

# **MÉTODOS PARA PRODUCIR PRODUCTOS DE CEMENTO DE FIBRA**

## **CURADA POR AIRE**

### **CAMPO DE LA INVENCION**

5

La presente invención se refiere a métodos para la producción de productos de cemento de fibra curada por aire. Más particularmente, la presente invención proporciona métodos para la producción de productos de  
10 cemento de fibra curada por aire, que comprenden al menos las etapas de proporcionar material de cemento de fibra curada triturada, siendo un polvo, y formar un producto de cemento de fibra curada por aire, haciendo uso del material de cemento de fibra curada triturada como una de las  
15 materias primas. La presente invención se refiere, además, a productos de cemento de fibra curada por aire obtenidos por estos métodos, así como para usos de estos productos de cemento de fibra en la industria de la construcción.

20

### **ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

El material de cemento de fibra es un material compuesto que comprende, típicamente, cemento, fibras de celulosa y al menos uno de arena de sílice, fibras  
25 sintéticas y cargas. Se usa ampliamente en la construcción y puede tomar la forma de una pluralidad de

productos, tales como, por ejemplo, láminas corrugadas para techos, pequeñas láminas para tejas (lajas), láminas para apartaderos, enchapado, placas, etc.

El material de desecho de cemento de fibra curada tiene una composición química similar a los productos de cemento de fibra fresca correspondientes a partir de los cuales se deriva los desechos y, por lo tanto, idealmente podría reciclarse y reusarse. Los documentos de patente de los EE. UU. de la técnica núms. 20080168927 y 20080072796 se relacionan con métodos para reciclar desechos de material de cemento de fibra.

Sin embargo, es un gran desafío reciclar material de desecho a partir de productos de cemento de fibra curada, por ejemplo, los productos terminados que están fuera de especificación, demolición y/o desechos de construcción y lo similar. Por ejemplo, a partir de los métodos conocidos de reciclado de desechos de cemento de fibra, parece que es muy difícil obtener un material de cemento de fibra triturada, es decir, polvo de cemento de fibra, comenzando por material de cemento de fibra curada, cuyo polvo puede usarse posteriormente como materia prima para productos frescos de cemento de fibra. Además, hasta ahora, se conocen las características del proceso que son necesarias para producir productos de cemento de fibra curada por aire fresca a partir de material de desecho de cemento de fibra triturada. De

hecho, hasta ahora, los intentos para usar material de desecho molido para la producción de productos frescos de cemento de fibra curada por aire han dado lugar a productos que no cumplen los requisitos de calidad  
5 prescritos por los reglamentos nacionales.

Más específicamente, cualquier intento en el pasado de usar material de cemento de fibra triturada como una de las materias primas para la producción de productos frescos de cemento de fibra curada por aire,  
10 resultó en mayor absorción de agua en el producto final. Esto hace que estos productos no puedan usarse por razones diferentes, tales como un mayor riesgo de moho, hinchazón y agrietamiento.

Sin embargo, la reutilización de desechos de  
15 cemento de fibra para diversos fines nuevos sigue siendo el principal, si no el único, enfoque para evitar la eliminación de grandes flujos de desechos de cemento de fibra.

## 20 **BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION**

Es un objetivo de la presente invención proporcionar métodos novedosos y mejorados para la producción de productos frescos de cemento de fibra  
25 curada por aire al usar material de desecho de cemento de fibra curada triturada como una de las materias primas.

Como se describió anteriormente, cualquier intento en el pasado de usar material de cemento de fibra triturada como una de las materias primas para la producción de productos frescos de cemento de fibra, produjo una mayor absorción de agua en el producto final, haciendo que estos productos no puedan ser utilizados por diferentes razones, tales como un mayor riesgo de moho, hinchazón y agrietamiento.

Los presentes inventores han resuelto este problema al desarrollar un método mejorado para la producción de productos frescos de cemento de fibra curada por aire que hacen uso de material de desecho de cemento de fibra triturado. Más específicamente, se ha descubierto que la suspensión acuosa de cemento de fibra, que se usará como un material de partida para la producción de productos frescos de cemento de fibra curada por aire, debe comprender entre aproximadamente 5 M% y aproximadamente 40 M% de desecho de cemento de fibra triturada curada, que pueden producirse como se explica más adelante en la presente invención. En otras modalidades particulares, dicha suspensión de cemento de fibra comprende entre aproximadamente 5 M% y aproximadamente 30 M% de polvo de desecho de cemento de fibra triturada curada, tal como entre aproximadamente 5 M% y aproximadamente 15 M% del polvo de cemento de fibra curada. Aún en otras modalidades particulares, la suspensión de cemento de fibra para la

producción de los productos de cemento de fibra curada por  
aire fresca de acuerdo con los métodos de la presente  
invención comprende menos de aproximadamente 15 M% del  
polvo de cemento de fibra curada producido de acuerdo con  
5 los métodos de la presente invención, tal como menos de  
aproximadamente 10 M% del polvo de cemento de fibra curada,  
con mayor preferencia, menos de aproximadamente 5 M% del  
polvo de cemento de fibra curada. Con respecto a lo  
anterior, la unidad "M%" se refiere al porcentaje de masa  
10 del componente sobre la masa seca total de la composición,  
es decir, todos los componentes excepto agua libre.

De hecho, los inventores han observado que  
cuando se usa menos de aproximadamente 40 M% de desechos  
de cemento de fibra en la suspensión de cemento de fibra  
15 para la producción de productos frescos de cemento de  
fibra, la absorción de agua de los productos frescos  
puede reducirse o al menos mantenerse igual, mientras que  
la densidad puede reducirse, cuando se compara con  
productos frescos de cemento de fibra curada por aire que  
20 no contienen ningún material de desecho.

Por lo tanto, con los métodos de la presente  
invención, los inventores han encontrado una nueva forma  
de procesar el desecho de cemento de fibra en productos  
frescos curados por aire que tienen una densidad menor en  
25 comparación con los productos frescos de cemento de fibra  
que no contienen desechos y esto sin afectar el grado de

absorción de agua. La propiedad de densidad disminuida permanece como un aspecto esencial con respecto a la mejora de la funcionabilidad de productos de cemento de fibra en general.

5           En un primer aspecto, la presente invención proporciona métodos para la producción de productos de cemento de fibra curada por aire, que comprenden al menos las etapas de:

          (a) proporcionar polvo de cemento de fibra  
10           curada al triturar material de cemento de fibra curada;

          (b) proporcionar una suspensión acuosa de cemento de fibra que comprende agua, aglutinante cementoso, fibras naturales o  
15           sintéticas y menos de aproximadamente 40 M% de dicho polvo de cemento de fibra curada;

          (c) proporcionar una hoja de cemento de fibra verde; y

          (d) curar por aire dicha hoja de cemento de fibra  
20           verde, de esta manera, se proporcionar un producto de cemento de fibra curada por aire.

          En modalidades particulares de los métodos de acuerdo con la invención, la etapa de proporcionar una suspensión acuosa de cemento de fibra comprende mezclar al  
25           menos agua, aglutinante cementoso, fibras naturales o sintéticas y el polvo de cemento de fibra curada, de manera

que el polvo de cemento de fibra curada está presente en la suspensión acuosa de cemento de fibra en una cantidad de entre aproximadamente 5 M% y aproximadamente 35 M% de la base seca de dicha suspensión. En modalidades particulares adicionales de los métodos de acuerdo con la invención, la etapa de proporcionar una suspensión acuosa de cemento de fibra comprende mezclar al menos agua, aglutinante cementoso, fibras naturales o sintéticas y el polvo de cemento de fibra curada, de manera que el polvo de cemento de fibra curada esté presente en la suspensión acuosa de cemento de fibra en una cantidad de entre aproximadamente 5 M% y aproximadamente 25 M% de la base seca de dicha suspensión. En aún otras modalidades particulares de los métodos de acuerdo con la invención, la etapa de proporcionar una suspensión acuosa de cemento de fibra comprende mezclar al menos agua, aglutinante cementoso, fibras naturales o sintéticas y el polvo de cemento de fibra curada, de manera que el polvo de cemento de fibra curada está presente en la suspensión acuosa de cemento de fibra en una cantidad de entre aproximadamente 5 M% y aproximadamente 15 M% de la base seca de dicha suspensión.

En modalidades particulares, los métodos de acuerdo con la invención comprenden, además, la etapa de prensar la hoja de cemento de fibra verde antes del curado por aire. En otras modalidades particulares, la etapa de prensar la hoja de cemento de fibra verde

comprende comprimir la hoja de cemento de fibra verde con una presión de entre aproximadamente 100 kg/cm<sup>2</sup> y 300 kg/m<sup>2</sup>, tal como entre aproximadamente 200 kg/cm<sup>2</sup> y 300 kg/cm<sup>2</sup>, tal como a aproximadamente 230 kg/cm<sup>2</sup>.

5           En modalidades particulares de los métodos de acuerdo con la invención, la etapa de prensar la hoja de cemento de fibra verde comprende comprimir la hoja de cemento de fibra verde durante un periodo de tiempo de al menos 300 segundos, tal como al menos 500 segundos, tal  
10 como al menos 600 segundos o al menos 700 segundos. En otras modalidades particulares de la invención, la etapa de prensar la hoja de cemento de fibra verde comprende comprimir la hoja de cemento de fibra verde durante un periodo de tiempo de entre aproximadamente 300 y  
15 aproximadamente 700 segundos.

          En modalidades particulares de los métodos de acuerdo con la invención, la etapa de proporcionar polvo de cemento de fibra curada comprende triturar un producto de cemento de fibra curada por aire. En otras modalidades  
20 particulares de los métodos de acuerdo con la invención, la etapa de proporcionar polvo de cemento de fibra curada comprende triturar un producto de cemento de fibra curada por aire al usar un molino pendular.

          En un segundo aspecto, la presente invención  
25 proporciona un producto de cemento de fibra curada por

aire obtenido usando los métodos de acuerdo con la presente invención.

En un tercer aspecto, la presente invención proporciona el uso de productos de cementos de fibra curada por aire, tal como se obtienen mediante los métodos de la invención, como un material de construcción.

### **BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS**

La **Figura 1** muestra las curvas de distribución del tamaño de partícula de las partículas de cemento y de polvo de cemento de fibra triturada como se produce por los métodos de acuerdo con la presente invención. Las muestras de cemento así como las muestras de laja de cemento de fibra curada por aire se molieron usando un molino de rodillos tipo molino pendular del Grupo Poittemill (FR). La distribución del tamaño de partícula se midió para ambos tipos de muestras a través de difracción láser en dispersión seca a 3 bar con un Malvern MasterSizer 2000. La **Figura 2** muestra el porcentaje de volumen de partículas más pequeñas en función del tamaño de partícula.

La **Figura 2** muestra las curvas de distribución del tamaño de partícula de las partículas de cemento y del polvo de cemento de fibra triturada como se producen por los métodos de acuerdo con la presente invención. Las muestras de cemento así como las muestras de laja de

cemento de fibra curada por aire se molieron usando un molino de rodillos tipo molino pendular del Grupo Poittemill (FR). La distribución del tamaño de partícula se midió para ambos tipos de muestras a través de difracción  
5 láser en dispersión seca a 3 bar con un Malvern MasterSizer 2000. La Figura 3 muestra el porcentaje de volumen de partículas en función de la clase de tamaño de partícula.

La **Figura 3** muestra las curvas de distribución del tamaño de partícula de las partículas de sílice de cuarzo y del polvo de cemento de fibra triturada como se  
10 producen por los métodos de acuerdo con la presente invención. Las muestras de cuarzo de sílice así como las muestras de laja de cemento de fibra curada por aire se molieron usando un molino de rodillos tipo molino  
15 pendular del Grupo Poittemill (FR). La distribución del tamaño de partícula se midió para ambos tipos de muestras a través de difracción láser en dispersión seca a 3 bar con un Malvern MasterSizer 2000. La Figura 4 muestra el porcentaje de volumen de partículas más pequeñas en  
20 función del tamaño de partícula.

La **Figura 4** muestra las curvas de distribución del tamaño de partícula de las partículas de cemento y del polvo de cemento de fibra triturada como se producen por los métodos de acuerdo con la presente invención. Las  
25 muestras de cuarzo de sílice así como las muestras de laja de cemento de fibra curada por aire se molieron usando un

molino de rodillos tipo molino pendular del Grupo Poittemill (FR). La distribución del tamaño de partícula se midió para ambos tipos de muestras a través de difracción láser en dispersión seca a 3 bar con un Malvern MasterSizer 2000. La Figura 5 muestra el porcentaje de volumen de partículas en función de la clase de tamaño de partícula.

La **Figura 5** es una imagen que muestra la morfología de partícula del polvo de cemento de fibra triturada obtenido por los métodos de la invención, que tiene un comportamiento fluido que es similar al comportamiento fluido del polvo cementoso, harina de sílice o harina de piedra caliza.

Las **Figuras 6 y 7** representan la resistencia a la flexión normalizada por densidad (módulo de ruptura; MOR), como se mide 29 días después de la producción, de 5 muestras de prueba diferentes (muestras 2, 3, 4, 5, 6 de las cuales la formulación se presenta en la Tabla 1) y dos muestras de referencia (muestras 1 y 7 de las cuales la formulación se presenta en la Tabla 1). El módulo de ruptura (MOR; expresado en  $\text{Pa}=\text{kg}/\text{m}.\text{s}^2$ ) se midió usando un aparato UTS/INSTRON (tipo 3345; cel=5000 N).

Las **Figuras 8 y 9** representan la resistencia a la flexión normalizada por densidad (módulo de ruptura; MOR), como se mide 7 y 28 días después de la producción, de 6 muestras de prueba diferentes (muestras 9, 10, 11, 12, 13 y 14 de las cuales la formulación se presenta en la

Tabla 3) y dos muestras de referencia (muestras 8 y 15 de las cuales la formulación se presenta en la Tabla 3). El módulo de ruptura (MOR; expresado en  $\text{Pa}=\text{kg}/\text{m}.\text{s}^2$ ) se midió usando un aparato UTS/INSTRON (tipo 3345; cel=5000 N).

5 Las **Figuras 10 y 11** representan la densidad, como se mide 7 y 28 días después de la producción, de 6 muestras de prueba diferentes (muestras 9, 10, 11, 12, 13 y 14 de las cuales la formulación se presenta en la Tabla 3) y dos muestras de referencia (muestras 8 y 15 de las  
10 cuales la formulación se presenta en la Tabla 3). La densidad se midió saturando las muestras durante 72 horas en agua del grifo. El peso de muestras se determinó posteriormente tanto en condiciones saturadas y sumergidas. Posteriormente, las muestras se colocaron a  
15 secar durante 48 horas a aproximadamente  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Para cada una de las muestras secas, se determinó nuevamente el peso. La densidad (X) para cada muestra se calculó dividiendo el peso seco (C) por la diferencia entre el peso sumergido (B) y el peso saturado (A), de acuerdo con  
20 la siguiente fórmula:  $X=C/(A-B)$ .

La **Figura 12** muestra la absorción de agua en función del tiempo de 3 muestras de prueba diferentes (muestras 9, 12 y 14 de las cuales la formulación se presenta en la Tabla 4) y dos muestras de referencia  
25 (muestras 8 y 15 de las cuales la formulación se presenta en la Tabla 4), como se mide antes del prensado. La

absorción de agua se midió usando una prueba de Karsten como se describe en la presente descripción en mayor detalle.

La **Figura 13** muestra la absorción de agua en función del tiempo de 3 muestras de prueba diferentes (muestras 9, 12 y 14 de las cuales la formulación se presenta en la Tabla 4) y dos muestras de referencia (muestras 8 y 15 de las cuales la formulación se presenta en la Tabla 4), como se mide antes del prensado. La absorción de agua se midió usando una prueba de Karsten como se describe en la presente descripción en mayor detalle.

La **Figura 14** representa la resistencia a la flexión normalizada por densidad (módulo de ruptura; MOR; % relativo de la muestra 16) de 6 muestras de prueba diferentes (muestras 17, 18, 20, 21, 22 y 23 de las cuales la formulación se presenta en la Tabla 4) y dos muestras de referencia (muestras 16 y 19 de las cuales la formulación se presenta en la Tabla 4). El módulo de ruptura (MOR; expresado en  $\text{Pa}=\text{kg}/\text{m}.\text{s}^2$ ) se midió usando un aparato UTS/INSTRON (tipo 3345; cel=5000 N).

La **Figura 15** representa la densidad (% relativo de la muestra 16) de 6 muestras de prueba diferentes (muestras 17, 18, 20, 21, 22 y 23 de las cuales la formulación se presenta en la Tabla 4) y dos muestras de referencia (muestras 16 y 19 de las cuales la formulación

se presenta en la Tabla 4). La densidad se midió saturando las muestras durante 72 horas en agua del grifo. El peso de muestras se determinó posteriormente tanto en condiciones saturadas y sumergidas. Posteriormente, las muestras se colocaron a secar durante 48 horas a aproximadamente 105 °C. Para cada una de las muestras secas, se determinó nuevamente el peso. La densidad (X) para cada muestra se calculó dividiendo el peso seco (C) por la diferencia entre el peso sumergido (B) y el peso saturado (A), de acuerdo con la siguiente fórmula:  $X=C/(A-B)$ .

La **Figura 16** muestra la absorción de agua en función del tiempo de 3 muestras de prueba diferentes (muestras 21, 22 y 23 de las cuales la formulación se presenta en la Tabla 3) y dos muestras de referencia (muestras 16 y 19 de las cuales la formulación se presenta en la Tabla 3). La absorción de agua se midió usando una prueba de Karsten como se describe en la presente descripción en mayor detalle.

La **Figura 17** representa la resistencia a la flexión normalizada por densidad (módulo de ruptura; MOR) de 6 muestras de prueba diferentes (muestras 25, 26, 27, 28, 29 y 30 de las cuales la formulación se presenta en la Tabla 5) y dos muestras de referencia (muestras 24 y 31 de las cuales la formulación se presenta en la Tabla 5). El módulo de ruptura (MOR; expresado en  $\text{Pa}=\text{kg}/\text{m}.\text{s}^2$ ) se midió usando un aparato UTS/INSTRON (tipo 3345; cel=5000 N).

La **Figura 18** representa la densidad de 6 muestras de prueba diferentes (muestras 25, 26, 27, 28, 29 y 30 de las cuales la formulación se presenta en la Tabla 5) y dos muestras de referencia (muestras 24 y 31 de las cuales la formulación se presenta en la Tabla 5). La densidad se midió saturando las muestras durante 72 horas en agua del grifo. El peso de muestras se determinó posteriormente tanto en condiciones saturadas y sumergidas. Posteriormente, las muestras se colocaron a secar durante 48 horas a aproximadamente 105 °C. Para cada una de las muestras secas, se determinó nuevamente el peso. La densidad (X) para cada muestra se calculó dividiendo el peso seco (C) por la diferencia entre el peso sumergido (B) y el peso saturado (A), de acuerdo con la siguiente fórmula:  $X=C/(A-B)$ .

La **Figura 19** muestra la absorción de agua en función del tiempo de 6 muestras de prueba diferentes (muestras 25, 26, 27, 28, 29 y 30 de las cuales la formulación se presenta en la Tabla 5) y dos muestras de referencia (muestras 24 y 31 de las cuales la formulación se presenta en la Tabla 5), como se mide antes del prensado. La absorción de agua se midió usando una prueba de Karsten como se describe en la presente descripción en mayor detalle.

La **Figura 20** muestra la absorción de agua en función del tiempo de 6 muestras de prueba diferentes

(muestras 25, 26, 27, 28, 29 y 30 de las cuales la formulación se presenta en la Tabla 5) y dos muestras de referencia (muestras 24 y 31 de las cuales la formulación se presenta en la Tabla 5), como se mide antes del  
5 prensado. La absorción de agua se midió usando una prueba de Karsten como se describe en la presente descripción en mayor detalle.

La **Figura 21** es una imagen SEM (microscopía electrónica de barrido) de una muestra de producto de  
10 cemento de fibra curada por aire, que comprende desechos de cemento de fibra curada por autoclave reciclados (caracterizados por las partículas de cuarzo blanco claramente visibles en el producto) fabricadas de acuerdo con los métodos de la presente invención.

15 La **Figura 22** es una imagen SEM (microscopía electrónica de barrido) de una muestra de producto fresco de cemento de fibra curada por aire, donde las partículas de cuarzo blanca, como se observa en productos reciclados curados por aire de acuerdo con los métodos de la  
20 presente invención, están completamente ausentes.

Los mismos signos de referencia se refieren a elementos iguales, similares o análogos en las diferentes figuras.

## **DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION**

La presente invención se describirá con respecto a modalidades particulares.

5           Cabe señalar que el término “que comprende”, usado en las reivindicaciones, no debe interpretarse como restringido a los medios que enumerados a continuación; no excluye otros elementos ni etapas. Por lo tanto, debe interpretarse como especifica la presencia de las

10   características, etapas o componentes tal como se mencionan, pero no excluye la presencia o adición de uno o más otras características, etapas o componentes, o grupos de estos. Por lo tanto, el alcance de la expresión “un dispositivo que comprende los medios A y B” no debe

15   limitarse a los dispositivos que consisten en solamente los componentes A y B. Esto significa que con respecto a la presente invención, los únicos componentes relevantes del dispositivo son A y B.

          A lo largo de esta especificación, se hace

20   referencia a “una modalidad” o “una modalidad”. Dichas referencias indican que una característica particular descrita en relación con la modalidad se incluye en al menos una modalidad de la presente invención. Por lo tanto, las apariencias de las frases “en una modalidad” o “en una

25   modalidad” en varios lugares a lo largo de esta

especificación no necesariamente se refieren a la misma modalidad, aunque podrían hacerlo. Además, las características o características particulares pueden combinarse de cualquier manera adecuada en una o más 5 modalidades, como sería evidente para un experto en la técnica.

Los siguientes términos se proporcionan únicamente para ayudar en la comprensión de la invención.

Tal como se usa en la presente descripción, las 10 formas singulares “un”, “un”, y “la” incluyen referencias tanto singulares como plurales a menos que el contexto indique claramente lo contrario.

Los términos “que comprenden”, “comprende” y “comprendidos”, como se usa en la presente descripción son 15 sinónimos de “incluyendo”, “incluye” o “que contiene”, “contiene”, y son inclusivos o abiertos y no excluyen miembros, elementos o etapas del método adicionales.

La recitación de rangos numéricos por puntos finales incluye todos los números y fracciones subsumidas 20 dentro de los rangos respectivos, así como los puntos finales mencionados.

El término “aproximadamente”, como se usa en la presente descripción cuando se refiere a un valor medible, tal como un parámetro, una cantidad, una 25 duración temporal, y lo similar, se entiende que abarca

variaciones de  $\pm 10\%$  o menos, preferentemente  $\pm 5\%$  o menos, con mayor preferencia, e  $\pm 1\%$  o menos, y aún con mayor preferencia  $\pm 0,1\%$  o menos de y desde el valor especificado, en la medida en que tales variaciones son apropiadas para realizar en la invención descrita. Debe entenderse que el valor al que se refiere el modificador “aproximadamente” también se refiere, también se describe específica y preferentemente.

Los términos “suspensión cementosa (fibra)”, “suspensión de cemento (fibra)”, “suspensión cementosa de fibra” o “suspensión de cemento de fibra”, como se hace mencionan en la presente descripción, se refieren, generalmente, a suspensiones que al menos comprenden agua, fibras y cemento. La suspensión de cemento de fibra, como se usa en el contexto de la presente invención, puede también comprender otros componentes, tales como pero no limitados a, piedra caliza, tiza, cal viva, cal apagada o hidratada, arena molida, harina de arena de sílice, harina de cuarzo, sílice amorfa, sílice de humo condensada, microsílice, metacaolín, wollastonita, mica, perlita, vermiculita, hidróxido aluminico, pigmentos, agentes antiespumantes, floculantes, y otros aditivos.

“La(s) fibra(s)” presente(s) en la suspensión de cemento de fibra, como se describe en la presente descripción, puede(n) ser, por ejemplo, fibras de proceso

y/o fibras de refuerzo, que ambas pueden ser fibras orgánicas (típicamente, fibras de celulosa) o fibras sintéticas (alcohol polivinílico, poliacrilonitrilo, polipropileno, poliamida, poliéster, policarbonato, etc.).

5 El “cemento” presente en la suspensión de cemento de fibra, como se describe en la presente descripción, puede ser, por ejemplo, pero no se limitan a, cemento Portland, cemento con alto contenido de alúmina, cemento Portland de hierro, cemento trass,  
10 cemento de escoria, yeso, silicatos de calcio formados por tratamiento en autoclave y combinaciones de aglutinantes particulares. En modalidades más particulares, el cemento en los productos de la invención es el cemento Portland.

15 El término “permeable al agua”, como se usa en la presente descripción, cuando se refiere a una banda de transporte permeable al agua (región de a) generalmente significa que el material del cual está hecha la banda se hace permeable al agua (región de esta) permite que el  
20 agua fluya a través de su estructura en cierto punto.

El término “densidad aparente”, como se menciona en la presente descripción, debe entenderse como la propiedad de un polvo o gránulos, u otro sólido particulado, especialmente con referencia a componentes  
25 minerales (partículas de cemento, partículas de relleno o partículas de sílice). La densidad aparente se expresa en

kilogramos por metro cúbico ( $1 \text{ g/ml} = 1000 \text{ kg/m}^3$ ) o en gramos por mililitro ( $\text{g/ml}$ ) debido a que las mediciones se realizan usando cilindros. También puede expresarse en gramos por centímetro cúbico ( $\text{g/cm}^3$ ). La densidad  
5 aparente se define como el peso de una cierta cantidad de partículas de un material específico dividido por el volumen total de partículas que ocupa. El volumen total incluye el volumen de partículas, el volumen vacío entre partículas y el volumen de poros internos. La densidad  
10 aparente de los polvos a que se refiere la presente descripción también se denomina densidad de “asentamiento libre” o “vertido”, es decir, la densidad aparente medida después de verter el polvo, sin aplicar ningún proceso de compactación adicional.

15 La densidad aparente de un polvo puede determinarse mediante cualquier método estándar para medir la densidad aparente según lo conocido por el experto.

Por ejemplo, la densidad aparente de un polvo puede determinarse midiendo el volumen de una masa conocida  
20 de la muestra en polvo, que puede haber pasado a través de un tamiz, en un cilindro graduado (descrito a continuación como método A) o mediante la medición de la masa de un volumen conocido de polvo que se ha pasado a un recipiente de medición (descrito a continuación como método B).

## Método A. Medición en un cilindro graduado

*Procedimiento.* Pasar una cantidad de polvo suficiente para completar la prueba a través de un tamiz con aberturas mayores o iguales a 1,0 mm, si es necesario, para romper los aglomerados que pueden haberse formado durante el almacenamiento; esto debe hacerse suavemente para evitar cambiar la naturaleza del material. En un cilindro graduado seco de 250 ml (legible a 2 ml), introduzca suavemente, sin compactar, aproximadamente 100 g de la muestra de prueba ( $m$ ) pesado con precisión de 0,1 %. Nivele cuidadosamente el polvo sin compactar, si es necesario, y lea el volumen aparente (de  $V_0$ ) a la unidad graduada más cercana. Calcular la densidad aparente en (g/ml) usando la fórmula  $m/V_0$ . Generalmente, las determinaciones replicadas son deseables para la determinación de esta propiedad.

Si la densidad del polvo es demasiado baja o demasiado alta, de tal manera que la muestra de prueba tenga un volumen aparente sin explotar de más de 250 ml o menos de 150 ml, no es posible usar 100 g de muestra de polvo. Por lo tanto, se debe seleccionar una cantidad diferente de polvo como muestra de prueba, de modo que su volumen aparente sin explotar sea de 150 ml a 250 ml (volumen aparente mayor o igual al 60 % del volumen total del cilindro); la masa de la muestra de prueba se especifica en la expresión de resultados.

Para las muestras de prueba que tienen un volumen aparente entre 50 ml y 100 ml se puede usar un cilindro de 100 ml de lectura a 1 ml; el volumen del cilindro se especifica en la expresión de resultados.

5

#### Método B. Medición en un recipiente

*Aparato.* El aparato consiste en un recipiente cilíndrico de acero inoxidable de 100 ml. *Procedimiento.* Pasar una cantidad de polvo suficiente para completar la  
10 prueba través de un tamiz de 1,0 mm, si es necesario, para romper los aglomerados que se hayan formado durante el almacenamiento y permitir que la muestra obtenida fluya libremente hacia el recipiente de medición hasta que se desborde. Cuidadosamente raspar el exceso de polvo  
15 de la parte superior del recipiente. Determinar la masa ( $M_0$ ) del polvo hasta el 0,1 % más cercano restando la masa previamente determinada del recipiente de medición vacío. Calcular la densidad aparente (g/ml) usando la fórmula de  $M_0/100$  y registrar el promedio de tres  
20 determinaciones con tres muestras de polvo diferentes.

Como se usa en la presente descripción, una “hoja (de cemento de fibra)” u “hoja de cemento de fibra” u “hoja”, y también denominada panel o placa, debe entenderse como un elemento plano, generalmente  
25 rectangular, con un panel de cemento de fibra o lámina de cemento de fibra que se proporciona fuera del material de

cemento de fibra. El panel o la lámina tiene dos caras o superficies principales, siendo las superficies con el área superficial más grande. La hoja puede usarse para proporcionar una superficie exterior a las paredes, tanto  
5 internas como externas de un edificio o construcción, p. ej., como placa de fachada, revestimiento, etc.

La presente invención se refiere a métodos novedosos y mejorados para la producción de productos frescos de cemento de fibra curada por aire mediante el  
10 uso de material de desecho de cemento de fibra curada triturada como una de las materias primas.

En particular, los inventores han descubierto que la cantidad de desecho de cemento de fibra usada para la producción de productos de cemento de fibra es  
15 esencial para la mejora de las características del producto final. Más particularmente, se descubrió que la suspensión acuosa de cemento de fibra, que se usa como un material de partida para la producción de productos frescos de cemento de fibra, debe contener menos de  
20 aproximadamente 40 M% de desechos de cemento de fibra de la base seca de dicha suspensión y, preferentemente, entre aproximadamente 5 M% y aproximadamente 35 M% de desechos de cemento de fibra de la base seca de dicha suspensión, con mayor preferencia, entre aproximadamente  
25 5 M% y aproximadamente 25 M% de desechos de cemento de fibra de la base seca de dicha suspensión, con la máxima

preferencia, entre aproximadamente 5 M% y aproximadamente 25 M% de desechos de cemento de fibra de la base seca de dicha suspensión. Los inventores han observado que cuando se usa menos de aproximadamente 40 M% de desechos de cemento de fibra en la suspensión de cemento de fibra para la producción de productos frescos de cemento de fibra, la absorción de agua de los productos frescos curados por aire disminuye o al menos permanece estable en comparación con productos frescos curados por aire que no contienen ningún desecho de cemento de fibra y la densidad disminuye. Esta observación contrasta con lo que normalmente se observa cuando se trata de disminuir la densidad de productos de cemento de fibra por métodos conocidos, donde típicamente una densidad inferior resulta en un aumento no deseado de absorción de agua.

La ventaja principal de producir hojas o placas de cemento de fibra con densidades más bajas en comparación con los productos de cemento de fibra convencionales (es decir, que no contienen desechos o no reciclados) es que los productos obtenidos por los métodos de acuerdo con la presente invención son más ligeros que los productos libres de desechos de igual dimensión y como consecuencia tienen una mejor capacidad de trabajo. La capacidad de trabajo abarca la facilidad con que se maneja e instala la placa.

En un primer aspecto, la presente invención proporciona métodos para la producción de productos de

cemento de fibra curada por aire, que comprenden al menos las etapas de:

- 5 (a) proporcionar polvo de cemento de fibra curada al triturar material de cemento de fibra curada;
- (b) proporcionar una suspensión acuosa de cemento de fibra que comprende agua, aglutinante cementoso, fibras naturales o sintéticas y menos de aproximadamente 40 M%  
10 de dicho polvo de cemento de fibra curada;
- (c) proporcionar una hoja de cemento de fibra verde; y
- (d) curar por aire dicha hoja de cemento de fibra verde, de esta manera, se proporcionar un  
15 producto de cemento de fibra curada por aire.

La unidad "M%" se refiere al porcentaje de masa del componente sobre la masa seca total de la composición, es decir, todos los componentes excepto agua libre.

La primera etapa en los métodos de acuerdo con  
20 la presente invención comprende proporcionar un polvo de cemento de fibra curada al triturar el material de cemento de fibra curada.

El material de cemento de fibra curada, que debe estar triturada, es típicamente material de desecho, p.  
25 ej., desechos de demolición, desechos de producción de la planta de producción de cemento de fibra, desechos de las

obras de construcción o productos de cemento de fibra rechazados. El material de cemento de fibra curada triturada, típicamente, en forma de polvo de cemento de fibra curada, puede usarse como materia prima para  
5 productos frescos de cemento de fibra curada por aire, en los cuales se recicla el polvo de cemento de fibra curada.

El polvo de cemento de fibra curada para usarse en productos frescos de cemento de fibra curada por aire, preferentemente, aunque no necesariamente, es un polvo de  
10 cemento de fibra triturada curada por aire.

En la alternativa, el producto de cemento de fibra curada, que se trituró para proporcionar polvo de cemento de fibra curada, puede ser un polvo de cemento de fibra triturada curada por autoclave.

15 En ciertas modalidades particulares, la trituración del material de cemento de fibra curada se realiza haciendo uso de un molino pendular. En otras modalidades particulares, los métodos para la producción del material de cemento de fibra curada triturada  
20 comprenden, además, la etapa de secado del material de cemento de fibra curada durante la trituración en el molino pendular. Aún en otras modalidades particulares, la etapa de secar el material de cemento de fibra curada durante la trituración en el molino pendular se lleva a  
25 cabo al inyectar aire caliente en el molino pendular durante la trituración.

En modalidades particulares, el material de cemento de fibra curada para usarse como material de partida para la producción de material de cemento de fibra curada triturada tiene un contenido de agua menor o igual a  
5 aproximadamente 10 % en peso. En modalidades particulares adicionales, el material de cemento de fibra curada para uso como material de partida para la producción de material de cemento de fibra triturada tiene un contenido de agua menor o igual a aproximadamente 10 % en peso, tal como  
10 menor que o igual a aproximadamente 8 % en peso, por ejemplo, menor que o igual a aproximadamente 6 % en peso, tal como menor que o igual a aproximadamente 5 % en peso.

En ciertas modalidades particulares, el material de cemento de fibra curada para uso como  
15 material de partida para la producción de material de cemento de fibra curada triturada es material de cemento de fibra curada por aire.

Alternativamente, el producto de cemento de fibra curada por autoclave puede triturarse para  
20 proporcionar el polvo de cemento de fibra curada. Una combinación de producto de cemento de fibra curada por aire y curado en autoclave puede triturarse, o el polvo de cemento de fibra curada por aire y el polvo de cemento de fibra curada por autoclave pueden combinarse para  
25 proporcionar el polvo de cemento de fibra curada.

Una de las ventajas más importantes del polvo de cemento de fibra triturada como se produce de acuerdo con los métodos de la invención es que las partículas tienen una textura granulada, similar a la arena y tienen un comportamiento fluido que es similar al comportamiento fluido y la densidad aparente (como se define en la presente descripción) de polvo cementoso, harina de sílice o harina de piedra caliza (ver, por ejemplo, la Figura 5). En modalidades particulares, el polvo triturado como se produce mediante los métodos de acuerdo con la presente invención se caracteriza específicamente por una densidad aparente de  $1000 \text{ kg/m}^3$  y  $1600 \text{ kg/m}^3$ , y preferentemente, entre  $1000 \text{ kg/m}^3$  y  $1300 \text{ kg/m}^3$ .

De esta manera, el polvo es adecuado para reciclarse en productos de cemento de fibra fresca, sin la necesidad elaborar cambios importantes en el proceso de producción (p. ej., el proceso Hatschek) para producir productos de cemento de fibra fresca, es decir, productos de cemento de fibra curada por aire o autoclave curado.

Además, las partículas de polvo de cemento de fibra curada producido de la invención tienen una distribución de tamaño de partícula, que es similar a la distribución de tamaño de partícula de un material aglutinante cementoso (p. ej., cemento) o una fuente silícea (p. ej., arena o cuarzo) o un material de relleno (p. ej.,  $\text{CaCO}_3$ ). En modalidades particulares, las

partículas de polvo de cemento de fibra curada producidas se caracterizan por una distribución de tamaño de partícula que es similar a la distribución de tamaño de partícula de cemento (ver por ejemplo las Figuras 1 y 2).

5 En modalidades particulares, las partículas de polvo de cemento de fibra curada producidas se caracterizan por una distribución de tamaño de partícula, que es similar a la distribución de tamaño de partícula de una fuente silícea (ver por ejemplo las Figuras 3 y 4).

10 Con “la igualación de la distribución del tamaño de partícula” de diferentes materiales, tales como cemento, rellenos, material silíceo (p. ej., arena) y el producto de cemento de fibra triturado, como se usa en la presente descripción, significa que estos materiales  
15 pueden usarse juntos en un proceso para proporcionar una suspensión de cemento de fibra para fabricar productos frescos de cemento de fibra curada por aire, en particular mediante el uso de un proceso de Hatschek, sin necesidad de cambiar radicalmente la configuración del proceso.

20 Por lo tanto, el polvo de cemento de fibra curada puede reemplazar parte del relleno, tal como piedra caliza, y/o cemento usado para proporcionar las hojas de cemento de fibra curada por aire frescas. El polvo de cemento de fibra curada puede reemplazar parte  
25 del cemento usado para producir el material de cemento de fibra fresca curada por aire, y/o puede reemplazar parte

de la fuente silíceas (p. ej., parte de la arena molida) para productos de cemento de fibra curada por autoclave y/o puede reemplazar parte de los rellenos (p. ej., piedra caliza molida) que se usan en productos de cemento de fibra curada por autoclave o curado por aire.

Preferentemente, el material de cemento de fibra curada, que se proporciona como el material de partida para la producción de material de cemento de fibra curada triturada, se proporciona en partes que tienen un tamaño máximo de no más de 5 cm, típicamente, como piezas de forma rectangular con lados no mayores que 3 cm o incluso no mayores que 2 cm, antes de triturarse, por ejemplo, mediante el uso de un molino de péndulo. En este contexto, una parte con un tamaño no mayor que A cm significa que la longitud más larga de la partícula no es mayor que A cm.

En las Figuras. 1 a 4 se representan las distribuciones del tamaño de partícula de las lajas de cemento de fibra curada molida en comparación con las partículas de cemento (Figuras 1 y 2) y en comparación con las partículas de sílice (Figuras 3 y 4). Las lajas de cemento de fibra curada por aire, que pueden obtenerse como Alternas de Eternit NV Bélgica, se trituraron previamente de tal manera que no superan los 2 por 2 cm. La humedad total del material de desecho de cemento de fibra curada previamente triturado, en este caso material

de cemento de fibra curada por aire, fue aproximadamente 5 % -6 % en peso sobre el peso seco.

El % en peso basado en el peso seco es la diferencia de peso entre el material como las muestras y el material seco en un horno ventilado a 105 °C hasta que se obtiene un peso constante.

Este material previamente triturado se alimentó a una velocidad de flujo de aproximadamente 350 kg/hr a aproximadamente 800 kg/hr a un molino de rodillos de tipo molino pendular del Grupo Poittemill (FR), en el cual el material se trituró a una velocidad de rotación de entre aproximadamente 100 y aproximadamente 400 tr/min. Para compensar la humedad del material previamente triturado, se alimentó de aire caliente (a una temperatura entre aproximadamente 20 °C y aproximadamente 100 °C) junto con el material previamente triturado, para suprimir instantáneamente la humedad del material previamente triturado y el polvo de cemento de fibra molida obtenida.

A medida que se obtuvo el material de cemento de fibra curada triturada, de la cual se obtuvo la curva de distribución del tamaño de partícula, medida mediante difracción de rayo láser sobre el material dispersado seco a 3 bar por medio del aparato Malvern mastersizer 2000.

Este polvo de cemento de fibra obtenido por medio de molienda pendular tuvo una buena consistencia (no lanosa o esponjosa), una densidad aparente adecuada

(entre aproximadamente 1000 kg/m<sup>3</sup> y aproximadamente 1300 kg/m<sup>3</sup>) y una buena distribución de partículas, para usarse en la producción de productos de cemento de fibra fresca. Sin estar atados a ninguna hipótesis o teoría, los presentes inventores creen que la molienda pendular, tal como se usa en los métodos de acuerdo con la presente invención proporciona un nuevo y mejorado polvo de desecho de cemento de fibra triturada porque con esta técnica los desechos de cemento de fibra son aplastadas o aplanadas como opuestas a otras técnicas de molienda, que típicamente se muelen mediante trituración o molienda.

En modalidades particulares, la distribución de partículas deseada del material de cemento de fibra curada triturada de acuerdo con los métodos de la presente invención puede obtenerse al moler el material de cemento de fibra curada en ausencia de arena u otra fuente de sílice. Esto facilita, además, el material de cemento de fibra curada triturada que se usa como buena materia prima para el material de desecho de cemento de fibra fresca curada por aire y curada por autoclave.

En otras modalidades particulares, la trituración del material de cemento de fibra curada se realiza en el denominado estado seco, es decir, el material de cemento de fibra curada proporcionado no se pone en suspensión de un líquido (típicamente agua) para permitir la molienda, como es el caso de algunas otras

técnicas de molienda. Como resultado, se proporciona un material de cemento de fibra curada triturada relativamente seca en forma de polvo. Esto facilita el almacenamiento de un producto intermedio antes de usarlo, p. ej., fabricar el material de desecho fresco de cemento de fibra curada, siendo material de desecho de cemento de fibra fresca curada por aire y curado por autoclave.

La segunda etapa de los métodos de acuerdo con la presente invención comprende proporcionar una suspensión acuosa de cemento de fibra que comprende agua, aglutinante cementoso, fibras naturales o sintéticas y el polvo de cemento de fibra curada. En modalidades particulares, la suspensión de cemento de fibra comprende por lo menos 5 M% de polvo de cemento de fibra curada, ventajosamente al menos 10 M% del polvo de cemento de fibra curada. En otras modalidades particulares, la suspensión de cemento de fibra comprende, preferentemente, menos de 40 M% de polvo de cemento de fibra curada, ventajosamente menos de 35 M% de polvo de cemento de fibra curada, más ventajosamente, menos de 20 M% de polvo de cemento de fibra curada, incluso menos de 15 M%.

En otras modalidades particulares de los métodos de acuerdo con la invención, la etapa de proporcionar una suspensión de cemento de fibra acuosa comprende mezclar por lo menos agua, aglutinante cementoso, fibras naturales o sintéticas y el polvo de cemento de fibra curada, de manera

que el polvo de cemento de fibra curada esté presente en la suspensión acuosa de cemento de fibra en una cantidad de entre aproximadamente 5 M% y aproximadamente 420 M%, preferentemente, entre aproximadamente 5 M% y 5 aproximadamente 30 M%, con mayor preferencia, entre aproximadamente 5 M% y aproximadamente 20 M%, con la máxima preferencia, entre aproximadamente 5 M% y aproximadamente 15 M% de la base seca de dicha suspensión.

Con respecto a lo anterior, la unidad "M%" se 10 refiere al porcentaje de masa del componente sobre la masa seca total de la composición, es decir, todos los componentes excepto agua.

En la siguiente etapa de los métodos de la presente invención, los materiales de cemento de fibra 15 fresca se han elaborado a partir de la suspensión de cemento de fibra, que se forma en un denominado producto de cemento de fibra verde.

La suspensión de cemento de fibra comprende, típicamente, agua, fibras de proceso o reforzadas que 20 pueden ser fibras orgánicas naturales (típicamente, fibras de celulosa) y fibras orgánicas sintéticas (alcohol polivinílico, poliacrilonitrilo, polipropileno, poliamida, poliéster, policarbonato, polietileno, etc.), cuyas fibras pueden tratarse superficialmente 25 (químicamente o mecánicamente) o no, fibras inorgánicas sintéticas, tales como fibras de vidrio, cemento, p. ej.,

cemento Portland, piedra caliza, tiza, cal viva, cal apagada o hidratada, arena molida, harina de arena de sílice, harina de cuarzo, sílice amorfa, sílice de humo condensada, microsílice, metacaolín, wollastonita, mica, perlita, vermiculita, hidróxido de aluminio, agentes antiespumantes, floculantes y otros aditivos tales como agentes de hidrofobación o repelentes de agua. Opcionalmente, puede agregarse un aditivo de color (p. ej., pigmentos) para obtener un producto de cemento de fibra que se denomina coloreado en la masa.

Los productos de cemento de fibra, también denominados hojas de cemento de fibra o paneles de cemento de fibra, usualmente se fabrican usando el proceso de Hatschek, el proceso de flujo o el proceso Magnani o combinaciones adecuadas de estos.

En modalidades particulares, los productos de cemento de fibra verde se prensan, opcionalmente, antes del curado.

En modalidades particulares, la etapa opcional de presionar el producto de cemento de fibra verde se realiza al usar una o más prensas mecánicas que incluyen, pero no se limitan a, una o más prensas de cargas superpuestas.

En modalidades particulares, la etapa opcional de presionar el producto de cemento de fibra verde se realiza a una presión de entre aproximadamente 180 kg/cm<sup>2</sup> y aproximadamente 250 kg/cm<sup>2</sup>, tal como entre

aproximadamente 200 kg/cm<sup>2</sup> y aproximadamente 240 kg/cm<sup>2</sup>, tal como aproximadamente 230 kg/cm<sup>2</sup>.

En modalidades particulares de los métodos de acuerdo con la invención, la etapa opcional de prensar el  
5 producto de cemento de fibra verde comprende comprimir la hoja de cemento de fibra verde durante un periodo de tiempo entre aproximadamente 5 minutos y aproximadamente 15 minutos, tal como entre aproximadamente 5 minutos y aproximadamente 10 minutos, tal como entre  
10 aproximadamente 5 minutos y aproximadamente 7 minutos, preferentemente, aproximadamente 6 minutos.

La presión aplicada a la hoja de cemento de fibra verde, es decir, no curada causa que la densidad de la hoja de cemento de fibra verde aumente (ver, por  
15 ejemplo, la Tabla 2).

La densidad de los productos finales de cemento de fibra como los obtenidos al usar los métodos según la presente invención, puede variar de aproximadamente 1,0 kg/dm<sup>3</sup> a aproximadamente 2,5 kg/dm<sup>3</sup>, tal como de  
20 aproximadamente 1,3 kg/dm<sup>3</sup> a aproximadamente 2,0 kg/dm<sup>3</sup>, preferentemente, aproximadamente 1,5 kg/dm<sup>3</sup>.

En modalidades particulares, la hoja de cemento de fibra verde no prensada puede tener un grosor en el intervalo de aproximadamente 3 mm y aproximadamente  
25 25 mm, tal como entre aproximadamente 4 mm y aproximadamente 20 mm, tal como entre aproximadamente

4 mm y aproximadamente 12 mm, preferentemente, aproximadamente 5 mm.

En modalidades particulares, la hoja de cemento de fibra verde prensada tiene un grosor en el intervalo de entre aproximadamente 2 mm y aproximadamente 20 mm, tal como entre aproximadamente 3 mm y aproximadamente 15 mm, tal como entre aproximadamente 3 mm y aproximadamente 10 mm, preferentemente aproximadamente 4 mm.

Por último, los métodos de la presente invención comprenden la etapa de curar por aire la hoja de cemento de fibra, de esta manera, proporcionando un producto fresco de cemento de fibra curada por aire.

El producto de cemento de fibra “verde”, después de fabricarse por un proceso de proporcionar una hoja, tal como el proceso de Hatschek y presionarse, puede primero ser precurado por aire, después el producto precurado es, además, curado por aire hasta que tiene su resistencia final.

Después de suministrarse, las hojas verdes frescas pueden apilarse con hojas metálicas colocadas entre las hojas de cemento de fibras verdes apiladas y prensadas en forma apilada. Alternativamente, las hojas verdes frescas pueden prensarse individualmente y, después, apilarse con hojas metálicas colocadas entre las hojas de cemento de fibra verde apiladas y prensadas. Las hojas verdes frescas pueden formarse, como onduladas,

antes de apilarse con hojas metálicas formadas intermedias colocadas entre las hojas de cemento de fibra. Para las hojas formadas, p. ej. onduladas, las hojas se presionan, típicamente, individualmente.

5           La etapa de precurado puede tardar varias horas, p. ej., entre aproximadamente 1 hora y 10 horas, tal como entre 2 horas y 8 horas, tal como entre 3 horas y 5 horas, preferentemente, aproximadamente 4 horas, durante la cual la temperatura de las hojas aumenta  
10 debido a la reacción exotérmica de curado del cemento. El precurado puede realizarse en condiciones controladas que controlan la humedad, la temperatura o ambas.

Después de una primera etapa de “precurado”, curar las hojas verdes al aire en forma apilada con hojas  
15 metálicas intermedias, las hojas pueden reapilarse mientras se retiran las hojas metálicas de entre las hojas precuradas de cemento de fibra verde. Después de retirar las placas metálicas, las hojas de cemento de fibra verde precuradas se curan, además, al aire durante  
20 una etapa de curado, que puede tardar varios días, típicamente, 2 a 4 semanas.

El grosor de los productos finales de cemento de fibra como se obtiene al usar los métodos de acuerdo con la presente invención, puede variar de  
25 aproximadamente 4 mm a aproximadamente 20 mm, tal como de aproximadamente 7 mm a aproximadamente 13 mm.

La longitud y ancho de los productos finales de cemento de fibra se obtienen al usar los métodos de acuerdo con la presente invención, pueden variar de aproximadamente 1 metro a aproximadamente 1,7 metros de ancho y de aproximadamente 1 metro a aproximadamente 3,6 metros de longitud.

En un aspecto adicional, la presente invención proporciona productos de cementos de fibra curados por aire tal como se obtienen mediante los métodos de acuerdo con la invención.

En otro aspecto, la presente invención proporciona usos de los productos de cementos de fibra curada por aire, tal como se obtienen mediante los métodos de la invención, como material de construcción.

Es una ventaja de ciertas modalidades de la presente invención que las hojas de cemento de fibra curada por aire resultantes son adecuadas y pueden usarse como hojas de techo onduladas, azulejos de techo y otros productos que requieren la presencia de una gran cantidad de cemento.

La invención se explicará ahora en mayor detalle con referencia a los siguientes ejemplos.

### **Ejemplos**

Se apreciará que los siguientes ejemplos, dados con fines ilustrativos, no deben interpretarse como

limitantes del alcance de esta invención. Aunque solo algunas modalidades ilustrativas de esta invención se han descrito en detalle anteriormente, los expertos en la técnica apreciarán fácilmente que muchas modificaciones son posibles en las modalidades ilustrativas sin apartarse materialmente de las enseñanzas y ventajas novedosas de esta invención. En consecuencia, todas dichas modificaciones pretenden incluirse dentro del alcance de esta invención que se define en las siguientes reivindicaciones y todos los equivalentes a estas. Además, se reconoce que muchas modalidades pueden estar concebidas que no logran todas las ventajas de algunas modalidades, pero la ausencia de una ventaja particular no deberá interpretarse necesariamente como que dicha modalidad está fuera del alcance de la presente invención.

Ejemplo 1: Producción de polvo de cemento triturado curado por aire producido con un molino pendular de acuerdo con los métodos de la invención.

En modalidades particulares, la distribución de partículas deseada del material de cemento de fibra curada triturada por aire de acuerdo con los métodos de la presente invención puede obtenerse moliendo material de cemento curado por aire en ausencia de arena u otra fuente de sílice. Esto facilita, además, el material de cemento de fibra curada triturada que se usa como buena

materia prima para el material de desecho de cemento de fibra fresca curada por aire y curada por autoclave.

En modalidades particulares adicionales, la trituración del material de cemento de fibra curada se realiza en el denominado estado seco a una humedad de entre aproximadamente 5 % a aproximadamente 10 %, preferentemente entre aproximadamente 5 % a aproximadamente 6 %. El material de cemento de fibra curada provisto no debe llevarse a la suspensión de un líquido (típicamente agua) para permitir la molienda, como es el caso de algunas otras técnicas de molienda. Como resultado, se proporciona un material de cemento de fibra curada triturada relativamente seca en forma de polvo. Esto facilita el almacenamiento de un producto intermedio antes de usarlo, p. ej., fabricar el material de desecho fresco de cemento de fibra curada, siendo material de desecho de cemento de fibra fresca curada por aire y curado por autoclave.

El polvo de cemento de fibra curada obtenido al triturar el material de cemento de fibra curada según los métodos de la presente invención tiene una distribución de tamaño de partícula como se muestra, por ejemplo, en las Figuras 1 a 4. Como puede derivarse de las Figuras 1 a 4, la distribución de partículas es similar a la de los materiales de partida frescos estándar para producir

cemento de fibra, p. ej., partículas cementosas, partículas de sílice molida y/o partículas de cal molida.

En modalidades particulares de los métodos de la presente invención, el material de cemento de fibra curada se alimenta a un molino pendular (es decir, para trituración) como partes que tienen un tamaño máximo no mayor que 5 cm, típicamente, como piezas rectangulares con un lado no mayor que 3 cm o incluso no mayor que 2 cm. En el contexto de la presente invención, una parte con un tamaño no mayor que A cm significa que la longitud mayor de la partícula no es mayor que A cm.

En las Figuras 1 a 4 se representan las distribuciones del tamaño de partícula de las lajas de cemento de fibra curada molida en comparación con las partículas de cemento (Figuras 1 y 2) y en comparación con las partículas de sílice (Figuras 3 y 4). Las lajas de cemento de fibra curada por aire, que pueden obtenerse como Alterna de Eternit NV Bélgica, se trituraron previamente de tal manera que no superan los 2 por 2 cm. La humedad total del material de desecho de cemento de fibra curada previamente triturado, en este caso material de cemento de fibra curada por aire, fue aproximadamente 5 % -6 % en peso sobre el peso seco.

El % en peso basado en el peso seco es la diferencia de peso entre el material como las muestras y

el material seco en un horno ventilado a 105 °C hasta que se obtiene un peso constante.

Este material previamente triturado se alimentó a una velocidad de flujo de aproximadamente 350 kg/hr a  
5 aproximadamente 800 kg/hr a un molino de rodillos de tipo molino pendular del Grupo Poittemill (FR), en el cual el material se trituró a una velocidad de rotación de entre aproximadamente 100 y aproximadamente 400 tr/min. Para compensar la humedad del material previamente triturado, se  
10 alimentó de aire caliente (a una temperatura entre aproximadamente 20 °C y aproximadamente 100 °C) junto con el material previamente triturado, para suprimir instantáneamente la humedad del material previamente triturado y el polvo de cemento de fibra molida obtenida.

15 A medida que se obtuvo el material de cemento de fibra curada triturada, de la cual se obtuvo la curva de distribución del tamaño de partícula, medida mediante difracción de rayo láser sobre el material dispersado seco a 3 bar por medio del aparato Malvern mastersizer 2000.

20 Este polvo de cemento de fibra obtenido por medio de molienda pendular tuvo una buena consistencia (no lanosa o esponjosa), una densidad aparente adecuada (entre aproximadamente 1000 kg/m<sup>3</sup> y aproximadamente 1300 kg/m<sup>3</sup>) y una buena distribución de partículas, para usarse en la  
25 producción de productos de cemento de fibra fresca.

Ejemplo 2: Producción de láminas de cemento de fibra curada  
por aire que comprenden de 5M% a 10M% de polvo de cemento  
de fibra triturada curada por aire como se produce de  
acuerdo con los métodos de la invención

5

El polvo de cemento de fibra, obtenido como se describe en el Ejemplo 1, se usó para producir láminas de cemento de fibra fresca, es decir, productos curados por aire de cemento de fibra fresca.

10

Para la producción de láminas de cemento de fibra, típicamente se usa la siguiente formulación de una suspensión acuosa de cemento de fibra:

15

- 73 a 80 M% de cemento, tal como el cemento Portland
- 3 a 4 M% de fibras celulósicas (tales como pulpa Kraft de madera blanda sin blanquear)
- 1,5 a 1,9 M% de fibras de alcohol polivinílico
- 10 a 18 M% de carga carbonácea (típicamente piedra caliza)
- y opcionalmente, una cantidad menor de otros aditivos.

20

M% se refiere a la masa del componente sobre la masa total de todos los componentes, excepto agua libre, es decir, la materia seca.

25

Se produjo una serie de 5 muestras de suspensión de prueba (ver Tabla 1 a continuación:

muestras 2 a 6), en donde al menos parte o toda la carga carbonácea o al menos parte del cemento o parte de la carga carbonácea y el cemento se reemplazó por el polvo de cemento de fibra curada triturada, según se obtuvo usando el método de trituración explicado en el Ejemplo 1. Además, se produjeron 2 muestras de suspensión de referencia (ver Tabla 1 a continuación: muestras 1 y 7), que no contienen ningún polvo residual triturado

Como tal, se obtuvieron las siguientes 7 formulaciones de suspensión de cemento:

|                              | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      |
|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| PVA                          | 1,8    | 1,8    | 1,8    | 1,8    | 1,8    | 1,8    | 1,8    |
| Celulosa                     | 3,3    | 3,3    | 3,3    | 3,3    | 3,3    | 3,3    | 3,3    |
| Sílice de humo condensada    | 2,6    | 2,6    | 2,6    | 2,6    | 2,6    | 2,6    | 2,6    |
| Relleno de CaCO <sub>3</sub> | 15,0   | 10,0   | 5,0    | -      | 15,0   | 10,0   | 15,0   |
| Cemento                      | 77,3   | 77,3   | 77,3   | 77,3   | 72,3   | 72,3   | 77,3   |
| Desechos de FC               | -      | 5,0    | 10,0   | 15,0   | 5,0    | 10,0   | -      |
| Total                        | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |

Tabla 1 - M% de formulaciones de cemento de fibra de las muestras 1 a 7 (PVA: fibra de alcohol polivinílico Kuraray A8; celulosa: Solombala UKP 60°SR; sílice de humo condensada: EMSAC 500S Elkem materiales Ltd.; relleno de CaCO<sub>3</sub>: Calcitec 2001S, Carmeuse SA; Cement: CEMI 42,5N, CBR SA, Lixhe)

Las formulaciones de suspensión de cemento de fibra como se presentan en la Tabla 1 se usaron para

proporcionar hojas verdes de cemento de fibra en un estado de la máquina de producción de Hatschek.

La mitad de las hojas verdes se prensaron a 230 kg/cm<sup>2</sup> y se curaron por aire, sometiéndolas a un curado a 60 °C durante 8 horas, y posteriormente se curaron en condiciones ambiente. La otra mitad de las hojas verdes se dejaron sin prensar y se curaron por aire, sometiéndolas a un curado a 60 °C durante 8 horas, y posteriormente se curaron en condiciones ambiente.

Las densidades de referencia de la muestra 1 y muestras de prueba 3 y 4 (de las cuales las formulaciones se proporcionan en la Tabla 1) se midieron, ambas de muestras prensadas y no prensadas (ver Tabla 2).

|          | Muestra de referencia 1 |           | Muestra de prueba 3 |           | Muestra de prueba 4 |           |
|----------|-------------------------|-----------|---------------------|-----------|---------------------|-----------|
|          | No prensadas            | Prensadas | No prensadas        | Prensadas | No prensadas        | Prensadas |
| Densidad | 1,50                    | 1,80      | 1,48                | 1,78      | 1,465               | 1,77      |

Tabla 2 - Densidades (g/cm<sup>3</sup>) de las muestras 1, 3 y 4, no prensadas y prensadas

Como puede observarse en la Tabla 2 anterior, la densidad de los productos de cemento de fibra que contienen desechos se reduce en comparación con la referencia que no contiene desechos, tanto en el caso de muestras no prensadas como prensadas.

Posteriormente, las láminas curadas por aire se cortaron en las dimensiones apropiadas y se recubrieron

para proporcionar láminas de cemento de fibra curada por aire.

Después de 29 días, las láminas curadas por aire formadas se analizaron para determinar sus  
5 características fisicomecánicas, es decir, el módulo de ruptura (MOR; expresado en  $\text{Pa}=\text{kg}/\text{m.s}^2$ ). El módulo de ruptura (MOR; expresado en  $\text{Pa}=\text{kg}/\text{m.s}^2$ ) se midió usando un aparato UTS/INSTRON (tipo 3345; cel=5000 N).

Además, se determinó la absorción de agua, medida  
10 por una prueba de Karsten. La prueba se realizó tanto en condiciones de secado por aire y saturación en agua (la condición de secado por aire se obtiene al acondicionar las muestras en un horno ventilado a 40 °C durante 3 días; la condición saturación en agua se obtiene por inmersión de  
15 las muestras en agua del grifo a temperatura ambiente y presión atmosférica durante 3 días).

Para cada una de las muestras secadas por aire y saturadas en agua, se determinó el espesor de la muestra. Posteriormente, se fijó un tubo de Karsten en  
20 una región central de cada muestra usando silicona. Después de 24 horas, el tubo de Karsten se llenó con agua desmineralizada y se cerró para evitar la evaporación. La absorción de agua (es decir, el volumen de agua absorbida del tubo de Karsten por la muestra) se determinó después  
25 de 1, 2, 4, 6, 8, 24, 32 y 48 horas.

Los resultados se presentan en Figuras 6 y 7.

Como puede derivarse de los gráficos en las Figuras 6 y 7, que representan la resistencia a la flexión normalizada por densidad (módulo de ruptura; MOR) de las 5 diferentes muestras de prueba (2, 3, 4, 5, 6 de las cuales la formulación se presenta en la Tabla 1) y las dos muestras de referencia (1 y 7 de las cuales la formulación se presenta en la Tabla 1), puede concluirse que la resistencia a la flexión normalizada por densidad o el módulo de ruptura ( $MOR/d^2$ ) es mayor en las muestras de prueba en comparación con las muestras de referencia. Esto significa que las muestras que comprenden el polvo de desecho de cemento de fibra triturada en cantidades de entre 5 M% y 15 M%, como se produce de acuerdo con los métodos de la presente invención, tienen una mayor resistencia que las muestras de referencia que no contienen ningún polvo de desecho.

Además, basado en los resultados de las pruebas de Karsten (datos no mostrados), se puede concluir que agregar el polvo de desecho de cemento de fibra de acuerdo con la invención en reemplazo del cemento o material de relleno no tiene un efecto en la absorción de agua en comparación con las muestras de referencia que no contienen ningún polvo de desecho de cemento de fibra triturada.

Por lo tanto, a partir de lo anterior, puede concluirse que los productos de cemento de fibra que comprenden de 5 M% a 15 M% del polvo de desecho de

5 cemento de fibra triturada como los producidos por los métodos de la presente invención realizan al menos comparables y en si mayoría incluso mejor que los productos de cemento de fibra de referencia que no comprenden ningún polvo de desecho triturado.

Ejemplo 3: Producción de lajas de cemento de fibra curada por aire que comprenden de 15M% a 40M% de polvo de cemento de fibra triturada curada por aire como se produce de acuerdo con los métodos de la invención

10

El polvo de cemento de fibra, obtenido como se describe en el Ejemplo 1, se usó para producir lajas de cemento de fibra fresca, es decir, productos curados por aire de cemento de fibra fresca.

15

Para la producción de lajas de cemento de fibra, típicamente se usa la siguiente formulación de una suspensión acuosa de cemento de fibra:

20

- 73 a 80 M% de cemento, tal como el cemento Portland
- 3 a 4 M% de fibras celulósicas (tales como pulpa Kraft de madera blanda sin blanquear)
- 1,5 a 1,9 M% de fibras de alcohol polivinílico
- 10 a 18 M% de carga carbonácea (típicamente piedra caliza)
- y opcionalmente, una cantidad menor de otros aditivos.

25

M% se refiere a la masa del componente sobre la masa total de todos los componentes, excepto agua libre, es decir, la materia seca.

Se produjo una serie de 6 muestras de suspensión de prueba (ver Tabla 3 a continuación: muestras 9 a 14), en donde por lo menos parte o todos los rellenos de carbonácea o al menos parte del cemento, o parte de los rellenos de carbonácea y el cemento, se reemplazó por el polvo de cemento de fibra curada triturada, como se obtuvo usando el método de trituración explicado en el Ejemplo 1. Además, se produjeron 2 muestras de suspensión de referencia (ver Tabla 2 a continuación: muestras 8 y 15) que no contienen ningún polvo de desecho triturado.

Como tal, se obtuvieron las siguientes formulaciones de suspensión de cemento de 8 fibras:

|                              | 8      | 9      | 10     | 11     | 12     | 13     | 14     | 15     |
|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| PVA                          | 1,8    | 1,8    | 1,8    | 1,8    | 1,8    | 1,8    | 1,8    | 1,8    |
| Celulosa                     | 3,3    | 3,3    | 3,3    | 3,3    | 3,3    | 3,3    | 3,3    | 3,3    |
| Sílice de humo condensada    | 2,6    | 2,6    | 2,6    | 2,6    | 2,6    | 2,6    | 2,6    | 2,6    |
| Relleno de CaCO <sub>3</sub> | 15,0   | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 15,0   |
| Cemento                      | 77,3   | 77,3   | 72,3   | 67,3   | 62,3   | 57,3   | 52,3   | 77,3   |
| Desechos de FC               | 0,0    | 15,0   | 20,0   | 25,0   | 30,0   | 35,0   | 40,0   | 0,0    |
| Total                        | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |

Tabla 3 - M% de formulaciones de cemento de fibra de las muestras 8 a 15 (PVA: fibra de alcohol polivinílico Kuraray A8; celulosa: Solombala UKP 60°SR; sílice de humo condensada: EMSAC 500S Elkem materiales Ltd.; relleno de

CaCO<sub>3</sub>: Calcitec 2001S, Carmeuse SA; Cement: CEMI 42,5N, CBR  
SA, Lixhe)

Las formulaciones de suspensión de cemento de  
5 fibra como se presentan en la Tabla 2 se usaron para  
proporcionar hojas verdes de cemento de fibra en un  
estado de la máquina de producción de Hatschek. La mitad  
de las hojas verdes se prensaron a 230 kg/cm<sup>2</sup> y se  
curaron por aire, sometiéndolas a un curado a 60 °C  
10 durante 8 horas, y posteriormente se curaron en  
condiciones ambiente. La otra mitad de las hojas verdes  
se dejaron sin prensar y se curaron por aire,  
sometiéndolas a un curado a 60 °C durante 8 horas, y  
posteriormente se curaron en condiciones ambiente.

15 Posteriormente, las láminas curadas por aire se  
cortaron en las dimensiones apropiadas y se recubrieron  
para proporcionar láminas de cemento de fibra curada por  
aire.

Después de 7 días y después de 29 días, las  
20 láminas formadas curadas por aire se analizaron para  
determinar sus características físico-mecánicas, es  
decir, módulo de ruptura (MOR).

El módulo de ruptura (MOR; expresado en  
Pa=kg/m.s<sup>2</sup>) se midió usando un aparato UTS/INSTRON (tipo  
25 3345; cel=5000 N).

La densidad de las muestras se midió primero saturando las muestras durante 72 horas en agua del grifo. El peso de muestras se determinó posteriormente tanto en condiciones saturadas y sumergidas. 5 Posteriormente, las muestras se colocaron a secar durante 48 horas a aproximadamente 105 °C. Para cada una de las muestras secas, se determinó nuevamente el peso. La densidad (X) para cada muestra se calculó dividiendo el peso seco (C) por la diferencia entre el peso sumergido 10 (B) y el peso saturado (A), de acuerdo con la siguiente fórmula:  $X=C/(A-B)$ .

Finalmente, se determinó la absorción de agua, medida por una prueba de Karsten. La prueba se realizó tanto en condiciones de secado por aire y saturación en 15 agua (la condición de secado por aire se obtiene al acondicionar las muestras en un horno ventilado a 40 °C durante 3 días; la condición saturación en agua se obtiene por inmersión de las muestras en agua del grifo a temperatura ambiente y presión atmosférica durante 3 días).

20 Para cada una de las muestras secadas por aire y saturadas en agua, se determinó el espesor de la muestra. Posteriormente, se fijó un tubo de Karsten en una región central de cada muestra usando silicona. Después de 24 horas, el tubo de Karsten se llenó con agua 25 desmineralizada y se cerró para evitar la evaporación. La absorción de agua (es decir, el volumen de agua absorbida

del tubo de Karsten por la muestra) se determinó después de 1, 2, 4, 6, 8, 24, 32 y 48 horas.

Los resultados se presentan en las Figuras 8 a 13.

5            Como puede derivarse de los gráficos en las Figuras 8 y 9, que representan la resistencia a la flexión normalizada por densidad (módulo de ruptura; MOR) de las 6 muestras de prueba diferentes (9, 10, 11, 12, 13 y 14 de las cuales la formulación se presenta en la Tabla 3) y las  
10   dos muestras de referencia (8 y 15 de las cuales la formulación se presenta en la Tabla 3), puede concluirse que la resistencia a la flexión normalizada por densidad o el módulo de ruptura ( $MOR/d^2$ ) es al menos comparable y en algunos casos incluso más altos en las muestras de prueba  
15   en comparación con las muestras de referencia. Esto significa que las muestras que comprenden el polvo de desecho de cemento de fibra triturada en cantidades de entre el 15 M% y 40 M% como se producen según los métodos de la presente invención tienen al menos una resistencia  
20   comparable con las muestras de referencia que no contienen ningún polvo de desecho.

Además, como se ilustra en las Figuras 10 y 11, la densidad de las muestras de prueba 9 a 14, donde parte o la totalidad del relleno y/o parte del cemento se reemplazó  
25   por el polvo de cemento de fibra triturada de la invención, fue significativamente menor en comparación con las

muestras de referencia que no contienen ningún polvo de desecho. De hecho, la densidad disminuye gradualmente cuando se agrega más polvo de cemento de fibra triturada en remplazo del relleno y/o cemento. Este es un hallazgo muy importante desde una densidad inferior que es directamente unido con una inferior masa de los productos resultantes, que facilita enormemente el manejo, funcionabilidad e instalación de los productos para los usuarios finales.

Finalmente, sobre la base de los resultados de las pruebas de Karsten presentados en la Figuras 12 y 13, puede concluirse que agregar el polvo de desecho de cemento de fibra curada por aire en cantidades de 15 M% en remplazo de cemento o material de relleno no tiene un efecto en la absorción de agua en comparación con las muestras de referencia que no contienen ningún polvo de desecho de cemento de fibra triturada. Añadir el polvo de desecho de cemento de fibra curada por autoclave en cantidades mayores de, por ejemplo, 30 M% o 40 M% en reemplazo de cemento o material de relleno, resulta, sin embargo, un aumento de la absorción de agua en comparación con las muestras de referencia que no contienen ningún polvo de desecho de cemento de fibra triturada. Los resultados se observaron tanto en muestras no prensadas (Figura 12) como prensadas (Figura 13).

Por lo tanto, a partir de lo anterior, se puede concluir que los productos de cemento de fibra que

comprenden de 15 M% a 40 M% de polvo de desechos de cemento de fibra triturada y curada por aire, producidos por los métodos de la presente invención tienen un desempeño al menos comparable y en su mayoría, mejor que el de la referencia de productos de cemento de fibra que no contengan ningún polvo de desecho triturado.

Ejemplo 4: Producción de polvo de cemento de fibra triturada curada por autoclave como se produce con un molino pendular de acuerdo con los métodos de la invención

10

Los productos de cemento de fibra curada por autoclave, que se obtienen como Cedral y Tectiva desde Eternit NV Bélgica, se aplastaron previamente a tal manera que no superaban los 2 por 2 cm. La humedad total del material de desecho de cemento de fibra curada previamente triturado, en este caso de material de cemento de fibra curada por aire, fue de aproximadamente 5 %-6 % en peso basado en el peso seco.

El % en peso basado en el peso seco es la diferencia de peso entre el material como las muestras y el material seco en un horno ventilado a 105 °C hasta que se obtiene un peso constante.

Este material previamente triturado se alimentó a una velocidad de flujo de aproximadamente 350 kg/hr a aproximadamente 800 kg/hr a un molino de rodillos de tipo molino pendular del Grupo Poittemill (FR), en el cual el

material se trituró a una velocidad de rotación de entre aproximadamente 100 y aproximadamente 400 tr/min. Para compensar la humedad del material previamente triturado, se alimentó de aire caliente (a una temperatura entre  
5 aproximadamente 20 °C y aproximadamente 100 °C) junto con el material previamente triturado, para suprimir instantáneamente la humedad del material previamente triturado y el polvo de cemento de fibra molida obtenida.

A medida que se obtuvo el material de cemento de  
10 fibra curada triturada, de la cual se obtuvo la curva de distribución del tamaño de partícula, medida mediante difracción de rayo láser sobre el material dispersado seco a 3 bar por medio del aparato Malvern mastersizer 2000.

Este polvo de cemento de fibra obtenido por  
15 medio de molienda pendular tuvo una buena consistencia (no lanosa o esponjosa), una densidad aparente adecuada (entre aproximadamente 1000 kg/m<sup>3</sup> y aproximadamente 1300 kg/m<sup>3</sup>) y una buena distribución de partículas, para usarse en la producción de productos de cemento de fibra  
20 fresca. Sin estar atados a ninguna hipótesis o teoría, los presentes inventores creen que la molienda pendular, tal como se usa en los métodos de acuerdo con la presente invención proporciona un nuevo y mejorado polvo de desecho de cemento de fibra triturada porque con esta  
25 técnica los desechos de cemento de fibra son aplastadas o

aplanadas como opuestas a otras técnicas de molienda, que típicamente se muelen mediante trituración o molienda.

Ejemplo 5: Producción de lajas de cemento de fibra curada por aire que comprenden de 5 M% a 15 M% del polvo de

5 cemento de fibra triturada curada por autoclave como se produce de acuerdo con los métodos de la invención

Los polvos de desechos de cemento de fibra curada por autoclave derivados de productos de Cedral y  
10 productos de cemento de fibra de Tectiva, obtenidos como se describe en el Ejemplo 4, se usaron para producir lajas de cemento de fibra fresca, es decir, productos frescos curados por aire de cemento de fibra.

Para la producción de lajas de cemento de fibra,  
15 típicamente se usa la siguiente formulación de una suspensión acuosa de cemento de fibra:

- 73 a 80 M% de cemento, tal como el cemento Portland
- 3 a 4 M% de fibras celulósicas (tales como  
20 pulpa Kraft de madera blanda sin blanquear)
- 1,5 a 1,9 M% de fibras de alcohol polivinílico
- 10 a 18 M% de carga carbonácea (típicamente piedra caliza)
- y opcionalmente, una cantidad menor de otros  
25 aditivos.

M% se refiere a la masa del componente sobre la masa total de todos los componentes, excepto agua libre, es decir, la materia seca.

Se produjo una serie de 6 muestras de suspensión de prueba (ver la Tabla 4 a continuación: muestras 17, 18, 20, 21, 22 y 23), en donde al menos parte o todo el relleno de carbonácea, o al menos parte del cemento, o parte de ambos el relleno de carbonácea y el cemento, se reemplazó por el polvo de cemento de fibra curada por autoclave triturada como se obtuvo usando el método de trituración explicado en el Ejemplo 4. Además, se produjeron 2 muestras de suspensión de referencia (ver la Tabla 4 a continuación: muestras 16 y 19), que no contenían ningún polvo de desecho triturado curado en autoclave.

Como tal, se obtuvieron las siguientes formulaciones de suspensión de cemento de 8 fibras:

|                                      | 16     | 17     | 18     | 19     | 20     | 21     | 22     | 23     |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| PVA                                  | 1,8    | 1,8    | 1,8    | 1,8    | 1,8    | 1,8    | 1,8    | 1,8    |
| Celulosa                             | 3,3    | 3,3    | 3,3    | 3,3    | 3,3    | 3,3    | 3,3    | 3,3    |
| Sílice de humo condensada            | 2,6    | 2,6    | 2,6    | 2,6    | 2,6    | 2,6    | 2,6    | 2,6    |
| Relleno de CaCO <sub>3</sub>         | 15,0   | 0,0    | 0,0    | 15,0   | 15,0   | 15,0   | 15,0   | 15,0   |
| Cemento                              | 77,3   | 77,3   | 77,3   | 77,3   | 72,3   | 72,3   | 67,3   | 67,3   |
| Desechos de cemento de fibra Cedral  | 0,0    | 15,0   | 0,0    | 0,0    | 5,0    | 0,0    | 10,0   | 0,0    |
| Desechos de cemento de fibra Tectiva | 0,0    | 0,0    | 15,0   | 0,0    | 0,0    | 5,0    | 0,0    | 10,0   |
| Total                                | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |

Tabla 4 - M% de formulaciones de cemento de fibra de las  
muestras 16 a 23 (PVA: fibra de alcohol polivinílico  
Kuraray A8; celulosa: Solombala UKP 60°SR; sílice de humo  
condensada: EMSAC 500S Elkem materiales Ltd.; relleno de  
5 CaCO<sub>3</sub>: Calcitec 2001S, Carmeuse SA; Cement: CEMI 42,5N, CBR  
SA, Lixhe)

Las formulaciones de suspensión de cemento de fibra como se presentan en la Tabla 4 se usaron para proporcionar hojas verdes de cemento de fibra en un estado de la máquina de producción de Hatschek. La mitad de las hojas verdes se prensaron a 230 kg/cm<sup>2</sup> y se curaron por aire, sometiéndolas a un curado a 60 °C durante 8 horas, y posteriormente se curaron en condiciones ambiente. La otra mitad de las hojas verdes se dejaron sin prensar y se curaron por aire, sometiéndolas a un curado a 60 °C durante 8 horas, y posteriormente se curaron en condiciones ambiente.

Las láminas curadas por aire formadas se analizaron para determinar sus características fisicoquímicas, es decir, módulo de ruptura (MOR). El módulo de ruptura (MOR; expresado en Pa=kg/m.s<sup>2</sup>) se midió usando un aparato UTS/INSTRON (tipo 3345; cel=5000 N).

La densidad de las muestras se midió primero saturando las muestras durante 72 horas en agua del grifo. El peso de muestras se determinó posteriormente

tanto en condiciones saturadas y sumergidas. Posteriormente, las muestras se colocaron a secar durante 48 horas a aproximadamente 105 °C. Para cada una de las muestras secas, se determinó nuevamente el peso. La  
5 densidad (X) para cada muestra se calculó dividiendo el peso seco (C) por la diferencia entre el peso sumergido (B) y el peso saturado (A), de acuerdo con la siguiente fórmula:  $X=C/(A-B)$ .

Finalmente, se determinó la absorción de agua,  
10 medida por una prueba de Karsten. La prueba se realizó tanto en condiciones de secado por aire y saturación en agua (la condición de secado por aire se obtiene al acondicionar las muestras en un horno ventilado a 40 °C durante 3 días; la condición saturación en agua se obtiene  
15 por inmersión de las muestras en agua del grifo a temperatura ambiente y presión atmosférica durante 3 días).

Para cada una de las muestras secadas por aire y saturadas en agua, se determinó el espesor de la muestra. Posteriormente, se fijó un tubo de Karsten en  
20 una región central de cada muestra usando silicona. Después de 24 horas, el tubo de Karsten se llenó con agua desmineralizada y se cerró para evitar la evaporación. La absorción de agua (es decir, el volumen de agua absorbida del tubo de Karsten por la muestra) se determinó después  
25 de 1, 2, 4, 6, 8, 24, 32 y 48 horas.

Los resultados se presentan en las Figuras 14 a 16.

Como puede derivarse del gráfico en la Figura 14, que representa la resistencia a la flexión normalizada por densidad (módulo de ruptura; MOR) de las 6 muestras de prueba diferentes (17, 18, 20, 21, 22 y 23 de las cuales la formulación se presenta en la Tabla 4), y las dos muestras de referencia (16 y 19 de las cuales la formulación se presenta en la Tabla 4), puede observarse que la resistencia a la flexión normalizada por densidad o módulo de ruptura ( $MOR/d^2$ ) en las muestras de prueba no es significativamente diferente a la  $MOR/d^2$  de las muestras de referencia. Esto significa que las muestras que comprenden el polvo de desecho de cemento de fibra en cantidades de entre 5 M% y 15 M% como se producen de acuerdo con los métodos de la presente invención tienen una resistencia mecánica comparable con respecto a las muestras de referencia que no contienen cualquier polvo de desecho.

Además, como se ilustra en la Figura 15, la densidad de las muestras de prueba 17, 18, 20, 21, 22 y 23, donde se reemplazó parte o todo el relleno y/o parte del cemento por el polvo de cemento de fibra triturada curada por autoclave de la invención, fue significativamente menor en comparación con las muestras de referencia que no contienen ningún polvo de desecho. De hecho, la densidad disminuye gradualmente cuando se agrega

más polvo de cemento de fibra triturada en remplazo del relleno y/o cemento. Este es un hallazgo muy importante desde una densidad inferior que es directamente unido con una inferior masa de los productos resultantes, que  
5 facilita enormemente el manejo, funcionabilidad e instalación de los productos para los usuarios finales.

Finalmente, sobre la base de los resultados de las pruebas de Karsten presentados en la Figura 16, puede concluirse que agregar el polvo de desecho de cemento de  
10 fibra curada por autoclave en cantidades de 5 M% a 10 M%, en reemplazo de cemento o material de relleno, no tiene un efecto significativamente relevante en la absorción de agua en comparación con las muestras de referencia que no contienen ningún polvo de desecho de cemento de fibra  
15 triturada.

Por lo tanto, a partir de lo anterior, puede concluirse que los productos de cemento de fibra que comprenden de 5 M% a 15 M% del polvo de desechos de cemento de fibra triturada curada por autoclave, como se  
20 produce por los métodos de la presente invención, tienen un rendimiento significativo mejor que los productos de cemento de fibra de referencia que no comprenden ningún polvo de desecho triturado. De hecho, la resistencia mecánica y la absorción de agua de los productos de  
25 cemento de fibra curada por aire que contienen polvo de desecho triturado no cambian en comparación con los

productos de cemento de fibra curada por aire, mientras que la densidad disminuye significativamente en los productos que contienen desechos en comparación con aquellos que no contienen desechos.

5 Ejemplo 6: Producción de lájas de cemento de fibra curada por aire que comprenden de 20 M% a 40 M% del polvo de cemento de fibra triturada curada por autoclave como se produce de acuerdo con los métodos de la invención

10 Los polvos de desechos de cemento de fibra curada por autoclave derivados de productos de Cedral y productos de cemento de fibra de Tectiva, obtenidos como se describe en el Ejemplo 4, se usaron para producir lájas de cemento de fibra fresca, es decir, productos  
15 frescos curados por aire de cemento de fibra.

Para la producción de lájas de cemento de fibra, típicamente se usa la siguiente formulación de una suspensión acuosa de cemento de fibra:

- 73 a 80 M% de cemento, tal como el cemento  
20 Portland
- 3 a 4 M% de fibras celulósicas (tales como pulpa Kraft de madera blanda sin blanquear)
- 1,5 a 1,9 M% de fibras de alcohol polivinílico
- 10 a 18 M% de carga carbonácea (típicamente  
25 piedra caliza)

- y opcionalmente, una cantidad menor de otros aditivos.

M% se refiere a la masa del componente sobre la masa total de todos los componentes, excepto agua libre, es decir, la materia seca.

Se produjo una serie de 6 muestras de suspensión de prueba (ver Tabla 5 a continuación: muestras 25 a 30), en donde al menos parte o todo el relleno de carbonácea o al menos parte del cemento, o parte de ambos el relleno de carbonácea y el cemento, se reemplazó por el polvo de cemento de fibra curada por autoclave triturada como se obtuvo usando el método de trituración explicado en el Ejemplo 4. Además, se produjeron 2 muestras de suspensión de referencia (ver la Tabla 5 a continuación: muestras 24 y 31), que no contenían ningún polvo de desecho triturado curado en autoclave.

Como tal, se obtuvieron las siguientes formulaciones de suspensión de cemento de 8 fibras:

20

|                                     | 24   | 25   | 26   | 27   | 28   | 29   | 30   | 31   |
|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| PVA                                 | 1,8  | 1,8  | 1,8  | 1,8  | 1,8  | 1,8  | 1,8  | 1,8  |
| Celulosa                            | 3,3  | 3,3  | 3,3  | 3,3  | 3,3  | 3,3  | 3,3  | 3,3  |
| Sílice de humo condensada           | 2,6  | 2,6  | 2,6  | 2,6  | 2,6  | 2,6  | 2,6  | 2,6  |
| Relleno de $\text{CaCO}_3$          | 15,0 | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 15,0 |
| Cemento                             | 77,3 | 72,3 | 62,3 | 52,3 | 72,3 | 62,3 | 52,3 | 77,3 |
| Desechos de cemento de fibra Cedral | 0,0  | 20,0 | 30,0 | 40,0 | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  |

|                                      |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Desechos de cemento de fibra Tectiva | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 20,0   | 30,0   | 40,0   | 0,0    |
| Total                                | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |

Tabla 5 - M% de formulaciones de cemento de fibra de las

muestras 24 a 31 (PVA: fibra de alcohol polivinílico

Kuraray A8; celulosa: Solombala UKP 60°SR; sílice de humo

condensada: EMSAC 500S Elkem materiales Ltd.; relleno de

5 CaCO<sub>3</sub>: Calcitec 2001S, Carmeuse SA; Cement: CEMI 42,5N, CBR  
SA, Lixhe)

Las formulaciones de suspensión de cemento de fibra como se presentan en la Tabla 5 se usaron para proporcionar láminas verdes de cemento de fibra en un estado de la máquina de producción de Hatschek. La mitad de las hojas verdes se prensaron a 230 kg/cm<sup>2</sup> y se curaron por aire, sometiéndolas a un curado a 60 °C durante 8 horas, y posteriormente se curaron en condiciones ambiente. La otra mitad de las hojas verdes se dejaron sin prensar y se curaron por aire, sometiéndolas a un curado a 60 °C durante 8 horas, y posteriormente se curaron en condiciones ambiente.

Las láminas curadas por aire formadas se analizaron para determinar sus características físico-mecánicas, es decir, módulo de ruptura (MOR). El módulo de ruptura (MOR; expresado en Pa=kg/m.s<sup>2</sup>) se midió usando un aparato UTS/INSTRON (tipo 3345; cel=5000 N).

La densidad de las muestras se midió primero saturando las muestras durante 72 horas en agua del grifo. El peso de muestras se determinó posteriormente tanto en condiciones saturadas y sumergidas. 5 Posteriormente, las muestras se colocaron a secar durante 48 horas a aproximadamente 105 °C. Para cada una de las muestras secas, se determinó nuevamente el peso. La densidad (X) para cada muestra se calculó dividiendo el peso seco (C) por la diferencia entre el peso sumergido 10 (B) y el peso saturado (A), de acuerdo con la siguiente fórmula:  $X=C/(A-B)$ .

Finalmente, se determinó la absorción de agua, medida por una prueba de Karsten. La prueba se realizó tanto en condiciones de secado por aire y saturación en 15 agua (la condición de secado por aire se obtiene al acondicionar las muestras en un horno ventilado a 40 °C durante 3 días; la condición saturación en agua se obtiene por inmersión de las muestras en agua del grifo a temperatura ambiente y presión atmosférica durante 3 días).

20 Para cada una de las muestras secadas por aire y saturadas en agua, se determinó el espesor de la muestra. Posteriormente, se fijó un tubo de Karsten en una región central de cada muestra usando silicona. Después de 24 horas, el tubo de Karsten se llenó con agua 25 desmineralizada y se cerró para evitar la evaporación. La absorción de agua (es decir, el volumen de agua absorbida

del tubo de Karsten por la muestra) se determinó después de 1, 2, 4, 6, 8, 24, 32 y 48 horas.

Los resultados se presentan en las Figuras 17 a 20.

5            Como puede derivarse del gráfico en la Figura 17, que representa la resistencia a la flexión normalizada por densidad (módulo de ruptura; MOR) de las 6 muestras de prueba diferentes (17 a 22 de las cuales la formulación se presenta en la Tabla 5) y las dos muestras de referencia  
10    (16 y 23 de las cuales la formulación se presenta en la Tabla 5), puede concluirse que la resistencia a la flexión normalizada por densidad o módulo de ruptura ( $MOR/d^2$ ) es mayor en las muestras de prueba en comparación con las muestras de referencia, especialmente cuando se prensan  
15    las muestras. Esto significa que las muestras comprenden polvo de desecho de cemento de fibra triturada en cantidades de entre 20 M% y 40 M% como se producen de acuerdo a los métodos de la presente invención tienen una mayor resistencia con muestras de referencia que no  
20    contienen ningún polvo de desecho. Los mejores resultados se obtuvieron cuando se presionan las muestras.

Además, como se ilustra en la Figura 18, la densidad de las muestras de prueba 17 a 22, donde parte o todo el relleno y/o parte del cemento fue reemplazada por  
25    el polvo de cemento de fibra triturada curada por autoclave de la invención, fue significativamente menor

en comparación con las muestras de referencia 16 y 23, que no contienen ningún polvo de desecho. De hecho, la densidad disminuye gradualmente cuando se agrega más polvo de cemento de fibra triturada en remplazo del relleno y/o cemento. Este efecto se observó en muestras prensadas y no prensadas cuando se compararon respectivamente con las muestras de referencia prensadas y no prensadas. Este es un hallazgo muy importante desde una densidad inferior que es directamente unido con una inferior masa de los productos resultantes, que facilita enormemente el manejo, funcionabilidad e instalación de los productos para los usuarios finales.

Finalmente, sobre la base de los resultados de las pruebas de Karsten presentados en las Figuras 19 y 20, puede concluirse que agregar el polvo de desecho de cemento de fibra curada por autoclave en cantidades de 20 M% en reemplazo de cemento o material de relleno no tiene un efecto en la absorción de agua en comparación con las muestras de referencia que no contienen ningún polvo de desecho de cemento de fibra triturada. Los mejores resultados se obtienen cuando se presionan las muestras.

Añadir el polvo de desecho de cemento de fibra curada por autoclave en cantidades mayores de, por ejemplo, 30 M% o 40 M% en reemplazo de cemento o material de relleno, sin embargo, produce un aumento en la absorción de agua en comparación con las muestras de

referencia que no contienen ningún polvo de desecho de cemento de fibra triturada.

Por lo tanto, a partir de lo anterior, puede concluirse que los productos de cemento de fibra comprenden de 15 M% a 40 M% de polvo de desecho de cemento de fibra triturada como los producidos por el métodos de la presente invención que comprenden la etapa de prensado antes de la etapa de curado, tienen un rendimiento comparable a los productos de cemento de fibra que no comprenden ningún polvo de desechos triturados y tienen un rendimiento significativamente mejor que los productos de cemento de fibra sin prensar que contienen las mismas cantidades de desechos triturados.

A partir de las imágenes de los productos curados por aire fabricados como se describe en los presentes ejemplos, se puede observar que estos productos contienen desechos de cemento curado por autoclave. De hecho, solo el material curado en autoclave contiene, típicamente, partículas de cuarzo blancas, cuyas partículas de cuarzo también están presentes en los productos curados por aire reciclados producidos de acuerdo con los métodos de la invención (ver la Figura 20), pero que no están presentes en productos frescos curados por aire (ver la Figura 21).

Debe entenderse que aunque se han analizado modalidades y/o materiales preferidos para proporcionar modalidades de acuerdo con la presente invención, pueden

realizarse varias modificaciones o cambios sin desviarse del alcance y espíritu de esta invención.