

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 753 978**

(51) Int. Cl.:

C04B 28/02 (2006.01)

C04B 28/26 (2006.01)

C04B 111/10 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.12.2011 PCT/US2011/066347**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **05.07.2012 WO12092047**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.12.2011 E 11808528 (1)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.08.2019 EP 2658823**

(54) Título: **Composición ligera a base de ceniza volante**

(30) Prioridad:

**30.12.2010 US 201061428839 P
06.12.2011 US 201113312814**

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

15.04.2020

(73) Titular/es:

**UNITED STATES GYPSUM COMPANY (100.0%)
550 West Adams Street
Chicago, IL 60661-3676, US**

(72) Inventor/es:

PEREZ-PENA, MARIANELA

(74) Agente/Representante:

RIZZO , Sergio

ES 2 753 978 T3

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

DESCRIPCIÓN

Composición ligera a base de ceniza volante

CAMPO DE LA INVENCIÓN

[0001] Esta invención se refiere, por lo general, a composiciones cementosas de fraguado rápido que se pueden utilizar para diversas aplicaciones en las que se desee un endurecimiento rápido y la adquisición de resistencia temprana. En concreto, la invención se refiere a composiciones cementosas aglomerantes a base de ceniza volante que se pueden utilizar para fabricar placas de cemento con una excelente resistencia a la humedad para su uso en ubicaciones húmedas y secas en edificios. Los productos de hormigón precolado, tales como las placas de cemento, se fabrican en condiciones que proporcionan un fraguado rápido de la mezcla cementosa, de manera que las placas se puedan manipular poco después de verter la mezcla cementosa en una forma estática o móvil o sobre una cinta en continuo movimiento. Lo ideal sería que este fraguado de la mezcla de cemento se pudiera lograr tan pronto como 20 minutos, preferiblemente tan pronto como de 10 a 13 minutos, más preferiblemente tan pronto como de 4 a 6 minutos, después de mezclar la mezcla de cemento con una cantidad adecuada de agua.

[0002] En la patente estadounidense n.º 6,869,474 de Perez-Pena *et al.*, se describe un fraguado extremadamente rápido de composiciones cementosas para producir productos a base de cemento, tales como placas de cemento, mediante la adición de una alcanolamina al cemento hidráulico, tal como un cemento pórtland, y que forma una lechada con agua en condiciones que proporcionan una temperatura de lechada inicial de al menos 90 °F (32 °C). Se pueden incluir materiales reactivos adicionales, tales como cemento con alto contenido de alúmina, sulfato de calcio y un material puzolánico, tal como ceniza volante. El fraguado extremadamente rápido permite una producción rápida de productos cementosos. Se ha descubierto que las adiciones de trietanolamina son un acelerador muy potente capaz de producir formulaciones con tiempos de fraguado final relativamente cortos y con mayores niveles de ceniza volante y yeso y sin que se necesiten cementos de aluminato de calcio. Sin embargo, las formulaciones con trietanolamina contienen principalmente cementos hidráulicos, tal como cemento pórtland y yeso como polvo reactivo que limita la disponibilidad de fases de aluminato en comparación con las fases de aluminosilicato que dan como resultado la activación de los materiales de ceniza volante según se describe en la presente invención.

[0003] En la patente estadounidense n.º 7,670,427 de Perez-Pena *et al.*, se describe un fraguado extremadamente rápido de composiciones cementosas con una resistencia temprana a la compresión para producir productos a base de cemento, tales como placas de cemento, mediante la adición de una alcanolamina y un polifosfato en un cemento hidráulico, tal como un cemento pórtland, y que forma una lechada con agua en condiciones que proporcionan una temperatura de lechada inicial de al menos 32 °C (90 °F). Se pueden incluir materiales reactivos adicionales, tales como cemento con alto contenido de alúmina, sulfato de calcio y un material puzolánico, tal como ceniza volante. De nuevo, todas las composiciones contenían una cantidad significativa de cemento hidráulico y yeso.

[0004] La solicitud publicada de patente estadounidense n.º US 2010-0071597 A1 (solicitud de patente estadounidense n.º 12/237,634 presentada el 25 de septiembre de 2008) de Perez-Pena da a conocer formulaciones que utilizan ceniza volante y sales de metal alcalino de ácido cítrico, como citrato de sodio, para formar mezclas de hormigón con un tiempo de fraguado rápido y una resistencia temprana a la compresión relativamente elevada. Una de las dificultades encontradas con los aglomerantes de ceniza volante activada descritas en la presente solicitud es una aparente interacción pésima entre estos aglomerantes y los sistemas espumantes tradicionales utilizados para incorporar aire y fabricar de este modo placas ligeras. Los aglomerantes a base de ceniza volante que se han fabricado con espumas tradicionales de acuerdo con este método descrito han sufrido una desintegración de la espuma y/o una drástica reducción de la resistencia.

[0005] La patente estadounidense n.º 4,488,909 de Galer *et al.* describe composiciones cementosas capaces de fraguarse rápidamente. Las composiciones permiten una producción a alta velocidad de productos resistentes al dióxido de carbono al formar esencialmente toda la etringita potencial en aproximadamente 20 minutos después de mezclar la composición con agua. Los componentes esenciales de la composición cementosa son cemento pórtland, cemento con alto contenido en alúmina, sulfato de calcio y cal. Pueden añadirse puzolanas, como ceniza volante, arcilla montmorillonita, tierra de diatomeas y pumita hasta aproximadamente un 25 %. La composición de cemento incluye aproximadamente de un 14 a un 21 % en peso de cemento con alto contenido en alúmina que, junto con los otros componentes, hace posible la formación temprana de etringita y otros hidratos de aluminato de calcio responsables del fraguado temprano de la mezcla cementosa. En su invención, Galer *et al.* proporcionaron aluminatos que utilizaban cemento con alto contenido en alúmina (HAC, por sus siglas en inglés) e iones de sulfato que utilizan yeso para formar etringita y conseguir un fraguado rápido de su mezcla cementosa.

[0006] La etringita es un compuesto de sulfato de aluminio calcio que posee la fórmula $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 32 \text{ H}_2\text{O}$ o, de manera alternativa, $3 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3 \text{ CaSO}_4 \cdot 32 \text{ H}_2\text{O}$. La etringita se forma como cristales similares a una aguja larga, y proporciona una rápida resistencia temprana a las placas de cemento, de modo que puedan manipularse poco después de haberse vertido en un molde o sobre una cinta continua de colado y moldeado.

[0007] Por lo general, la formulación de fraguado rápido de Galer *et al.* sufre diversas limitaciones.

[0008] En el documento de patente estadounidense n.º 5,536,310 de Brook *et al* se da a conocer una composición cementosa que contiene 10-30 partes en peso (pbw) de un cemento hidráulico, tal como cemento pórtland, 50-80 partes en peso de ceniza volante, y 0,5-8,0 partes en peso expresadas como un ácido libre de un ácido carboxílico, tal como ácido cítrico o sales de metal alcalino de este, p. ej., citrato de tripotasio o citrato de trisodio, con otros aditivos convencionales, incluyendo aditivos retardantes, como ácido bórico o bórax, que se utilizan para acelerar la reacción y el tiempo de fraguado de la composición para solventar los inconvenientes expuestos del uso de un contenido elevado de ceniza volante en composiciones cementosas.

[0009] En el documento de patente estadounidense n.º 5,536,458 de Brook *et al.* se da a conocer una composición cementosa que contiene un cemento hidráulico, tal como cemento pórtland, 70-80 partes en peso de ceniza volante, y 0,5-8,0 partes en peso de un ácido carboxílico libre, tal como ácido cítrico o sales de metal alcalino de este, p. ej., citrato de potasio o citrato de sodio, aditivos como el hidróxido de potasio con otros aditivos convencionales, incluyendo aditivos retardantes, como ácido bórico o bórax, que se utilizan para acelerar la reacción y el tiempo de fraguado de la composición para solventar los inconvenientes conocidos del uso de un contenido elevado de ceniza volante en composiciones de cemento.

[0010] La patente estadounidense n.º 4,494,990 de Harris da a conocer una mezcla cementosa de cemento pórtland, p. ej., 25-60 partes en peso, ceniza volante, p. ej., 3-50 partes en peso y menos de 1 parte en peso de citrato de sodio.

[0011] La patente estadounidense n.º 6,827,776 de Boggs *et al.* da a conocer una composición de cemento hidráulico que comprende cemento pórtland, ceniza volante, que presenta un tiempo de fraguado controlado por el pH de una lechada activadora de un ácido, preferiblemente ácido cítrico, y una base que puede ser un hidróxido de metal alcalinotérreo o alcalino o sal del componente ácido.

[0012] En el documento US 5,490,889 de Kirkpatrick *et al.* se da a conocer una mezcla de cemento hidráulico que consiste en agua, ceniza volante (50,33-83,63 partes en peso), cemento pórtland, sílice molida, ácido bórico, bórax, ácido cítrico (0,04-2,85 partes en peso) y un activador de metal alcalino, p. ej., hidróxido de litio (LiOH) o hidróxido de potasio.

[0013] En la patente estadounidense n.º 5,997,632 de Styron se da a conocer una composición de cemento hidráulico que contiene 88-98 % en peso de ceniza volante, 1-10 % en peso de cemento pórtland y de aproximadamente 0,1 a 4,0 % en peso de ácido cítrico. Se proporciona cal para lograr un contenido de cal mínimo deseable del 21 % mediante la ceniza volante subbituminosa o la ceniza volante subbituminosa junto con un agente beneficioso. Además de ácido cítrico, Styron utiliza una fuente alcalina, tal como hidróxido de potasio o de sodio.

[0014] Los tiempos de fraguado finales de las mezclas cementosas de productos de la técnica anterior son normalmente superiores a 9 minutos y se pueden extender a 2-3 horas para productos de hormigón típicos. El tiempo de fraguado final se define normalmente como el momento en el que las mezclas cementosas se fraguan hasta el punto de que los productos de hormigón fabricados a partir de estas se puedan manipular y apilar, aunque las reacciones químicas pueden continuar durante períodos prolongados.

[0015] Las cantidades de cemento pórtland tipo I (también conocido como OPC) y/o de cemento pórtland tipo III, así como el uso de cemento con alto contenido de álumina (también conocido como cemento de aluminato de calcio) en la mezcla de polvo reactivo de los productos de hormigón de la técnica anterior, son también muy elevadas. Normalmente, los cementos con alto contenido de pórtland son superiores al 60 % y el cemento con alto contenido de álumina supone más del 14 % de la mezcla de polvo reactivo.

[0016] Resulta necesario encontrar un método para reducir el peso de los cementos pórtland, cementos aluminosos y mezclas aglomerantes a base de ceniza volante, para que se puedan utilizar estas formulaciones para fabricar productos cementosos ligeros de hormigón para aplicaciones, tales como aplicaciones de tablas de refuerzo y otras aplicaciones para suelo o techo con mejor resistencia. La presente descripción se refiere a formulaciones con una mejor resistencia a la compresión con menos peso y con un coste reducido.

SUMARIO DE LA INVENCIÓN

[0017] La invención se define en la reivindicación independiente que se indica más adelante, a la que se debería hacer referencia a continuación.

[0018] La ceniza volante de tipo C contiene generalmente cal. Por lo tanto, la mezcla de polvo reactivo de la composición cementosa no contiene cal añadida de manera externa.

[0019] Normalmente, la lechada presenta una temperatura inicial que va desde la temperatura ambiente (aproximadamente 24 °C) a aproximadamente 38 °C - 46 °C (de aproximadamente 75 °F a aproximadamente 100-115 °F).

[0020] El tiempo de fraguado final (esto es, el tiempo después del cual se pueden manipular las placas de cemento) de la composición cementosa medido conforme a las agujas de Gillmore debería ser como máximo de

20 minutos, preferiblemente de 10 a 13 minutos o menos, más preferiblemente de aproximadamente 4 a 6 minutos tras mezclarse con una cantidad adecuada de agua. Un tiempo de fraguado más corto y una mayor resistencia temprana a la compresión ayudan a incrementar la capacidad de producción y a disminuir el coste de fabricación del producto.

5 [0021] Las composiciones cementosas de fraguado muy rápido de la presente invención se pueden utilizar para diversas aplicaciones en las que se desee un endurecimiento rápido y la adquisición de resistencia temprana. Al utilizar la sal de metal alcalino de ácido cítrico, como citrato de potasio y/o citrato de sodio, para acelerar el fraguado de la composición cementosa, cuando se forma la lechada a temperaturas elevadas, se posibilita un mayor ritmo de producción de productos cementosos, tales como placas de cemento.

10 [0022] La dosis de citrato de metal alcalino en la lechada es de 2 a 3,5 % en peso, y más preferiblemente de aproximadamente un 3,5 % en peso en función de los componentes reactivos cementosos de la invención. Se prefieren los citratos de sodio, aunque se puede utilizar citrato de potasio o una mezcla de citrato de sodio y de potasio. Estos porcentajes en peso se basan en 100 partes en peso de los componentes reactivos (polvo reactivo cementoso). Así, por ejemplo, por cada 100 libras (45,35 kg) de polvo reactivo cementoso, habría de 2 a 15 3,5 libras totales (de 0,023 a 0,68 kg) de citratos de sodio.

20 [0023] Existe una interacción sinérgica entre el citrato de metal alcalino, el silicato de metal alcalino y la ceniza volante. El hecho de añadir silicato de metal alcalino, p. ej., silicato de sodio, presenta los beneficios de conseguir una mayor resistencia temprana a la compresión y más duradera para composiciones que contienen cantidades elevadas de ceniza volante en comparación con composiciones comparables que utilizan aceleradores como cementos de aluminato de calcio, trietanolamina o los hidróxidos de metal alcalino corrosivos, como hidróxido de potasio o de sodio.

25 [0024] Además, el hecho de añadir los citratos de metal alcalino y los silicatos de metal alcalino mejora la fluidez de la mezcla, al contrario de lo que sucede con otros aceleradores, como el sulfato de aluminio, que pueden derivar en una falta de flexibilidad prematura de las mezclas de hormigón.

30 [0025] Las composiciones cementosas ligeras de la presente invención se pueden utilizar para realizar productos de construcción de hormigón precolado, tales como placas de cemento con una excelente resistencia a la humedad para su uso en ubicaciones húmedas y secas de edificios. Los productos de hormigón precolado, tales como las placas de cemento se fabrican en condiciones que proporcionan un fraguado rápido de la mezcla cementosa, de manera que las placas se puedan manipular poco después de verter la mezcla cementosa en una forma estática o móvil o sobre una cinta en continuo movimiento.

35 [0026] Las composiciones cementosas ligeras se pueden utilizar en cualquier aplicación de producto de hormigón, incluyendo paneles de hormigón, suelos, revestimientos, acabados, nivelación, así como mezclas de reparación para carreteras de hormigón. Los productos de hormigón fabricados con las composiciones ligeras de la presente invención presentan ventajas concretas para los usos que requieren resistencia al agua en comparación con composiciones que contienen yeso y aplicaciones que requieren una mayor resistencia a la compresión que las composiciones que contienen cemento que presentan una mayor huella de carbón.

[0027] Todos los porcentajes, relaciones y proporciones expuestos en el presente documento son en peso, a no ser que se especifique lo contrario.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

40 [0028]

La figura 1 es un gráfico de los resultados del ejemplo 1 (no según la invención) que muestra el efecto del citrato de sodio y los silicatos de sodio en comparación con los citratos de sodio solos en resistencia cúbica a la compresión frente a la densidad para mezclas de ceniza volante espumada con citrato de sodio, silicato de sodio espumado *in situ* utilizando un agente espumante de jabón sulfonato de alfa-olefina.

45 La figura 2 es un gráfico de los resultados del ejemplo 2 (no según la invención) que muestra la resistencia a la compresión frente a la densidad para aglomerantes de ceniza volante espumada con espuma preformada con PVOH para los datos incluidos en la tabla 2-1 y mezclas con espuma preformada sin PVOH para los datos incluidos en la tabla 2-2.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCIÓN

50 [0029] Normalmente, la presente invención mezcla el polvo reactivo cementoso que consiste en ceniza volante de clase C con citratos de potasio y/o citratos de sodio y agua a una temperatura de lechada inicial de al menos 24 °C a 41 °C (de temperatura ambiente a 115 °F) para obtener un fraguado rápido de preferiblemente menos de 10 a 13 minutos, más preferiblemente de 4 a 6 minutos o menos.

55 [0030] La presente invención proporciona también composiciones cementosas con un mejor rendimiento de fraguado final rápido y una mayor resistencia temprana a la compresión.

[0031] Los ingredientes se listan en la siguiente TABLA A.

TABLA A			
	partes en peso, en seco por 100 partes en peso de polvo reactivo		
Ingrediente	General (no según la invención)	Preferido (no según la invención)	Más preferido (según la invención)
<u>Polvo reactivo (100 partes)</u>			
Ceniza volante total (clase C o mezcla de clase C y clase F)	de 80 a 100	de 88,5 a 100	100
Ceniza volante de clase F en la ceniza volante total	aproximadamente 0-46	aproximadamente 0-30	nada
Pórtland y cemento	0-25	0-11,5	nada
Cemento de aluminato de calcio	menos de 25	10-11,5	nada
Aditivo mineral distinto de ceniza volante cal añadida	opcional	opcional	nada
	opcional*	nada	nada
Sal de metal alcalino de ácido cítrico	de 1,5 a 6	de 1,5 a 4	de 2 a 3,5
Agregado ligero	1-200	2-125	
Silicato de sodio	de 0,5 a 1,5	de 0,5 a 1,0	de 0,5 a 1,0
Agente de introducción de espuma/aire (jabón de sulfonato de alfa-olefina)	de 2,0 a 6,0		
Superplastificante	de 0,1 a 1		

* cal añadida no necesaria si los ingredientes de polvo reactivo ya contienen la suficiente cal.

[0032] Por lo general, la relación de peso de agua y polvo reactivo cementoso es de aproximadamente 0,15 a 0,3:1,0. Los agregados ligeros inertes no forman parte del polvo reactivo cementoso.

[0033] Sin querer limitarse a una teoría concreta, se cree que las mayores resistencias tempranas a la compresión se logran con fraguados rápidos proporcionando el polvo reactivo cementoso, con un alto contenido de ceniza volante mineral de 100 % en peso que consiste únicamente en ceniza volante de clase C; y nada de cemento pórtland, cemento de aluminato de calcio ni yeso; y mezclando el polvo reactivo cementoso, el citrato de metal alcalino, el silicato de metal alcalino (en concreto, silicato de sodio) y agua para formar lechada a temperatura ambiente o a temperaturas elevadas superiores a 20 °C para que pueda tener lugar la formación de hidratos de aluminosilicato alcalino y/o hidratos de aluminosilicato y/o compuestos de aluminosilicato de calcio presentes en la ceniza volante como resultado de la hidratación de esta mezcla de polvo reactivo con el citrato de metal alcalino.

[0034] Por consiguiente, se proporciona una cantidad mínima de agua para hidratar el polvo reactivo cementoso y para formar rápidamente hidratos de aluminosilicato alcalino y otros hidratos presentes en la ceniza volante. La adición de sales alcalinas de ácido cítrico facilita en gran medida la trabajabilidad de la lechada de cemento. Habitualmente, en la lechada, la relación de peso del agua y la mezcla de polvo reactivo es de aproximadamente 0,20 a 0,35:1, más habitualmente de aproximadamente 0,20 a 0,30:1, preferiblemente de aproximadamente 0,20 a 0,25:1. La cantidad de agua depende de las necesidades de los distintos materiales presentes en la composición cementosa.

[0035] Los hidratos de aluminosilicato alcalino y/u otros hidratos de aluminosilicato y/o compuestos de aluminosilicato de calcio se forman muy rápidamente en el proceso de hidratación, aportando de este modo un fraguado rápido y rigidez a las mezclas elaboradas con la mezcla de polvo reactivo cementoso de la composición cementosa de la invención. Al fabricar productos a base de cemento, tales como placas de cemento, principalmente la formación de hidratos de aluminosilicato alcalino y/u otros hidratos de aluminosilicato y/o compuestos de aluminosilicato de calcio es la que posibilita que se manipulen las placas de cemento en unos pocos minutos después de mezclar la composición cementosa de la invención con una cantidad adecuada de agua.

[0036] El fraguado de la composición se caracteriza por tiempos de fraguado inicial y final medidos empleando agujas de Gilmore especificadas en el procedimiento de ensayo ASTM C266. El tiempo de fraguado final también se corresponde con el momento en el que un producto de hormigón, p. ej., un panel de hormigón, se ha endurecido lo suficiente como para ser manipulado o comercializado, en el caso de un suelo o camino de hormigón. Una resistencia temprana a la compresión relativamente más alta (de 3 a 5 horas) puede suponer una ventaja para el material de hormigón, ya que puede soportar tensiones más altas sin deformarse. Los expertos en la materia comprenderán que las reacciones de curado prosiguen durante largos períodos después de haber alcanzado el tiempo de fraguado final.

[0037] La resistencia temprana de la composición se caracteriza por la medición de la resistencia a la compresión tras 24 horas o tras 14 días de curado, según se especifica en el ASTM C109. El hecho de lograr una alta resistencia temprana permite una fácil manipulación de los paneles apilados.

5 **[0038]** En las composiciones preferidas de la presente invención, los tiempos de fraguado final de aproximadamente 5 minutos se logran con densidades de mortero en el intervalo de 0,96 a 1,04 g/cm³ (de 60 a 65 libras por pie cúbico (pcf)) y alcanzando resistencias cúbicas a la compresión en el intervalo de aproximadamente 6,89 a 9,65 MPa (de 1000 a 1400 psi).

Polvo reactivo cementoso

10 **[0039]** El polvo reactivo cementoso contiene un 100 % en peso de ceniza volante de clase C y nada de cemento hidráulico.

[0040] Preferiblemente, el polvo reactivo cementoso contiene de 10 a 40 % en peso de cal. No obstante, esta cal no es cal añadida. En su lugar, se incluye como un componente químico de la ceniza volante.

15 **[0041]** El principal ingrediente del polvo reactivo cementoso de la composición cementosa de la invención es ceniza volante de clase C. La ceniza volante se describe más adelante en la sección titulada aditivos minerales de ceniza volante y no de ceniza volante.

Aditivos minerales de ceniza volante y no de ceniza volante

[0042] El cemento hidráulico de las composiciones tradicionales de polvo reactivo se sustituye por ceniza volante con propiedades puzolánicas, especialmente ceniza volante de clase C.

20 **[0043]** El ASTM C618-97 define los materiales puzolánicos como «materiales silíceos o silíceos y aluminosos que, en sí mismos, poseen un valor cementoso escaso o nulo, pero que, en forma finamente dividida y en presencia de humedad, reaccionarán químicamente con hidróxido de calcio a temperaturas normales para formar compuestos que poseen propiedades cementosas». Se ha hecho referencia a diversos materiales naturales y artificiales como materiales puzolánicos que poseen propiedades puzolánicas. Algunos ejemplos de materiales puzolánicos incluyen la pumita, perlita, tierra de diatomeas, humo de sílice, toba, tierra de trass, cascarilla de arroz, metacaolín, escorias granuladas molidas de alto horno y ceniza volante.

25 **[0044]** La ceniza volante es la puzolana de la mezcla de polvo reactivo cementoso de la invención. Las cenizas volantes que contienen un alto contenido de óxido de calcio y aluminato de calcio (tales como cenizas volantes de clase C del estándar ASTM C618) se prefieren conforme a lo que se explica a continuación.

30 **[0045]** La ceniza volante es un subproducto de polvo fino formado a partir de la combustión de carbón. Las calderas de las centrales eléctricas que queman carbón pulverizado producen la mayor parte de las cenizas volantes disponibles en el mercado. Estas cenizas volantes consisten principalmente en partículas esféricas cristalinas, así como residuos de hematita y magnetita, residuos de carbón, y algunas fases cristalinas formadas durante el enfriamiento. La estructura, composición y propiedades de las partículas de ceniza volante dependen de la estructura y la composición del carbón y los procesos de combustión por los que se forma la ceniza volante.

35 **[0045]** El estándar ASTM C618 reconoce dos clases principales de cenizas volantes para su uso en hormigón: la de clase C y la de clase F. Estas dos clases de cenizas volantes derivan, por lo general, de distintos tipos de carbones que resultan de diferencias en los procesos de formación de carbón que ocurren durante períodos de tiempo geológico. La ceniza volante de clase F se produce normalmente quemando antracita o carbón bituminoso, mientras que la ceniza volante de clase C se produce normalmente a partir de lignito o carbón subbituminoso.

40 **[0046]** El estándar ASTM C618 diferencia las cenizas volantes de clase C y de clase F principalmente según sus propiedades puzolánicas. Por consiguiente, en el estándar ASTM C618, la principal diferencia en las especificaciones entre la ceniza volante de clase F y la ceniza volante de clase C es el límite mínimo de SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ en la composición. El límite mínimo de SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ para la ceniza volante de clase F es del 70 % y para la ceniza volante de clase C es del 50 %. En consecuencia, las cenizas volantes de clase F son más puzolánicas que las cenizas volantes de clase C. Aunque no se reconoce explícitamente en el estándar ASTM C618, las cenizas volantes de clase C tienen normalmente un alto contenido de óxido de calcio (cal).

45 **[0047]** La ceniza volante de clase C suele poseer propiedades cementosas, además de propiedades puzolánicas, debido a la cal libre (óxido de calcio), mientras que la de clase F es cementosa en raras ocasiones cuando se mezcla solo con agua. La presencia de un alto contenido en óxido de calcio hace que las cenizas volantes de clase C posean propiedades cementosas que provocan la formación de hidratos de silicato de calcio y de aluminato de calcio cuando se mezclan con agua. Tal como se observará en los siguientes ejemplos, se ha descubierto que la ceniza volante de clase C proporciona resultados mejores, en particular en las formulaciones preferidas en las que no se utiliza cemento con alto contenido de alúmina ni yeso.

55 **[0048]** Los minerales típicos que se hallan en la ceniza volante son cuarzo (SiO₂), mullita (Al₂Si₂O₁₃), gehlenita (Ca₂Al₂SiO₇), hematita (Fe₂O₃), magnetita (Fe₃O₄), entre otros. Además, los minerales polimorfos de silicato de

aluminio hallados normalmente en rocas, como la sillimanita, la cianita y la andalucita, representadas las tres mediante la fórmula molecular de Al_2SiO_5 , se encuentran también en la ceniza volante.

[0049] Una ceniza volante de clase C adecuada típica elaborada a partir de carbón subbituminoso presenta la siguiente composición listada en la TABLA B.

TABLA B - ceniza volante de clase C adecuada típica	
Componente	Proporción (% en peso)
SiO_2	20-40
Al_2O_2	10-30
Fe_2O_3	3-10
MgO	0,5-8
SO_3	1-8
C	0,5-2
H_2O	0,33-3
CaO	25-35
K_2O	0,5-4
Na_2O	0,5-6

5 **[0050]** La finura de la ceniza volante normalmente es tal que menos de aproximadamente el 34 % se conserva en un tamiz de malla 325 (serie estadounidense) probado en el procedimiento de ensayo ASTM C-311 (*Sampling and Testing Procedures for Fly Ash as Mineral Admixture for Portland Cement Concrete*, «Procesos de muestreo y ensayos de ceniza volante como aditivo mineral para hormigón de cemento pórtland»). Esta ceniza volante preferiblemente se recubre y se utiliza en seco a causa de su naturaleza autofraguante.

10 **[0051]** Una ceniza volante de clase C típica presenta la siguiente composición listada en la TABLA C.

TABLA C - ceniza volante de clase C adecuada típica	
Componente	Proporción (% en peso)
SiO_2	50-65
Al_2O_2	10-30
Fe_2O_3	3-10
MgO	0,5-3
SO_3	0,3-4
C	0,25-3
H_2O	0,33-3
CaO	0-10
K_2O	0,5-4
Na_2O	1-6

[0052] La ceniza volante compone sustancialmente la totalidad del material cementoso del polvo reactivo de la invención. La adición de otros aditivos cementosos comunes no es necesaria con la ceniza volante de clase C y se ha descubierto que reduce la resistencia a la compresión final de las composiciones de agregado ligero de la invención.

15 **[0053]** En un caso (no según la invención) en el que se utiliza ceniza volante de clase F, que presenta sustancialmente menos contenido de alúmina y cal que la ceniza volante de clase C, en lugar de una cantidad considerable de la ceniza volante de clase C, es decir, superior a aproximadamente 46-60 % en peso de la ceniza volante combinada, se ha descubierto que se requiere la adición de cemento pórtland tipo III para incrementar la resistencia a la compresión del aglomerante de ceniza volante de clase F a los niveles obtenidos con composiciones que contienen 60 % en peso o más de ceniza volante de clase C, que poseen sustancialmente un mayor contenido de alúmina y cal. En concreto, cuando se utiliza hasta un 60 % en peso de ceniza volante de clase C en el sistema aglomerante, la adición de hasta el 30 % en peso de cemento pórtland tipo III resulta necesaria para incrementar la resistencia a la compresión del aglomerante más de tres veces y media más que la adición de únicamente ceniza volante de clase C en la ceniza volante de clase F.

20 **[0054]** En la presente invención, la necesidad de utilizar cemento hidráulico, como cemento pórtland tipo III, se puede evitar, y se puede obtener un desarrollo de resistencia temprana relativamente rápido mediante la

utilización de prácticamente la totalidad de ceniza volante de clase C en lugar de mezclas de ceniza volante de clase F con cemento pórtland tipo III como polvo reactivo. Otros cements convencionales utilizados en el polvo reactivo, incluyendo cemento pórtland tipo I u tipo II u otros cements hidráulicos, incluyendo cemento blanco, cements de escoria, como el cemento de escoria de alto horno, y cements de mezclas puzolánicas, cements expansivos, cements de sulfoaluminato de calcio, y cements para pozos petroleros, no se necesitan cuando el polvo reactivo es ceniza volante de clase C de la presente invención.

Sales de metal alcalino de ácido cítrico

[0055] En la presente invención, el uso de sales de metal alcalino de ácido cítrico, tal como el citrato de sodio o de potasio, produce mezclas con una fluidez relativamente buena y que no se endurecen demasiado rápido, es decir, no se endurecen más rápido que en 5-10 minutos después de mezclarse a temperaturas superiores a la temperatura ambiente, al mismo tiempo que se obtiene una buena resistencia temprana a la compresión.

[0056] La dosis de sal de metal alcalino de ácido cítrico, p. ej., citrato de potasio o citratos de sodio, es de 2,0 a 3,5 % en peso, y más preferiblemente de aproximadamente 3,5 % en peso basándose en 100 partes de los componentes reactivos cementosos de la invención. Así, por ejemplo, por cada 100 libras (45,35 kg) de polvo reactivo cementoso, hay de 2,0 a 3,5 libras totales (de 0,023 a 0,68 kg) de citratos de potasio y/o de sodio. Los citratos de metal alcalino preferidos son citratos de potasio y citratos de sodio y, especialmente, citrato de tripotasio monohidratado y citrato de trisodio monohidratado.

Silicatos de metal alcalino

[0057] En la presente invención, el uso de silicatos de metal alcalino, a saber, el silicato de sodio, produce mezclas con una fluidez relativamente buena y que no se endurecen demasiado rápido, es decir, no se endurecen más rápido que 5-10 minutos después de mezclarse a temperaturas superiores a la temperatura ambiente, al mismo tiempo que se obtiene una buena resistencia temprana a la compresión.

[0058] La dosis de silicato de sodio anhidro es de 0,5 % en peso a 1,0 % en peso y, más preferiblemente, de aproximadamente 1,0 basándose en 100 partes de los componentes reactivos cementosos de la invención. Así, por ejemplo, por cada 100 libras (45,35 kg) de polvo reactivo cementoso, puede haber aproximadamente de 0,5 a 1,0 libras totales (de 0,023 a 0,68 kg) de silicato de sodio. Los silicatos de sodio preferidos son trioxil metasilicatos de sodio anhidro y, especialmente, silicato de sodio pentahidratado 212.74 de Fischer Scientific (grado técnico).

Temperatura de lechada inicial

[0059] En la presente invención, se descubrió que el hecho de formar la lechada en condiciones que aportan una temperatura de lechada inicialmente elevada era importante a la hora de lograr un fraguado rápido y un endurecimiento de las formulaciones cementosas. La temperatura de lechada inicial debería ser de al menos aproximadamente la temperatura ambiente. Las temperaturas de lechada en el intervalo de 38 °C a 41 °C producen tiempos de fraguado breves y, por lo tanto, resultan preferibles.

[0060] Por lo general, en este intervalo, el aumento de la temperatura inicial de la lechada incrementa la velocidad del aumento de temperatura según transcurren las reacciones y reduce el tiempo de fraguado. Por consiguiente, una temperatura de lechada inicial de 35 °C (95 °F) se prefiere a una temperatura de lechada inicial de 32,2 °C (90 °F), una temperatura de 37,7 °C (100 °F) se prefiere a una de 35 °C (95 °F), una temperatura de 41,1 °C (115 °F) se prefiere a una de 37,7 °C (100 °F), una temperatura de 40,6 °C (110 °F) se prefiere a una de 41,1 °C (105 °F), etc. Se cree que las ventajas de incrementar la temperatura de lechada inicial disminuyen conforme se alcanza el extremo superior del amplio intervalo de temperatura.

[0061] Como comprenderán los expertos en la materia, el hecho de alcanzar una temperatura de lechada inicial puede conseguirse mediante más de un método. Probablemente, el método más conveniente sea calentar uno o varios de los componentes de la lechada. En los ejemplos, los presentes inventores suministraron agua caleantada hasta una temperatura de manera que, cuando se añada a los polvos reactivos secos y sólidos no reactivos, la lechada resultante se encuentre a la temperatura deseada. De manera alternativa, si se desea, los sólidos podrían proporcionarse a temperaturas superiores a la temperatura ambiente. La utilización de vapor para proporcionar calor a la lechada es otro método posible que podría adoptarse.

[0062] Aunque probablemente resulte más lento, se podría preparar una lechada a temperatura ambiente y calentarse de inmediato (p. ej., en un período de aproximadamente 10, 5, 2 o 1 minuto) para elevar la temperatura hasta aproximadamente 32,2 °C (90 °F) o más (o cualquiera de los otros intervalos indicados anteriormente), y obtener aun así las ventajas de la presente invención.

EJEMPLOS (no según la invención)

[0063] Los siguientes ejemplos representan el efecto de la adición de citrato de metal alcalino y citrato de sodio en el comportamiento del aumento de temperatura de la lechada, las características de fraguado y la resistencia cúbica a la compresión (CCS, por sus siglas en inglés) de las composiciones cementosas de la invención. La

mezcla de cemento pórtland, ceniza volante de clase C y sulfato de calcio dihidratado (yeso natural) como componentes del polvo reactivo.

EJEMPLO 1 - Proceso de mezclado (espumas *in situ*) (no según la invención)

[0064] Se añade silicato de sodio al agua y se disuelve. Se añade citrato de sodio a la solución y se disuelve. Se añade jabón a la solución resultante de silicato de sodio/citrato de sodio. La solución de silicato de sodio, citrato de sodio y jabón se añade a continuación al polvo reactivo de ceniza volante y se mezcla en un mezclador Hobart a velocidad media. Tras aproximadamente 40 segundos, la velocidad de mezclado se incrementa (#3) y el mezclado continúa durante un total de hasta 4-6 minutos.

[0065] Una solución que contiene de 2,5 a 8 % de silicato de sodio, de 15 a 35 % de citrato de sodio se realiza agitando hasta que se haya disuelto, primero, todo el silicato de sodio y, luego, el citrato de sodio. A esta solución, se le añade 3-6 % de agente espumante. Tras esta adición, la viscosidad de la solución de citrato de sodio aumenta significativamente, lo que indica una interacción sinérgica entre el citrato de sodio y el agente espumante. El tensioactivo utilizado era un jabón de sulfonato de alfa-olefina (AOS) con nombre comercial Witconate AOS de Akzo Nobel.

[0066] La mezcla de la solución se realizó a temperatura ambiente y, a continuación, se colocaron moldes cúbicos llenos con el aglomerante en una sala de acondicionamiento que se mantuvo con una humedad relativa del 90 % y una temperatura de 90 °F (aproximadamente 32 °C) hasta el momento del ensayo.

[0067] Este ejemplo representa el efecto de la utilización de soluciones que contienen un silicato de sodio para mejorar el rendimiento de la resistencia a la compresión de aglomerantes espumados que contienen citrato de sodio y ceniza volante de clase C mezclados con sulfato de calcio dihidratado en comparación con mezclas con sulfato de calcio hemihidratado en las partículas de agregado obtenidas mediante el proceso de mezclado mencionado anteriormente. La TABLA 1 muestra las composiciones y valores de resistencia a la compresión para lechadas de ceniza volante que se espumaron *in situ* mediante la adición de citrato de sodio al 2 % y varias dosis de silicato de sodio y agente espumante (AOS). Todos los aditivos y agente espumante se añadieron al agua antes de mezclarse con el polvo de ceniza volante durante de 3 a 5 minutos para obtener una densidad determinada. La figura 1 muestra un gráfico de los datos de la tabla 1, que representa la relación de resistencia a la compresión frente a densidad para aglomerantes de ceniza volante espumada que contienen citrato de sodio y silicato de sodio en comparación con aglomerantes que contienen citrato de sodio sin silicato de sodio.

[0068] Los aditivos utilizados para activar la ceniza volante, como el citrato de potasio, el citrato de sodio y aditivos opcionales, como el ácido cítrico, el bórax, el ácido bórico se añadieron al agua de mezcla antes de mezclarse con la ceniza volante, cemento y cualquier agregado ligero opcional.

[0069] Las composiciones descritas en el presente documento se combinaron empleando una relación de peso de arlita y polvo reactivo de cemento de 0,56:1,0.

[0070] Los cubos se mantuvieron en el interior de una bolsa de plástico cerrada que contenía una toalla húmeda a temperatura ambiente durante 24 horas, se desmoldaron y, a continuación, se colocaron en una sala de acondicionamiento con una humedad relativa del 90 % y a 32,2 °C (90 °F) para el ensayo de 14 días. La carga máxima necesaria para aplastar los cubos se midió utilizando una máquina de compresión SATEC UTC 120HVL programada para alcanzar el ritmo de carga especificado en el procedimiento de ASTM C109.

[0071] Las composiciones incluidas en el ejemplo 1 se combinaron utilizando una relación de peso de agua y polvo reactivo de aproximadamente 0,26/1 y una relación de peso de arlita y ceniza volante (polvo reactivo) de aproximadamente 0,56/1.

[0072] El citrato alcalino se disolvió en el agua antes de mezclarse con cementos a temperatura ambiente. Otros experimentos con la adición de citrato alcalino sólido a la mezcla con cemento dieron los mismos resultados. Tras mezclarse en un mezclador Hobart, la mezcla se colocó en moldes cúbicos convencionales de dos pulgadas.

[0073] La carga máxima necesaria para aplastar los cubos se midió en el momento del ensayo utilizando una máquina de compresión SATEC UTC 120HVL programada para alcanzar el ritmo de carga especificado en el procedimiento ASTM C109.

[0074] Las materias primas e ingredientes utilizados en estos ejemplos fueron los siguientes:

Silicato de sodio

Jabón de sulfonato de alfa-olefina (Witconate)

Ceniza volante de clase C (Campbell)

Arlita

Citrato de sodio (citrato de trisodio monohidratado)

[0075] La relación de peso de agua y polvo reactivo de ceniza volante se encuentra normalmente en el intervalo de 0,22 a 0,287:1,0. En caso de que parte de la ceniza volante de clase C se sustituya por ceniza volante de clase F, se utiliza yeso, aunque la cantidad de yeso se reduce de acuerdo con la práctica preferida de la invención.

5 Ejemplo 1 (mezclas 1-17) – Proceso de mezclado *in situ* (no según la invención)

[0076] Primero se añade silicato de sodio al agua y se disuelve, y a continuación, se añade citrato de sodio a la solución y se disuelve. El agente espumante de jabón se añade posteriormente a la solución de silicato de sodio/y citrato de sodio. La solución acuosa resultante de silicato de sodio, citrato de sodio y jabón se añade a continuación al polvo reactivo de ceniza volante de clase C y se mezcla en un mezclador Hobart a velocidad media. Tras aproximadamente 40 segundos, la velocidad del mezclador se incrementa (velocidad #3) y el mezclado continúa durante un total de hasta 4-6 minutos.

10 **[0077]** Una solución que contiene de 2,5 a 8 % de silicato de sodio, de 15 a 35 % de citrato de sodio se realiza agitando hasta que se haya disuelto, primero, todo el silicato de sodio y, luego, el citrato de sodio. A esta solución, se le añade 3-6 % de agente espumante. Tras esta adición, la viscosidad de la solución de citrato de sodio aumenta significativamente, lo que indica una interacción sinérgica entre el citrato de sodio y el agente espumante. El tensioactivo utilizado era un jabón de sulfonato de alfa-olefina (AOS) con nombre comercial Witconate AOS de Akzo Nobel.

15 **[0078]** Los líquidos y la mezcla se mantuvieron a temperatura ambiente y los moldes cúbicos con el aglomerante se colocaron en una sala de acondicionamiento que se mantuvo con una humedad relativa del 90 % y una temperatura de 32,2 °C (90 °F) hasta el momento del ensayo.

20 **[0079]** La tabla 1 muestra las composiciones de mezclas que contienen ceniza volante de clase C en las relaciones de peso de 20/100 y 2,0 % en peso de citrato de sodio con diversas dosis de silicato de sodio y jabón en bruto. En estas composiciones, el % en peso de citrato de sodio respecto a ceniza volante se mantuvo constante a 2,0 % en peso de ceniza volante. A partir de la tabla 1, los datos muestran que el aumento del silicato de sodio con citrato de sodio incrementa la resistencia cúbica a la compresión con la misma densidad para aglomerantes de ceniza volante espumada en comparación con aglomerantes de ceniza volante que contienen únicamente citrato de sodio.

25 **[0080]** En la TABLA 1, CCS es una abreviatura de resistencia cúbica a la compresión (en inglés, *cube compressive strength*).

TABLA 1

Ceniza volante de clase C ¹	Agua	Citrato de sodio	Silicato de sodio	Id. de mezcla	Jabón en bruto	Citrato de sodio	Silicato de sodio	Tiempo de mezclado	Densidad	CCS
g	g	g	g	#	g	% en peso de FA	% en peso de FA	(min)	g/cm ³ (pcf)	MPa (psi)
1000	180,0	20	0	1	7,5	2,0 %	0,0 %	4	0,85 (52,8))	0,53 (77)
1000	180,0	20	0	2	7,5	2,0 %	0,0 %	3	0,96 (59,7))	2,32 (336)
1500	270,0	30	0	3	11,44	2,0 %	0,0 %	3	1,08 (67,3)	5,23 (758)
1500	270,0	30	0	4	15,08	2,0 %	0,0 %	3	1,04 (64,9)	3,88 (563)
1500	271,4	30	7,5	5	16,14	2,0 %	0,5 %	4	0,96 (59,8)	6,73 (976)
1500	271,4	30	7,5	6	11,44	2,0 %	0,5 %	4	1,09 (63,6)	7,9 (1130)
1500	271,4	30	7,5	7	11,44	2,0 %	0,5 %	3	1,13 (70,6)	10,11 (1467)
1500	271,4	30	7,5	8	16,15	2,0 %	0,5 %	5	0,86 (53,6)	4,11 (596)
1500	271,4	30	7,5	9	12,0	2,0 %	0,5 %	3	1,08 (67,7)	9,05 (1313)
1500	271,4	30	7,5	10	10,0	2,0 %	0,5 %	3	1,12 (70,2)	10,64 (1543)
1500	271,4	30	7,5	11	13,0	2,0 %	0,5 %	3	1,06 (66,4)	8,29 (1202)

Ceniza volante de clase C ¹	Agua	Citrato de sodio	Silicato de sodio	Id. de mezcla	Jabón en bruto	Citrato de sodio	Silicato de sodio	Tiempo de mezclado	Densidad	CCS
g	g	g	g	#	g	% en peso de FA	% en peso de FA	(min)	g/cm ³ (pcf)	MPa (psi)
1500	271,4	30	7,5	12	8,0	2,0 %	0,5 %	3	1,19 (74,6)	11,78 (1708)
1500	272,7	30	7,5	13	15,0	2,0 %	0,5 %	3	1,07 (66,5)	7,69 (1115)
1500	272,7	30	15,0	14	11,44	2,0 %	1,0 %	4	1,05 (65,3)	9,71 (1408)
1500	271,4	30	15,0	15	16,15	2,0 %	1,0 %	4	1,02 (63,7)	7,80 (1132)
1500	271,4	30	15,0	16	16,15	2,0 %	1,0 %	5	0,93 (58)	6,19 (898)
1500	271,4	30	15,0	17	16,15	2,0 %	1,0 %	6	6,83 (51,9)	3,76 (546)

¹Ceniza volante de clase C de Campbell, jabón AOS Witconate

[0081] El efecto de incrementar el contenido de silicato de sodio en el aumento de temperatura de la mezcla para mezclas con niveles constantes de citrato de sodio se muestra en los gráficos representados en la figura 1. Como se puede observar en la figura 1, las mezclas con dosis más altas de silicato de sodio presentan un aumento más acusado de la resistencia a la compresión con la misma densidad.

5 **[0082]** En el caso de las mezclas #1 y #2 que contienen un 2,0 % en peso de citrato de sodio y nada de silicato de sodio, la resistencia a la compresión aumenta hasta menos de 5,52 MPa (800 psi) con una densidad de 1,07 g/cm³ (67 pcf), en comparación con aproximadamente de 8,27 a más de 9,65 MPa (de aproximadamente 1200 a más de 1400 psi) con la misma densidad con la adición de 0,5 a 1,0 % en peso de silicato de sodio en la misma lechada que contiene un 2,0 % en peso de citrato de sodio. Esta comparación indica que la presencia de silicato de sodio facilita una reacción que se correlaciona con las resistencias tempranas a la compresión relativamente más elevadas medidas para las mezclas que contienen únicamente citrato de sodio.

EJEMPLO 2 - Proceso de mezclado para espumas *ex situ* (no según la invención)

Proceso de mezclado (espumas *ex situ*)

15 **[0083]** En primer lugar, se prepara una solución de PVOH (concentración de 2 a 5 %) utilizando agua caliente (de 50 a 80 °C) hasta que el PVOH se ha disuelto completamente. Se deja que la solución alcance la temperatura ambiente y, a continuación, se añade el jabón tensioactivo (solución jabonosa al 8 %) y se espuma antes de mezclarse con la lechada de ceniza volante/citrato de sodio/agua utilizando procedimientos de mezclado estándar. Para este ejemplo, no se añadió silicato de sodio, y el objetivo principal fue determinar el efecto del PVOH en aglomerantes espumosos de ceniza volante utilizando espumas *ex situ*. El tensioactivo 20 utilizó era un jabón de sulfonato de alfa-olefina (AOS) con nombre comercial Witconate AOS de Akzo Nobel. El PVOH utilizado era CELVOL 205-S de Scksui Specialty Chemical America LLC, Scksui Chemical Company Ltd.

25 **[0084]** Las formulaciones para el ejemplo #2 (no según la invención) que utilizan una solución jabonosa y agente espumante con PVOH se incluyen en la tabla 2-1 y las formulaciones para el ejemplo #2 que utilizan solución jabonosa al 4 % y agente espumante sin PVOH se incluyen en la tabla 2-1. La cantidad total de líquidos incluía el agua de mezcla, el agua utilizada en la solución jabonosa y la cantidad de agente espumante utilizado para elaborar la espuma añadida a las mezclas de ceniza volante y agua. Los datos incluidos en la tabla 2-1 y en la tabla 2-2 se representan en la figura 2. Las muestras cúbicas se curaron de manera similar a las del ejemplo 1 (no según la invención).

30 **[0085]** Se percibió una mejora en la estabilidad de la espuma y la presencia de burbujas de espuma relativamente más pequeñas utilizando este procedimiento de formación de espuma. En el laboratorio, se observó que, en el caso de las mezclas con espumas *ex situ* antes de la adición del PVOH, los aglomerantes espumados mostraron efectos desestabilizantes, como desintegración, y coalescencia de las burbujas de espuma tan pronto como se colaron los aglomerantes en los moldes. Estos efectos desestabilizantes fueron más evidentes cerca de la superficie superior, donde el aglomerante espumado estaba en contacto con el aire. En cambio, las mezclas con el PVOH añadido a la espuma *ex situ* no se desintegran al mezclarse con los aglomerantes de ceniza volante/citrato de sodio, mostrando en su lugar una red de burbujas finas celulares difíciles de ver a simple vista. La estabilidad de espuma mejorada posibilitó la presencia de aglomerantes espumados de ceniza volante estables con densidades de lechada en el intervalo de 0,61 a 1,12 g/cm³ (de 38 a 70 pcf). La adición de PVOH no mostró un efecto significativo en la resistencia a la compresión en el extremo inferior del intervalo de densidad (de 0,61 a 0,64 g/cm³ (de 38 a 40 pcf)), aunque la mejora de la resistencia a la

compresión fue notable en el caso de mezclas con densidades superiores a 40 pcf y, especialmente, para mezclas en el intervalo de 50 a 70 pcf (de 0,80 a 1,12 g/cm³). Los resultados incluidos en las tablas 2-1 y 2-2, representados en el gráfico de la figura 2, indican que la adición de PVOH se puede utilizar para mejorar el comportamiento frágil de los aglomerantes de ceniza volante impidiendo la deformación de las burbujas de aire añadidas mediante espumas (*ex situ*).

5

TABLA 2-1 Formulaciones para el ejemplo #2 (no según la invención) utilizando una solución jabonosa y agente espumante con PVOH

Identificación de mezcla	Ceniza volante	Líquidos totales	Citrato de sodio	Densidad	Resistencia cúbica a la compresión (CCS)
	g	g	g	g/cm ³ (pcf)	MPa (psi)
1	1000	245	20	0,85 (53,1)	2,81 (408)
2	1000	245	20	0,77 (47,9)	2,20 (319)
3	1000	245	20	0,75 (46,8)	2,21 (320)
4	1000	245	20	0,61 (37,8)	0,90 (130)
5	1000	245	20	0,63 (39,3)	0,78 (113)
6	1000	245	20	0,86 (53,6)	2,87 (416)
7	1000	245	20	1,00 (62,5)	5,56 (807)
8	1000	245	20	0,95 (59,4)	5,06 (734)
9	1000	245	20	0,86 (53,6)	2,96 (430)
10	1000	245	20	0,80 (50,2)	2,75 (399)
11	1000	245	20	0,81 (50,7)	2,40 (348)
12	1000	245	20	1,13 (70,7)	8,70 (1262)
13	1000	245	20	1,08 (67,5)	8,85 (1284)
14	1000	245	20	1,02 (63,8)	7,16 (1039)
15	1000	245	20	0,94 (58,7)	4,03 (585)

¹Ceniza volante de clase C de Campbell, jabón AOS Witconate

TABLA 2-2 Formulaciones para el ejemplo #2 (no según la invención) utilizando una solución jabonosa y agente espumante sin PVOH

Identificación de mezcla	Ceniza volante	Líquidos totales	Citrato de sodio	Densidad	Resistencia cúbica a la compresión
	g	g	g	g/cm ³ (pcf)	MPa (psi)
1	1000	245	20	1,18 (73,6)	3,36 (487)
2	1000	245	20	0,95 (59,0)	2,40 (348)
3	1000	245	20	0,89 (55,5)	2,14 (310)
4	1000	245	20	0,80 (50,0)	1,59 (231)
5	1000	245	20	0,64 (39,7)	0,91 (132)

¹Ceniza volante de clase C de Campbell, jabón AOS Witconate

[0086] En el gráfico de la figura 2, se muestra la resistencia a la compresión frente a la densidad para aglomerantes de ceniza volante espumada con espuma preformada con PVOH para los datos incluidos en la TABLA 2-1 y mezclas con espuma preformada sin PVOH para los datos incluidos en la TABLA 2-2. Este método resulta ventajoso debido a que su tamaño de burbujas relativamente más pequeño permitiría que se mezclase un porcentaje relativamente más alto de aire en los aglomerantes de ceniza volante.

10

EJEMPLO 3 - Mezclas elaboradas utilizando ceniza volante de clase F (no según la invención)

[0087] Los experimentos anteriores se concentraron en el uso de ceniza volante de clase C como el principal aglomerante cementoso junto con citrato de sodio o de potasio, ya que los resultados preliminares con ceniza volante de clase F indicaron una resistencia a la compresión de aglomerantes de ceniza volante de clase F relativamente menor en comparación con formulaciones similares con ceniza volante de clase C. Debido a que resulta deseable desde el punto de vista comercial ser capaz de utilizar cualquier tipo de ceniza volante en función de las fuentes locales de carbón que se utilicen. Esto resulta conocido, y el análisis químico mostró que

15

la principal diferencia en la composición química entre la ceniza volante de clase C y de clase F es el mayor contenido de cal para la clase C con respecto a la ceniza volante de clase F (20 % frente a 10 %).

[0088] Para este ejemplo, las mezclas incluían los siguientes componentes:

Componente A = Ceniza volante de clase F

5 Componente B = Cemento pórtland tipo III

Componente C = Agua

Variable de proceso X = Citrato de sodio

[0089] Los límites inferior y superior para las cantidades de cada uno de los componentes de la mezcla, así como las proporciones normalizadas utilizadas en el ejemplo 3 (no según la invención), se incluyen en la TABLA 10 3-1. Cabe destacar que los límites inferior y superior para cada componente, combinados con la mezcla total, imponen las restricciones del estudio. Por ejemplo, existe un contenido de agua mínimo conforme a lo dictado por las condiciones prácticas del experimento. Además, se observa que el componente principal para las mezclas es la ceniza volante de clase F, y esta se eligió en función de la experiencia previa con estas mezclas. Del mismo modo, el bajo nivel de citrato de sodio se escogió en función de trabajos previos, donde se eligió el 15 nivel elevado para reunir información con un nivel relativamente más alto según lo estudiado anteriormente.

TABLA 3-1 Componentes de mezclas utilizadas en el ejemplo 3 (no según la invención)

Componente	Descripción	Cantidad de componentes de la mezcla (g)	Proporciones de componentes de la mezcla (normalizadas a la mezcla total)		
		Inferior	Superior	Inferior	Superior
A	Ceniza volante de clase F	840	1350	0,47	0,75
B	Tipo III	0	510	0,0	0,28
C	Agua de mezcla	400	620	0,22	0,34
X1	Citrato de sodio	55	160		

[0090] La TABLA 3-2 muestra el diseño de mezcla experimental. Se prepararon treinta y ocho mezclas utilizando técnicas de mezclado convencionales descritas en otro apartado. Los componentes de la mezcla se combinaron con arlita y perlita mantenidas a un nivel constante. El citrato de sodio se añadió al agua de mezcla antes de mezclarse con la ceniza volante, cemento y agregado ligero.

[0091] Además, la TABLA 3-2 incluye los componentes de la mezcla expresados como relación W/C (agua respecto a ceniza volante y cemento). El contenido de ceniza volante se expresa como porcentaje de FA/(FA+PC). Cabe destacar que W = agua de mezcla, C = FA + PC = cementos totales (o polvo reactivo), FA = contenido de ceniza volante de clase F y PC = contenido de cemento pórtland tipo III. En la TABLA 3-2, las 20 cantidades se expresan en gramos a no ser que se indiquen como un porcentaje. En la TABLA 3-2 y 3-3, PC significa cemento pórtland y FA significa ceniza volante.

TABLA 3-2 (Cantidades en gramos a no ser que se indiquen como porcentaje)

Orden de ejecución	Ceniza volante de clase F	PC tipo III	Agua de mezcla	Citrato de Na	Arlita	Perlita	Citrato de Na	W/C	FA/(PC+FA)
1	865	510	425	55	481	83	4,0 %	0,309	62,9 %
2	1213	143	445	55	474	81	4,1 %	0,328	89,5 %
3	1213	118	470	55	466	80	4,1 %	0,353	91,2 %
4	890	510	400	160	490	84	11,4 %	0,286	63,6 %

ES 2 753 978 T3

TABLA 3-2 (Cantidades en gramos a no ser que se indiquen como porcentaje)									
Orden de ejecución	Ceniza volante de clase F	PC tipo III	Agua de mezcla	Citrato de Na	Arlita	Perlita	Citrato de Na	W/C	FA/(PC+FA)
5	1265	0	535	160	443	76	12,6 %	0,423	100,0 %
6	1010	170	620	55	413	71	4,7 %	0,525	85,6 %
7	958	288	555	55	436	75	4,4 %	0,446	76,9 %
8	840	510	450	160	473	81	11,9 %	0,333	62,2 %
9	1075	235	490	55	459	79	4,2 %	0,374	82,1 %
10	1120	280	400	160	490	84	11,4 %	0,286	80,0 %
11	1213	143	445	160	474	81	11,8 %	0,328	89,5 %
12	840	340	620	55	413	71	4,7 %	0,525	71,2 %
13	1350	50	400	55	490	84	3,9 %	0,286	96,4 %
14	840	510	450	55	473	81	4,1 %	0,333	62,2 %
15	1120	280	400	55	490	84	3,9 %	0,286	80,0 %
16	1128	118	555	160	436	75	12,9 %	0,446	90,6 %
17	840	425	535	160	443	76	12,6 %	0,423	66,4 %
18	1180	0	620	55	413	71	4,7 %	0,525	100,0 %
19	1265	0	535	55	443	76	4,3 %	0,423	100,0 %
20	1350	25	425	55	481	83	4,0 %	0,309	98,2 %
21	1350	50	400	160	490	84	11,4 %	0,286	96,4 %
22	983	373	445	55	474	81	4,1 %	0,328	72,5 %
23	1350	0	450	160	473	81	11,9 %	0,333	100,0 %
24	958	373	470	160	466	80	12,0 %	0,353	72,0 %
25	1128	118	555	55	436	75	4,4 %	0,446	90,6 %
26	958	288	555	160	436	75	12,9 %	0,446	76,9 %
27	890	510	400	55	490	84	3,9 %	0,286	63,6 %
28	983	373	445	160	474	81	11,8 %	0,328	72,5 %
29	1213	118	470	160	466	80	12,0 %	0,353	91,2 %
30	1075	235	490	160	459	79	12,2 %	0,374	82,1 %

TABLA 3-2 (Cantidades en gramos a no ser que se indiquen como porcentaje)									
Orden de ejecución	Ceniza volante de clase F	PC tipo III	Agua de mezcla	Citrato de Na	Arlita	Perlita	Citrato de Na	W/C	FA/(PC+FA)
31	1350	0	450	55	473	81	4,1 %	0,333	100,0 %
32	865	510	425	160	481	83	11,6 %	0,309	62,9 %
33	958	373	470	55	466	80	4,1 %	0,353	72,0 %
34	1180	0	620	160	413	71	13,6 %	0,525	100,0 %
35	840	340	620	160	413	71	13,6 %	0,525	71,2 %
36	1350	25	425	160	481	83	11,6 %	0,309	98,2 %
37	840	425	535	55	443	76	4,3 %	0,423	66,4 %
38	1010	170	620	160	413	71	13,6 %	0,525	85,6 %

TABLA 3-3 Datos de resistencia cúbica a la compresión para mezclas utilizadas para el ejemplo 3 (no según la invención)

Orden de ejecución	Ceniza volante de clase F	PC tipo III	Agua de mezcla	Citrato de sodio	W/C	FA/(PC +FA)	Densidad	24 h de CCS	14 días de CCS
	Cantidad (g)						(g/cm ³ (pcf))	(MPa (psi))	
1	865	510	425	55	0,309	62,9 %	1,48 (92,2)	8,17 (1185)	33,76 (4897)
2	1213	143	445	55	0,328	89,5 %	1,44 (89,9)	3,65 (529)	8,82 (1279)
3	1213	118	470	55	0,353	91,2 %	1,37 (85,4)	2,08 (301)	8,27 (1199)
4	890	510	400	160	0,286	63,6 %	1,48 (92,2)	5,55 (805)	18,68 (2710)
5	1265	0	535	160	0,423	100,0 %	1,29 (80,8)	0,86 (125)	1,27 (184)
6	1010	170	620	55	0,525	85,6 %	1,28 (80,0)	0,62 (90)	2,47 (358)
7	958	288	555	55	0,446	76,9 %	1,32 (82,6)	1,08 (157)	9,97 (1446)
8	840	510	450	160	0,333	62,2 %	1,44 (89,9)	4,10 (595)	13,00 (1886)
9	1075	235	490	55	0,374	82,1 %	1,41 (87,8)	2,28 (330)	13,67 (1982)

TABLA 3-3 Datos de resistencia cúbica a la compresión para mezclas utilizadas para el ejemplo 3 (no según la invención)

Orden de ejecución	Ceniza volante de clase F	PC tipo III	Agua de mezcla	Citrato de sodio	W/C	FA/(PC +FA)	Densidad	24 h de CCS	14 días de CCS
	Cantidad (g)						(g/cm ³ (pcf))	(MPa (psi))	
10	1120	280	400	160	0,286	80,0 %	1,43 (89,5)	5,81 (843)	11,56 (1677)
11	1213	143	445	160	0,328	89,5 %	1,37 (85,6)	3,92 (569)	17,94 (115)
12	840	340	620	55	0,525	71,2 %	1,28 (79,9)	0,79 (115)	12,27 (1779)
13	1350	50	400	55	0,286	96,4 %	1,44 (89,8)	5,43 (788)	5,36 (778)
14	840	510	450	55	0,333	62,2 %	1,45 (90,8)	5,67 (822)	29,08 (4218)
15	1120	280	400	55	0,286	80,0 %	1,35 (84,1)	3,79 (549)	9,94 (1442)
16	1128	118	555	160	0,446	90,6 %	1,35 (84,3)	2,58 (374)	3,94 (571)
17	840	425	535	160	0,423	66,4 %	1,36 (85,2)	1,60 (232)	6,21 (901)
18	1180	0	620	55	0,525	100,0 %	1,19 (74,1)	0 (0)	0 (0)
19	1265	0	535	55	0,423	100,0 %	1,16 (72,5)	0 (0)	0 (0)
20	1350	25	425	55	0,309	98,2 %	1,41 (88,3)	453 (657)	6,54 (948)
21	1350	50	400	160	0,286	96,4 %	1,41 (88,3)	2,72 (395)	4,13 (599)
22	983	373	445	55	0,328	72,5 %	1,46 (91,0)	5,78 (838)	23,38 (3391)
23	1350	0	450	160	0,333	100,0 %	1,37 (85,4)	0,34 (49)	0,60 (87)
24	958	373	470	160	0,353	72,0 %	1,42 (88,8)	2,53 (367)	7,65 (1110)
25	1128	118	555	55	0,446	90,6 %	1,30 (81,0)	0,94 (137)	4,68 (679)
26	958	288	555	160	0,446	76,9 %	1,34 (83,6)	0,62 (90)	4,35 (631)

TABLA 3-3 Datos de resistencia cúbica a la compresión para mezclas utilizadas para el ejemplo 3 (no según la invención)

Orden de ejecución	Ceniza volante de clase F	PC tipo III	Agua de mezcla	Citrato de sodio	W/C	FA/(PC +FA)	Densidad	24 h de CCS	14 días de CCS
	Cantidad (g)						(g/cm ³ (pcf))	(MPa (psi))	
27	890	510	400	55	0,286	63,6 %	1,49 (93,2)	8,91 (1293)	28,32 (4108)
28	983	373	445	160	0,328	72,5 %	1,41 (88,3)	3,25 (472)	9,18 (1331)
29	1213	118	470	160	0,353	91,2 %	1,38 (85,9)	2,79 (405)	4,83 (701)
30	1075	235	490	160	0,374	82,1 %	1,35 (84,2)	2,05 (297)	7,05 (1022)
31	1350	0	450	55	0,333	100,0 %	1,35 (84,2)	1,64 (239)	4,29 (622)
32	865	510	425	160	0,309	62,9 %	1,44 (89,7)	4,74 (688)	13,93 (2021)
33	958	373	470	55	0,353	72,0 %	1,40 (87,3)	2,85 (414)	27,11 (3933)
34	1180	0	620	160	0,525	100,0 %	1,22 (76,1)	0 (0)	0 (0)
35	840	340	620	160	0,525	71,2 %	1,32 (82,1)	0,75 (109)	3,04 (441)
36	1350	25	425	160	0,309	98,2 %	1,36 (85,2)	1,44 (209)	2,21 (421)
37	840	425	535	55	0,423	66,4 %	1,35 (84,5)	2,19 (318)	23,95 (3474)
38	1010	170	620	160	0,525	85,6 %	1,27 (79,1)	0,37 (53)	2,38 (345)

[0092] La TABLA 3-3 incluye los datos de resistencia cúbica a la compresión para mezclas utilizadas en el ejemplo 2 medidas tras 24 h y tras 14 días de curado.

[0093] Las observaciones de los datos de CCS de 24 horas son las siguientes:

5 La resistencia de 24 horas se reduce significativamente al incrementar el contenido de agua, especialmente para aquellas mezclas con un nivel relativamente inferior de citrato de sodio

La reducción de la resistencia se puede compensar aumentando el citrato de sodio

El incremento de la cantidad de cemento pórtland (reduciendo la cantidad de ceniza volante de clase F) aumenta significativamente la resistencia a la compresión de 24 horas. Esto es lo contrario de lo que sucede con los resultados observados con el uso de ceniza volante de clase C.

10 [0094] Las observaciones de los datos de CCS de 24 horas son las siguientes:

La resistencia tras 24 horas se reduce significativamente al incrementar el contenido de agua, especialmente para aquellas mezclas con un nivel relativamente más bajo de citrato de sodio

La reducción de la resistencia se puede compensar aumentando el citrato de sodio. El incremento de cemento pórtland (reduciendo la cantidad de ceniza volante de clase F) aumenta significativamente la resistencia a la compresión de 24 horas. Este comportamiento es opuesto al observado para los resultados con ceniza volante de clase C presentes en pruebas anteriores que se llevaron a cabo.

[0095] Las siguientes observaciones se han realizado a partir del análisis de la resistencia a la compresión para mezclas utilizadas en el ejemplo 3 (no según la invención):

En general, la resistencia disminuye conforme aumenta la relación de agua respecto a sólidos.

[0096] La CCS tras 24 horas y la CCS tras 14 días están directamente correlacionadas.

[0097] La CCS tras 14 días y el contenido de ceniza volante de clase F están inversamente correlacionados, pero directamente correlacionados con el contenido de cemento pórtland.

[0098] Los resultados del ejemplo 3 (no según la invención) indican que se pueden utilizar mezclas de ceniza volante de clase F con PC tipo III con citrato de sodio para lograr resistencias deseadas.

[0099] Además, estos resultados indican que, cuando se utiliza ceniza volante de clase F deficitaria de cal, se precisa la adición de cantidades pequeñas del cemento pórtland para complementar el contenido de cal y alúmina con el fin de lograr la resistencia requerida.

[0100] Los parámetros de una formulación preferida para las mezclas de formulación de ceniza volante de clase F y cemento pórtland tipo III basados en los resultados del ejemplo 3 (no según la invención) son los siguientes:

De 70 a 90 % de ceniza volante de clase F

De 10 a 30 % de cemento pórtland tipo III

De 2 a 4 % de citrato de sodio

Agua/(ceniza volante + cemento pórtland) <0,37 y preferiblemente <0,33 ejemplo 4.

[0101] Este ejemplo representa, además, el efecto de utilizar soluciones que contienen un silicato de sodio para mejorar el rendimiento de resistencia a la compresión de aglomerantes espumados que contienen citrato de sodio y ceniza volante de clase C.

[0102] Las tablas 4-1 y 4-2 muestran los valores de composición y resistencia a la compresión para mezclas espumadas de ceniza volante utilizando citrato de sodio y espuma/jabón añadidos al agua y la tabla 4-3 muestra composiciones y resistencia a la compresión de mezclas espumadas de ceniza volante en las que se añaden silicato de sodio y citrato de sodio y agente espumante al agua antes de mezclarse con el polvo reactivo de ceniza volante.

[0103] Las mezclas #2 y #4 en la tabla 4-1, con una densidad de 1,05 y 0,96 g/cm³ (65,4 y 59,8 pcf), respectivamente, presentaban una resistencia a la compresión tras 14 días de 4,56 y 3,30 MPa (661 y 479 psi), respectivamente. En la tabla 4-2, se observó un efecto perjudicial similar de reducción de la densidad de las mezclas en las que la resistencia a la compresión de la mezcla #2, con una densidad de 1,01 g/cm³ (62,9 pcf), presentaba una resistencia a la compresión de 3,54 MPa (514 psi).

TABLA 4-1

Mezcla	Ceniza volante	H ₂ O	Citrato de Na	Jabón en bruto	% en peso de FA de citrato de Na	% de solución de citrato de Na	% de conc. de jabón	W/F A	Densidad	CCS
#	g	g	g	g	%	%	%		g/cm ³ (pcf)	MPa (psi)
1	1600	368	192	0	12,0	34,3	0,0	0,23	2,05 (128)	46,87 (6798)
2	1600	368	192	16	12,0	33,3	4,2	0,23	1,05 (65,4)	4,56 (661)
3	1600	368	192	8	12,0	33,8	2,1	0,23	1,28 (80,0)	8,95 (1298)
4	1600	368	192	18	12,0	33,2	4,7	0,23	0,96 (59,8)	3,30 (479)
5	1600	368	192	16	12,0	33,3	4,2	0,23	1,38 (86,1)	10,79 (1565)

TABLA 4-2

Mezcla	Ceniza volante	H ₂ O	Citrato de Na	Jabón en bruto	% en peso de FA de citrato de Na	% de solución de citrato de Na	% de conc. de jabón	W/FA	Densidad	CCS
#	g	g	g	g	%	%	%		g/cm ³ (pcf)	MPa (psi)
1	1000	280	90	7,5	9,0	32,4	4,0	0,28	0,73 (45,3)	1,17 (169)
2	1000	280	90	7,5	9,0	29,9	4,0	0,28	1,01 (62,9)	3,54 (514)
3	1000	280	90	7,5	9,0	27,2	4,0	0,28	0,69 (42,9)	1,11 (161)
4	1000	280	65	7,5	6,5	24,2	4,0	0,28	0,52 (32,6)	0,58 (84)
5	1000	280	90	7,5	9,0	29,9	4,0	0,28	0,71 (44,2)	1,12 (162,3)

TABLA 4-3

Mezcla	Silicato de Na	H ₂ O	Jabón en bruto	% en peso de FA de silicato de Na	% de solución de citrato de Na	% de conc. de jabón	W/FA	Densidad	CCS
#	g	g	g	%	%	%		g/cm ³ (pcf)	MPa (psi)
1	15	182,7	5,0	1,5	17,6	2,7	0,180	0,82 (51,4)	3,25 (471)
2	25	184,0	7,5	2,5	17,2	3,9	0,182	0,87 (54,6)	3,47 (503)

[0104] Todas las mezclas de prueba presentan un contenido de ceniza volante de clase C de 1000 g y un contenido de citrato de sodio de 40 gramos, proporcionando un % en peso de citrato de sodio de 4,0 % en función del peso de ceniza volante de clase C.

TABLA 4-4

Mezcla	Silicato de Na	H ₂ O	Jabón en bruto	% en peso de FA de silicato de Na	% de solución de citrato de Na	% de conc. de jabón	W/FA	Densidad	CCS
#	g	g	g	%	%	%		g/cm ³ (pcf)	MPa (psi)
1	5	180,9	6	0,5	17,6	3,2	0,180	0,71 (44,4)	2,30 (334)
2	10	181,8	6	1,0	17,6	3,2	0,180	0,98 (61,4)	6,96 (1010)
3	15	182,7	6	1,5	17,5	3,2	0,180	1,00 (62,4)	7,99 (1159)
4	5	180,9	5,5	0,5	17,7	3,0	0,180	0,95 (59,5)	6,14 (891)
5	20	180,0	5	2,0	17,8	2,7	0,176	1,05 (65,5)	9,15 (1327)
6	20	183,6	6	2,0	17,4	3,2	0,180	1,01 (63,3)	8,15 (1182)

5 [0105] Todas las mezclas de prueba que se exponen a continuación presentan un contenido de ceniza volante de clase C de 1000 g y un contenido de citrato de sodio de 40 g, obteniendo un % en peso de citrato de sodio de 4,0 % en función del peso de la ceniza volante de clase C.

10 [0106] Como se muestra en las tablas 4-3 y 4-4, las mezclas que contienen tanto silicato de sodio como citrato de sodio presentaban resistencias a la compresión que eran más del doble de las resistencias a la compresión de mezclas sin silicato de sodio en las tablas 3-1 y 3-2. Por ejemplo, la mezcla #1 de la tabla 4-3 con una densidad de 0,82 g/cm³ (51,4 pcf) presentaba una resistencia a la compresión de 471 psi (3,25 MPa) que era comparable a la resistencia a la compresión de 3,30 MPa (479 psi) para la mezcla #4 en la tabla 4-1 con una densidad de 0,96 g/cm³ (59,8 pcf) cuando no se añade silicato de sodio. Además, las mezclas realizadas con densidades en el intervalo de 0,95 a 1,05 g/cm³ (de 59,5 a 65,5 pcf) en la tabla 4-4, que presentan resistencias a la compresión de 6,14 a 9,15 MPa (de 891 a 1327 psi) comparadas favorablemente con las mezclas sin silicato

de sodio de la tabla 4-1 que presentaban una resistencia a la compresión de 4,55 MPa (660 psi) con una densidad de 1,05 g/cm³ (65,4 pcf).

[0107] Al revisar los resultados de las tablas 4-3 y 4-4, el incremento del % en peso de silicato de sodio más allá del 1,5 % en peso de la ceniza volante no mejoraba significativamente la resistencia a la compresión y, por lo tanto, no resulta preferible. Las dosis superiores al 1,5 % en peso de silicato de sodio también han mostrado una tendencia a reducir la eficacia del agente espumante. La dosis recomendada de silicato de sodio se encuentra entre aproximadamente un 0,25 y un 1,5 % con un intervalo preferido de aproximadamente un 0,5 a un 1,0 % en peso. Una dosis inferior a un 0,25 % en peso de silicato de sodio no proporciona una mejora significativa de la resistencia a la compresión.

[0108] Se ha descubierto también que el silicato de sodio parece ayudar a controlar la reacción exotérmica inicial y el soplado de la ceniza volante viscosa y el aglomerante de citrato de sodio que se forma durante los 3-6 minutos iniciales de mezclado que se requieren para espumar la ceniza volante y el citrato de sodio.

REIVINDICACIONES

1. Composición cementosa consistente en:

100 partes en peso seco de ceniza volante de clase C;

2-3,5 partes en peso seco de una sal de metal alcalino de ácido cítrico;

5 de 0,5 a 1 parte en peso seco de silicato de sodio; y

agua.

FIGURA 1

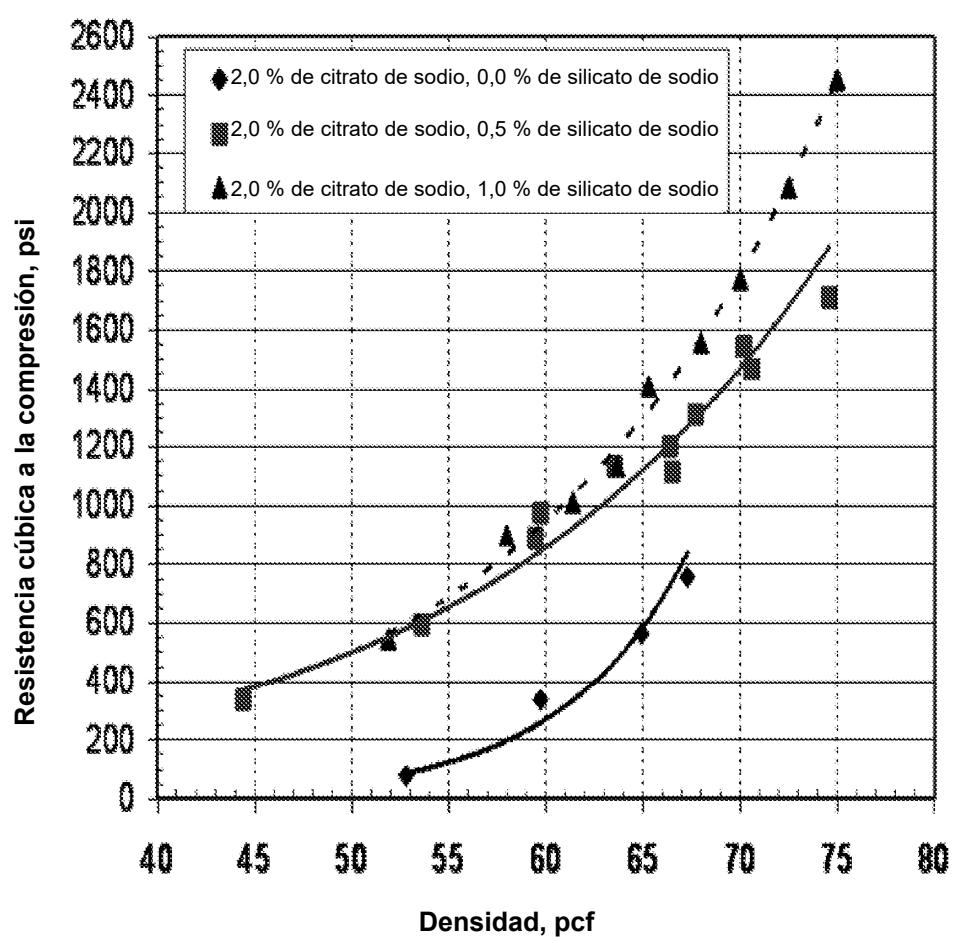


FIGURA 2