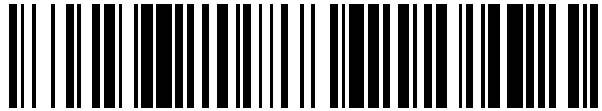


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 503 666**

51 Int. Cl.:

**C04B 28/04**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.03.2007 E 07753307 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.06.2014 EP 2001817**

54 Título: **Composiciones de hormigón ligero**

30 Prioridad:

**22.03.2006 US 387198**  
**25.10.2006 US 586120**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**07.10.2014**

73 Titular/es:

**SYNTHEON INC. (100.0%)**  
**25 Avenue A**  
**Leetsdale, PA 15056, US**

72 Inventor/es:

**GUEVARA, TRICIA;**  
**WILLIAMS, MICHAEL T.;**  
**HUGHES, RICK;**  
**KELLEY, MICHAEL R.;**  
**MADISH, JOHN K. y**  
**VAN BUSKIRK, KRISTEN**

74 Agente/Representante:

**MILTENYI, Peter**

**ES 2 503 666 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

Composiciones de hormigón ligero

**Antecedentes de la invención**

1. Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a composiciones novedosas, a materiales y a métodos para su fabricación que generalmente son útiles como agentes en la construcción y sectores de la edificación. Más específicamente, los compuestos de la presente invención pueden usarse en aplicaciones de construcción y edificación que se benefician de un material relativamente ligero, extensible, moldeable, que puede verterse, material que tiene resistencia elevada y a menudo propiedades de aislamiento mejoradas.

10 2. Descripción de la técnica anterior

En el campo de la preparación y el uso de materiales cementosos ligeros, tales como el denominado hormigón ligero, los materiales que han estado disponibles para el sector hasta la fecha han requerido generalmente la adición de diversos constituyentes para lograr una masa de hormigón resistente pero ligero que tiene una homogeneidad elevada de constituyentes y que está unido de manera uniforme a través de toda la masa.

15 Las patentes estadounidenses n.ºs 3.214.393, 3.257.338 y 3.272.765 dan a conocer mezclas de hormigón que contienen cemento, una materia inerte primaria, polímero de estireno expandido particulado y un aditivo de homogeneización y/o tensioactivo.

20 La patente estadounidense n.º 3.021.291 da a conocer un método de preparación de hormigón celular incorporando en la mezcla de hormigón, antes del colado de la mezcla, un material polimérico que se expandirá bajo la influencia de calor durante el curado. El tamaño y la forma de las partículas poliméricas no son críticos.

25 La patente estadounidense n.º 5.580.378 da a conocer un producto cementoso ligero compuesto por una mezcla cementosa acuosa que puede incluir cenizas volantes, cemento Portland, arena, cal y, como componente que mantiene el peso, partículas de poliestireno micronizadas que tienen tamaños de partícula en el intervalo de 50 a 2000  $\mu\text{m}$  y una densidad de aproximadamente 0,016  $\text{g/cm}^3$  (1  $\text{lb/ft}^3$ ). La mezcla puede verterse en productos moldeados tales como muros de cimentación, tégulas, ladrillos y similares. El producto también puede usarse como mortero de albañilería, escayola, estuco o textura.

El documento JP 9 071 449 da a conocer un hormigón ligero que incluye cemento Portland y una materia inerte ligera tal como poliestireno espumado, perlita o vermiculita como parte o todas las partes de la materia inerte. El poliestireno espumado tiene un diámetro de gránulo de 0,1-10 mm y un peso específico de 0,01-0,08.

30 Las patentes estadounidenses n.ºs 5.580.378, 5.622.556 y 5.725.652 dan a conocer productos cementosos ligeros compuestos por una mezcla cementosa acuosa que incluye cemento y esquisto expandido, arcilla, pizarra, cenizas volantes y/o cal, y un componente que mantiene el peso, que son partículas de poliestireno micronizadas que tienen tamaños de partícula en el intervalo de 50 a 2000  $\mu\text{m}$ , y está caracterizado por tener un contenido en agua en el intervalo de desde aproximadamente el 0,5% hasta el 50% v/v.

35 La patente estadounidense n.º 4.265.964 da a conocer composiciones ligeras para unidades estructurales tales como paneles de tabiquería y similares, que contienen gránulos termoplásticos expansibles de baja densidad; un material de base cementoso, tal como, yeso; un tensioactivo; un aditivo que actúa como agente de espumación para incorporar una cantidad apropiada de aire en la mezcla; un componente de formación de película; y un almidón. Los gránulos termoplásticos expansibles se expanden todo lo posible.

40 El documento WO 98 02 397 da a conocer tégulas de hormigón ligero fabricadas moldeando una composición de aglutinante hidráulico que contiene espumas de resina sintética como materia inerte y que tiene un peso específico de aproximadamente 1,6 a 2.

45 El documento WO 00/61519 da a conocer un hormigón ligero que incluye una combinación de desde alrededor del 40% al 99% de material polimérico orgánico y de desde el 1 % hasta alrededor del 60% de un agente de incorporación de aire. La combinación se usa para preparar hormigón ligero que usa materia inerte de poliestireno. Se requiere la combinación para dispersar la materia inerte de poliestireno y para mejorar la unión entre la materia inerte de poliestireno y el aglutinante cementoso de alrededor.

50 El documento WO 01/66485 da a conocer una mezcla cementosa ligera que contiene en volumen: del 5 al 80% de cemento, del 10 al 65% de partículas de poliestireno expandido; del 10 al 90% de partículas de mineral expandido; y agua suficiente para preparar una pasta con una distribución sustancialmente uniforme de poliestireno expandido tras mezclado apropiado.

La patente estadounidense n.º 6.851.235 da a conocer un bloque de construcción que incluye una mezcla de agua, cemento y perlas de espuma de poliestireno expandido (EPS) que tienen un diámetro de desde 3,18 mm (1/8 de

pulgada) hasta 9,53 mm (3/8 de pulgada) en las proporciones de desde 68 hasta 95 litros (desde 18 hasta 25 galones) de agua; desde 150 hasta 190 kg (desde 325 hasta 425 lb) de cemento; y desde 850 hasta 1400 litros (desde 30 hasta 50 ft<sup>3</sup>) de perlas preexpandidas.

5 La patente estadounidense n.º 5.913.791 da a conocer un bloque de construcción que tiene una capa de unión a base de cemento en una o ambas superficies exteriores del bloque que recibe y mantiene un elemento de sujeción penetrante tal como un clavo, un tornillo, una grapa, o similares. Una capa a base de cemento contiene agua, cemento y perlas de espuma de poliestireno expandido en las primeras proporciones y una segunda superficie exterior contiene agua, cemento y perlas de espuma de poliestireno expandido en segundas proporciones diferentes de las primeras proporciones.

10 El documento US 3.869.295 da a conocer un método de preparación de hormigón ligero y escayola que proporciona un mezclado uniforme de la materia inerte con material cementoso y otros componentes relativamente pesados. El método incluye humectar la superficie de partículas de materia inerte ligera con un medio acuoso, formar un recubrimiento sobre ésta usando material cementoso finamente dividido seco, y luego añadir más medio acuoso en una cantidad para producir una matriz de escayola u hormigón sin curar que puede conformarse de manera coherente.

15 Generalmente, la técnica anterior reconoce la utilidad del uso de polímeros expandidos, de una forma u otra, en composiciones de hormigón, para reducir el peso global de las composiciones. Los polímeros expandidos se añaden principalmente para ocupar espacio y crear vacíos en el hormigón y la cantidad de "espacio de aire" en el polímero expandido normalmente se maximiza para lograr este objetivo. Generalmente, la técnica anterior supone que las partículas de polímero expandido disminuirán la resistencia y/o la integridad estructural de composiciones ligeras de hormigón. Además, los artículos de hormigón preparados a partir de composiciones de hormigón ligero de la técnica anterior tienen propiedades físicas en el mejor de los casos inconstantes, tales como módulo de Young, conductividad térmica y resistencia a la compresión, y normalmente demuestran propiedades físicas peores que las deseables.

20 Por tanto, existe la necesidad en la técnica de composiciones de hormigón ligero que proporcionen artículos de hormigón ligero que tengan propiedades físicas predecibles y deseables que superen los problemas descritos anteriormente.

#### Sumario de la invención

30 La presente invención proporciona una composición de hormigón de premezcla ligero que contiene el 8-20 por ciento en volumen de cemento, el 20-50 por ciento en volumen de arena, el 10-31 por ciento en volumen de partículas preexpandidas, el 9-40 por ciento en volumen de materia inerte que tiene un módulo de finura mayor de 4 (materia inerte gruesa) y el 10-22 por ciento en volumen de agua, en la que la suma de los componentes usados no excede el 100 por ciento en volumen. Las partículas preexpandidas tienen un diámetro de partícula promedio de desde 0,2 mm hasta 8 mm, una densidad aparente de desde 0,02 g/cm<sup>3</sup> hasta 0,64 g/cm<sup>3</sup>, una razón de aspecto de desde 1 hasta 1,5. El valor de asentamiento de la composición medido según la norma ASTM C143 es de desde 5,1 hasta 20,3 cm (desde 2 hasta 8 pulgadas). Tras solidificarse la composición de hormigón de premezcla ligero durante 28 días, tiene una resistencia a la compresión de al menos 9,7 MPa (1400 psi) tal como se somete a prueba según la norma ASTM C39.

#### Descripción de los dibujos

40 La figura 1 es una micrografía electrónica de barrido de la superficie de una perla preexpandida usada en la invención;

la figura 2 es una micrografía electrónica de barrido del interior de una perla preexpandida usada en la invención;

la figura 3 es una micrografía electrónica de barrido de la superficie de una perla preexpandida usada en la invención;

45 la figura 4 es una micrografía electrónica de barrido del interior de una perla preexpandida usada en la invención;

la figura 5 es una micrografía electrónica de barrido de la superficie de una perla preexpandida usada en la invención; y

la figura 6 es una micrografía electrónica de barrido del interior de una perla preexpandida usada en la invención.

#### Descripción detallada de la invención

50 Aparte de en los ejemplos de funcionamiento o cuando se indique lo contrario, todos los números o expresiones que se refieren a cantidades de componentes, condiciones de reacción, etc. deben interpretarse al menos a la luz del número de dígitos significativos notificados y aplicando técnicas de redondeo habituales.

Los valores numéricos expuestos en los ejemplos específicos se notifican de la manera más precisa posible.

Cualquier valor numérico, sin embargo, contiene de manera inherente determinados errores que resultan necesariamente de la desviación estándar encontrada en sus mediciones de prueba respectivas.

5 Tal como se usa en el presente documento, el término "partículas que contienen espacios vacíos" se refiere a partículas de polímero expandido, partículas preexpandidas y otras partículas que incluyen cámaras de tipo celular y/o en panal de abejas al menos algunas de las cuales están completamente encerradas, que contienen aire o un gas específico o combinación de gases.

10 Tal como se usan en el presente documento, los términos "cemento" y "cementoso" se refieren a materiales que unen un hormigón u otro producto monolítico, no al propio producto final. En particular, cemento hidráulico se refiere a un material que se solidifica y se endurece experimentando una reacción de hidratación en presencia de una cantidad suficiente de agua para producir un producto endurecido final.

15 Tal como se usa en el presente documento, el término "mezcla cementosa" se refiere a una composición que incluye un material de cemento, y uno o más productos de relleno, adyuvantes u otras materias inertes y/o materiales conocidos en la técnica que forman una suspensión espesa que se endurece tras el curado. Los materiales de cemento incluyen, pero no se limitan a, cemento hidráulico, yeso, composiciones de yeso, cal y similares y pueden incluir o no agua. Los adyuvantes y productos de relleno incluyen, pero no se limitan a arena, arcilla, cenizas volantes, materia inerte, agentes de incorporación de aire, colorantes, reductores de agua/superplastificantes, y similares.

20 Tal como se usa en el presente documento, el término "hormigón" se refiere a un material de construcción resistente, duro, preparado mezclando una mezcla cementosa con agua suficiente para provocar que la mezcla cementosa solidifique y una toda la masa.

Tal como se usa en el presente documento, el término "premezcla" se refiere a hormigón que está producido en lotes para enviarlo desde una planta central en lugar de mezclarse en el lugar de trabajo. Normalmente, un lote de premezcla se prepara a medida según las especificaciones de un proyecto de construcción particular y se envía en un estado plástico, habitualmente en camiones cilíndricos a menudo denominados "hormigoneras".

25 Tal como se usa en el presente documento, todos los porcentajes en volumen y en peso prevén el uso de un determinado volumen o peso de agua. Las cantidades particulares cuando se refieren a una composición de mezcla seca o de premezcla estarían en las mismas proporciones que prevén que se añadirá la cantidad proporcional de agua a la mezcla seca o a la premezcla cuando finalmente se formule, se mezcle y se prepare para su uso de otro modo.

30 Todos los intervalos de composición expresados en el presente documento están limitados en total a y no exceden el 100 por ciento (porcentaje en volumen o porcentaje en peso) en la práctica. Cuando pueden estar presentes múltiples componentes en una composición, la suma de las cantidades máximas de cada componente puede exceder el 100 por ciento, entendiendo que, y como los expertos en la técnica entienden fácilmente, las cantidades de los componentes usados realmente se ajustarán al máximo del 100 por ciento.

35 Tal como se usan en el presente documento, se pretende que los términos "(met)acrílico" y "(met)acrilato" incluyan derivados del ácido tanto acrílico como metacrílico, tales como los ésteres alquídicos correspondientes denominados a menudo acrilatos y (met)acrilatos, que pretende abarcar el término "(met)acrilato".

Tal como se usa en el presente documento, se pretende que el término "polímero" abarque, sin limitación, homopolímeros, copolímeros, copolímeros de injerto, y mezclas y combinaciones de los mismos.

40 En su contexto más amplio, la presente invención proporciona un método de control de la incorporación de aire en un artículo conformado en línea con las reivindicaciones. El artículo conformado puede prepararse a partir de cualquier material que puede conformarse, en el que las partículas que contienen espacios vacíos se usan para incorporar aire de manera de apoyo a la estructura. Puede usarse cualquier material que puede conformarse adecuado, siempre que las partículas que contienen espacios vacíos no se dañen durante el proceso de conformación.

45 Tal como se usa en el presente documento, el término "material compuesto" se refiere a un material sólido que incluye dos o más sustancias que tienen características físicas diferentes y en el que cada sustancia mantiene su identidad mientras contribuye a las propiedades deseables del conjunto. Como ejemplo no limitativo, los materiales compuestos pueden incluir hormigón dentro del cual se han dispersado e incrustado de manera uniforme perlas preexpandidas.

50 Por tanto, la presente invención se refiere a métodos de control de la incorporación de aire en los que se conforma un artículo combinando un material que puede conformarse y partículas que contienen espacios vacíos para proporcionar una mezcla en línea con las reivindicaciones y colocar la mezcla en un molde.

55 Aunque la solicitud da a conocer en detalle mezclas cementosas con partículas de polímero, los expertos en la técnica pueden aplicar las realizaciones y los conceptos descritos en el presente documento a las otras aplicaciones

dadas a conocer anteriormente.

La presente invención se refiere a composiciones de hormigón ligero (LWC) que incluyen una mezcla cementosa y partículas preexpandidas. Sorprendentemente, se ha encontrado que el tamaño, la composición, la estructura y las propiedades físicas de las partículas preexpandidas y en algunos casos sus precursores de perlas de resina, pueden afectar en gran medida a las propiedades físicas de artículos de LWC preparados a partir de las composiciones de LWC de la invención.

Las partículas preexpandidas, que opcionalmente pueden ser partículas de polímero expandido, están presentes en la composición de LWC a un nivel de al menos el 10, en algunos casos de al menos el 15 y en otros casos de al menos el 20 por ciento en volumen y hasta del 31 por ciento en volumen basándose en el volumen total de la composición de LWC. La cantidad variará dependiendo de las propiedades físicas particulares deseadas en un artículo de LWC terminado. La cantidad de partículas preexpandidas en la composición de LWC puede ser de cualquier valor o puede oscilar entre cualquiera de los valores mencionados anteriormente.

Las partículas de polímero preexpandido pueden incluir cualquier partícula derivada de cualquier material termoplástico expansible adecuado. Las partículas reales se seleccionan basándose en las propiedades físicas particulares deseadas en un artículo de LWC terminado. Como ejemplo no limitativo, las partículas preexpandidas pueden incluir uno o más polímeros seleccionados de homopolímeros de monómeros aromáticos de vinilo; copolímeros de al menos un monómero aromático de vinilo con uno o más de divinilbenceno, dienos conjugados, metacrilatos de alquilo, acrilatos de alquilo, acrilonitrilo y/o anhídrido maleico; poliolefinas; policarbonatos; poliésteres; poliamidas; cauchos naturales; cauchos sintéticos; y combinaciones de los mismos.

En una realización de la invención, las partículas de polímero expandido incluyen homopolímeros o copolímeros termoplásticos seleccionados de homopolímeros derivados de monómeros aromáticos de vinilo incluyendo estireno, isopropilbistireno, alfa-metilbistireno, metilbistirenos nucleares, clorobistireno, terc-butilbistireno, y similares, así como copolímeros preparados mediante la copolimerización de al menos un monómero aromático de vinilo tal como se describió anteriormente con uno o más de otros monómeros, siendo ejemplos no limitativos divinilbenceno, dienos conjugados (siendo ejemplos no limitativos butadieno, isopreno, 1,3- y 2,4-hexadieno), metacrilatos de alquilo, acrilatos de alquilo, acrilonitrilo y anhídrido maleico, en las que el monómero aromático de vinilo está presente en al menos el 50% en peso del copolímero. En una realización de la invención, se usan polímeros estirénicos, particularmente poliestireno. Sin embargo, pueden usarse otros polímeros adecuados, tales como poliolefinas (por ejemplo, polietileno, polipropileno), policarbonatos, poli(óxidos de fenileno), y mezclas de los mismos.

En una realización particular de la invención, las partículas de polímero son partículas de poliestireno (EPS) expansible. Estas partículas pueden estar en forma de perlas, gránulos u otras partículas convenientes para operaciones de expansión y moldeo.

En la presente invención, partículas polimerizadas en un procedimiento de suspensión, que son perlas de resina esencialmente esféricas, son útiles como partículas de polímero o para preparar partículas de polímero expandido. En una realización de la invención, perlas de resina (no expandida) que contienen cualquiera de los polímeros o las composiciones de polímero descritas en el presente documento son adecuadas para preparar partículas de polímero expandido en línea con las reivindicaciones cuando tienen un tamaño de partícula de al menos 0,2, en algunas situaciones de al menos 0,33, en algunos casos de al menos 0,35, en otros casos de al menos 0,4, en algunos casos de al menos 0,45 y en otros casos de al menos 0,5 mm. Además, las perlas de resina pueden tener un tamaño de partícula de hasta 2, en algunas situaciones de hasta 1,5 y en otras situaciones de hasta 1 mm. En esta realización, las propiedades físicas de artículos de LWC, preparados según la invención, tienen propiedades físicas inconstantes o no deseables cuando se usan las perlas de resina que tienen tamaños de partícula fuera de los intervalos descritos anteriormente para preparar las partículas de polímero expandido en línea con las reivindicaciones. Las perlas de resina usadas en esta realización pueden ser de cualquier valor o pueden oscilar entre cualquiera de los valores indicados anteriormente.

Las perlas de resina o partículas termoplásticas expansibles pueden impregnarse usando cualquier método convencional con un agente de soplado adecuado. Como ejemplo no limitativo, la impregnación puede lograrse añadiendo el agente de soplado a la suspensión acuosa durante la polimerización del polímero, o alternativamente resuspendiendo las partículas de polímero en un medio acuoso y luego incorporando el agente de soplado tal como enseña la patente estadounidense n.º 2.983.692. Puede usarse cualquier material gaseoso o material que producirá gases con el calentamiento como agente de soplado. Los agentes de soplado convencionales incluyen hidrocarburos alifáticos que contienen de 4 a 6 átomos de carbono en la molécula, tales como butanos, pentanos, hexanos, y los hidrocarburos halogenados, por ejemplo, CFC y HCFC, que hierven a una temperatura por debajo del punto de reblandecimiento del polímero elegido. También pueden usarse mezclas de estos agentes de soplado de hidrocarburo alifático.

Alternativamente, puede combinarse agua con estos agentes de soplado de hidrocarburo alifático o puede usarse agua como único agente de soplado tal como enseñan patentes estadounidenses n.ºs 6.127.439; 6.160.027; y 6.242.540; en estas patentes, se usan agentes de retención de agua. El porcentaje en peso de agua para su uso como agente de soplado puede oscilar entre el 1 y el 20%.

- Las partículas de polímero o perlas de resina impregnadas se expanden opcionalmente hasta una densidad aparente de al menos 1,25 lb/ft<sup>3</sup> (0,02 g/cm<sup>3</sup>), en algunos casos 1,75 lb/ft<sup>3</sup> (0,028 g/cm<sup>3</sup>), en algunas circunstancias, al menos 2 lb/ft<sup>3</sup> (0,032 g/cm<sup>3</sup>) en otras circunstancias de al menos 3 lb/ft<sup>3</sup> (0,048 g/cm<sup>3</sup>) y en circunstancias particulares al menos 3,25 lb/ft<sup>3</sup> (0,052 g/cm<sup>3</sup>) o 3,5 lb/ft<sup>3</sup> (0,056 g/cm<sup>3</sup>). Cuando se usan perlas de resina no expandida, pueden usarse perlas de mayor densidad aparente. Como tal, la densidad aparente puede ser de hasta 40 lb/ft<sup>3</sup> (0,64 g/cm<sup>3</sup>). En otras situaciones, las partículas de polímero están expandidas al menos parcialmente y la densidad aparente puede ser de hasta 35 lb/ft<sup>3</sup> (0,56 g/cm<sup>3</sup>), en algunos casos de hasta 30 lb/ft<sup>3</sup> (0,48 g/cm<sup>3</sup>), en otros casos de hasta 25 lb/ft<sup>3</sup> (0,4 g/cm<sup>3</sup>), en algunos casos de hasta 20 lb/ft<sup>3</sup> (0,32 g/cm<sup>3</sup>), en otros casos de hasta 15 lb/ft<sup>3</sup> (0,24 g/cm<sup>3</sup>) y en determinadas circunstancias de hasta 10 lb/ft<sup>3</sup> (0,16 g/cm<sup>3</sup>). La densidad aparente de las partículas de polímero puede ser de cualquier valor u oscilar entre cualquiera de los valores indicados anteriormente. La densidad aparente de las partículas de polímero, perlas de resina y/o partículas preexpandidas se determina pesando un volumen conocido de partículas de polímero, perlas y/o partículas preexpandidas (envejecidas 24 horas en condiciones ambientales).
- La etapa de expansión se lleva a cabo convencionalmente calentando las perlas impregnadas mediante cualquier medio de calentamiento convencional, tal como vapor, aire caliente, agua caliente o calor radiante. Un método generalmente aceptado para lograr la preexpansión de partículas termoplásticas impregnadas se enseña en la patente estadounidense n.º 3.023.175.
- Las partículas de polímero impregnadas pueden ser partículas de polímero celulares espumadas tal como se enseña en la solicitud publicada estadounidense n.º 2002-0117769 A1. Las partículas celulares espumadas pueden ser poliestireno que se expande y contiene un agente de soplado volátil a un nivel de menos del 14% en peso, en algunas situaciones de menos del 6% en peso, en algunos casos oscila entre aproximadamente el 2% en peso y aproximadamente el 5% en peso, y en otros casos oscila entre aproximadamente el 2,5% en peso y aproximadamente el 3,5% en peso basándose en el peso del polímero.
- Un interpolímero de una poliolefina y monómeros aromáticos de vinilo polimerizados *in situ* que pueden incluirse en las partículas de polímero o la resina termoplástica expandida según la invención se dan a conocer en las patentes estadounidenses n.ºs 4.303.756, 4.303.757 y 6.908.949.
- Las partículas de polímero pueden incluir componentes y aditivos habituales, tales como retardadores de llama, pigmentos, tintes, colorantes, plastificantes, agentes de desmoldeo, estabilizantes, absorbentes de luz ultravioleta, agentes de prevención de moho, antioxidantes, rodenticidas, repelentes de insectos, etc. Los pigmentos típicos incluyen, sin limitación, pigmentos inorgánicos tales como negro de carbón, grafito, grafito expansible, óxido de zinc, dióxido de titanio y óxido de hierro, así como pigmentos orgánicos tales como rojos y violetas de quinacridona y azules y verdes de ftalocianina de cobre.
- En una realización particular de la invención, el pigmento es negro de carbón, siendo un ejemplo no limitativo de un material de este tipo EPS SILVER®, disponible de NOVA Chemicals Inc.
- En otra realización particular de la invención, el pigmento es grafito, siendo un ejemplo no limitativo de un material de este tipo NEOPOR®, disponible de BASF Aktiengesellschaft Corp., Ludwigshafen am Rhein, Alemania.
- Cuando se incluyen materiales tales como negro de carbón y/o grafito en las partículas de polímero, se proporcionan propiedades de aislamiento mejoradas, tal como se muestra a modo de ejemplo mediante valores de R superiores para materiales que contienen negro de carbón o grafito (tal como se determina usando la norma ASTM - C518). Como tal, los valores de R de las partículas de polímero expandido que contienen negro de carbón y/o grafito o materiales preparados a partir de tales partículas de polímero son superiores en al menos un 5% a los observados para partículas o artículos resultantes que no contienen negro de carbón y/o grafito.
- Las partículas de polímero expandido o partículas preexpandidas pueden tener un tamaño de partícula promedio de al menos 0,2, en algunas circunstancias de al menos 0,3, en otras circunstancias de al menos 0,5, en algunos casos de al menos 0,75, en otros casos de al menos 0,9 y en algunos casos de al menos 1 mm y pueden ser de hasta 8, en algunas circunstancias de hasta 6, en otras circunstancias de hasta 5, en algunos casos de hasta 4, en otros casos de hasta 3 y en algunos casos de hasta 2,5 mm. Cuando el tamaño de las partículas de polímero expandido o partículas preexpandidas es demasiado pequeño o demasiado grande, las propiedades físicas de artículos de LWC preparados usando la presente composición de LWC pueden ser indeseables. El tamaño de partícula promedio de las partículas de polímero expandido o partículas preexpandidas puede ser de cualquier valor y puede oscilar entre cualquiera de los valores indicados anteriormente. El tamaño de partícula promedio de las partículas de polímero expandido o partículas preexpandidas puede determinarse usando técnicas de difracción de láser o mediante tamizado según el tamaño de malla usando métodos de separación mecánica bien conocidos en la técnica.
- En una realización de la invención, las partículas preexpandidas tienen un grosor de pared celular promedio mínimo, que ayuda a proporcionar propiedades físicas deseables a artículos de LWC preparados usando la presente composición de LWC. El grosor de pared celular promedio y las dimensiones celulares internas pueden determinarse usando técnicas de microscopía electrónica de barrido conocidas en la técnica. Las partículas de polímero expandido pueden tener un grosor de pared celular promedio de al menos 0,15 µm, en algunos casos de al

menos 0,2  $\mu\text{m}$  y en otros casos de al menos 0,25  $\mu\text{m}$ . Sin querer limitarse a ninguna teoría particular, se cree que un grosor de pared celular promedio deseable resulta cuando las perlas de resina que tienen las dimensiones descritas anteriormente se expanden hasta las densidades descritas anteriormente.

5 En una realización de la invención, las perlas de polímero se expanden para formar las partículas de polímero expandido de manera que se logra un grosor de pared celular deseable tal como se describió anteriormente. Aunque muchas variables pueden afectar al grosor de pared, es deseable, en esta realización, limitar la expansión de la perla de polímero para lograr un grosor de pared deseado y la resistencia de partícula de polímero expandido resultante. La optimización de etapas de procesamiento y agentes de soplado puede expandir las perlas de polímero hasta un mínimo de 1,25 lb/ft<sup>3</sup> (0,02 g/cm<sup>3</sup>). Esta propiedad de la densidad aparente del polímero expandido puede describirse mediante lb/ft<sup>3</sup> o mediante un factor de expansión (cm<sup>3</sup>/g).

10 Tal como se usa en el presente documento, el término "factor de expansión" se refiere al volumen que ocupa un peso dado de perla de polímero expandido, expresado normalmente como cm<sup>3</sup>/g, y en la presente invención, normalmente un valor de hasta 50 cm<sup>3</sup>/g.

15 Con el fin de proporcionar partículas de polímero expandido con resistencia y grosor de pared celular deseables, las partículas de polímero expandido no se expanden hasta su factor de expansión máxima; como tal, una expansión extrema proporciona partículas con paredes celulares indeseablemente delgadas y resistencia insuficiente. Además, las perlas de polímero pueden expandirse al menos al 5%, en algunos casos al menos al 10% y en otros casos al menos al 15% de su factor de expansión máxima. Sin embargo, para no provocar que el grosor de la pared celular sea demasiado delgado, las perlas de polímero se expanden hasta el 80%, en algunos casos hasta el 75%, en otros casos hasta el 70%, en algunos casos hasta el 65%, en otros casos hasta el 60%, en algunas circunstancias hasta el 55%, y en otras circunstancias hasta el 50% de su factor de expansión máxima. Las perlas de polímero pueden expandirse hasta cualquier grado indicado anteriormente o la expansión pueden oscilar entre cualquiera de los valores indicados anteriormente. Normalmente, las perlas de polímero o partículas preexpandidas no se expanden adicionalmente cuando se formulan para dar las presentes composiciones cementosas y no se expanden adicionalmente mientras las composiciones cementosas se solidifican, se curan y/o se endurecen.

20 Tal como se usa en el presente documento, el término "preexpandido" se refiere a una partícula resina y/o perla expansible, que se ha expandido, pero que no se ha expandido hasta su factor de expansión máxima.

25 En realizaciones de la invención, las partículas preexpandidas pueden tener un factor de expansión de al menos 10 y en algunos casos de al menos 12 cm<sup>3</sup>/g y puede ser de hasta 70, en algunos casos de hasta 60 cm<sup>3</sup>/g y en otros casos de hasta 50 cm<sup>3</sup>/g. El factor de expansión de las partículas preexpandidas puede ser de cualquier valor u oscilar entre cualquiera de los valores indicados anteriormente.

30 Las partículas preexpandidas tienen normalmente una parte interior en panal de abejas o estructura celular y una superficie polimérica continua generalmente lisa como superficie externa, es decir, una capa externa sustancialmente continua. La superficie continua lisa puede observarse usando técnicas de microscopio electrónico de barrido (MEB) a 1000X aumentos. Las observaciones de MEB no indican la presencia de orificios en la superficie externa de las partículas preexpandidas, tal como se muestra en las figuras 1, 3 y 5. Cortando en secciones las partículas preexpandidas y tomando observaciones de MEB se revela la estructura generalmente en panal de abejas del interior de las partículas preexpandidas, tal como se muestra en las figuras 2, 4 y 6.

35 Las partículas de polímero pueden tener cualquier forma en sección transversal que permita proporcionar propiedades físicas deseables en artículos de LWC. Las partículas de polímero expandidas pueden tener una forma en sección transversal circular, oval o elíptica. En la invención, las partículas preexpandidas tienen una razón de aspecto de 1, en algunos casos de al menos 1 y la razón de aspecto puede ser de hasta 1,5. La razón de aspecto de las partículas preexpandidas puede ser de cualquier valor u oscilar entre cualquiera de los valores indicados anteriormente.

40 La mezcla cementosa está presente en la composición de LWC a un nivel del 8 al 20 por ciento en volumen. La mezcla cementosa puede estar presente en la composición de LWC a cualquier nivel indicado anteriormente y puede oscilar entre cualquiera de los niveles indicados anteriormente.

45 En una realización de la invención, la mezcla cementosa incluye una composición de cemento hidráulico. La composición de cemento hidráulico puede estar presente a un nivel de al menos el 3, en determinadas situaciones de al menos el 5, en algunos casos de al menos el 8 y en otros casos de al menos el 9 por ciento en volumen y puede estar presente a niveles de hasta el 40, en algunos casos de hasta el 35, en otros casos de hasta el 30, y en algunos casos de hasta el 20 por ciento en volumen de la mezcla cementosa. La mezcla cementosa puede incluir la composición de cemento hidráulico a cualquiera de los niveles indicados anteriormente o a niveles que oscilan entre cualquiera de los niveles indicados anteriormente.

50 En una realización particular de la invención, la composición de cemento hidráulico puede ser de uno o más materiales seleccionados de cementos Portland, cementos de puzolana, cementos de yeso, cementos aluminosos, cementos de magnesia, cementos de sílice y cementos de escoria. Además, en la invención pueden usarse diversos tipos de cemento tal como se define en la norma ASTM C150, cuyos ejemplos no limitativos incluyen tipo I (para su

5 uso cuando no se requieren las propiedades especiales de otros tipos de cemento), tipo IA (para cemento que incorpora aire de calidad de tipo I), tipo II (para su uso general cuando se desea resistencia moderada a sulfatos o calor de hidratación moderado), tipo IIA (para cemento que incorpora aire de calidad de tipo II), tipo III (para su uso cuando se desea alta resistencia temprana), tipo IIIA (para cemento que incorpora aire de calidad de tipo III) y tipo IV (para su uso cuando se desea un calor de hidratación bajo), tipo V (para su uso cuando se desea alta resistencia a sulfatos).

En una realización particular de la invención la composición de cemento es cemento Portland de tipo I.

10 En una realización de la invención, la mezcla cementosa puede incluir opcionalmente otras materias inertes y adyuvantes conocidos en la técnica incluyendo pero sin limitarse a arena, materia inerte adicional, plastificantes y/o fibras. Las fibras adecuadas incluyen, pero no se limitan a fibras de vidrio, carburo de silicio, fibras de aramida, poliéster, fibras de carbono, fibras de material compuesto, fibra de vidrio, y combinaciones de los mismos, así como tejido que contiene las fibras mencionadas anteriormente y tejido que contiene combinaciones de las fibras mencionadas anteriormente.

15 Los ejemplos no limitativos de fibras que pueden usarse en la invención incluyen MeC-GRID® y C-GRID® disponibles de TechFab, LLC, Anderson, SC; KEVLAR® disponible de E.I. du Pont de Nemours and Company, Wilmington DE; TWARON® disponible de Teijin Twaron B.V., Arnheim, Países Bajos; SPECTRA® disponible de Honeywell International Inc., Morristown, NJ; DACRON® disponible de Invista North America S.A.R.L. Corp. Wilmington, DE; y VECTRAN® disponible de Hoechst Cellanese Corp., Nueva York, NY. Las fibras pueden usarse en una estructura de malla, entrelazadas, entretejidas y orientadas en cualquier dirección deseable.

20 En una realización particular de la invención, las fibras pueden constituir al menos el 0,1, en algunos casos al menos el 0,5, en otros casos al menos el 1 y en algunos casos al menos el 2 por ciento en volumen de la composición de LWC. Además, las fibras pueden proporcionar hasta el 10, en algunos casos hasta el 8, en otros casos hasta el 7 y en algunos casos hasta el 5 por ciento en volumen de la composición de LWC. La cantidad de fibras se ajusta para proporcionar las propiedades deseadas a la composición de LWC. La cantidad de fibras puede ser de cualquier valor u oscilar entre cualquiera de los valores indicados anteriormente.

25 Además de esta realización, la materia inerte adicional puede incluir, pero no se limita a, uno o más materiales seleccionados de materias inertes comunes tales como arena, piedra y grava. Las materias inertes ligeras comunes pueden incluir escoria de alto horno granulada triturada, cenizas volantes, vidrio, sílice, pizarra expandida y arcilla; materias inertes aislantes tales como piedra pómez, perlita, vermiculita, escoria volcánica y diatomita; materia inerte de LWC tal como esquisto expandido, pizarra expandida, arcilla expandida, escoria expandida, sílice pirogénica, materia inerte sedimentada, cenizas volantes extruidas, toba y macrolita; y materia inerte de albañilería tal como esquisto expandido, arcilla, pizarra, escoria de alto horno expandida, cenizas volantes sinterizadas, cenizas de hulla, piedra pómez, escoria volcánica y materia inerte sedimentada.

30 Como ejemplos no limitativos, la piedra puede incluir roca de río, piedra caliza, granito, arenisca, arenisca ferruginosa, conglomerado, calcita, dolomía, serpentina, travertina, pizarra, piedra caliza azul, gneis, arenisca cuarcítica, cuarcita y combinaciones de las mismas.

35 Cuando se incluyen, las otras materias inertes y adyuvantes están presentes en la mezcla cementosa a un nivel de al menos el 0,5, en algunos casos de al menos el 1, en otros casos de al menos el 2,5, en algunos casos de al menos el 5 y en otros casos de al menos el 10 por ciento en volumen de la mezcla cementosa. Además, las otras materias inertes y adyuvantes pueden estar presentes a un nivel de hasta el 95, en algunos casos de hasta el 90, en otros casos de hasta el 85, en algunos casos de hasta el 65 y en otros casos de hasta el 60 por ciento en volumen de la mezcla cementosa. Las otras materias inertes y adyuvantes pueden estar presentes en la mezcla cementosa a cualquiera de los niveles indicados anteriormente o pueden oscilar entre cualquiera de los niveles indicados anteriormente.

40 En la invención, la arena constituye hasta al menos el 20 por ciento en volumen de la composición de LWC. Además, la arena proporciona hasta el 50, en algunos casos hasta el 45, en otros casos hasta el 40 y en algunos casos hasta el 35 por ciento en volumen de la composición de LWC. La cantidad de arena se ajusta para proporcionar propiedades deseadas a la composición de LWC. La cantidad de arena y/o otras materias inertes finas puede ser de cualquier valor u oscilar entre cualquiera de los valores indicados anteriormente.

45 En la invención, la materia inerte gruesa (materia inerte que tiene un valor de módulo de finura mayor de 4) supone al menos el 9, y en otros casos al menos el 12 por ciento en volumen de la composición de LWC. Además, la materia inerte gruesa proporciona hasta el 40, en algunos casos hasta el 35, en otros casos hasta el 30 y en algunos casos hasta el 25 por ciento en volumen de la composición de LWC. La cantidad de materia inerte gruesa se ajusta para proporcionar propiedades deseadas a la composición de LWC. La cantidad de arena de materia inerte gruesa puede ser de cualquier valor u oscilar entre cualquiera de los valores indicados anteriormente.

50 En realizaciones de la invención, las composiciones de hormigón ligero pueden contener uno o más aditivos, siendo ejemplos no limitativos de tales agentes antiespumantes, agentes impermeabilizantes, agentes dispersantes, aceleradores de la solidificación, retardadores de la solidificación, agentes plastificantes, agentes superplastificantes,



reductores de agua, agentes de unión, agentes de disminución del punto de congelación, agentes de mejora de la adhesividad y colorantes. Los aditivos están presentes normalmente a menos del uno por ciento en peso con respecto al peso total de la composición, pero pueden estar presente a desde el 0,1 hasta el 3 por ciento en peso.

5 Los agentes dispersantes o plastificantes adecuados que pueden usarse en la invención incluyen, pero no se limitan a, hexametáfosfato, tripolfosfato, poli(sulfonato de naftaleno), poliamina sulfonatada y combinaciones de los mismos.

Los agentes plastificantes adecuados que pueden usarse en la invención incluyen, pero no se limitan a, ácidos polihidroxicarboxílicos o sales de los mismos, policarboxilatos o sales de los mismos; lignosulfonatos, polietilenglicoles, y combinaciones de los mismos.

10 Los agentes superplastificantes adecuados que pueden usarse en la invención incluyen, pero no se limitan a, sales de metales alcalinos o alcalinotérreos de sulfonatos de lignina; lignosulfonatos, sales de metales alcalinos o alcalinotérreos de condensados de formaldehído/ácido sulfónico de naftaleno altamente condensados; poli(sulfonatos de naftaleno), sales de metales alcalinos o alcalinotérreos de uno o más policarboxilatos (tales como poli(met)acrilatos y los copolímeros en peine de policarboxilato descritos en la patente estadounidense n.º 6.800.129,); sales de metales alcalinos o alcalinotérreos de condensados de melamina/formaldehído/sulfito; ésteres de ácido sulfónico; ésteres de hidratos de carbono; y combinaciones de los mismos.

20 Los ejemplos no limitativos de reductores de agua adecuados incluyen lignosulfonatos, condensados de sulfonato de naftaleno sódico/formaldehído, resinas de formaldehído-melamina sulfonatadas, copolímeros de vinilo sulfonatados, resinas de urea y sales de ácidos hidroxí o polihidroxicarboxílicos, una mezcla 90/10 p/p de polímeros de la sal de sodio de ácido naftalenosulfónico, parcialmente condensada con formaldehído y gluconato de sodio tal como se describe en la patente estadounidense n.º 3.686.133, y combinaciones de los mismos.

25 Los ejemplos de agentes de unión adecuados incluyen materiales que pueden ser o bien orgánicos o bien inorgánicos y son blandos y moldeables recién preparados pero se solidifican para formar un sólido duro, infusible tras el curado, o bien mediante acción hidráulica o mediante reticulación química. Los ejemplos no limitativos de tales materiales pueden incluir materiales orgánicos tales como caucho, poli(cloruro de vinilo), poli(acetato de vinilo), compuestos acrílicos, copolímeros de estireno-butadieno, y diversos polímeros en polvo.

30 Los aceleradores de la solidificación adecuados que pueden usarse en la invención incluyen, pero no se limitan a sales de cloruro solubles (tales como cloruro de calcio), trietanolamina, paraformaldehído, sales de formiato solubles (tales como formiato de calcio), hidróxido de sodio, hidróxido de potasio, carbonato de sodio, sulfato de sodio,  $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ , sulfato de sodio, sulfato de aluminio, sulfato de hierro, los condensados de aldehído alifático de nitrato de metales alcalinos/hidrocarburo aromático sulfonatado dados a conocer en la patente estadounidense n.º 4.026.723, los aceleradores de tensioactivos solubles en agua dados a conocer en la patente estadounidense n.º 4.298.394, los aceleradores de derivados de metilol de aminoácidos dados a conocer en la patente estadounidense n.º 5.211.751, y las mezclas de sales de ácido tiosulfónico, alcanolaminas y sales de ácido nítrico dadas a conocer en la patente estadounidense n.º de re. 35.194, y combinaciones de las mismas.

40 Los retardadores de la solidificación adecuados que pueden usarse en la invención incluyen, pero no se limitan a lignosulfonatos, ácidos hidroxicarboxílicos (tales como ácido glucónico, ácido cítrico, ácido tartárico, ácido maleico, ácido salicílico, ácido glucoheptónico, ácido arabónico, ácido, y sales orgánicas o inorgánicas de los mismos tales como sales de sodio, potasio, calcio, magnesio, amonio y trietanolamina), ácido cardónico, azúcares, azúcares modificados, fosfatos, boratos, fluoruros de silicio, bromato de calcio, sulfato de calcio, sulfato de sodio, monosacáridos tales como glucosa, fructosa, galactosa, sacarosa, xilosa, apiosa, ribosa y azúcar invertido, oligosacáridos tales como disacáridos y trisacáridos, oligosacáridos tales como dextrina, polisacáridos tales como dextrano, y otros sacáridos tales como melazas que los contienen; alcoholes de azúcar tales como sorbitol; silicofluoruro de magnesio; ácido fosfórico y sales de los mismos, o ésteres de borato; ácidos aminocarboxílicos y sales de los mismos; proteínas solubles en álcali; ácido húmico; ácido tánico; fenoles; alcoholes polihidroxilados tales como glicerol; ácidos fosfónicos y derivados de los mismos, tales como ácido aminotri(metilenfosfónico), ácido 1-hidroxietiliden-1,1-difosfónico, ácido etilendiaminatetra(metilenfosfónico), ácido dietilentriamino-penta(metilenfosfónico), y sales de metales alcalinos o de metales alcalinotérreos de los mismos, y combinaciones de los retardadores de la solidificación indicados anteriormente.

50 Los agentes antiespumantes adecuados que pueden usarse en la invención incluyen, pero no se limitan a agentes antiespumantes a base de silicona (tales como dimetilpolisiloxano, aceite de dimetilsilicona, pasta de silicona, emulsiones de silicona, polisiloxanos con grupos orgánicos modificados (poliorganosiloxanos tales como dimetilpolisiloxano), aceites de fluorosilicona, etc.), alquilfosfatos (tales como tributilfosfato, octilfosfato de sodio, etc.), agentes antiespumantes a base de aceites minerales (tales como queroseno, parafina líquida, etc.), agentes antiespumantes a base de grasa o aceite (tales como aceites animales o vegetales, aceite de sésamo, aceite de ricino, aductos de óxido de alquileno derivados de a partir de los mismos, etc.), agentes antiespumantes a base de ácidos grasos (tales como ácido oleico, ácido esteárico, y aductos de óxido de alquileno derivados a partir de los mismos, etc.), agentes antiespumantes a base de ésteres de ácidos grasos (tales como monoricinolato de glicerol, derivados de ácido alquenilsuccínico, monolaurato de sorbitol, trioleato de sorbitol, ceras naturales, etc.), agentes

antiespumantes de tipo oxialquileno, agentes antiespumantes a base de alcohol: alcohol octílico, alcohol hexadecílico, alcoholes de acetileno, glicoles, etc.), agentes antiespumantes a base de amida (tales como poliaminas de acrilato, etc.), agentes antiespumantes a base de sales de metales (tales como estearato de aluminio, oleato de calcio, etc.) y combinaciones de los agentes antiespumantes descritos anteriormente.

- 5 Los agentes de disminución del punto de congelación adecuados que pueden usarse en la invención incluyen, pero no se limitan a alcohol etílico, cloruro de calcio, cloruro de potasio, y combinaciones de los mismos.

Los agentes de mejora de la adhesividad adecuados que pueden usarse en la invención incluyen, pero no se limitan a poli(acetato de vinilo), estireno-butadieno, homopolímeros y copolímeros de ésteres de (met)acrilato, y combinaciones de los mismos.

- 10 Los agentes impermeabilizantes o repelentes del agua adecuados que pueden usarse en la invención incluyen, pero no se limitan a ácidos grasos (tales como ácido esteárico o ácido oleico), ésteres de ácido graso de alquilo inferior (tales como estearato de butilo), sales de ácido graso (tales como estearato de calcio o de aluminio), siliconas, emulsiones de cera, resinas de hidrocarburo, betún, grasas y aceites, siliconas, parafinas, asfalto, ceras, y combinaciones de los mismos. Aunque no se usan en muchas realizaciones de la invención, cuando se usan, los  
15 agentes de incorporación de aire adecuados incluyen, pero no se limitan a, resinas Vinsol, abietato de sodio, ácidos grasos y sales de los mismos, tensioactivos, sulfonatos de alquil-arilo, etoxilatos de fenol, lignosulfonatos, y mezclas de los mismos.

La mezcla cementosa, partículas preexpandidas, y cualquier otra materia inerte, aditivo y/o adyuvante se mezclan usando métodos bien conocidos en la técnica.

- 20 Una mezcla seca (es decir, que contiene el mínimo de agua o sin agua añadida) puede producirse, empaquetarse y almacenarse para su uso futuro. Una mezcla seca de este tipo puede mezclarse más tarde con agua para proporcionar las composiciones de hormigón ligero descritas en el presente documento.

- 25 En una realización de la invención, la composición de hormigón es una dispersión en la que la mezcla cementosa proporciona, al menos en parte, una fase continua y existen partículas de polímero expandido como fase dispersa de partículas diferenciadas en la fase continua.

- 30 Como realización no limitativa de la invención y sin querer limitarse a ninguna teoría, algunos factores que pueden afectar al rendimiento de la presente composición de LWC incluyen la fracción en volumen de la perla de resina expandida, el tamaño de perla expandida promedio y la microestructura creada por el espaciado entre perlas dentro del hormigón. En esta realización, el espaciado entre perlas puede estimarse usando un modelo bidimensional. Para simplificar la descripción, el espaciado entre perlas puede limitarse al radio de la perla. Adicionalmente, y sin querer limitar la invención de ninguna manera, en esta realización se supone que las perlas están dispuestas en una red cristalina cúbica, no se considera la distribución de tamaño de perla en la composición de LWC, y no se considera la distribución del área de perla expandida en la sección transversal. Con el fin de calcular el número de perlas por muestra, se supone un cilindro de prueba tridimensional.

- 35 Cuanto más pequeño es el tamaño de perla expandida, mayor es el número de perlas expandidas requeridas para mantener la misma fracción en volumen de perla expandida tal como se describe mediante la ecuación 1 a continuación. A medida que el número de perlas expandidas aumenta exponencialmente, disminuye el espaciado entre las perlas expandidas.

$$N_b = K/B^3 \quad (1)$$

- 40  $N_b$  representa el número de perlas expandidas.

Una muestra de prueba de LWC con diámetro D y altura H (habitualmente 5,1 X 10,2 cm (2 X 4 pulgadas) o 15,2 X 30,5 cm (6 X 12 pulgadas)), que contiene perlas de polímero expandido dispersadas de diámetro de perla expandida promedio B, y una fracción en volumen dada  $V_d$  contiene una cantidad de perlas de polímero expandido  $N_b$  facilitada por la ecuación 1:

- 45 Obsérvese que  $N_b$  es inversamente proporcional al cubo del diámetro de perla de polímero expandido. La constante de proporcionalidad,  $K = 1,5 V_d H D^2$ , es un número que depende sólo del tamaño de la muestra y de la fracción en volumen de las perlas de polímero expandido. Por tanto para un tamaño de la muestra dado, y una fracción en volumen de perla de polímero expandido conocida, el número de perlas aumenta hasta la tercera potencia a medida que disminuye el diámetro de perla.

- 50 Como ejemplo no limitativo, para una muestra de LWC de 5,1 X 10,2 cm (2 X 4 pulgadas), a 1,44 g/cm<sup>3</sup> (90 lb/ft<sup>3</sup>) (correspondiente a una fracción en volumen de perla de polímero expandido del 43% con densidad aparente preexpandida de 0,02 g/cm<sup>3</sup> (1,25 lb/ft<sup>3</sup>), el número de perlas aumenta cuatro veces y siete veces moviéndose desde una perla de 0,65 mm hasta perlas de 0,4 mm y 0,33 mm respectivamente. A 0,03 g/cm<sup>3</sup> (2,08 lb/ft<sup>3</sup>), el aumento en el número de perlas es de seis veces y de siete veces para perlas de 0,4 mm y 0,33 mm respectivamente. A  
55 0,08 g/cm<sup>3</sup> (5 lb/ft<sup>3</sup>), los aumentos son de dos veces y de tres veces respectivamente. Por tanto, la densidad se

correlaciona con el tamaño de perla. Tal como se muestra a continuación, la densidad también afecta al grosor de la pared celular. La resistencia de una matriz de hormigón poblada por perlas expandidas se ve afectada normalmente por la rigidez y el grosor de la pared celular.

5 En una realización de la invención, cuando se suponen células esféricas monodispersadas, puede mostrarse que el diámetro de célula medio  $d$  está relacionado con el grosor de pared medio  $\delta$  según la ecuación 2:

$$d = \delta / \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \rho/\rho_s}} - 1 \right) \quad (2)$$

en la que  $\rho$  es la densidad de la espuma y  $\rho_s$  es la densidad de la perla de polímero sólido.

10 Por tanto para un polímero dado, dependiendo del procedimiento de expansión particular usado, puede obtenerse el mismo grosor de pared celular (a un tamaño de célula dado) o el mismo tamaño de célula a diversos valores de  $\delta$ . La densidad se controla no sólo mediante el tamaño de célula sino también variando el grosor de la pared celular.

La tabla a continuación muestra a modo de ejemplo la variación de la densidad de la perla de polímero expandido con el tamaño de perla para tres clases de perlas.

Tamaño de perla, micrómetros	Densidad g/cm <sup>3</sup> (lb/ft <sup>3</sup> )	Tamaño de partícula de espuma (mm)	Factor de expansión (cm <sup>3</sup> /g)	Número promedio de perlas para fracción en volumen del 43%
650	0,032 (2,00)	1,764	31	96.768
650	0,048 (3,00)	1,541	21	145.152
650	0,064 (4,00)	1,400	16	193.536
400	0,032 (2,00)	1,086	31	415.233
400	0,048 (3,00)	0,949	21	622.849
400	0,064 (4,00)	0,862	16	830.466
330	0,032 (2,00)	0,896	31	739.486
330	0,048 (3,00)	0,783	21	1.109.229
330	0,064 (4,00)	0,711	16	1.478.972

15 Microestructuras y/o morfologías deseables pueden encontrarse en clases distintas. La primera es un material compuesto bicontinuo o continuo con superficies de contacto especiales y la segunda incluye inclusiones especiales en una matriz conectada. Las propiedades eficaces de microestructuras tanto bicontinuas como conectadas individualmente se describen mediante uniones de propiedad cruzada óptimas conocidas.

En muchos casos, cuanto más pequeñas son las perlas, mayor es el número de perlas requerido para mantener la misma fracción en volumen de perla de polímero expandido tal como se describe mediante la ecuación 1. A medida que aumenta exponencialmente el número de perlas, disminuye el espaciado entre las perlas.

20 Las uniones óptimas pueden describirse mediante varias relaciones que representan límites o números críticos. Como ejemplo no limitativo, para una fracción en volumen dada, a menudo existe un tamaño de perla crítico correspondiente al número crítico de perlas que pueden dispersarse para proporcionar una morfología deseada de manera que todas las perlas están aisladas y el hormigón está conectado de manera individual. También es posible formar una morfología en las que todas las perlas no están aisladas sino en contacto.

25 Se realizó el análisis de elementos finitos de una sección transversal bidimensional usando ANSYS® (un programa de análisis de elementos finitos disponible de ANSYS Inc., Canonsburg, PA). En la malla de elementos finitos de la sección transversal, se modelan las perlas como círculos aislados o que no están en contacto en una matriz de hormigón conectada de manera individual.

30 Los resultados demuestran que bajo carga, se acumulan tensiones en una dirección perpendicular al eje de carga. Las concentraciones de tensión máximas están en el límite horizontal entre las perlas de polímero expandido, que tienden a deformarse desde una forma circular hasta una forma elíptica.

En una realización particular de la invención, la composición de hormigón contiene al menos algunas de las partículas de polímero expandido o partículas preexpandidas dispuestas en una red cristalina cúbica o hexagonal.

35 En una realización de la invención, la presente composición de LWC está sustancialmente libre de agentes de incorporación de aire, que se añaden normalmente para crear células de aire o espacios en un lote de hormigón.

En otra realización de la invención, la composición de LWC puede incluir fibras de refuerzo. Tales fibras actúan como componentes de refuerzo, que tienen una razón de aspecto grande, es decir, su razón longitud/diámetro es alta, de manera que se transfiere una carga a lo largo de posibles puntos de fractura. Los ejemplos no limitativos de

fibras adecuadas incluyen hebras de fibra de vidrio de aproximadamente una pulgada a tres cuartos de pulgada de longitud, aunque puede usarse cualquier material que tenga un módulo de Young más alto que la matriz de la mezcla cementosa, fibra de polipropileno y otras fibras descritas anteriormente.

5 Las composiciones de LWC según la invención pueden solidificarse y/o endurecerse para formar artículos de hormigón finales usando métodos bien conocidos en la técnica.

10 La densidad de de los artículos de hormigón finales solidificados y/o endurecidos que contienen la composición de LWC de la invención puede ser de al menos 40 lb/ft<sup>3</sup> (0,64 g/cm<sup>3</sup>), en algunos casos al menos 45 lb/ft<sup>3</sup> (0,72 g/cm<sup>3</sup>) y en otros casos de al menos 50 lb/ft<sup>3</sup> (0,8 g/cm<sup>3</sup>) y la densidad puede ser de hasta 130 lb/ft<sup>3</sup> (2,1 g/cm<sup>3</sup>), en algunos casos 120 lb/ft<sup>3</sup> (1,9 g/cm<sup>3</sup>), en otros casos de hasta 115 lb/ft<sup>3</sup> (1,8 g/cm<sup>3</sup>), en algunas circunstancias de hasta 110 lb/ft<sup>3</sup> (1,75 g/cm<sup>3</sup>), en otras circunstancias de hasta 105 lb/ft<sup>3</sup> (1,7 g/cm<sup>3</sup>), en algunos casos de hasta 100 lb/ft<sup>3</sup> (1,6 g/cm<sup>3</sup>) y en otros casos de hasta 95 lb/ft<sup>3</sup> (1,5 g/cm<sup>3</sup>). La densidad de los presentes artículos de hormigón puede ser de cualquier valor y puede oscilar entre cualquiera de los valores indicados anteriormente. La densidad de la composición de LWC se determina según la norma ASTM C 138.

15 En una realización particular de la invención, la composición de LWC contiene de desde el 8 hasta el 20 por ciento en volumen de una composición de cemento que incluye cemento Portland de tipo I; desde el 10 hasta el 31 por ciento en volumen de partículas de polímero expandido en línea con las reivindicaciones que tienen un diámetro de partícula promedio de desde 0,2 mm hasta 5 mm, una densidad aparente de desde 0,02 g/cm<sup>3</sup> hasta 0,64 g/cm<sup>3</sup> y una razón de aspecto de desde 1 hasta 1,5; desde el 9 hasta 40 por ciento en volumen de materias inertes gruesas; y opcionalmente desde el 0,1 hasta el 1 por ciento en volumen de uno o más aditivos seleccionados de agentes antiespumantes, agentes impermeabilizantes, agentes dispersantes, aceleradores de la solidificación, retardadores de la solidificación, agentes plastificantes, agentes superplastificantes, agentes de disminución del punto de congelación, agentes de mejora de la adhesividad, colorantes y combinaciones de los mismos; en la que la suma de los componentes usados no excede el 100 por ciento en volumen y en la que tras solidificarse la composición cementosa ligera, tiene una resistencia a la compresión de al menos 9,7 MPa (1400 psi) tal como se somete a prueba según la norma ASTM C39 tras 28 días, y tiene valores de arena, agua y asentamiento tal como se definen en las reivindicaciones.

20 En una realización de la invención, las composiciones de LWC solidificadas y/o endurecidas según la invención se usan en aplicaciones estructurales y pueden tener una resistencia a la compresión mínima para aplicaciones estructurales de albañilería de soporte de carga de al menos 9,7 MPa (1400 psi), en algunos casos 11,7 MPa (1700 psi), en otros casos de al menos 12,4 MPa (1800 psi), en algunos casos de al menos 13,1 MPa (1900 psi) y en otros casos de al menos 13,8 MPa (2000 psi). Para hormigón ligero estructural, las composiciones pueden tener una resistencia a la compresión mínima de al menos 17,2 MPa (2500 psi). Se determinan las resistencias a la compresión según la norma ASTM C39 a los 28 días.

35 Aunque puede consultarse la norma ASTM C39 para detalles precisos, puede resumirse que proporciona un método de prueba que consiste en aplicar una carga axial de compresión a núcleos o cilindros moldeados a una velocidad que está dentro de un intervalo prescrito hasta que se produce el fallo. La máquina de pruebas está equipada con dos bloques de soporte de acero con superficies endurecidas, uno de los cuales es un bloque de asiento esférico que actuará sobre la superficie superior de la muestra, y el otro un bloque sólido sobre el que descansa la muestra. La carga se aplica a una velocidad de movimiento (medición de platina a cabezal) correspondiente a una velocidad de tensión sobre la muestra de 35 ± 7 psi/s (0,25 ± 0,05 MPa/s). La carga de compresión se aplica hasta que el indicador de carga muestra que la carga está disminuyendo de manera estacionaria y la muestra presenta un patrón de fractura bien definido. La resistencia a la compresión se calcula dividiendo la carga máxima soportada por la muestra durante la prueba entre el área de sección transversal de la muestra.

40 Las composiciones de LWC de la invención se usan en aplicaciones de premezclado. Como ejemplo no limitativo, pueden usarse composiciones de LWC premezclado cuando se requieren pequeñas cantidades de hormigón o la colocación intermitente de hormigón o para trabajos grandes donde el espacio es limitado y hay poco sitio para una planta de mezclado y montículos de materias inertes.

Como ejemplos no limitativos, la premezcla puede incluir hormigón mezclado de manera central, hormigón mezclado en tránsito y hormigón mezclado por contracción.

50 El hormigón mezclado de manera central se mezcla completamente en una planta y luego se transporta en un camión mezclador o camión agitador. Pueden transportarse composiciones de LWC recién mezcladas en un camión basculante abierto si el sitio de trabajo está cerca de la planta. Una ligera agitación del hormigón durante el tránsito evita la segregación de los materiales y reduce la cantidad de pérdida por asentamiento.

55 En el hormigón mezclado en tránsito (también conocido como mezclado en el camión), se producen lotes de los materiales en una planta central y se mezclan completamente en el camión en tránsito. Frecuentemente, la composición de LWC se mezcla parcialmente en tránsito y se completa el mezclado en el sitio de trabajo. El mezclado en tránsito mantiene el agua separada del cemento y las materias inertes y permite que el hormigón se mezcle inmediatamente antes de la colocación en el sitio de construcción. Este método evita los problemas de

- endurecimiento prematuro y pérdida por asentamiento que resultan de posibles retrasos en el transporte o la colocación del hormigón mezclado de manera central. Adicionalmente, el mezclado en tránsito permite que el hormigón se envíe a sitios de construcción muy lejos de la planta. Sin embargo, una desventaja del hormigón mezclado en tránsito es que la capacidad del camión es más pequeña que la del mismo camión que contiene hormigón mezclado de manera central.
- 5 El hormigón mezclado por contracción se usa para aumentar la capacidad de carga del camión y retener las ventajas del hormigón mezclado en tránsito. En el hormigón mezclado por contracción, la composición de LWC se mezcla parcialmente en la planta para reducir o contraer el volumen de la mezcla y se completa el mezclado en tránsito o en el sitio de trabajo.
- 10 El hormigón premezclado a menudo vuelve a mezclarse una vez que llega al sitio de trabajo para garantizar que se obtiene el asentamiento apropiado. Sin embargo, el hormigón que ha vuelto a mezclarse tiende a solidificarse más rápidamente que el hormigón mezclado solo una vez. Se añaden a menudo materiales, tales como agua y algunas variedades de mezclas, a la composición de LWC en el sitio de trabajo tras haberse producido lotes para garantizar que se logran las propiedades especificadas antes de la colocación.
- 15 Las composiciones de premezcla de hormigón LWC de la invención están diseñadas a menudo para aplicaciones específicas. Como ejemplos no limitativos, puede ser deseable una composición de premezcla de hormigón LWC de asentamiento alto cuando el hormigón debe colocarse alrededor de una alta concentración de acero de refuerzo. Además, puede ser deseable una composición de premezcla de hormigón LWC de asentamiento bajo cuando el hormigón se coloca en formas abiertas grandes, o cuando la forma se coloca en una pendiente.
- 20 Como tal, en la invención, las composiciones de premezcla de LWC tendrán un valor de asentamiento medible, muestreado según la norma ASTM C 172 (Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete) y medido según la norma ASTM C 143 (Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete). El valor de asentamiento exacto está diseñado para dar una mezcla particular y dependerá de la aplicación y el diseño de la composición de premezcla de LWC. En uso típico, el asentamiento oscilará entre al menos 2 pulgadas (5 cm) y en algunos casos al menos aproximadamente 3 pulgadas (7,6 cm) y hasta 8 pulgadas (20 cm), en algunos casos hasta aproximadamente 7 pulgadas (18 cm) y en otros casos hasta aproximadamente 6 pulgadas (15 cm). Si el hormigón suministrado a un proyecto es demasiado consistente (asentamiento bajo) puede ser difícil descargarlo de un camión. Si el asentamiento es demasiado alto, el hormigón puede no ser utilizable. El asentamiento puede ser de cualquier valor mencionado anteriormente o un intervalo entre cualquiera de los valores mencionados.
- 25 En otra realización particular de la invención, se usa la composición de premezcla de LWC en una aplicación de premezcla tradicional, que incluye, pero no se limita a construcción con elementos premoldeados, vertido en el sitio, lechadas ligeras, relleno de ICF y otras aplicaciones en las que se vierte hormigón o se bombea y transporta, por ejemplo en camiones de premezcla, hasta los sitios de trabajo.
- 30 Las composiciones de premezcla de hormigón LWC de la invención pueden incluir las formulaciones y composiciones descritas anteriormente.
- 35 En muchas de las realizaciones de las composiciones de premezcla de hormigón LWC de la invención, las composiciones se preparan añadiendo uno o más de los siguientes componentes en el orden establecido: arena, materia inerte gruesa, cemento, perlas preexpandidas, partículas de polímero y/o partículas de polímero expandido, agua y reductor de agua. Puede usarse una mezcladora de tipo cubeta o tipo tambor y la razón de agua con respecto a cemento es a menudo de al menos 0,40.
- 40 Las composiciones de premezcla de hormigón LWC de la invención pueden utilizar cualquier cemento adecuado, incluyendo los ejemplos no limitativos tipo I, tipo II y tipo III y combinaciones de los mismos. El cemento está presente en la composición de premezcla, a desde al menos el 8 y en algunos casos al menos aproximadamente el 10 por ciento en volumen y puede ser de hasta el 20, en algunos casos de hasta aproximadamente el 17 por ciento en volumen y en casos particulares de aproximadamente el 14 por ciento en volumen. La cantidad exacta de cemento está diseñada para dar una mezcla particular y dependerá del tipo de cemento, la aplicación prevista y el diseño de la composición de premezcla de LWC. La cantidad de cemento en las composiciones de premezcla de hormigón LWC puede ser de cualquier valor u oscilar entre cualquiera de los valores indicados anteriormente.
- 45 En esta realización particular de la invención, está presente arena, tal como se describió anteriormente, en la composición de premezcla, a hasta el 50, en algunos casos hasta aproximadamente el 40, y en otros casos hasta aproximadamente el 30 por ciento en volumen en línea con las reivindicaciones. La cantidad exacta de arena está diseñada para dar una mezcla particular y dependerá del tipo de arena (gruesa o fina), la aplicación prevista y el diseño de la composición de premezcla de LWC. La cantidad de arena en las composiciones de premezcla de hormigón LWC puede ser de cualquier valor u oscilar entre cualquiera de los valores indicados anteriormente.
- 50 Además, las partículas preexpandidas pueden estar presentes a desde al menos el 10, en algunos casos al menos aproximadamente el 14, y en otros casos al menos aproximadamente el 18 por ciento en volumen y pueden estar presentes hasta el 31, en algunos casos hasta aproximadamente el 29, y en otros casos hasta aproximadamente el 27 por ciento en volumen. La cantidad exacta de partículas preexpandidas está diseñada para dar una mezcla

particular y dependerá de la densidad de las partículas, la aplicación prevista y el diseño de la composición de premezcla de LWC. La cantidad de partículas preexpandidas en las composiciones de premezcla de hormigón LWC puede ser de cualquier valor u oscilar entre cualquiera de los valores indicados anteriormente.

5 Adicionalmente, en esta realización particular, las partículas preexpandidas usadas en las composiciones de premezcla de LWC pueden tener tamaños de partícula y dimensiones tal como se describió anteriormente y pueden tener una densidad de desde al menos 1,25 lb/ft<sup>3</sup> (0,02 g/cm<sup>3</sup>), en otros casos de al menos aproximadamente 1,5 lb/ft<sup>3</sup> (0,024 g/cm<sup>3</sup>) y en algunos casos de al menos aproximadamente 2 lb/ft<sup>3</sup> (0,032 g/cm<sup>3</sup>) y puede ser de hasta 40 lb/ft<sup>3</sup> (0,64 g/cm<sup>3</sup>), en muchos casos de hasta aproximadamente 5,5 lb/ft<sup>3</sup> (0,088 g/cm<sup>3</sup>), en algunos casos de hasta aproximadamente 4 lb/ft<sup>3</sup> (0,064 g/cm<sup>3</sup>) y en otros casos de hasta aproximadamente 3,5 lb/ft<sup>3</sup> (0,056 g/cm<sup>3</sup>). La densidad de las partículas preexpandidas en las composiciones de premezcla de hormigón LWC puede ser de cualquier valor u oscilar entre cualquiera de los valores indicados anteriormente.

15 Adicionalmente, está presente materia inerte gruesa tal como piedra, tal como se describió anteriormente, en la composición de premezcla, a desde al menos el 9, en algunos casos al menos aproximadamente el 14, y en otros casos al menos aproximadamente el 17 por ciento en volumen y puede ser de hasta el 40, en algunos casos de hasta aproximadamente el 30 y en otros casos de hasta aproximadamente el 25 por ciento en volumen. La cantidad exacta, el tipo y el tamaño de materia inerte gruesa están diseñados para dar una mezcla particular y dependerán de la aplicación prevista y el diseño de la composición de premezcla de LWC. La cantidad de materia inerte gruesa en las composiciones de premezcla de hormigón LWC puede ser de cualquier valor u oscilar entre cualquiera de los valores indicados anteriormente. La materia inerte gruesa puede tener un diámetro de desde al menos 20 aproximadamente 0,375 pulgadas (0,95 cm), en algunos casos aproximadamente 0,5 pulgadas (1,3 cm), en otros casos aproximadamente 0,75 pulgadas (1,9 cm) hasta aproximadamente 2 pulgadas (5 cm).

25 Además, está presente agua en la composición de premezcla, a desde al menos aproximadamente el 10 por ciento en volumen, en algunos casos al menos aproximadamente el 14 por ciento en volumen hasta el 22 por ciento en volumen, en algunos casos hasta aproximadamente el 20 por ciento en volumen y en otros casos hasta aproximadamente el 18 por ciento en volumen. La cantidad de agua en las composiciones de premezcla de hormigón LWC puede ser de cualquier valor u oscilar entre cualquiera de los valores indicados anteriormente.

30 Las composiciones de premezcla de hormigón LWC cuando se solidifican y/o endurecen tienen una resistencia a la compresión de al menos 9,7 MPa (1400 psi), en algunos casos de al menos aproximadamente 10,3 MPa (1500 psi), en otros casos de al menos aproximadamente 11,0 MPa (1600 psi), en algunos casos de al menos aproximadamente 12,4 MPa (1800 psi), y en otros casos de al menos aproximadamente 13,8 MPa (2000 psi) y opcionalmente puede ser de hasta 24,8 MPa (3600 psi) en algunos casos de hasta aproximadamente 22,8 MPa (3300 psi) y en otros casos de hasta aproximadamente 20,7 MPa (3000 psi). En otras realizaciones de la invención, las composiciones de premezcla de hormigón LWC pueden tener resistencias a la compresión estructural de aproximadamente 27,6 MPa (4000 psi) o mayores en 48 horas para aplicaciones postensionadas y resistencias a la compresión a los 28 días de aproximadamente 31,0 MPa (4500 psi) o mayores. En estas realizaciones, las resistencias a la compresión se determinan según la norma ASTM C39 a los 28 días. La resistencia a la compresión exacta de una composición de premezcla de hormigón LWC dependerá de su formulación, densidad y aplicación prevista. La resistencia a la compresión de las composiciones de premezcla de hormigón LWC puede ser de cualquier valor u oscilar entre cualquiera de los valores indicados anteriormente.

40 Las composiciones de LWC pueden usarse en la mayoría, si no todas, las aplicaciones en las que se usan formulaciones de hormigón tradicionales. Como ejemplos no limitativos, las presentes composiciones de LWC pueden usarse en aplicaciones estructurales y arquitectónicas, siendo ejemplos no limitativos paredes medianeras, estructuras de ICF o SIP, piletas para pájaros, bancos, tejas, revestimientos, mampostería, tablero de cemento, pilares decorativos o arcos para edificios, etc., aplicaciones de muebles o domésticas tales como encimeras, sistemas de calefacción de suelo radiante, suelos (primarios y secundarios), paredes de premoldeado, paneles de pared de tipo sándwich, como un recubrimiento de estuco, aplicaciones de seguridad en carreteras y aeropuertos tales como paredes de detención, barreras de Jersey, barreras y paredes de sonido, paredes de retención, sistemas de detención de fugitivos, hormigón celular, rampas de frenado de camiones, relleno excavable fluido, y aplicaciones de construcción de carreteras tales como material de lecho de carreteras y material de tablero de puentes.

50 En realizaciones de la invención, cuando no se usa materia inerte gruesa, los artículos de LWC según la invención aceptan fácilmente la unión directa de tornillos, como ejemplo no limitativo clavos y tornillos de mampostería, que pueden unirse mediante dispositivos de accionamiento tradicional, neumático o eléctrico. Esto permite una fácil unión de materiales tales como madera contrachapada, mampostería, pernos y otros materiales comúnmente usados en la industria de construcción, lo que no puede realizarse usando formulaciones de hormigón tradicionales.

55 Cuando las composiciones de LWC de la invención se usan en construcción de lechos de carreteras, las partículas de polímero pueden ayudar en la prevención y o minimización de la propagación de grietas, especialmente cuando está implicada congelación-descongelación de agua.

Las composiciones de la invención son muy adecuadas para la fabricación de artículos y materiales de construcción moldeados, ejemplos no limitativos de tales incluyen paneles de pared incluyendo paneles de pared premoldeados,

vigas en T, vigas en doble T, tégulas, paneles de tejado, paneles de techo, paneles de suelo, vigas en I, muros de cimentación y similares. Las composiciones presentan mayor resistencia que las composiciones de LWC de la técnica anterior.

5 En una realización de la invención, los materiales y artículos de construcción moldeados pueden estar precolados y/o pretensados.

Tal como se usa en el presente documento, hormigón "precolado" hormigón se refiere a hormigón vertido en un molde o colada de una conformación requerida y se permite que se cure y/o endurezca antes de retirarlo y ponerlo en una posición deseada.

10 En realizaciones de la invención, las composiciones de LWC usadas en aplicaciones de precolada, que incluyen, pero no se limitan partes precoladas tales como vigas, T dobles, tuberías, paredes aisladas, productos pretensados y otros productos en los que la composición de LWC se vierte directamente para dar formas y partes finales se transportan a los sitios de trabajo mediante un camión. En estas realizaciones de la invención, el valor de asentamiento oscila hasta 8 pulgadas (20 cm).

15 Tal como se usa en el presente documento, hormigón "pretensado" se refiere a hormigón cuya tensión se ha mejorado mediante el uso de tendones de pretensado (en muchos casos varillas o cable de acero de alta tracción), que se usan para proporcionar una carga de sujeción que produce una resistencia a la compresión que desvía la tensión de tracción que el elemento de hormigón experimentaría de otra forma debido a una carga de flexión. Puede usarse cualquier método conocido en la técnica para pretensar hormigón. Los métodos adecuados incluyen, pero no se limitan a hormigón pretensionado, en el que el hormigón se cuele alrededor de tendones tensionados, y hormigón postensionado, en el que la compresión se aplica tras los procesos de vertido y curado.

20 Una ventaja particular en algunas realizaciones es que las presentes composiciones de hormigón solidificadas que no contienen materia inerte gruesa y/o los artículos de construcción moldeados formados a partir de tales composiciones pueden cortarse y/o seccionarse fácilmente usando métodos convencionales en contraposición a tener que usar sierras y/o cuchillas de corte con punta de diamante u hormigón especializadas. Esto proporciona ahorros de coste y tiempo sustanciales cuando se adaptan artículos de hormigón.

25 Las composiciones pueden colarse fácilmente en moldes según métodos bien conocidos por los expertos en la técnica para, como ejemplos no limitativos, tégulas, pavimento u otros artículos en prácticamente cualquier configuración tridimensional deseada, incluyendo configuraciones que tienen determinadas texturas de superficie tales como que tienen el aspecto de tablas de madera, tejas de pizarra o azulejos de cerámica de superficie lisa. Una teja típica puede tener dimensiones aproximadas de 25,4 cm (diez pulgadas) de anchura por 43,2 cm (diecisiete pulgadas) de longitud, 4,4 cm (una pulgada y tres cuartos) de grosor. En el moldeado de materiales de tejado, la adición de un agente de incorporación de aire hace que el producto final sea más resistente a la intemperie en cuanto a resistencia a la degradación por congelación/descongelación.

30 Cuando se vierten muros de cimentación usando las composiciones de LWC de la invención, las paredes pueden levantarse sobre el nivel del suelo debido al peso más ligero. Habitualmente, la parte inferior del muro de cimentación tiene una tendencia a reventar hacia fuera bajo el peso de cizalladura de la mezcla de hormigón, pero el peso más ligero de las composiciones de la invención tiende a disminuir las posibilidades de que esto suceda. Los muros de cimentación preparados usando las presentes composiciones de LWC pueden aceptar fácilmente fijaciones convencionales usadas en la construcción de muros de cimentación convencionales.

35 En una realización de la invención, las composiciones de hormigón según la invención se forman, se solidifican y/o se endurecen en forma de una unidad de albañilería de hormigón. Tal como se usa en el presente documento, el término "unidad de albañilería de hormigón" se refiere a un artículo de hormigón sólido o hueco que incluye, pero no se limita a variedades de piedra ranurada, de superficie dividida, acanalada, estriada, de superficie rectificada, con socavones y de pavimentación. Las realizaciones de la invención proporcionan paredes que incluyen, al menos en parte, unidades de albañilería de hormigón preparadas según la invención.

40 En una realización de la invención, puede atornillarse un tornillo de mampostería de 6,4 cm (2,5 pulgadas) en una superficie vertida y solidificada que contiene la presente composición de hormigón ligero, hasta una profundidad de 3,8 cm (1,5 pulgadas), y no se extrae cuando se aplica una fuerza de al menos 500, en algunos casos de al menos 600 y en otros casos de al menos 700 y hasta 800 lb de fuerza perpendicular a la superficie a la que está atornillado durante uno, en algunos casos cinco y en otros casos diez minutos.

La presente invención también se refiere a edificios que incluyen las composiciones de LWC según la invención.

La presente invención también proporciona un método de preparación de un artículo de hormigón ligero optimizado que incluye:

identificar las propiedades de resistencia y densidad deseadas de una composición de hormigón ligero endurecida;

55 determinar el tipo, tamaño y densidad de perlas de polímero que van a expandirse para su uso en la composición de

hormigón ligero;

determinar el tamaño y densidad al que van a expandirse las perlas de polímero;

expandir las perlas de polímero para formar perlas de polímero expandido;

5 dispersar las perlas de polímero expandido en una mezcla cementosa para formar la composición de hormigón ligero;

y permitir que la composición de hormigón ligero se solidifique en una forma deseada.

Las propiedades de resistencia y densidad deseadas de la composición de LWC solidificada y/o endurecida se determinan basándose en la aplicación prevista.

10 En una realización de la invención, el tipo, tamaño y densidad de las perlas de polímero que van a expandirse y el tamaño y densidad al que las perlas de polímero van a expandirse pueden determinarse basándose en datos publicados y/o empíricos.

En otra realización de la invención, puede usarse análisis de elementos finitos para determinar el tipo, tamaño y densidad de las perlas de polímero que van a expandirse y el tamaño y densidad al que van a expandirse las perlas de polímero.

15 Se permite que la composición de hormigón ligero resultante se solidifique y/o endurezca para proporcionar artículos de LWC y unidades de albañilería de hormigón tal como se describió anteriormente.

La presente invención se describirá adicionalmente mediante referencia a los siguientes ejemplos. Los siguientes ejemplos son meramente ilustrativos de la invención y no pretenden ser limitativos. A menos que se indique otra cosa, todos los porcentajes son en peso y se usa cemento Portland a menos que se especifique otra cosa.

## 20 Ejemplos

A menos que se indique otra cosa, se utilizan los siguientes materiales:

- Cemento Portland de tipo III
- Arena de albañil de 2,64 g/cm<sup>3</sup> (densidad aparente de 165 lb/ft<sup>3</sup>, peso específico de 2,64, módulo de finura = 1,74)
- 25 ▪ Agua potable - temperatura ambiental (~70°F / 21°C)
- Poliestireno expandible - M97BC, F271C, F271 M, F271 T (NOVA Chemicals Inc., Pittsburgh, PA)
- Resina EPS - 1037C (NOVA Chemicals, Inc.)
- Pizarra expandida de 1,3 cm (0,5 pulgadas) (Carolina Stalite Company, Salisbury, NC - densidad aparente de 1,43 g/cm<sup>3</sup> (89,5 lb/ft<sup>3</sup>) / peso específico de 1,43)

30 A menos que se indique otra cosa, se prepararon todas las composiciones en condiciones de laboratorio usando una mezcladora modelo 42N-5 (Charles Ross & Son Company, Hauppauge, NY) que tenía un cuerpo con una capacidad de trabajo de 0,20 m<sup>3</sup> (7 ft<sup>3</sup>) con una paleta de eje único. Se hizo funcionar la mezcladora a 34 rpm. Se realizó el acondicionamiento en una cámara de temperatura y humedad LH-10 (fabricada por Associated Environmental Systems, Ayer, MA). Se moldearon muestras en moldes cilíndricos de plástico de uso único de 15,2 cm x 30,5 cm (6 pulgadas x 12 pulgadas) con tapones planos y se sometieron a prueba por triplicado. Se realizó la prueba de compresión en un medidor de compresión FX250/300 de Forney (Forney Incorporated, Hermitage, PA), que aplica de manera hidráulica una carga vertical a una velocidad deseada. Todos los otros materiales periféricos (cono de asentamiento, varillas de apisonamiento, etc.) cumplían el método de prueba de ASTM aplicable. Se siguieron los siguientes métodos y procedimientos de prueba de ASTM:

- 40 ▪ ASTM C470 - Standard Specification for Molds for Forming Concrete Test Cylinders Vertically
- ASTM C192 - Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory
- ASTM C330 - Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete
- ASTM C511 - Standard Specification for Mixing Rooms, Moist Cabinets, Moist Rooms, and Water Storage Tanks Used in the Testing of Hydraulic Cements and Concretes
- 45 ▪ ASTM C143 - Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete
- ASTM C1231 - Standard Practice for Use of Unbonded Caps in Determination of Compressive Strength of



Hardened Concrete Cylinders

- ASTM C39 - Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

5 Se mantuvieron los cilindros tapados y en condiciones de laboratorio ambientales durante 24 horas. Entonces se envejecieron todos los cilindros durante 6 días adicionales a  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ , humedad relativa del 95%. Entonces se sometieron a prueba las muestras de prueba.

Ejemplo 1

Se preexpandió poliestireno en forma de perlas no expandidas (M97BC - 0,65 mm, F271T - 0,4 mm y F271 M - 0,33 mm) para dar partículas de espuma EPS (preexpandidas) de densidades variables tal como se muestra en la tabla a continuación.

Perla	Perla	Partícula preexpandida		
		Densidad aparente, $\text{g/cm}^3$ ( $\text{lb/ft}^3$ )	Tamaño medio, $\mu\text{m}$	Desviación estándar, $\mu\text{m}$
F271M	330	0,037 (2,32)	902	144
F271M	330	0,050 (3,10)	824	80
F271M	330	0,067 (4,19)	725	103
F271T	400	0,038 (2,40)	1027	176
F271T	400	0,059 (3,69)	1054	137
F271T	400	0,073 (4,57)	851	141
M97BC	650	0,041 (2,54)	1705	704
M97BC	650	0,053 (3,29)	1474	587
M97BC	650	0,084 (5,27)	1487	584

10 Los datos muestran que el tamaño de partícula preexpandida varía de manera inversa con la densidad expandida del material.

Ejemplo 2

15 Los siguientes ejemplos demuestran el uso de las partículas preexpandidas de la presente invención en formulaciones de premezcla. Se preexpandió poliestireno en forma de perlas no expandidas (F271 disponible de Nova Chemicals Inc.) para dar partículas preexpandidas que tenían diversas densidades tal como se muestra a continuación. Se formularon las partículas preexpandidas para dar composiciones de premezcla, en una mezcladora de mortero de  $0,062 \text{ m}^3$  ( $2,2 \text{ ft}^3$ ), (READYMAN® 120, IMER USA Inc., San Francisco, CA) que contiene los componentes mostrados en las tablas a continuación. Se combinaron los componentes en el siguiente orden: arena (gruesa, peso específico de 2,5), materia inerte gruesa, cemento Portland (tipo 1, CEMEX), perlas preexpandidas y agua. Se prepararon cilindros ( $10,2 \times 20,3 \text{ cm}$  (4 pulgadas x 8 pulgadas)) según la norma ASTM C192 y se curaron según la norma ASTM C511.

20

Muestra	PP <sup>a</sup>	QQ <sup>a</sup>	RR <sup>a</sup>	SS <sup>a</sup>	TT <sup>a</sup>
<b>Porcentaje en peso</b>					
Cemento	23,18%	24,30%	22,28%	20,56%	22,97%
Arena	52,47%	50,19%	54,60%	58,32%	50,33%
Perlas preexpandidas	0,29%	1,02%	0,68%	0,39%	0,76%
Materia inerte gruesa	13,85%	14,52%	13,31%	12,29%	15,83%
Agua	10,20%	9,96%	9,13%	8,43%	10,11%
<b>Porcentaje en volumen</b>					
Cemento	13,60%	13,60%	13,60%	13,60%	13,60%
Arena	38,17%	34,84%	41,34%	47,84%	36,95%
Perlas preexpandidas	19,38%	24,00%	17,50%	11,00%	19,07%
Materia inerte gruesa	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	11,53%
Agua	18,85%	17,56%	17,56%	17,56%	18,85%
Asentamiento, cm (pul.)	7,0 (2,75)	10,2(4)	10,2 (4)	7,6 (3)	5,1 (2)
Densidad en húmedo, g/cm <sup>3</sup> (lb/ft <sup>3</sup> )	1,93 (120,4)	1,81 (113,1)	1,88 (117,7)	2,01 (125,36)	1,86 (116,56)
Razón A/C	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
Densidad de perlas preexpandidas, g/cm <sup>3</sup> (lb/ft <sup>3</sup> )	0,021 (1,3)	0,055 (3,45)	0,055 (3,45)	0,055 (3,45)	0,055 (3,45)
Factor de expansión (cm <sup>3</sup> /g)	48	18	18	18	18
<b>Resistencia a la compresión, MPa (psi)</b>					
3 días	20,7 (3000)	14,5 (2106)	15,0 (2179)	16,5 (2400)	18,8 (2728)
7 días	24,4 (3542)	15,6 (2260)	17,3 (2516)	19,4 (2809)	21,2 (3075)
28 días	28,5 (4132)	19,3 (2800)	21,4 (3100)	24,8 (3600)	25,9 (3760)

Muestra	VV <sup>a</sup>	WW <sup>a</sup>	XX <sup>a</sup>	ZZ <sup>bc</sup>
<u>Porcentaje en peso</u>				
Cemento	24,93%	22,94%	21,26%	22,97%
Arena	47,38%	51,98%	55,87%	50,68%
Perlas preexpandidas	1,81%	1,27%	0,80%	0,30%
Materia inerte gruesa	14,90%	13,71%	12,71%	15,94%
Agua	10,97%	10,10%	9,36%	10,11%
<u>Porcentaje en volumen</u>				
Cemento	13,60%	13,60%	13,60%	13,60%
Arena	32,05%	38,21%	44,32%	37,22%
Perlas preexpandidas	25,50%	19,34%	13,23%	18,72%
Materia inerte grueso	10,00%	10,00%	10,00%	11,61%
Agua	18,85%	18,85%	18,85%	18,85%
Asentamiento, cm (pul.)	5,7 (2,25)	10,2 (4)	5,7 (2,25)	17,8 (7)
Densidad en número, g/cm <sup>3</sup> (lb/ft <sup>3</sup> )	1,71 (106,72)	1,84 (115,2)	1,98 (123,68)	1,93 (120,5)
Razón A/C	0,44	0,44	0,44	0,44
Densidad de perlas preexpandidas, g/cm <sup>3</sup> (lb/ft <sup>3</sup> )	0,090 (5,65)	0,090 (5,65)	0,090 (5,65)	0,022 (1,4)
Factor de expansión (cm <sup>3</sup> /g)	11	11	11	45
Resistencia a la compresión, MPa (psi)				
3 días	14,0 (2036)	18,6 (2696)	23,6 (3425)	17,2 (2496)
7 días	15,3 (2225)	20,9 (3035)	27,4 (3978)	21,0 (3051)
28 días	18,9 (2738)	24,8 (3600)	32,1 (4654)	23,4 (3394)

<sup>a</sup> La materia inerte gruesa era grava de río de 7,0 cm (1 1/4 pulgadas)

<sup>c</sup> incluye 1 onza/cwt (28,3 g/50,8 kg) de agente de unión de poli(acetato de vinilo) THOROBOND® de Degussa Building Systems, Shakopee, MN.

Los datos indican que puede obtenerse una excelente resistencia a la compresión usando formulaciones de premezcla que contienen partículas preexpandidas según la invención.

**REIVINDICACIONES**

1. Composición de hormigón de premezcla ligero que comprende el 8-20 por ciento en volumen de cemento,  
 el 20-50 por ciento en volumen de arena,  
 5 el 10-31 por ciento en volumen de partículas preexpandidas,  
 el 9-40 por ciento en volumen de materia inerte que tiene un módulo de finura mayor de 4 (materia inerte gruesa), y  
 el 10-22 por ciento en volumen de agua;  
 en la que las partículas preexpandidas tienen una capa externa sustancialmente continua con un diámetro de partícula promedio de desde 0,2 mm hasta 8 mm, una densidad aparente de desde 0,02 g/cm<sup>3</sup> hasta 0,64 g/cm<sup>3</sup>, una razón de aspecto de desde 1 hasta 1,5 en la que la suma de componentes usados no excede el 100 por ciento en volumen; en la que el valor de asentamiento medido según la norma ASTM C 143 es de desde 5,1 hasta 20,3 cm (de 2 a 8 pulgadas); y en la que tras solidificarse la composición de hormigón de premezcla ligero durante 28 días, tiene una resistencia a la compresión de al menos 9,7 MPa (1400 psi) tal como se somete a prueba según la norma ASTM C39.
2. Composición de hormigón ligero según la reivindicación 1, en la que la composición comprende el 9-25 por ciento en volumen de materia inerte gruesa.
3. Composición de hormigón ligero según la reivindicación 1, en la que las partículas preexpandidas comprenden partículas de polímero expandido que tienen un grosor de pared celular interna de al menos 0,15 μm.
- 20 4. Composición de hormigón ligero según la reivindicación 1, en la que las partículas comprenden partículas de polímero expandido que comprenden uno o más polímeros seleccionados del grupo que consiste en homopolímeros de monómeros aromáticos de vinilo; copolímeros de al menos un monómero aromático de vinilo con uno o más de divinilbenceno, dienos conjugados, metacrilatos de alquilo, acrilatos de alquilo, acrilonitrilo y/o anhídrido maleico; poliolefinas; policarbonatos; poliésteres; poliamidas; cauchos naturales; cauchos sintéticos; y combinaciones de los mismos.
- 25 5. Composición de hormigón ligero según la reivindicación 1, en la que las partículas preexpandidas comprenden partículas de polímero expandido preparadas expandiendo una perla de polímero que tiene un tamaño de partícula de resina promedio no expandido de desde 0,2 mm hasta 2 mm.
- 30 6. Composición de hormigón ligero según la reivindicación 1, en la que el cemento comprende uno o más materiales seleccionados del grupo que consiste en cementos Portland, cementos de puzolana, cementos de yeso, composiciones de yeso, cementos aluminosos, cementos de magnesia, cementos de sílice, cementos de escoria, cemento de tipo I, cemento de tipo IA, cemento de tipo II, cemento de tipo IIA, cemento de tipo III, cemento de tipo IIIA, cemento de tipo IV y cemento de tipo V.
- 35 7. Composición de hormigón ligero según la reivindicación 1, en la que la composición comprende plastificantes y/o fibras.
8. Composición de hormigón ligero según la reivindicación 1, en la que la materia inerte gruesa se selecciona del grupo que consiste en piedra, grava, escoria de alto horno granulada triturada, cenizas volantes, vidrio, sílice, pizarra expandida, arcilla; piedra pómez, perlita, vermiculita, escoria volcánica, diatomita, esquisto expandido, arcilla expandida, escoria expandida, sílice pirogénica, materia inerte sedimentada, cenizas volantes extruidas, toba, macrolita, pizarra, escoria de alto horno expandida, cenizas volantes sinterizadas, cenizas de hulla, y combinaciones de las mismas.
- 40 9. Composición de hormigón ligero según la reivindicación 1, que tiene una densidad de desde 0,64 hasta 2,08 g/cm<sup>3</sup> (de 40 a 130 lb/ft<sup>3</sup>).
- 45 10. Lecho de carretera que comprende la composición de hormigón ligero según la reivindicación 1 o la composición de hormigón ligero según la reivindicación 1 solidificada en forma de un panel de construcción.
11. Composición de hormigón ligero según la reivindicación 1, en la que la razón de agua con respecto a cemento es mayor de 0,40.
- 50 12. Método de preparación de la composición de hormigón de premezcla ligero según la reivindicación 1, que comprende combinar arena, materia inerte gruesa, cemento, partículas preexpandidas, agua y opcionalmente un reductor de agua en una mezcladora de tipo cuba o tambor.

13. Método según la reivindicación 12, en el que el reductor de agua se selecciona del grupo que consiste en lignosulfonatos, condensados de sulfonato de naftaleno sódico formaldehído, resinas de formaldehído-melamina sulfonatadas, copolímeros de vinilo sulfonatados, resinas de urea y sales de ácidos hidroxí o polihidroxicarboxílicos, y combinaciones de los mismos.

5



FIG. 2

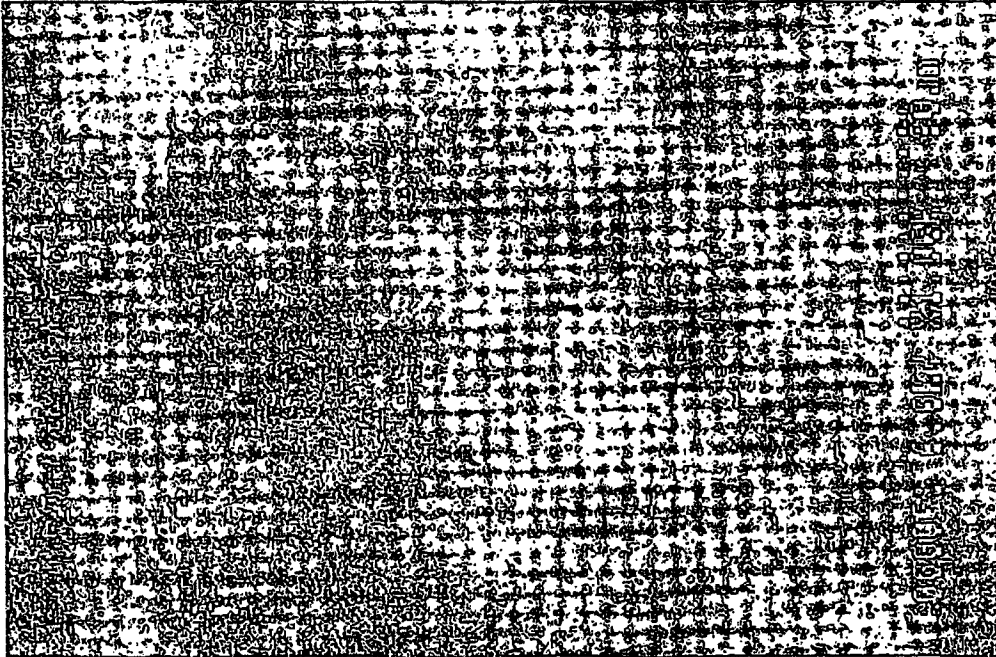


FIG. 1

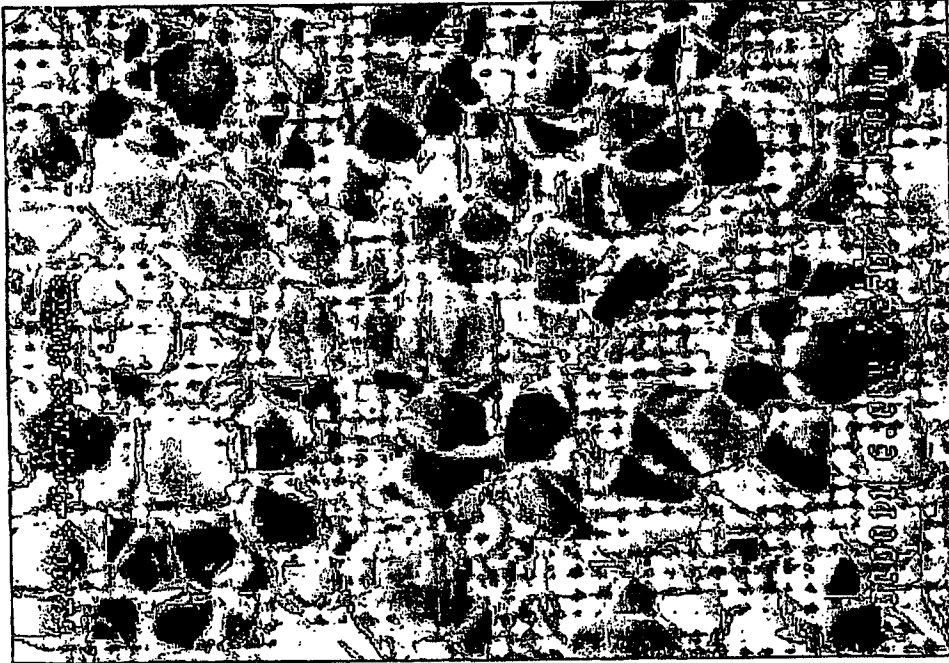


FIG. 4

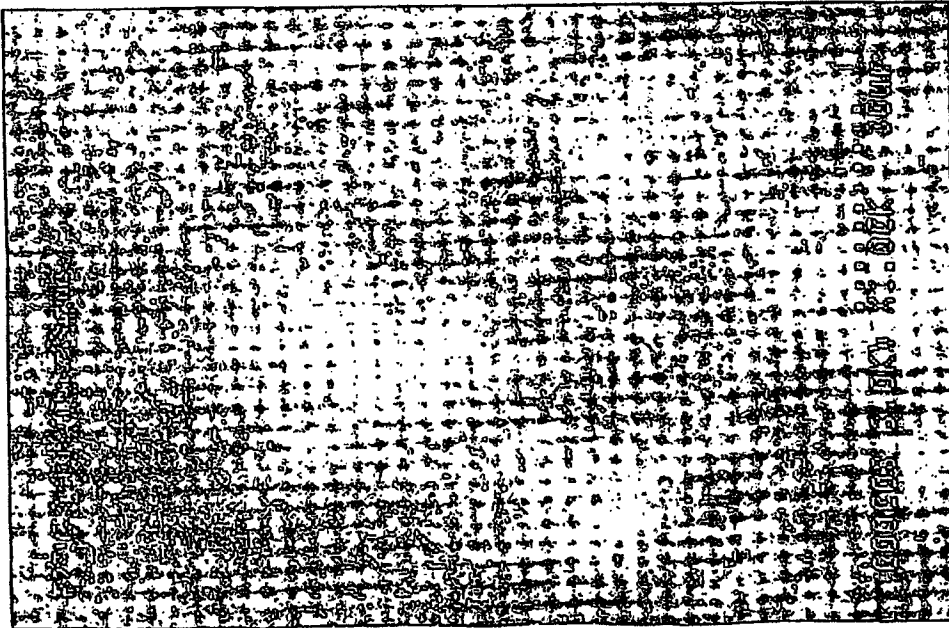


FIG. 3



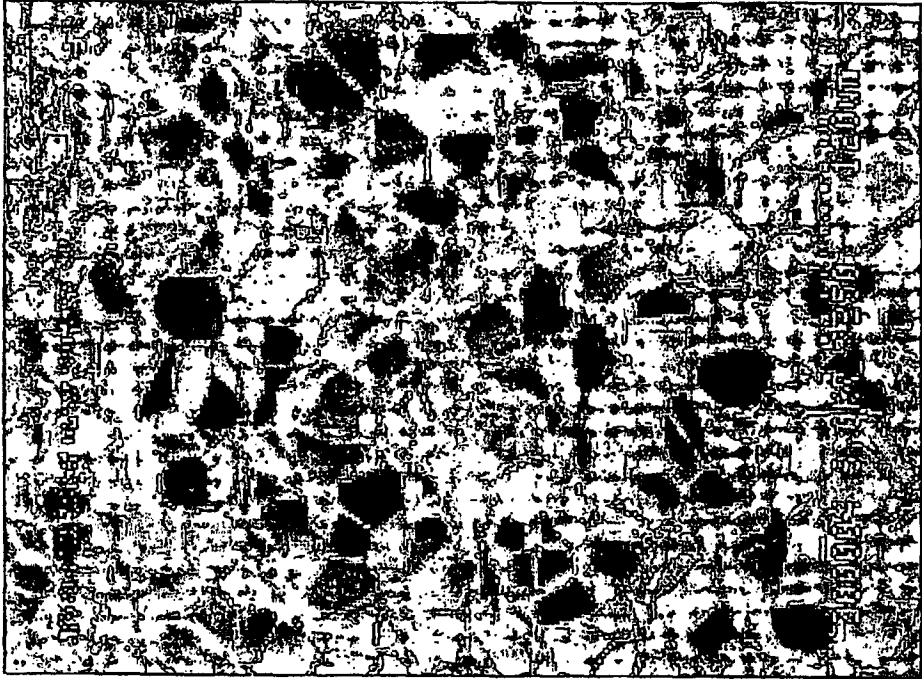


FIG. 6

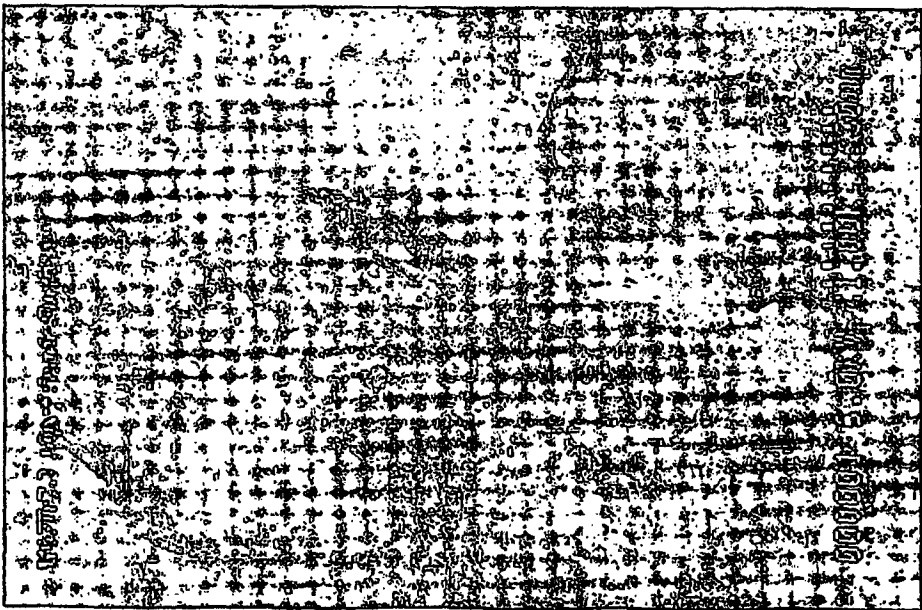


FIG. 5