, el 97 % o el 99 % de las partículas del aglutinante pasen por un tamiz de 200 mallas (parte del proceso 206). Dicho de otro modo, al menos el 90 % de las partículas del aglutinante tienen un tamaño de partícula no superior a 75 micras. La separación de las partículas de gran tamaño puede realizarse mediante un clasificador de aire (por ejemplo, el clasificador 125), en el que las partículas de gran tamaño se devuelven al molino (por ejemplo, a través de una tolva o una línea de retorno) para su posterior molienda y reducción de tamaño, y las partículas restantes se dirigen a una salida del clasificador. También se pueden utilizar otras estructuras distintas de los clasificadores de aire, como cribas, también pueden utilizarse para separar las partículas de gran tamaño. Las partículas de gran tamaño que se devuelven al molino se devuelven finalmente al clasificador (por ejemplo, a través de una pluralidad de transportadores y cargadores de cangilones). Las partículas restantes (por ejemplo, las partículas que pasan por un tamiz de 200 mallas) pueden dirigirse a un colector de polvo y, posteriormente, al almacenamiento (por ejemplo, silos de producto) como producto para su distribución a los clientes.

**[0047]** En algunas realizaciones, el aglutinante puede combinarse con cemento, agua y/o áridos, por ejemplo, para su uso en la industria minera como relleno de minas. De este modo, se puede ampliar eficazmente el uso del cemento, manteniendo o mejorando su utilidad y mejorando al mismo tiempo la economía asociada a su uso. El aglutinante puede comprender el 40 %, el 45 %, el 50 % o el 55 % de la mezcla, y el cemento el resto. La mezcla de cemento puede tener una UCS que aumenta con el tiempo, por ejemplo, entre los días 7 y 28 después de la formulación. Por ejemplo, la UCS del aglutinante siete días después de su formación es de al menos 8 MPa, 9 MPa, 10 MPa, 11 MPa, 12 MPa o 13 MPa, y la resistencia a la compresión no confinada del aglutinante 28 días después de su formación es de al menos 11 MPa, 12 MPa, 13 MPa, 14 MPa, 15 MPa, 16 MPa o 17 MPa. Además, o alternativamente, la mezcla de cemento puede, con el tiempo, tener una UCS más alta en relación con el cemento solo. Por ejemplo, la UCS de una mezcla de cemento que comprende aproximadamente un 50 % en peso de cemento Portland y aglutinante (es decir, cal viva, carbonato cálcico, puzolana y un aditivo), a los 28 días, puede ser más alta que la del cemento Portland solo. Además, la UCS de una mezcla de cemento que comprende aproximadamente un 50 % en peso de cemento Portland y aglutinante (es decir, cal, carbonato cálcico, puzolana y un aditivo), al cabo de 28 días, puede ser superior a la UCS del cemento Portland y uno de (i) cal, (ii) carbonato cálcico o (iii) puzolana.

**[0048]** Las realizaciones de la presente tecnología permiten la producción de productos (por ejemplo, relleno de minas) mediante la producción de una composición extensora de cemento a base de cal que puede actuar eficazmente como sustituto o alternativa de las cenizas volantes cuando se combina con

cemento. Como tal, las realizaciones de la presente tecnología permiten la producción de composiciones mejoradas para aplicaciones de relleno de minas que no incluyen ni dependen de cenizas volantes y, además, no se ven afectadas por la disminución del suministro y el aumento del precio de las cenizas volantes. Además, las composiciones extensoras de cemento a base de cal de la presente tecnología pueden formar un producto mejorado que utiliza relativamente menos material, dura más tiempo y tiene una mayor resistencia a la compresión no confinada, en comparación con los productos de relleno de minas que incluyen cenizas volantes.

[0049] Al incluir aditivos, las composiciones de acuerdo con las realizaciones de la presente tecnología permiten la formación de sulfatos de calcio y aluminio (CAS) en un periodo de tiempo predeterminado (por ejemplo, no más de) desde la mezcla con cemento para formar una mezcla de cemento. El CAS puede incluir etringita y/o monosulfato de aluminio y calcio hidratado. El periodo de tiempo predeterminado puede ser de 28 días, 21 días, 14 días, 7 días, etc. La formación de CAS dentro de un periodo de tiempo predeterminado (por ejemplo, antes de que la mezcla de cemento fragüe) puede permitir el desarrollo de la resistencia necesaria de la mezcla de cemento. Alternativamente, si la formación de CAS se produce durante un periodo de tiempo más largo (por ejemplo, más de un mes o varios meses), el hormigón se expandirá antes de la formación de CAS, lo que puede inhibir el desarrollo de la resistencia o provocar una disminución de la resistencia desarrollada. La presencia o la cantidad de CAS en una mezcla de cemento u otro material cementoso puede detectarse o medirse, respectivamente, utilizando difracción cuantitativa de rayos X (QXRD) y/u otras técnicas conocidas en la técnica.

[0050] Además, la producción de las realizaciones de la presente tecnología puede dar lugar a menos emisiones de gases de efecto invernadero y a una menor huella de carbono en comparación con el cemento y las cenizas volantes, que se producen como subproducto de las instalaciones de carbón. Por ejemplo, ciertos aditivos (por ejemplo, superplastificantes) permiten utilizar menos agua en la mezcla de cemento, lo que requiere menos aglutinante, lo que a su vez puede equivaler a una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y/o de la huella de carbono. Cabe destacar que el uso de menos agua también puede proporcionar una ventaja funcional al permitir una mayor ganancia de resistencia de la mezcla de cemento resultante.

### III. Resultados experimentales

[0051] Las FIGS. 3A-3C son gráficos que ilustran la relación entre la UCS (MPa) y las cantidades variables de los componentes individuales de una composición, de acuerdo con las realizaciones de la presente tecnología. La FIG. 3A ilustra la relación entre la UCS y las diferentes cantidades de cal viva, la FIG. 3B ilustra la relación entre la UCS y las diferentes cantidades de piedra caliza, y la FIG. 3C ilustra la relación entre la UCS y las diferentes cantidades de puzolana. La composición utilizada para cada uno de los gráficos de las FIGS. 3A-3C incluye un 50 % de cemento y cantidades variables de los componentes individuales, tal y como se muestra en las FIGS. 3A-3C. Por lo tanto, los porcentajes que se muestran para cada uno de los componentes individuales en las FIGS. 3A-3C representan el 50 % de la composición.

Además, para cada uno de los gráficos, que muestran cantidades variables de uno de los componentes (cal viva, piedra caliza o puzolana), la cantidad de los demás componentes también varía. Por ejemplo, para el gráfico de la FIG. 3A, que muestra la cantidad de cal viva que varía entre el 0 % y aproximadamente el 34 %, la cantidad de piedra caliza y/o puzolana también varía a medida que aumenta la cantidad de cal viva. Con referencia a las FIGS. 3A-3C en conjunto, la UCS muestra un pico en diversas cantidades para cada uno de los componentes individuales. Por ejemplo, el pico de UCS para la cal viva se produce en aproximadamente el 17 % (figura 3A), el pico de UCS para la piedra caliza se produce en aproximadamente el 25 % (figura 3B) y el pico de UCS para la puzolana se produce en torno al 65 % (FIG. 3C). Por lo tanto, en algunas realizaciones, se puede alcanzar una resistencia óptima para la composición global cuando la composición comprende alrededor del 45-55 % de cemento, alrededor del 6-10 % de cal viva, alrededor del 10-15 % de piedra caliza y alrededor del 30-35 % de puzolana.

**[0052]** La tabla 3 incluye datos correspondientes a la cantidad de CaO disponible y el pH para un cemento de tipo I/II («cemento»), un extensor o aglutinante de cemento a base de cal («aglutinante») y una mezcla 1:1 del cemento y el aglutinante. El Producto aquí puede corresponder al producto o a la composición del extensor de cemento a base de cal descrita anteriormente con referencia a las FIGS. 1 y/o 2.

| Material                                          | % CaO disponible | pH   |
|---------------------------------------------------|------------------|------|
| Cemento tipo I/II («Cemento»)                     | 15,7             | 12,1 |
| Extensor de cemento a base de cal («Aglutinante») | 10,3             | 12,5 |
| Mezcla 1:1 de Cemento y Aglutinante               | 16,4             | 12,5 |

*Tabla 3*

**[0053]** El porcentaje de CaO disponible que se muestra en la tabla 3 se determinó según la norma ASTM C 25-19: «Métodos de ensayo estándar para el análisis químico de piedra caliza, cal viva y cal hidratada». El pH se obtuvo creando una suspensión de aproximadamente el 5 % del material en agua destilada y midiendo el pH una vez que la temperatura se estabilizó a temperatura ambiente (aproximadamente 22 °C) utilizando un electrodo de pH calibrado.

**[0054]** Como se muestra en la tabla 3, la cal aporta al menos un 10 % de cal disponible en el aglutinante, lo que no da lugar a ninguna reducción del CaO disponible en las mezclas combinadas. Es decir, la cal disponible del cemento es de aproximadamente un 15,7 % y la cal disponible de la mezcla 1:1 es de aproximadamente 16,4. Además, la cal mantiene el pH por encima de aproximadamente 12,0, lo que permite que se produzcan y/o continúen las reacciones puzolánicas, lo que desarrolla ganancias de UCS con el tiempo.

**[0055]** La FIG. 4A ilustra la UCS de varios cilindros de hormigón sin aditivos a lo largo del tiempo (al tercer día, al séptimo día y al vigésimo octavo día de curado), de acuerdo con las realizaciones de la presente tecnología. Los cilindros de hormigón utilizados tenían una relación de aspecto (altura-diámetro) de 2: 1. Más concretamente, el eje vertical representa la UCS (medida en psi) y el eje horizontal enumera cuatro cilindros de hormigón con diferentes aglutinantes que comprenden (i) solo cemento de tipo 1L, (ii) una primera mezcla de cemento de tipo 1L con un 15 % de sustitución de un primer aglutinante, (iii) una segunda mezcla de cemento de tipo 1L con un 15 % de sustitución de un segundo aglutinante, y (iv) una

tercera mezcla de cemento tipo 1L con un 15 % de sustitución de un tercer aglutinante. El primer aglutinante comprende aproximadamente un 10 % de cal viva, un 85 % de puzolanas y un 5 % de piedra caliza pulverizada, en peso. El segundo aglutinante comprende aproximadamente un 10 % de cal hidratada, un 85 % de puzolanas y un 5 % de piedra caliza pulverizada, en peso. El tercer aglutinante comprende aproximadamente un 35 % de cal viva, un 55 % de puzolanas y un 10 % de piedra caliza pulverizada, en peso.

**[0056]** La FIG. 4B ilustra la UCS (medida en psi) de varios cilindros de hormigón con aditivos a lo largo del tiempo (en el día 3, en el día 7 y en el día 28 de curado), de acuerdo con las realizaciones de la presente tecnología. Los cilindros de hormigón tenían una relación de aspecto (altura-diámetro) de 2: 1. Más concretamente, el eje vertical representa la UCS (medida en psi) y el eje horizontal enumera los mismos cuatro cilindros de hormigón con diferentes aglutinantes (i)-(iv) que la FIG. 4A, pero cada cilindro de hormigón incluye además un aditivo en menos del 1 % del contenido total de aglutinante en peso. El aditivo comprende una combinación de un reductor de agua de rango medio, un reductor de agua de alto rango y un agente incorporador de aire. Por lo tanto, las FIGS. 4A y 4B proporcionan comparaciones entre varios cilindros de hormigón sin y con aditivos.

**[0057]** Al comparar la UCS de los cilindros de hormigón sin aditivos (FIG. 4A) y la UCS de los cilindros de hormigón con aditivos (FIG. 4B), la presencia de aditivos proporciona aumentos en la UCS para los cuatro cilindros de hormigón con diferentes aglutinantes, y en todos los momentos medidos (en el día 3, en el día 7 y en el día 28). Al comparar los cilindros de hormigón que comprenden el aglutinante (i) de solo cemento tipo 1L entre las FIGS. 4A y 4B, la presencia de aditivos proporciona el aumento más significativo en la UCS en el día 3, de 2947 psi a 4430 psi (un aumento de aproximadamente el 50 %). En el día 7 y en el día 28, la presencia de aditivos proporciona aumentos más moderados en la UCS, de 4046 psi a 4700 psi (un aumento aproximado del 16 %) y de 5600 psi a 5900 psi (un aumento aproximado del 5 %).

**[0058]** Al comparar los cilindros de hormigón que comprenden los aglutinantes (ii), (iii) y (iv) (por ejemplo, con el primer, segundo y tercer aglutinante, respectivamente) entre las FIGS. 4A y 4B, la presencia de aditivos proporciona aumentos más consistentes (en relación con el cilindro de hormigón que comprende el aglutinante (i)) en la UCS a lo largo del tiempo. Los aumentos porcentuales en la UCS también son comparables, con el aglutinante (ii) proporcionando un aumento en la UCS en el día 28 de 3893 psi a 5650 psi (un aumento de aproximadamente el 45 %), el aglutinante (iii) proporcionando un aumento en la UCS en el día 28 de 4621 psi a 5720 psi (un aumento aproximado del 24 %) y el aglutinante (iv) proporciona un aumento en la UCS en el día 28 de 4337 psi a 5290 psi (un aumento aproximado del 22 %). Por lo tanto, las FIGS. 4A y 4B ilustran que las composiciones de aglutinantes que incluyen aditivos de acuerdo con las realizaciones de la presente tecnología proporcionan mejoras consistentes y significativas en la UCS en relación con los aglutinantes sin aditivos.

**[0059]** La FIG. 4C ilustra el Índice de Actividad de Resistencia (SAI) del cilindro de hormigón con aglutinante (ii) (la primera mezcla de cemento tipo 1L con un 15 % de sustitución del primer aglutinante)

a lo largo del tiempo, de acuerdo con las realizaciones de la presente tecnología. La FIG. 4D ilustra el SAI del cilindro de hormigón con aglutinante (iii) (la segunda mezcla de cemento tipo 1L con un 15 % de sustitución del segundo aglutinante) a lo largo del tiempo, de acuerdo con las realizaciones de la presente tecnología. La FIG. 4E ilustra el Índice de Actividad de Resistencia (SAI, por sus siglas en inglés) del cilindro de hormigón con aglutinante (iv) (la tercera mezcla de cemento tipo 1L con un 15 % de sustitución del tercer aglutinante) a lo largo del tiempo, de acuerdo con las realizaciones de la presente tecnología. Refiriéndose a las FIGS. 4C-4E en conjunto, el eje vertical representa el SAI, que es una medida comparativa del USC del cilindro de hormigón con aglutinantes (ii)-(iv) frente al cilindro de hormigón con aglutinante (i) (solo cemento tipo 1L). Más concretamente, el SAI se calcula como:

$$SAI = \frac{UCS \text{ del cilindro de hormigón con el aglutinante de interés}}{UCS \text{ del cilindro de hormigón con aglutinante de solo cemento tipo 1L}} \times 100$$

En algunas realizaciones, se alcanza un determinado valor SAI o un valor SAI mínimo con el paso del tiempo debido a la formación de sulfatos de calcio y aluminio con el paso del tiempo, como la etringita. El eje horizontal enumera diferentes momentos (al tercer día, al séptimo día y al vigésimo octavo día de curado) y, para cada momento, proporciona el cilindro de hormigón con el aglutinante de interés sin aditivos y con aditivos.

**[0060]** En muchas aplicaciones y según normas industriales destacadas, se requiere alcanzar un SAI mínimo del 75 % (por ejemplo, al menos el 75 % en el día 7 y en el día 28 según la norma ASTM C618). En la práctica, puede ser muy deseable alcanzar un SAI mínimo del 95 %, ya que un SAI más alto indica un rendimiento casi equivalente (o incluso mejor) que los cilindros de hormigón con el aglutinante de solo el elemento de tipo 1L (u otra referencia). Como se explica a continuación, las mezclas de cemento que incluyen composiciones de acuerdo con las realizaciones de la presente tecnología pueden tener un SAI de al menos el 80 %, 85 %, 90 %, 95 %, 100 % o 110 %, o dentro de un rango de 80-110 % en 7 días, en 28 días, etc.

**[0061]** Refiriéndonos a las FIGS. 4C-4E en conjunto y centrándonos en el SAI de los cilindros de hormigón sin aditivos, el SAI oscila entre el 77-81 % al tercer día, entre el 81-87 % al séptimo día y entre el 70-83 % al vigésimo octavo día. Cabe destacar que los cilindros de hormigón con aglutinantes (iii) y (iv) cumplirían, por ejemplo, los requisitos SAI de la norma ASTM C618, pero el cilindro de hormigón con aglutinante (ii) no los cumpliría. A continuación, refiriéndonos a las FIGS. 4C-4E en conjunto y centrándonos en el SAI de los cilindros de hormigón con aditivos, el SAI oscila entre el 79 % y el 110 % en el día 3, entre el 98 % y el 110 % en el día 7, y entre el 90 % y el 97 % en el día 28. Cabe destacar que, a diferencia del caso en el que no hay aditivos, los tres cilindros de hormigón con aglutinantes (ii), (iii) y (iv) con aditivos cumplirían, por ejemplo, los requisitos SAI de la norma ASTM C618. El cilindro de hormigón con aglutinante (iii) y aditivos es especialmente digno de mención, ya que su UCS se mantiene por encima del 95 % en el día 3, en el día 7 y en el día 28.

[0062] Por lo tanto, las FIGS. 4C-4E muestran que la adición de aditivos a la composición del aglutinante puede aumentar la UCS (y, en consecuencia, la SAI) y, potencialmente, hacer que un material cumpla con ciertos requisitos de SAI que, de otro modo, no cumpliría. Cabe señalar que los aditivos utilizados para la recopilación de los datos experimentales presentados en las FIGS. 4A-4E se optimizaron para el componente de cemento y no para la composición del aglutinante. Por lo tanto, se espera que un mayor refinamiento y optimización de los aditivos pueda proporcionar mejoras adicionales al rendimiento de las composiciones de aglutinantes de acuerdo con las realizaciones de la presente tecnología.

[0063] La FIG. 5 ilustra cómo varían las densidades húmedas del hormigón de varios tipos de pastas de mezcla de cemento (cemento mezclado con aglutinantes y/o agua) con diferentes relaciones agua-cemento (en peso), de acuerdo con las realizaciones de la presente tecnología. Más concretamente, el eje vertical representa la densidad húmeda del hormigón (medida en  $\text{kg/m}^3$ ) (por ejemplo, medida inmediatamente después de mezclar la mezcla de cemento con agua), y el eje horizontal representa la relación de mezcla de agua y cemento. El gráfico de la FIG. 5 representa pastas de mezcla de cemento que incluyen (i) cemento Portland (línea punteada), (ii) una mezcla de cemento que incluye cemento Portland y aglutinantes sin aditivos (línea discontinua), y (iii) una mezcla de cemento que incluye cemento Portland y aglutinantes con aditivos (línea continua).

[0064] Variando la cantidad de agua añadida al cemento puro o a las mezclas de cemento (cemento combinado con aglutinantes) de acuerdo con las realizaciones de la tecnología, se puede cambiar la relación agua-mezcla de cemento y, como se muestra en la FIG. 5, diferentes relaciones agua-mezcla de cemento pueden dar lugar a diferentes densidades húmedas del hormigón. Por ejemplo, en el gráfico ilustrado, (i) la densidad húmeda del hormigón de la pasta de mezcla de cemento con cemento Portland alcanza un máximo de alrededor de  $2510 \text{ kg/m}^3$  cuando la relación agua-cemento es de aproximadamente 0,41, (ii) la densidad húmeda del hormigón de la pasta de mezcla de cemento que incluye cemento Portland y aglutinantes sin aditivos alcanza un máximo de alrededor de  $2550 \text{ kg/m}^3$  cuando la proporción de mezcla de agua y cemento es de aproximadamente 0,45, y (iii) la densidad húmeda del hormigón de la pasta de mezcla de cemento que incluye cemento Portland y aglutinantes con aditivos alcanza un máximo de alrededor de  $2590 \text{ kg/m}^3$  cuando la relación agua-cemento es de aproximadamente 0,4.

[0065] Como se muestra, la pasta de mezcla de cemento que incluye cemento Portland y aglutinantes con aditivos de acuerdo con las realizaciones de la presente tecnología puede alcanzar una densidad húmeda máxima del hormigón más alta que la pasta de mezcla de cemento que incluye solo cemento Portland o la pasta de mezcla de cemento sin aditivos, y puede hacerlo con una relación agua-cemento menor. La densidad húmeda del hormigón puede correlacionarse positivamente con la resistencia (por ejemplo, UCS, SAI), por lo que la mezcla de cemento con aditivos puede tener una resistencia mayor que los otros dos materiales cementosos mezclados con agua. Además, la cantidad de agua añadida puede basarse en un equilibrio entre la resistencia (menos agua añadida) y la fluidez o trabajabilidad (más agua añadida). Por lo tanto, al alcanzar su máxima densidad húmeda del hormigón con una menor proporción de agua

en la mezcla de cemento, la pasta de mezcla de cemento que incluye aditivos puede alcanzar una mayor resistencia.

[0066] Además, el gráfico de la FIG. 5 ilustra el principio de que la cantidad de agua añadida al cemento o a las mezclas de cemento (al formar pastas de mezcla de cemento) puede controlarse para alcanzar, por ejemplo, una densidad húmeda máxima del hormigón y, por lo tanto, una resistencia máxima del hormigón. Por lo tanto, una pasta de mezcla de hormigón a base de cal puede incluir una mezcla de cemento y agua, donde la cantidad de agua se determina en función de una relación de peso entre agua y mezcla de cemento configurada para maximizar la densidad húmeda del hormigón de la pasta de mezcla de cemento a base de cal. En algunas realizaciones, la relación en peso entre el agua y la mezcla de cemento configurada para maximizar la densidad húmeda del hormigón de la pasta de mezcla de cemento a base de cal está entre 0,35-0,45, 0,37-0,43 o aproximadamente 0,4.

#### IV. Conclusión

[0067] Para los expertos en la materia será evidente que se pueden realizar cambios en los detalles de las realizaciones descritas anteriormente sin apartarse de los principios subyacentes de la presente tecnología. En algunos casos, no se han mostrado ni descrito en detalle estructuras y funciones bien conocidas para evitar oscurecer innecesariamente la descripción de las realizaciones de la presente tecnología. Aunque los pasos de los métodos pueden presentarse aquí en un orden particular, otras realizaciones pueden realizar los pasos en un orden diferente. Del mismo modo, ciertos aspectos de la presente tecnología descritos en el contexto de realizaciones particulares pueden combinarse o eliminarse en otras realizaciones. Además, aunque las ventajas asociadas a determinadas realizaciones de la presente tecnología pueden haberse divulgado en el contexto de dichas realizaciones, otras realizaciones también pueden presentar dichas ventajas, y no todas las realizaciones tienen que presentar necesariamente dichas ventajas u otras ventajas divulgadas en el presente documento para entrar en el ámbito de la tecnología. Por consiguiente, la divulgación y la tecnología asociada pueden abarcar otras realizaciones no mostradas o descritas expresamente en el presente documento, y la invención no está limitada salvo por las reivindicaciones adjuntas.

[0068] Cuando el contexto lo permita, los términos en singular o plural también pueden incluir el término en plural o singular, respectivamente. Además, a menos que la palabra «o» se limite expresamente a significar solo un único elemento exclusivo de los demás elementos en referencia a una lista de dos o más elementos, el uso de «o» en dicha lista se interpretará como incluyendo (a) cualquier elemento único de la lista, (b) todos los elementos de la lista, o (c) cualquier combinación de los elementos de la lista. Además, tal y como se utiliza en el presente documento, la frase «y/o», como en «A y/o B», se refiere a A solo, B solo y tanto A como B. Además, los términos «que comprende», «que incluye», «tener» y «con» se utilizan en todo el documento para significar que se incluyen al menos las características mencionadas, de modo que no se excluye un número mayor de las mismas características y/o tipos adicionales de otras características. Además, tal y como se utilizan en el presente documento, las expresiones «basado en», «depende de», «como resultado de» y «en respuesta a» no deben interpretarse como una referencia a un

conjunto cerrado de condiciones. Por ejemplo, un paso ejemplar que se describe como «basado en la condición A» puede basarse tanto en la condición A como en la condición B sin apartarse del alcance de la presente divulgación. En otras palabras, tal y como se utiliza en el presente documento, la frase «basado en» se interpretará de la misma manera que la frase «basado al menos en parte en» o la frase «basado al menos parcialmente en».

**[0069]** A lo largo de la presente divulgación, los términos singulares «un», «una» y «el» incluyen referencias plurales, a menos que el contexto indique claramente lo contrario. Además, los términos «que comprende», «que incluye» y «que tiene» deben interpretarse en el sentido de que incluyen al menos las características mencionadas, de modo que no se excluye un número mayor de la misma característica y/o tipos adicionales de otras características.

**[0070]** Las referencias en el presente documento a «una realización», «una realización», «algunas realizaciones» o formulaciones similares significan que una característica, estructura, operación o característica particular descrita en relación con la realización puede incluirse en al menos una realización de la presente tecnología. Por lo tanto, la aparición de tales frases o formulaciones en el presente documento no se refiere necesariamente a la misma realización. Además, diversas características, estructuras, operaciones o propiedades particulares pueden combinarse de cualquier manera adecuada en una o más realizaciones.

**[0071]** A menos que se indique lo contrario, todos los números que expresan concentraciones, resistencia al cizallamiento y otros valores numéricos utilizados en la especificación y las reivindicaciones deben entenderse como modificados en todos los casos por el término «aproximadamente». Por consiguiente, a menos que se indique lo contrario, los parámetros numéricos establecidos en la siguiente especificación y en las reivindicaciones adjuntas son aproximaciones que pueden variar en función de las propiedades deseadas que se pretenden obtener con la presente tecnología. Como mínimo, y sin pretender limitar la aplicación de la doctrina de los equivalentes al alcance de las reivindicaciones, cada parámetro numérico debe interpretarse al menos a la luz del número de dígitos significativos indicados y aplicando técnicas de redondeo habituales. Además, todos los rangos aquí descritos deben entenderse como comprensivos de todos y cada uno de los subrangos incluidos en ellos. Por ejemplo, un rango de «1 a 10» incluye todos y cada uno de los subrangos entre (e incluyendo) el valor mínimo de 1 y el valor máximo de 10, es decir, todos y cada uno de los subrangos que tienen un valor mínimo igual o superior a 1 y un valor máximo igual o inferior a 10, por ejemplo, de 5,5 a 10.

**[0072]** La descripción anterior no debe interpretarse como una intención de que cualquier reivindicación requiera más características que las expresamente mencionadas en dicha reivindicación. Más bien, tal y como reflejan las siguientes reivindicaciones, los aspectos inventivos residen en una combinación de menos de todas las características de cualquier realización anterior descrita. Por lo tanto, las reivindicaciones que siguen a esta descripción detallada se incorporan expresamente a la misma, y cada reivindicación constituye una realización independiente. Esta divulgación incluye todas las permutaciones de las reivindicaciones independientes con sus reivindicaciones dependientes.

[0073] La presente tecnología se ilustra, por ejemplo, según diversos aspectos descritos a continuación como cláusulas numeradas (1, 2, 3, etc.) por conveniencia. Estos se proporcionan como ejemplos y no limitan la presente tecnología. Cabe señalar que cualquiera de las cláusulas dependientes puede combinarse de cualquier manera y colocarse en una cláusula independiente respectiva. Las demás cláusulas pueden presentarse de manera similar.

1. Una composición a base de cal, que comprende:  
partículas de cal que comprenden hidróxido de calcio y/u óxido de calcio;  
partículas de puzolana que comprenden dióxido de silicio y/o dióxido de aluminio, en la que al menos el 90 % de las partículas de cal y las partículas de puzolana son inferiores a 75 micras; y  
una mezcla,  
en la que, cuando la composición se mezcla con cemento para formar una mezcla de cemento, se forma sulfato de calcio y aluminio en un plazo de 28 días.
2. La composición de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, en la que la mezcla de cemento tiene un Índice de Actividad de Resistencia (SAI) de al menos el 80 % en un plazo de 7 días.
3. La composición de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, en la que la mezcla de cemento tiene un Índice de Actividad de Resistencia (SAI) de al menos el 90 % en un plazo de 28 días.
4. La composición de cualquiera de las cláusulas aquí incluidas, en la que el sulfato de calcio y aluminio comprende al menos uno de los siguientes compuestos: etringita o monosulfato de aluminio y calcio hidratado.
5. La composición de cualquiera de las cláusulas aquí incluidas, en la que, cuando la composición se mezcla con cemento para formar la mezcla de cemento, el sulfato de calcio y aluminio se forma en un plazo de 14 días.
6. La composición de cualquiera de las cláusulas del presente documento, en la que la mezcla comprende un reductor de agua de rango medio y lignosulfonatos.
7. La composición de cualquiera de las cláusulas del presente documento, en la que la mezcla comprende un acelerador que incluye al menos uno de cloruro, cloruro de calcio, tiocianato de sodio, formiato de calcio, nitrato de calcio o nitrito de calcio.
8. La composición de cualquiera de las cláusulas del presente documento, en la que la mezcla comprende un retardante que incluye al menos uno de los siguientes: sales de calcio, sales de magnesio, sales de sodio, sales de amonio, óxidos de plomo y zinc, fosfatos, fluoratos, boratos o carbohidratos.
9. La composición de cualquiera de las cláusulas aquí mencionadas, en la que la mezcla comprende un incorporador de aire que incluye al menos uno de los siguientes: sales de ácidos grasos, sales de ácido abiético y pimérico, alquil acril sulfonatos, alquil sulfonatos, fenol etoxilatos, resinas de colofonia, alcohol sulfonatos alifáticos, sales de proteínas o sulfonatos de petróleo.

10. La composición de cualquiera de las cláusulas aquí mencionadas, en la que la mezcla comprende menos del 1 % en peso de la composición.
11. La composición de cualquiera de las cláusulas aquí mencionadas, en la que la mezcla comprende dos o más de un acelerante, un retardante, un reductor de agua o un incorporador de aire.
12. La composición de cualquiera de las cláusulas aquí mencionadas, que comprende además partículas de carbonato cálcico.
13. La composición de la cláusula 12, en la que:  
las partículas de cal comprenden entre el 10 y el 35 % en peso de la composición,  
las partículas de carbonato cálcico comprenden entre el 5 y el 10 % en peso de la composición, y las partículas de puzolana comprenden entre el 55 y el 85 % en peso de la composición.
14. Una composición a base de cal, que comprende:  
partículas de cal que comprenden hidróxido de calcio y/u óxido de calcio;  
partículas de puzolana que comprenden dióxido de silicio y/o dióxido de aluminio, en la que al menos el 90 % de las partículas de cal y las partículas de puzolana son inferiores a 75 micras; y una mezcla,  
en la que, cuando la composición se mezcla con cemento para formar una mezcla de cemento, la mezcla de cemento tiene un Índice de Actividad de Resistencia (SAI) de al menos el 90 % en los 28 días siguientes a la mezcla.
15. La composición de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, en la que la mezcla de cemento tiene un Índice de Actividad de Resistencia (SAI) de al menos el 95 % en los 7 días siguientes a la mezcla.
16. La composición de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, en la que, cuando la composición se mezcla con cemento para formar la mezcla de cemento, se forma etringita en los 28 días siguientes.
17. La composición de cualquiera de las cláusulas aquí incluidas, en la que, cuando la composición se mezcla con cemento para formar la mezcla de cemento, se forma hidrato de monosulfato de aluminato cálcico en un plazo de 28 días.
18. La composición de cualquiera de las cláusulas aquí incluidas, en la que la mezcla comprende un reductor de agua de alto rango configurado para lograr al menos un 12 % de reducción de agua y al menos 8 pulgadas de aumento de asentamiento, y en la que la mezcla comprende al menos uno de policarboxilatos, melaminas sulfonadas, copolímeros de vinilo o lignosulfonatos.
19. La composición de cualquiera de las cláusulas del presente documento, en la que la mezcla comprende un acelerante que incluye al menos uno de cloruro, cloruro de calcio, tiocianato de sodio, formiato de calcio, nitrato de calcio o nitrito de calcio.
20. La composición de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, en la que la mezcla comprende un retardante que incluye al menos uno de los siguientes: sales de calcio, sales de magnesio,

sales de sodio, sales de amonio, óxidos de plomo y zinc, fosfatos, fluoratos, boratos o carbohidratos.

21. La composición de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, en la que la mezcla comprende menos del 10 % en peso de la composición.
22. La composición de cualquiera de las cláusulas aquí mencionadas, en la que, cuando la composición se mezcla con el cemento para formar la mezcla de cemento, se forma sulfato de calcio y aluminio en un tiempo predeterminado.
23. La composición de cualquiera de las cláusulas aquí mencionadas, en la que, cuando la composición se mezcla con el cemento para formar la mezcla de cemento, se forma sulfato de calcio y aluminio en un plazo de 28 días.
24. Método para formar una mezcla de cemento, el método comprende:  
mezclar (i) partículas de cal que comprenden hidróxido de calcio y/u óxido de calcio, (ii) partículas de puzolana que comprenden dióxido de silicio y/o dióxido de aluminio, (iii) un aditivo, y (iv) cemento; y  
formar sulfato de calcio y aluminio en un tiempo predeterminado desde la mezcla.
25. El método de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, en el que el periodo de tiempo predeterminado es de 28 días.
26. El método de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, en el que el periodo de tiempo predeterminado es de 14 días.
27. El método de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, en el que la mezcla de cemento tiene un Índice de Actividad de Resistencia (SAI) de al menos el 90 % en los 7 días siguientes a la mezcla.
28. El método de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, en el que la mezcla de cemento tiene un Índice de Actividad de Resistencia (SAI) de al menos el 95 % en los 28 días siguientes a la mezcla.
29. El método de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, en el que la mezcla comprende dos o más de los siguientes componentes: un acelerante, un retardante, un reductor de agua o un incorporador de aire.
30. El método de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, que comprende además mezclar las partículas de cal, las partículas de puzolana, la mezcla y el cemento con partículas de carbonato cálcico.
31. Una pasta de mezcla de cemento a base de cal, que comprende:  
una mezcla de cemento que comprende cemento y una composición extensora de cemento a base de cal, en la que la composición extensora de cemento a base de cal comprende:  
una concentración de óxido de calcio del 45-65 %;  
una concentración de óxido de magnesio del 0,5-2 %;

una concentración de óxido de hierro del 0,5-2 %;  
una concentración de óxido de aluminio del 2-8 %;  
una concentración de dióxido de silicio del 20-40 %;  
una concentración de óxido de potasio de 20 000-30 000 ppm;  
una concentración de óxido de sodio de 10 000-20 000 ppm; y  
una mezcla configurada para promover reacciones entre el óxido de calcio y al menos uno de los óxidos de aluminio o dióxido de silicio; y  
agua, en la que la cantidad de agua se determina en función de una relación ponderal agua-mezcla de cemento configurada para maximizar la densidad húmeda del hormigón de la pasta de mezcla de cemento a base de cal.

32. La pasta de mezcla de cemento a base de cal de cualquiera de las cláusulas del presente documento, en la que la relación en peso entre el agua y la mezcla de cemento configurada para maximizar la densidad húmeda del hormigón de la pasta de mezcla de cemento a base de cal está entre 0,37 y 0,43.
33. Una composición aglutinante a base de cal o extensor de cemento, que comprende: partículas de cal que comprenden hidróxido de calcio y/u óxido de calcio; partículas de carbonato de calcio;  
partículas de puzolana que comprenden dióxido de silicio y/o dióxido de aluminio; y  
una mezcla configurada para promover reacciones entre las partículas de cal y las partículas de puzolana,  
en la que al menos el 90 % de las partículas de cal, las partículas de carbonato de calcio y las partículas de puzolana son inferiores a 75 micras.
34. La composición de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, en la que la mezcla comprende al menos uno de los siguientes: un acelerante, un reductor de agua y/o un activador.
35. La composición de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, en la que la mezcla comprende al menos uno de los siguientes: un acelerante, un retardante, un reductor de agua, un incorporador de aire o un activador.
36. La composición de cualquiera de las cláusulas del presente documento, en la que la mezcla comprende un reductor de agua que incluye un superplastificante y/o un polímero sintético.
37. La composición de cualquiera de las cláusulas aquí incluidas, en la que la mezcla comprende un reductor de agua de bajo rango configurado para lograr una reducción de agua del 5-10 % y un aumento de asentamiento de 1-2 pulgadas, y en la que la mezcla comprende al menos uno de los siguientes: lignosulfonatos, carbohidratos o ácidos hidrocarboxílicos.
38. La composición de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, en la que la mezcla comprende un reductor de agua de rango medio configurado para lograr una reducción de agua del 8-18 % y un aumento de asentamiento de 4-5 pulgadas, y en la que la mezcla comprende lignosulfonatos.
39. La composición de cualquiera de las cláusulas del presente documento, en la que la mezcla comprende un reductor de agua de alto rango configurado para lograr al menos un 12 % de reducción de agua y al menos 8 pulgadas de aumento de asentamiento, y en la que la mezcla

- comprende al menos uno de policarboxilatos, melaminas sulfonadas, copolímeros de vinilo o lignosulfonatos.
40. La composición de cualquiera de las cláusulas aquí mencionadas, en la que la mezcla comprende un acelerante que incluye al menos uno de cloruro, cloruro de calcio, tiocianato de sodio, formiato de calcio, nitrato de calcio o nitrito de calcio.
41. La composición de cualquiera de las cláusulas aquí mencionadas, en la que el acelerante comprende al menos uno de cloruro de calcio, tiocianato de sodio, formiato de calcio, nitrato de calcio y/o nitrito de calcio.
42. La composición de cualquiera de las cláusulas aquí mencionadas, en la que la mezcla comprende un retardante que incluye al menos uno de los siguientes: sales de calcio, sales de magnesio, sales de sodio, sales de amonio, óxidos de plomo y zinc, fosfatos, fluoratos, boratos o carbohidratos.
43. La composición de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, en la que la composición comprende no más del 10 %, 8 %, 6 %, 4 %, 2 % o 1 % de la mezcla en peso.
44. La composición de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, en la que la mezcla comprende una suspensión.
45. La composición de cualquiera de las cláusulas aquí incluidas, en la que:  
las partículas de cal comprenden al menos un 10 % en peso de la composición,  
las partículas de carbonato cálcico comprenden al menos un 20 % en peso de la composición, y  
las partículas de puzolana comprenden al menos un 35 % en peso de la composición.
46. La composición de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, en la que: las partículas de cal comprenden entre el 10 y el 20 % en peso de la composición,  
las partículas de carbonato cálcico comprenden entre el 40 y el 50 % en peso de la composición, y las partículas de puzolana comprenden entre el 35 y el 50 % en peso de la composición.
47. La composición de cualquiera de las cláusulas aquí incluidas, en la que: las partículas de cal comprenden entre el 10 y el 35 % en peso de la composición,  
las partículas de carbonato cálcico comprenden entre el 5 y el 10 % en peso de la composición, y las partículas de puzolana comprenden entre el 55 y el 85 % en peso de la composición.
48. La composición de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, en la que la composición comprende:  
una concentración de óxido de calcio del 45-65 %;  
una concentración de óxido de magnesio del 0,5-2 %; una concentración de óxido de hierro del 0,5-2 %  
una concentración de óxido de aluminio del 2-8 %; una concentración de dióxido de silicio del 20-40 %;  
una concentración de óxido de potasio de 20 000-30 000 ppm; y una concentración de óxido de sodio de 10 000-20 000 ppm.

49. La composición de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, en la que las partículas de cal comprenden una concentración de calcio de al menos 85 %, 90 %, 91 %, 92 %, 93 %, 94 % o 95 % en peso.
50. La composición de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, en la que las partículas de cal comprenden al menos una de las siguientes: cal viva, cal hidratada o cal dolomítica.
51. La composición de cualquiera de las cláusulas del presente documento, en la que las partículas de carbonato cálcico comprenden (i) piedra caliza con alto contenido en calcio, carbonato cálcico precipitado, piedra caliza arcillosa o cal dolomítica y (ii) una concentración de calcio de al menos el 85 %, 90 %, 91 %, 92 %, 93 %, 94 % o 95 % en peso.
52. La composición de cualquiera de las cláusulas del presente documento, en la que las partículas de puzolana comprenden (i) al menos 50 000 ppm de óxido de potasio y (ii) al menos 30 000 ppm de óxido de sodio.
53. La composición de cualquiera de las cláusulas del presente documento, en la que las partículas de puzolana comprenden ceniza volcánica o zeolita.
54. La composición de cualquiera de las cláusulas aquí incluidas, en la que las partículas de puzolana comprenden al menos una de las siguientes: arcilla calcinada, silicato, aluminato, sílice en forma de humo o escoria de puzolana.
55. La composición de cualquiera de las cláusulas aquí incluidas, en la que al menos el 99 % de las partículas de cal, las partículas de carbonato cálcico y las partículas de puzolana son inferiores a 75 micras.
56. La composición de cualquiera de las cláusulas aquí mencionadas, en la que la composición no incluye cenizas volantes.
57. Una mezcla de cemento para su uso en la industria minera y/o de la construcción, que comprende: cemento; y una composición extensora de cemento a base de cal que comprende:
  - una concentración de óxido de calcio del 45-65 %;
  - una concentración de óxido de magnesio del 0,5-2 %;
  - una concentración de óxido de hierro del 0,5-2 %;
  - una concentración de óxido de aluminio del 2-8 %;
  - una concentración de dióxido de silicio del 20-40 %;
  - una concentración de óxido de potasio de 20 000-30 000 ppm;
  - una concentración de óxido de sodio de 10 000-20 000 ppm; y
  - una mezcla configurada para promover reacciones entre el óxido de calcio y al menos uno de los óxidos de aluminio o dióxido de silicio,en la que la composición extensora de cemento a base de cal comprende al menos el 25 % de la mezcla de cemento.
58. La mezcla de cemento de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, en la que el extensor de cemento a base de cal es el extensor de cemento a base de cal de cualquiera de las cláusulas anteriores.

59. La mezcla de cemento de cualquiera de las cláusulas del presente documento, en la que la mezcla comprende un reductor de agua que comprende entre un 0,2 % y un 0,8 % en peso de la mezcla de cemento.
60. La mezcla de cemento de cualquiera de las cláusulas del presente documento, en la que la mezcla de cemento cumple con los requisitos de la norma ASTM C618 SAI.
61. La mezcla de cemento de cualquiera de las cláusulas del presente documento, en la que la mezcla de cemento consiste en el cemento y el extensor de cemento a base de cal.
62. La mezcla de cemento de cualquiera de las cláusulas del presente documento, en la que la mezcla de cemento no incluye cenizas volantes.
63. La mezcla de cemento de cualquiera de las cláusulas del presente documento, en la que el cemento comprende entre el 45 y el 55 % de la mezcla de cemento.
64. La mezcla de cemento de cualquiera de las cláusulas del presente documento, en la que la composición del extensor de cemento a base de cal comprende entre un 10 % y un 33,4 % de óxido de calcio, entre un 33,4 % y un 50 % de al menos uno de los siguientes compuestos: óxido de aluminio o dióxido de silicio, y al menos un 1 % de aditivo.
65. La mezcla de cemento de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, en la que el extensor de cemento a base de cal comprende además carbonato de calcio, y en la que la composición extensora de cemento a base de cal comprende entre un 10 % y un 33,4 % de óxido de calcio, entre un 33,4 % y un 50 % de carbonato de calcio, 33,4-50 % de al menos uno de los siguientes compuestos: óxido de aluminio o dióxido de silicio, y al menos un 1 % de la mezcla.
66. La mezcla de cemento de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, en la que, tras al menos 28 días desde su formación, la resistencia a la compresión sin confinamiento de la mezcla de cemento es de al menos 11 MPa.
67. La mezcla de cemento de cualquiera de las cláusulas aquí mencionadas, en la que, tras al menos siete días desde su formación, la resistencia a la compresión no confinada de la mezcla de cemento es de al menos 8 MPa.
68. La mezcla de cemento de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, en la que: el extensor de cemento a base de cal comprende carbonato cálcico,  
la mezcla comprende un acelerante que incluye al menos uno de los siguientes: cloruro cálcico, tiocianato sódico, formiato cálcico, nitrato cálcico y/o nitrito cálcico,  
el óxido cálcico comprende al menos el 10 % en peso de la composición, y el carbonato cálcico comprende al menos el 20 % en peso de la composición.
69. La mezcla de cemento de cualquiera de las cláusulas del presente documento, en la que al menos el 50 % del extensor de cemento a base de cal es inferior a 75 micras.
70. La mezcla de cemento de cualquiera de las cláusulas del presente documento, en la que la composición no incluye cenizas volantes.

71. Un sistema para producir una composición de extensor de cemento a base de cal, el sistema comprende:  
un molino situado para recibir componentes de alimentación que incluyen partículas de cal, partículas de carbonato cálcico, partículas de puzolana y partículas de aditivos, en el que el molino está configurado para producir una mezcla molida mediante la molienda y la mezcla de las partículas de cal viva, las partículas de carbonato cálcico, las partículas de puzolana y las partículas de aditivos; y  
un clasificador situado aguas abajo del molino y posicionado para recibir la mezcla molida, en el que el clasificador comprende una salida, una línea de retorno que se extiende hacia el molino y un separador dimensionado de tal manera que las partículas por encima de un tamaño de partícula predeterminado se dirigen a la línea de retorno y las partículas por debajo de un tamaño de partícula predeterminado se dirigen a la salida.
72. El sistema de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, en el que el molino es un molino de bolas horizontal.
73. El sistema de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, en el que el molino está configurado para reducir el contenido de humedad de los componentes de la alimentación, de modo que la mezcla molida comprenda un contenido de humedad inferior al 5 % en peso.
74. El sistema de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, que comprende, además:  
una fuente de cal que incluye las partículas de cal viva;  
una fuente de carbonato cálcico que incluye las partículas de carbonato cálcico; una fuente de puzolana que incluye las partículas de puzolana;  
una fuente de aditivos que incluye las partículas de aditivos; y  
transportadores que se extienden desde cada una de las fuentes de cal, carbonato cálcico, puzolana y aditivos hasta el molino.
75. El sistema de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, que comprende además uno o más transportadores de tornillo y elevadores de cangilones configurados para dirigir la mezcla molida al clasificador.
76. El sistema de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, en el que el tamaño de partícula predeterminado es de 75 micras, el sistema comprende además un colector de polvo aguas abajo del clasificador y está configurado para recibir las partículas por debajo del tamaño de partícula predeterminado.
77. El sistema de cualquiera de las cláusulas del presente documento, en el que el clasificador está configurado para producir un extensor de cemento a base de cal que es el extensor de cemento a base de cal de cualquiera de las cláusulas anteriores del presente documento.
78. El sistema de cualquiera de las cláusulas del presente documento, en el que el clasificador está configurado para producir una composición extensora de cemento a base de cal que comprende:  
una concentración de óxido de calcio del 45-65 %;  
una concentración de óxido de magnesio del 0,5-2 %;  
una concentración de óxido de hierro del 0,5-2 %;  
una concentración de óxido de aluminio del 2-8 %;  
una concentración de dióxido de silicio del 20-40 %;

una concentración de óxido de potasio de 20 000-30 000 ppm; y una concentración de óxido de sodio de 10 000-20 000 ppm.

79. El sistema de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, en el que la mezcla molida comprende

(i) al menos un 10 % en peso de partículas de cal, (ii) al menos un 30 % en peso de partículas de carbonato cálcico, (iii) al menos un 30 % en peso de partículas de puzolana, y (iv) al menos un 1 % en peso de partículas de aditivo.

80. El sistema de cualquiera de las cláusulas del presente documento, en el que:

las partículas de cal comprenden una concentración de calcio de al menos un 85 % en peso, las partículas de carbonato cálcico comprenden al menos una de las siguientes: piedra caliza con alto contenido en calcio, piedra caliza arcillosa o cal dolomítica,

las partículas de puzolana comprenden al menos una de las siguientes: ceniza volcánica, zeolita, arcilla calcinada, silicato, aluminato, sílice en forma de humo o escoria puzolánica, y

la mezcla comprende un acelerante que incluye al menos uno de cloruro de calcio, tiocianato de sodio, formiato de calcio, nitrato de calcio o nitrito de calcio.

81. Método para producir una composición extensora de cemento a base de cal, que comprende: recibir, a través de un molino, componentes de alimentación que incluyen partículas de cal viva, partículas de carbonato cálcico, partículas de puzolana y partículas de aditivos;

producir, a través del molino, una mezcla molida mediante la molienda y la mezcla de las partículas de cal viva, las partículas de carbonato cálcico, las partículas de puzolana y las partículas de aditivos; y

transportar la mezcla molida desde el molino a un clasificador, en el que el clasificador comprende una salida, una línea de retorno que se extiende hacia el molino y un separador dimensionado de tal manera que las partículas de un tamaño igual o superior a un tamaño de partícula predeterminado se dirigen a la línea de retorno y las partículas de un tamaño inferior a un tamaño de partícula predeterminado se dirigen a la salida.

82. El método de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, en el que el molino es un molino de bolas horizontal.

83. El método de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, que comprende además reducir, mediante el molino, el contenido de humedad de los componentes de la alimentación, de modo que la mezcla molida comprenda un contenido de humedad inferior al 5 % en peso.

84. El método de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, en el que: las partículas de cal se reciben de una fuente de cal,

las partículas de carbonato cálcico se reciben de una fuente de carbonato cálcico, la puzolana se recibe de una fuente de puzolana,

la mezcla se recibe de una fuente de mezcla, y

el transporte de las partículas de cal, las partículas de carbonato cálcico, las partículas de puzolana y las partículas de aditivo se realiza mediante transportadores que se extienden desde cada una de las fuentes de cal, carbonato cálcico, puzolana y aditivo hasta el molino.

85. El método de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, en el que el transporte de las partículas de cal, las partículas de carbonato cálcico, las partículas de puzolana y las

partículas de aditivo se realiza mediante una o más cintas transportadoras de tornillo y elevadores de cangilones.

86. El método de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, en el que el tamaño de partícula predeterminado es de al menos 75 micras, el método comprende además recibir, a través de un colector de polvo aguas abajo del clasificador, las partículas por debajo del tamaño de partícula predeterminado.
87. El método de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, que comprende además la producción, a través del clasificador, de un extensor de cemento a base de cal que es el extensor de cemento a base de cal de cualquiera de las cláusulas anteriores aquí descritas.
88. El método de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, que comprende además la producción, a través del clasificador, de una composición extensora de cemento a base de cal que comprende:
  - una concentración de óxido de calcio del 45-65 %;
  - una concentración de óxido de magnesio del 0,5-2 %;
  - una concentración de óxido de hierro del 0,5-2 %;
  - una concentración de óxido de aluminio del 2-8 %;
  - una concentración de dióxido de silicio del 20-40 %;
  - una concentración de óxido de potasio de 20 000-30 000 ppm; y una concentración de óxido de sodio de 10 000-20 000 ppm.
89. El método de cualquiera de las cláusulas del presente documento, en el que la mezcla molida comprende (i) al menos un 10 % en peso de partículas de cal, (ii) al menos un 30 % en peso de partículas de carbonato cálcico, (iii) al menos un 30 % en peso de partículas de puzolana, y (iv) no más del 6 %, 4 % o 2 % en peso de partículas de aditivo.
90. El método de cualquiera de las cláusulas aquí descritas, en el que:
  - las partículas de cal comprenden una concentración de calcio de al menos un 85 % en peso, y las partículas de carbonato cálcico comprenden al menos una de las siguientes: piedra caliza con alto contenido en calcio, piedra caliza arcillosa o cal dolomítica,
  - las partículas de puzolana comprenden al menos una de las siguientes: ceniza volcánica, zeolita, arcilla calcinada, silicato, aluminato, sílice en forma de humo o escoria de puzolana, y
  - la mezcla comprende un acelerante que incluye al menos uno de los siguientes: cloruro de calcio, tiocianato de sodio, formiato de calcio, nitrato de calcio o nitrito de calcio.