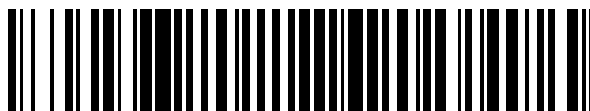


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 502 482**

51 Int. Cl.:

C04B 33/135 (2006.01)

C04B 33/30 (2006.01)

C04B 35/18 (2006.01)

C04B 35/626 (2006.01)

C04B 35/632 (2006.01)

C04B 35/636 (2006.01)

C04B 18/02 (2006.01)

C04B 35/22 (2006.01)

C04B 35/622 (2006.01)

C04B 35/64 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.11.2003 E 03770792 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.06.2014 EP 1673317**

54 Título: **Fabricación de artículos a partir de cenizas volantes**

30 Prioridad:

03.10.2003 AU 2003905445

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

03.10.2014

73 Titular/es:

**NEWSOUTH INNOVATIONS PTY LIMITED
(100.0%)**

**RUPERT MYERS BUILDING GATE 14 BARKER
STREET UNSW
SYDNEY, NSW 2052, AU**

72 Inventor/es:

**KAYALI, OBADA y
SHAW, KARL JOHN**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 502 482 T3

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

DESCRIPCIÓN

Fabricación de artículos a partir de cenizas volantes

5 **CAMPO DE LA INVENCION**

La presente invención se refiere en general a artículos conformados que están formados a partir de cenizas volantes, y a métodos de formación de tales artículos. La invención se ha desarrollado de modo especial, pero no exclusivamente, para la fabricación de elementos estructurales y la invención se describe en esta memoria en dicho contexto. Sin embargo, debe apreciarse que la invención tiene aplicación más amplia y puede utilizarse para la producción de una extensa gama de artículos, tanto estructurales como no estructurales.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

15 Las cenizas volantes son un subproducto de la combustión del carbón en las centrales eléctricas alimentadas con carbón. Las cenizas volantes se producen en abundancia y contienen típicamente metales pesados tales como cadmio, cromo, cinc y plomo que hacen problemática su evacuación. En el intento de minimizar el impacto ambiental de las cenizas volantes, se han contemplado diversos usos de las mismas tanto para ayudar a su eliminación como para obtener algún beneficio económico.

20 Uno de tales usos es la fabricación de ladrillos que contienen cenizas volantes como parte constituyente. Estos ladrillos incluyen usualmente cenizas volantes mezcladas con arcilla y están endurecidos al fuego. Si bien estos ladrillos encuentran uso para las cenizas volantes, los mismos no se han considerado como un elemento de construcción estructural viable. En particular, se han encontrado dificultades en la fabricación de ladrillos que contengan cenizas volantes y que sean competitivos en coste con los ladrillos existentes, sean de una calidad constante, y se comporten adecuadamente a lo largo de cierta gama de propiedades estructurales.

25 US 2003/0047114 da a conocer un método de formación de un agregado de cenizas volantes ligeras para producción de hormigón, comprendiendo dicho método: (I) mezclar cenizas volantes junto con un plastificante y una cantidad reducida de agua para formar una pasta; (II) cortar o conformar de algún otro modo la pasta en briquetas; (III) calentar las briquetas para curar eficazmente la pasta; (IV) calcinar las briquetas para sinterizar las cenizas volantes; y (V) triturar las briquetas sinterizadas y clasificar las partículas de cenizas volantes resultantes para proporcionar el agregado de cenizas volantes ligero de un intervalo de tamaños predeterminado.

35 **SUMARIO DE LA INVENCION**

La presente invención proporciona un elemento de construcción conforme a la reivindicación 1, y un método de formación del mismo, comprendiendo dicho métodos los pasos de:

40 mezclar cenizas volantes, un superplastificante y agua para producir una pasta de cenizas volantes, añadiéndose el agua en exceso respecto a la que es absorbida por las cenizas volantes a fin de que la pasta contenga agua libre de tal modo que se encuentre en un estado al menos parcialmente fluido;

45 conformar el artículo crudo en una forma deseada a partir de la pasta de cenizas volantes,

retirar al menos una porción del agua libre de la pasta de cenizas volantes durante y/o después de la formación del artículo crudo; y

50 calcinar subsiguientemente el artículo crudo a fin de que el artículo conformado se endurezca por sinterización de su matriz de cenizas volantes, en donde la temperatura de calcinación está comprendida entre 1100°C y 1250°C.

55 En una realización particular, se mezcla un plastificante con las cenizas volantes y agua. La ventaja de utilizar un plastificante es que el mismo reduce la cantidad de agua libre que se requiere para convertir la pasta en un estado susceptible de conformación en el que la misma es al menos parcialmente fluida. Esto aminora a su vez la cantidad de agua que puede ser necesario separar posteriormente a fin de conseguir las propiedades deseadas en el artículo, a fin de conseguir con ello un procesamiento más eficiente del artículo y permitir también un mejor control sobre la forma y el tamaño del artículo durante su producción.

60 El método de acuerdo con la forma anterior es idealmente adecuado para la fabricación de artículos en escala comercial. En una forma, el método utiliza simplemente tres ingredientes, a saber cenizas volantes, agua y un plastificante. Dado que las cenizas volantes son un subproducto, las mismas son un constituyente económico y fácilmente disponible. Además, el método puede utilizarse en una modalidad de línea de producción, afín a la fabricación de ladrillos de arcilla. Por el control del contenido de agua en la pasta, los artículos pueden conformarse inicialmente sin necesidad de un molde dado que la pasta puede exhibir estabilidad dimensional adecuada. Asimismo, las propiedades del artículo pueden controlarse fácilmente por control del contenido de agua del artículo

crudo, así como de la temperatura y duración de la calcinación. Cada uno de estos parámetros puede controlarse durante la fabricación permitiendo con ello que se produzcan artículos de una calidad constante.

5 Debe apreciarse que pueden incorporarse en la mezcla otros aditivos en caso requerido. Por ejemplo, pueden incorporarse pigmentos para impartir cierta coloración al artículo. Asimismo, se pueden incorporar aditivos adicionales para mejorar las propiedades de la mezcla o del artículo crudo resultante. Por ejemplo, pueden incorporarse cantidades de carboximetil-celulosa (CMC) en pequeñas cantidades para gelificar la mezcla sin necesidad de agua excesiva. Tales aditivos protegen también la pasta contra una contracción potencial, y agrietamiento en el caso de periodos de curado prolongados. Efectos similares al de CMC pueden obtenerse también como resultado de la adición de cantidades muy pequeñas de solución de cloruro de calcio.

15 El método de la invención tiene aplicación particular para la fabricación de elementos estructurales tales como ladrillos. Los inventores han encontrado que los ladrillos formados exclusivamente, o al menos principalmente, por cenizas volantes sinterizadas tienen una mayor resistencia a la compresión y módulo de rotura que los ladrillos de arcilla convencionales. Asimismo, por control del contenido de agua en el artículo crudo y de la temperatura y duración de la calcinación, es posible controlar la estructura de la matriz de cenizas volantes y sus características de superficie. A su vez, esto hace posible controlar la tasa de absorción inicial y la capacidad de absorción del artículo, las dos cuales son propiedades importantes, particularmente en la fabricación de ladrillos. Adicionalmente, la reducción del agua libre reduce el riesgo de estallido cuando el artículo crudo se calina y proporciona por tanto un proceso de sinterización más uniforme que está lo más exento posible de agrietamiento interno y externo.

20 En una realización particular del método, el artículo crudo se cura antes de calcinarlo. Durante el curado, el agua reacciona con las cenizas volantes a fin de solidificar el artículo.

25 La solidificación del artículo crudo durante este proceso de curado puede atribuirse a varias reacciones diferentes. Sin ligar la invención a teoría alguna, los inventores consideran que donde las cenizas volantes son el único material cementoso en la matriz, el único compuesto que puede proporcionar cierta solidificación rápida es el óxido de calcio. Este compuesto está disponible en pequeña cantidad en las cenizas volantes de clase F y en cantidades mucho mayores en las cenizas volantes de clase C. La relación entre el agua y el óxido de calcio da como resultado la formación de hidróxido de calcio que aporta cierta solidificación al artículo. Subsiguientemente, tiene lugar una reacción puzolánica en la que los óxidos principales en las cenizas volantes, fundamentalmente la sílice y la alúmina, reaccionan con el hidróxido de calcio para formar un material mucho más duro y más cementoso que el hidróxido. El material resultante es una mezcla compleja cristalina y amorfa de productos que contienen en su red moléculas de óxidos de silicio, óxidos de aluminio, óxidos de calcio y agua.

35 En una realización particular, se reduce el agua libre de la matriz mientras se cura el artículo crudo. En forma preferida, el artículo crudo se somete a calentamiento bajo a moderado durante este proceso de curado. La ventaja de esta disposición es que el calentamiento moderado puede reducir el agua libre sin causar un agrietamiento excesivo de la matriz. Asimismo, la eliminación lenta del agua da lugar todavía a que algo del agua reaccione con las cenizas volantes tanto por hidratación del material cementoso en las cenizas volantes como por la reducción puzolánica. En una realización particular, el contenido de humedad en el artículo crudo se reduce durante el curado a un valor comprendido entre 1 y 5%, y más preferiblemente entre 2 y 4%.

45 En una forma, el artículo crudo se calienta en condiciones de humedad alta. La ventaja de esta disposición es que puede favorecer la solidificación del artículo crudo más uniformemente en todo el artículo.

50 Este proceso de curado consume agua libre que se encuentra ya en la pasta y puede requerir algo de agua adicional para compensar la auto-desección. En la forma preferida, el agua adicional puede extraerse de la atmósfera húmeda.

55 En el proceso conforme a la forma anterior, se hace uso de dos reacciones separadas; en primer lugar, por aumento de la solidificación inicial mediante la formación de hidróxido de calcio, y en segundo lugar por aumento de solidificación adicional por la reacción puzolánica. Si el proceso se basara únicamente en la primera de estas reacciones, la solidificación del artículo crudo antes de la calcinación se vería limitada debido a cantidad limitada de óxido de calcio de las cenizas volantes. La ventaja de solidificación del artículo crudo es que el mismo mejora su capacidad de manipulación y su estabilidad dimensional durante la calcinación, las dos cuales son importantes en la fabricación comercial del artículo conformado.

60 En una forma preferida, el artículo crudo se cura a una temperatura comprendida en el intervalo de 30°C a 80°C y más preferiblemente en el intervalo de 55°C a 65°C.

65 En una forma preferida, el artículo crudo se somete a una humedad comprendida en el intervalo de 20% de humedad relativa a 60% de humedad relativa, y más preferiblemente en el intervalo de 35% de humedad relativa a 45% de humedad relativa.

Dado que el curado se realiza preferiblemente en condiciones de calor suave o moderado y humedad alta, la duración del curado puede variar considerablemente, puesto que es improbable que el tiempo de curado prolongado haga que la matriz del artículo crudo se agriete. Típicamente, para ladrillos, el tiempo de curado será del orden de 12 horas a 5 días, y más preferiblemente estará comprendido entre 1 y 3 días. Si bien el curado es importante para eliminar el agua y solidificar el artículo crudo, es deseable reducir el tiempo de curado a fin de minimizar el tiempo del proceso de fabricación. En una forma, los inventores han encontrado que son suficientes 2 días para el curado.

En una forma preferida, la mayor parte, si no la totalidad, del agua libre se elimina antes de la calcinación del artículo crudo. Como tal, la porosidad del artículo calcinado puede controlarse mejor dado que el proceso de calcinación no generará agrietamiento o estallido como resultado de la vaporización del agua contenida en la matriz.

Como se ha indicado arriba, el contenido de humedad remanente en el artículo crudo antes de la calcinación está comprendido en el intervalo de 1% a 5% y más preferiblemente en el intervalo de 2% a 4%.

Típicamente, la humedad remanente en el artículo está constituida por dos componentes. El primero es la humedad que interviene en la reacción de hidratación y los productos sólidos producidos de silicato de calcio y complejos de silicato-hidrato de aluminio. La segunda parte es la que es atrapada como humedad dentro de los poros internos. El primer componente resiste el desmoronamiento del ladrillo durante la manipulación y soporta las presiones internas de los gases que escapan durante la calcinación. El segundo componente es una fuente principal de porosidad que permanece en la estructura del ladrillo.

Otras técnicas, tales como prensado o análogas de la pasta o el artículo crudo pueden utilizarse en lugar de, o en asociación con el sometimiento del artículo a un ambiente controlado de calor y humedad, a fin de reducir el contenido de agua.

Como se ha indicado arriba, los inventores han encontrado que las propiedades de absorción del artículo calcinado pueden ser reguladas por la temperatura y duración de la calcinación, particularmente donde el agua libre se elimina sustancialmente del artículo crudo.

En la disposición en la que los artículos conformados son ladrillos, preferiblemente la temperatura de calcinación está comprendida en el intervalo entre 1100°C y 1250°C, y la duración de calcinación está comprendida en el intervalo de 30 minutos a 6 horas, y más preferiblemente en el intervalo de 1 a 4 horas. La matriz de cenizas volantes sinterizadas de los ladrillos calcinados en este intervalo no está vidriada y exhibe características de absorción excelentes tanto en términos de tasa de absorción inicial como de capacidad de absorción.

En la disposición en la que los artículos conformados son elementos de construcción, los elementos tienen preferiblemente una matriz de cenizas volantes sinterizadas y tienen una resistencia a la compresión mayor que 30 MPa, un módulo de rotura mayor que 5 MPa, una tasa de absorción inicial (IRA) comprendida entre 0,2 y 5 kg/m²/min y una capacidad de absorción comprendida entre 5 y 20%.

Los elementos de construcción formados con estas propiedades son idealmente adecuados como sustitutivo directo de los ladrillos de arcilla convencionales. Los mismos son más resistentes que los ladrillos de arcilla convencionales, particularmente en tensión, y son capaces de unirse satisfactoriamente con el mortero debido a sus propiedades de absorción. Si bien la resistencia de los elementos es debida a la matriz de cenizas volantes sinterizadas, las propiedades de absorción son debidas a la porosidad de los elementos y sus características de superficie. Como tales, los elementos de construcción conforme a este aspecto de la invención son idealmente adecuados para ser fabricados por el primer aspecto de la invención en el que pueden controlarse la porosidad y las características de superficie.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Es conveniente describir a continuación en esta memoria una realización de la presente invención con referencia a los dibujos que se acompañan. Debe apreciarse que la particularidad de los dibujos y la descripción afín deben entenderse como no sustitutivos de la descripción amplia de la invención que antecede.

En los dibujos:

la Figura 1 es una fotografía de una sección transversal de un ladrillo que tiene una matriz de cenizas volantes sinterizadas;

la Figura 2 es un diagrama de flujo que ilustra los pasos en la fabricación de ladrillos de cenizas volátiles;

la Figura 3 es un gráfico de capacidad de absorción de un ladrillo de cenizas volantes en función de la temperatura de calcinación;

la Figura 4 es un gráfico de tasa de absorción inicial de la matriz de cenizas volantes en función de la temperatura de calcinación;

la Figura 5 es un gráfico de contenido de humedad de los ladrillos en función del tiempo de curado;

la Figura 6 es una micrografía de la matriz del ladrillo de cenizas volantes cuando se calcina a una temperatura de 1200°C; y

la Figura 7 es una micrografía de la matriz de ladrillo de cenizas volantes cuando se calcina a una temperatura de 1040°C.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA REALIZACIÓN PREFERIDA

Volviendo primeramente a Fig. 1, se describe un ladrillo 10 de cenizas volantes que incorpora una matriz 11 que está hecha de cenizas volantes sinterizadas que tienen vacíos 13 dispersados en toda su masa. La estructura de las cenizas volantes sinterizadas y la disposición y dispersión de los vacíos dictan la resistencia estructural del ladrillo 10 y su capacidad de absorción (tanto la tasa de absorción inicial como la capacidad de absorción total).

En general, los vacíos 13 están dispersados por toda la matriz y comprenden predominantemente vacíos pequeños interconectados 14 y vacíos mayores aislados 15. Los vacíos pequeños 14 hacen el ladrillo 10 poroso y capaz de absorber agua. Estos vacíos pequeños 14 son predominantemente función de la densidad de relleno de las cenizas volantes, y del grado de compactación de la pasta de cenizas volantes asumido en la fabricación del ladrillo. De modo igualmente importante, estos vacíos son función de la eficiencia del proceso de sinterización que está controlada por la temperatura y duración de la calcinación. Los vacíos más pequeños 14 son debidos también parcialmente al plastificante utilizado en la fabricación de la pasta. La inclusión de un plastificante reduce la cantidad de agua requerida para mezclar la pasta de cenizas volantes al mismo tiempo que facilita la trabajabilidad. El efecto dispersante del plastificante es tal que el agua se mantiene en la forma de gotitas que permiten que las partículas de cenizas volantes rueden sobre sí mismas y, cuando se secan por evaporación y/o auto-deseccación, las gotitas dejan atrás sus trazas como burbujas de aire.

Las partículas de cenizas volantes tienen típicamente un tamaño de partícula comprendido entre 1 μm y 150 μm . Típicamente, más del 66% de las partículas de cenizas volantes tienen un diámetro menor que 45 μm . El diámetro medio está comprendido entre 2 μm y 10 μm , y la reactividad de las cenizas aumenta con las partículas de tamaño más pequeño. Si bien la densidad de relleno puede regularse por clasificación de las cenizas volantes, los inventores han encontrado que no se requiere cribado alguno de este tipo para obtener las propiedades requeridas de resistencia y capacidad de absorción como se detalla más adelante. Esto ofrece la ventaja clara de que no se requiere pretratamiento alguno de las cenizas volantes. Las cenizas volantes pueden recogerse de la fuente (típicamente una central eléctrica) y utilizarse directamente como constituyente en el proceso de fabricación de los ladrillos.

Las cenizas volantes utilizadas en el ladrillo de Fig. 1 corresponden a la Clase F. La Clase F de cenizas volantes se produce a partir de carbón bituminoso y es principalmente silíceo. De acuerdo con la clasificación ASTM, las cenizas volantes de Clase F contienen un total de al menos 70% de componentes que son al menos óxido de silicio, óxido de aluminio y óxido de hierro. Otro tipo de cenizas volantes se conoce como cenizas volantes de Clase C. Esta clase se deriva de carbón sub-bituminoso y de lignito. Las cenizas volantes de Clase C son ricas en óxido de calcio. Mientras que el contenido típico de óxido de calcio en las cenizas volantes de Clase F está comprendido entre 2 y 4% y es generalmente inferior a 10%, el contenido típico de óxido de calcio en las cenizas volantes de Clase C está comprendido entre 10% y 20%, y puede ser tan alto como 26%. Si bien los inventores han utilizado cenizas volantes bituminosas de Clase F, debe entenderse que esta invención no está limitada a dicho tipo y que es aplicable también a cenizas volantes de tipo C. Además, el contenido elevado de óxido de calcio presente en las cenizas volantes de Clase C sirve para acelerar la solidificación y reducir el tiempo de curado, por lo que reduce el tiempo requerido para que transcurran los procesos de manipulación y calcinación.

Los vacíos 15 mayores están formados fundamentalmente por aire atrapado en la matriz cuando se está formando el ladrillo. Estos vacíos 15 son parcialmente una función del proceso de fabricación y en particular de la mezcladura inicial de las cenizas volantes y el agua para formar una pasta, y la compactación de dicha pasta. Por su efecto dispersante e hidrófobo, el plastificante puede contribuir también a la formación de vacíos mayores en el producto desecado.

Idealmente, la matriz 11 no incluye una cantidad excesiva de los vacíos mayores 15, dado que los mismos debilitan la matriz. Sin embargo, estos vacíos de mayor tamaño pueden contribuir a las propiedades del ladrillo dado que sirven para aliviar la posible acumulación de presión durante la calcinación y sirven para aliviar las tensiones que pueden presentarse en el producto acabado en lugares en los que se encuentran congelación y descongelación. Dado que el ladrillo 10 fue fabricado en condiciones de laboratorio, había cierta restricción en cuanto al control de la presencia de vacíos mayores 15. Se anticipa que la generación de los vacíos mayores podría controlarse mejor en procedimientos comerciales en los que la formación de la matriz de cenizas volantes pudiera estar mejor controlada.

Como se ilustra en la fotografía de Fig. 1, los márgenes exteriores 16 del ladrillo, adyacentes al borde periférico exterior 17, son todavía porosos. Si bien el ladrillo 10 incorpora una piel 18 formada durante la calcinación del ladrillo, el mismo no está vidriado e incorpora todavía los vacíos más pequeños 14. Como tal, la piel no forma una barrera para la penetración de agua en el ladrillo 10.

Asimismo, se aprecia la ausencia de grietas o fisuras mayores que se extiendan a través de la matriz del ladrillo, que podrían reducir significativamente la resistencia del ladrillo y promover la absorción inconsistente de agua del ladrillo.

La estructura de la matriz 11 del ladrillo proporciona características constantes de resistencia y absorción de agua que hacen que el ladrillo 10 sea idóneo como sustitutivo de los ladrillos de arcilla convencionales, como se expondrá con mayor detalle más adelante.

Fig. 2 es un diagrama de flujo que representa esquemáticamente el proceso 20 de la fabricación del ladrillo 10. En una primera etapa 21, los constituyentes del ladrillo se proporcionan en sus cantidades apropiadas. Los constituyentes comprenden cenizas volantes, agua y un plastificante.

Las cenizas volantes se pesaron y se pusieron en un mezclador adecuado de hormigón o similar. Se añadió luego aproximadamente 70 por ciento en peso de la cantidad total de agua y la mezcla de pasta se mezcló y se mantuvo en rotación durante tres minutos. La proporción total de agua a cenizas volantes era 26 litros de agua para 100 kg de cenizas volantes. Las cenizas volantes utilizadas en este experimento eran cenizas volantes de Clase F conforme a la norma ASTM. Esta clase está disponible en abundancia de las centrales eléctricas que queman carbón. No obstante, se apreciará que el uso de una ceniza volante particular no es una necesidad, aunque debería adaptarse a un estándar de calidad local.

Se añadió luego un plastificante, en este ejemplo un superplastificante, y se mezcló continuamente durante otro periodo de tres minutos. El superplastificante se utilizó a fin de facilitar la trabajabilidad de la suspensión espesa o pasta de cenizas volantes. El superplastificante era una sal de sodio pura de un polinaftaleno-sulfonato fabricado por Handy Chemicals y disponible en el comercio bajo el nombre comercial DISAL. Sin embargo, será evidente que no es necesario el uso de un plastificante particular. Únicamente es importante conseguir una trabajabilidad consistente con una cantidad mínima de agua, y el uso de un plastificante adecuado debería ser satisfactorio con la condición de que la dosis sea relevante para el superplastificante particular que se utilice. En este caso, en que el superplastificante era DISAL, la dosis alcanzaba una tasa de 200 ml por 100 kg de cenizas volantes.

Se añadió luego el resto del agua y se continuó la mezcladura durante tres minutos más después que la mezcladura era completa.

La mezcladura de los constituyentes para formar la pasta tiene lugar en el paso 22. En dicho momento, la pasta puede compactarse para limitar los vacíos 13 (particularmente los vacíos mayores 14). La compactación puede realizarse por cualquier técnica adecuada y en los experimentos realizados por los inventores, la pasta de cenizas volantes se puso en una bandeja y se compactó o vibró en una mesa de vibración de manera similar a la preparación del hormigón. La compactación o compresión se paró cuando la mezcla de pasta comenzó a exudar. No obstante, en un ambiente de producción, la pasta de cenizas volantes se mezclaría y se extrudiría típicamente a presión, lo cual podría dar como resultado una compactación de la pasta.

En el paso 23, se conforman los ladrillos crudos. En los experimentos realizados, la pasta se cortó en los ladrillos crudos por medio de moldes de tipo cúter forzados en el interior de la pasta. Estos ladrillos se retiraron luego de la bandeja. En una operación a escala comercial, en la que la pasta es extruida, el ladrillo se produciría de una manera adoptada para fabricación de ladrillos de arcilla en la que la pasta se alimentaría sobre una cinta transportadora y se cortaría por medio de cuters de alambre.

En el paso 24, los artículos crudos individuales se curan disponiéndolos en una cámara de curado a 58°C y 37% de humedad relativa durante un periodo de 48 horas. Como se ha indicado anteriormente, el proceso de curado está diseñado para solidificar los artículos crudos y extraer también la mayor parte del agua de la matriz de cenizas volantes.

la Figura 5 es un gráfico del contenido de humedad del ladrillo crudo de cenizas volantes durante el curado. Este gráfico muestra el contenido de humedad desde el momento de la mezcladura hasta el tiempo de calcinación, que es típicamente entre 24 y 72 horas después del curado. Es evidente que en las condiciones de curado, el contenido de humedad se estabiliza en aproximadamente 3,5% después de 48 horas. La pérdida principal de humedad tiene lugar dentro de las primeras 24 horas. Este periodo es el más crítico para estimular la solidificación y expulsar la humedad innecesaria. A partir de dos días en adelante, la humedad remanente está constituida por dos componentes. El primero es la humedad que interviene en la reacción de hidratación y da lugar a productos sólidos y complejos hidratados de silicato de calcio y silicato de aluminio. La segunda parte es aquella que es retenida como humedad dentro de los poros internos. El primer componente es necesario para resistir el desmoronamiento del ladrillo durante la manipulación y para soportar la presión interna de los gases que se escapan durante la

calcinación. El segundo componente es una fuente principal de porosidad que permanece en la estructura del ladrillo.

5 Los ladrillos curados se calcinan luego en la etapa 25 a fin de sinterizar la matriz de cenizas volantes. En los experimentos, los artículos curados se pusieron en un horno y la temperatura se elevó hasta 1200°C, y los ladrillos se calcinaron durante 3,5 horas.

10 En una etapa final del proceso, se dejó luego que los ladrillos de cenizas volantes sinterizados se enfriaran a la temperatura ambiente como se representa en el paso 26.

Se testaron diversas propiedades del ladrillo de cenizas volantes, y la Tabla 1 siguiente representa las propiedades de los ladrillos de cenizas volantes comparados con ladrillos de arcilla comunes.

Tipo de ladrillo	Propiedad				
	Resistencia a la compresión	Módulo de rotura	Tasa de absorción inicial (IRA)	Capacidad de absorción	Densidad media
Ladrillos de arcilla	Es típica desde 12 a 40 MPa. Mínimo aceptado por la norma Australiana: 7 Mpa	Desde menos de 1 MPa hasta más de 2 MPa. EL valor por defecto es 0,8 Mpa	Intervalo típico entre 0,2 y 5 kg/m ² /min	5-20%	1800 - 2000 kg/m ³
Ladrillo de cenizas volantes	43 MPa	10,3 Mpa	4,5 kg/m ² /min	10%	1450 kg/m ³

15 Los tests realizados para determinar las propiedades anteriores fueron como sigue:

Resistencia a la Compresión: Realizada conforme a la norma de Australia/Nueva Zelanda AS/NZS 4456.4: 1997, Método 4: Determinación de la Resistencia a la Compresión de Unidades de Albañilería.

20 **Módulo de Rotura:** Realizado dos veces, una vez conforme a la norma de Australia/Nueva Zelanda AS/NZS 4456.15: 1997, Método 15: Determinación del Módulo de Rotura Lateral, y la segunda vez sobre ladrillos unitarios. La razón por la que se hizo esto es que el método Estándar requiere formación de una vigueta por unión horizontal de tres ladrillos. La cola utilizada era Epirez, un ligante de mortero epoxídico. Este método funcionaba muy satisfactoriamente con los ladrillos de arcilla normales, dado que la cola es más fuerte en tensión que los ladrillos de arcilla y la línea de fallo se encontraba a través del ladrillo. En el caso de los ladrillos de cenizas volantes de la presente invención, el fallo ocurría a través de la línea de cola a 7,2 MPa. Esto significa que los ladrillos son más resistentes que aquélla y que el valor 7,2 MPa es la resistencia de la cola. Por tanto, el test se realizó de nuevo sobre ladrillos simples que no implicaban cola alguna. El resultado confirmó que el valor del módulo de rotura de los ladrillos de cenizas volantes es mayor que el valor de 7,2 y de hecho es 10,3 MPa.

30 **Tasa de Absorción Inicial:** Se realizó conforme a la norma de Australia/Nueva Zelanda AS/NZS 4456.17: 1997, Método 17: Determinación de la Tasa de Absorción Inicial (Succión).

35 **Capacidad de Absorción:** Se realizó conforme a la norma de Australia/Nueva Zelanda AS/NZS 4456.14: 1997, Método 14: Determinación de las Propiedades de Absorción de Agua.

Densidad Media: Se realizó conforme a la norma de Australia/Nueva Zelanda AS/NZS 4456.8: 1997, Método 8: Determinación del Contenido de Humedad y la Densidad Seca.

40 Conforme a ello, a partir de la tabla anterior, está claro que los ladrillos de cenizas volantes 10 exhiben propiedades excelentes comparados con los ladrillos de arcilla convencionales.

45 Dos propiedades importantes de los ladrillos de construcción son la tasa de absorción inicial (IRA) y la capacidad de absorción. Estas dos propiedades son particularmente importantes para los ladrillos. La IRA es de gran importancia para la colocación de los ladrillos y la unión con el mortero. Una IRA alta da como resultado un secado demasiado rápido del mortero y por tanto debilita el mortero y reduce su adherencia al ladrillo. Por el contrario, si la IRA es demasiado baja, la superficie del ladrillo adyacente al mortero no absorbería el exceso de agua y podría dar como resultado una capa muy débil del mortero que podría no haber penetrado suficientemente en las hendiduras y poros de la superficie del ladrillo. La propiedad de capacidad de absorción total es también muy importante para el comportamiento del ladrillo. Una absorción muy alta da como resultado vulnerabilidad a los cambios de volumen que pudiera conducir a agrietamiento de los ladrillos y deterioro estructural en las construcciones. Ello podría conducir también a agrietamiento en el evento de congelación y descongelación del agua en el interior de los poros. No obstante, tampoco se desea una absorción demasiado baja. Esto es debido a que el agua de lluvia, en lugar de ser

absorbida parcialmente por el ladrillo, tendería a fluir muy rápidamente hacia las juntas y podría encontrar su camino hacia el interior de la construcción, reduciendo al mismo tiempo la durabilidad de las juntas de mortero.

5 Los inventores realizaron tests adicionales acerca de los efectos de la temperatura de calcinación sobre la capacidad de absorción total y la tasa de absorción inicial. Estos tests se realizaron utilizando ladrillos crudos fabricados conforme a el procedimiento anterior; siendo la única diferencia la temperatura de calcinación utilizada. Los resultados de estos tests se ilustran en las Figuras 3 y 4.

10 De las Figuras 3 y 4 se deduce claramente que la temperatura de calcinación tiene un efecto importante sobre las propiedades de absorción de los ladrillos de ceniza volante sinterizados. Adicionalmente, como puede verse por los resultados anteriores, por mantenimiento de la tasa de temperatura entre 1100°C y 1250°C, es posible obtener propiedades de absorción excelentes consistentes con los ladrillos de arcilla convencionales.

15 Las Figuras 6 y 7 son micrografías de la matriz de un ladrillo de cenizas volantes cuando se calcina a diferentes temperaturas. Fig. 6 tiene una temperatura de calcinación de 1200°C , mientras que Fig. 7 es la matriz del ladrillo cuando se calcina a una temperatura de 1040°C. En la micrografía de Fig. 6, la matriz del ladrillo exhibe poros más finos y más consistentes a todo lo largo de la estructura de la matriz. Las cenizas volantes se sinterizan sustancialmente sin experimentar vidriado. En contraste, en la matriz descrita en Fig. 7, en la que el ladrillo se calcinó a 1040°C, las cenizas volantes no se sinterizan suficientemente, conduciendo con ello a una porosidad
20 excesiva y una reducción en su resistencia estructural.

De acuerdo con ello, la invención proporciona métodos de fabricación de artículos a partir de cenizas volantes que pueden producirse en escala comercial y que exhiben propiedades excelentes tanto en términos de resistencia como de capacidad de absorción, lo que hace que tales artículos sean idóneos como sustituto para los ladrillos de arcilla
25 convencionales.

En las reivindicaciones que siguen y en la descripción de la invención que antecede, excepto donde el contexto requiera otra cosa debido a lenguaje expreso o implicación necesaria, el término "que comprende(n)" se utiliza en un sentido global, es decir que las características especificadas pueden estar asociadas con características adicionales
30 en diversas realizaciones de la invención.

Pueden realizarse variaciones y/o modificaciones en las partes descritas anteriormente.

REIVINDICACIONES

1. Un elemento de construcción (10) que tiene una matriz (11) de cenizas volantes sinterizadas y que tiene una resistencia a la compresión mayor que 30 MPa, un módulo de rotura mayor que 5 MPa, una tasa de absorción inicial (IRA) comprendida entre 0,2 y 5 kg/m²/min y una capacidad de absorción comprendida entre 5 y 20%.
2. Un elemento de construcción (10) conforme a la reivindicación 1, en el que el elemento de construcción es un ladrillo de construcción.
3. Un método de formación de un artículo conformado que tiene una matriz (11) que contiene cenizas volantes sinterizadas, en el cual el artículo conformado es un elemento de construcción (10) de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, comprendiendo dicho métodos los pasos de:
- mezclar cenizas volantes, un superplastificante y agua para producir una pasta de cenizas volantes, añadiéndose el agua en exceso respecto a la que es absorbida por las cenizas volantes a fin de que la pasta contenga agua libre de tal modo que se encuentre en un estado al menos parcialmente fluido;
- conformar el artículo crudo en una forma deseada a partir de la pasta de cenizas volantes;
- retirar al menos una porción del agua libre de la pasta de cenizas volantes durante y/o después de la formación del artículo crudo; y
- calcinar subsiguientemente el artículo crudo a fin de que el artículo conformado se endurezca por sinterización de su matriz de cenizas volantes; en donde la temperatura de calcinación está comprendida entre 1100°C y 1250°C.
4. Un método conforme a la reivindicación 3, en donde la eliminación de al menos una porción del agua de la pasta de cenizas volantes se realiza por prensado.
5. Un método conforme a la reivindicación 3 ó 4, que comprende adicionalmente el paso de curado del artículo crudo antes de la calcinación del mismo, en donde durante el curado el agua reacciona con las cenizas volantes para solidificar al menos parcialmente el artículo.
6. Un método conforme a la reivindicación 5, en donde durante el curado del artículo crudo, al menos una porción del agua libre se separa de la pasta de cenizas volantes.
7. Un método conforme a la reivindicación 6, en donde el artículo crudo se somete a calentamiento bajo a moderado durante el curado.
8. Un método conforme a la reivindicación 7, en donde el artículo crudo se somete a calentamiento en un intervalo de temperatura de 30°C a 80°C.
9. Un método conforme a la reivindicación 7, en donde el artículo se somete a calentamiento en un intervalo de temperatura de 55°C a 65°C.
10. Un método conforme a una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 9, en donde el artículo crudo se somete a humedad elevada durante el curado.
11. Un método conforme a la reivindicación 10, en donde la humedad está comprendida en el intervalo de 20% de humedad relativa a 60% de humedad relativa.
12. Un método conforme a la reivindicación 10, en donde la humedad está comprendida en el intervalo de 35% de humedad relativa a 45% de humedad relativa.
13. Un método conforme a cualquiera de las reivindicaciones 3 a 12, en donde después de la eliminación de al menos una porción del agua libre procedente de la pasta de cenizas volantes, el contenido de humedad en la pasta está comprendido en el intervalo de 1 a 5%.
14. Un método conforme a cualquiera de las reivindicaciones 3 a 12, en donde después de la eliminación de al menos una porción del agua libre de la pasta de cenizas volantes, el contenido de humedad en la pasta está comprendido en el intervalo de 2 a 4%.
15. Un método conforme a cualquiera de las reivindicaciones 3 a 14, en donde el tiempo de curado está comprendido entre 12 horas y 5 días.

16. Un método conforme a cualquiera de las reivindicaciones 3 a 14, en donde el tiempo de curado está comprendido entre 1 y 3 días.
17. Un método conforme a cualquiera de las reivindicaciones 3 a 16, en donde la duración de la calcinación está comprendida en el intervalo de 30 minutos a 6 horas.
18. Un método conforme a cualquiera de las reivindicaciones 3 a 16, en donde la duración de la calcinación está comprendida entre 1 y 4 horas.

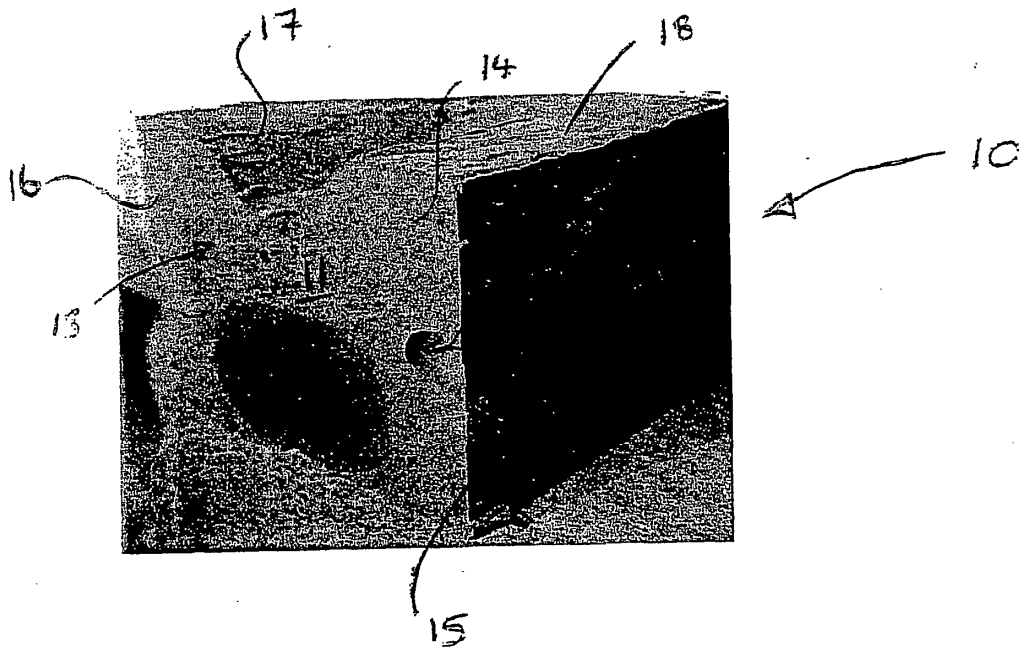


FIG. 1

Diagrama del proceso de fabricación

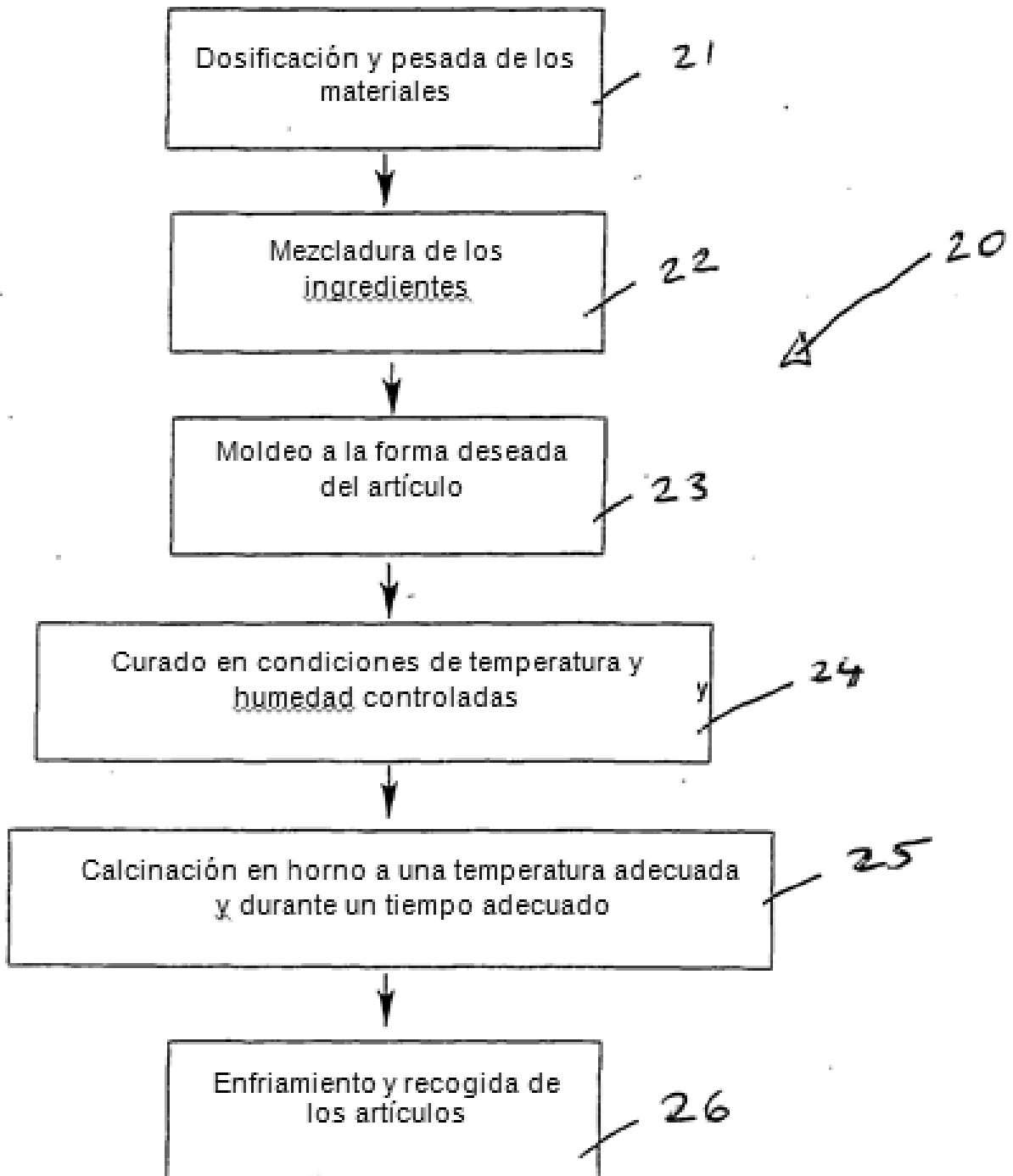


FIG. 2

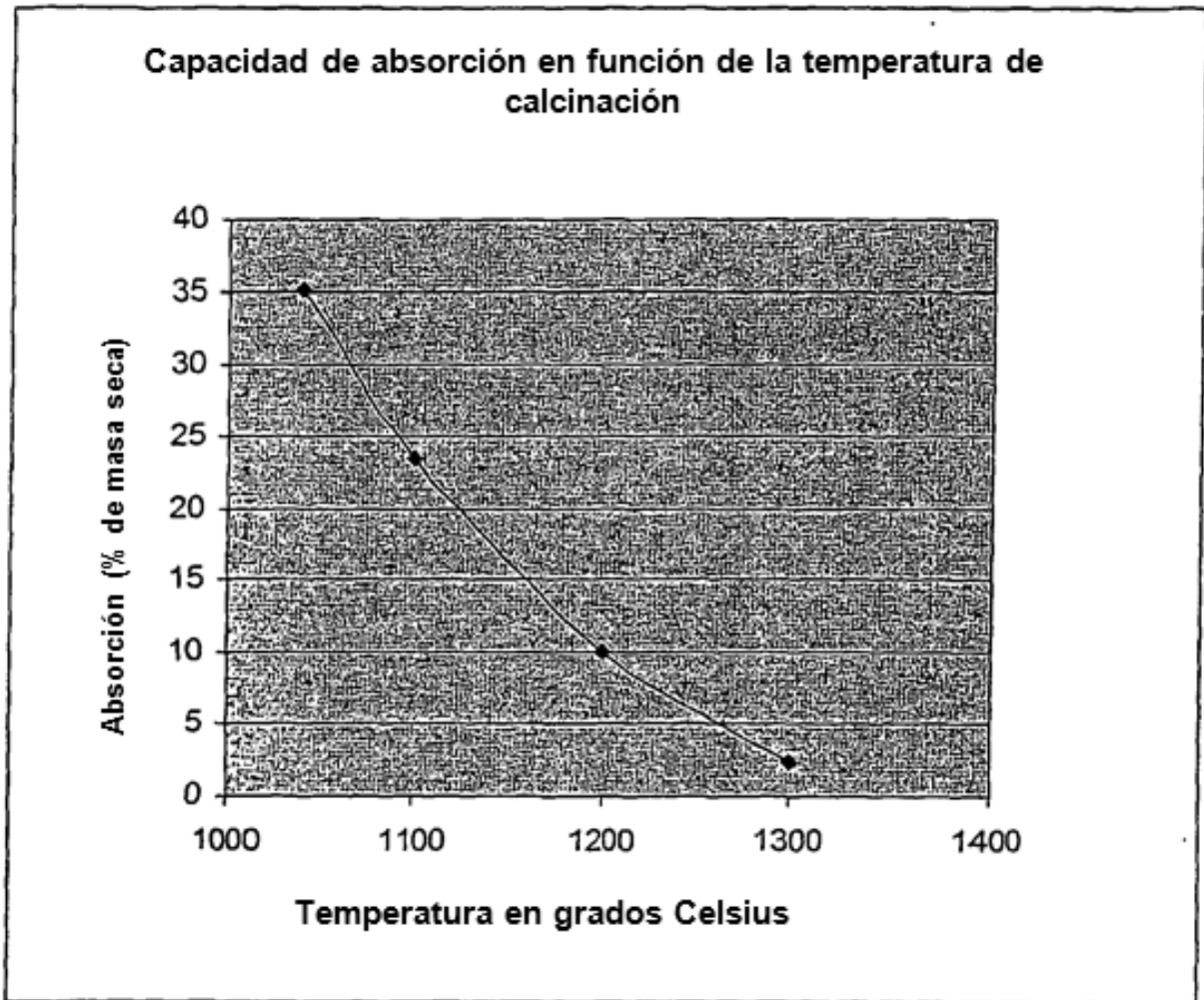


FIG. 3

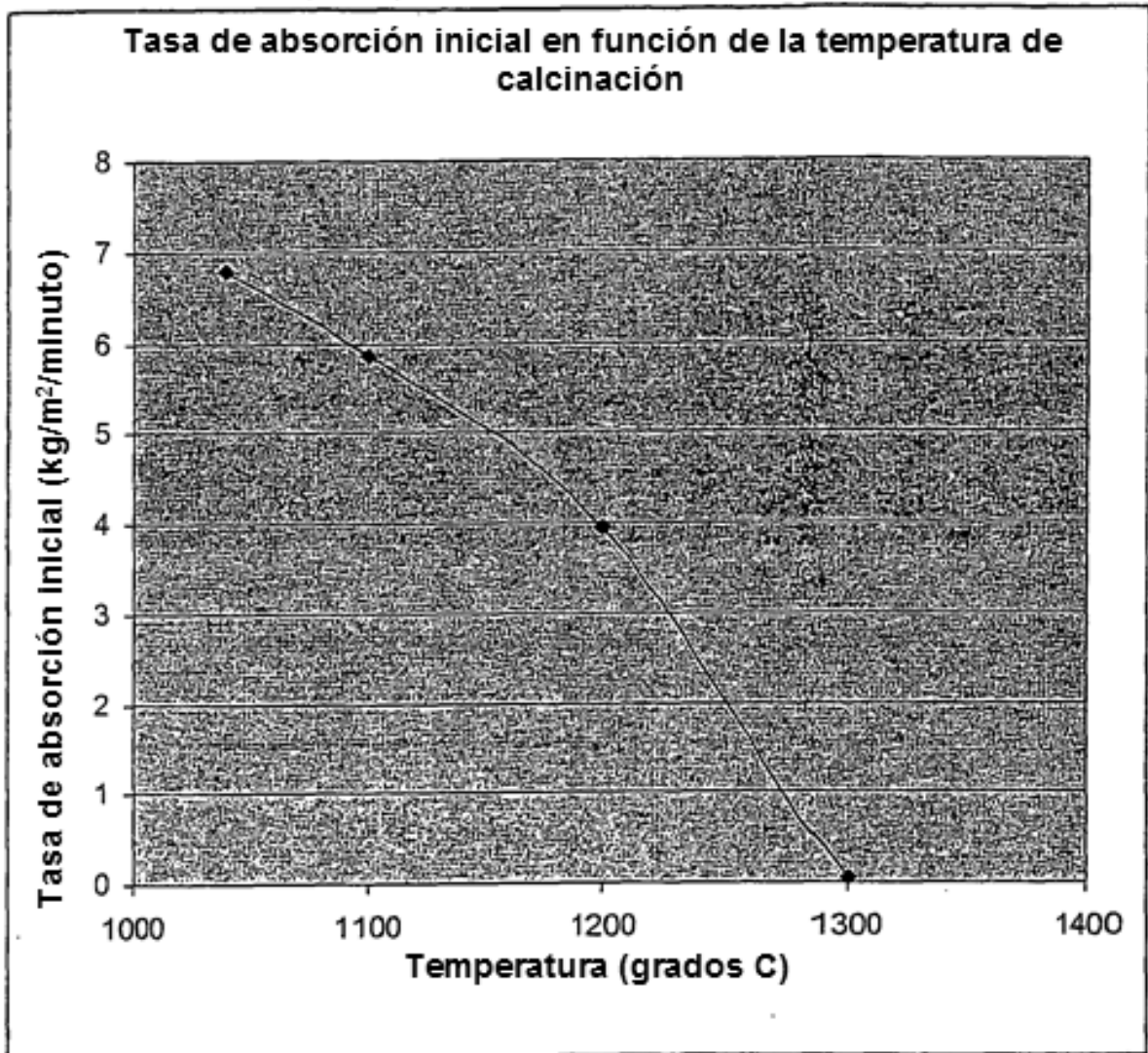


FIG. 4

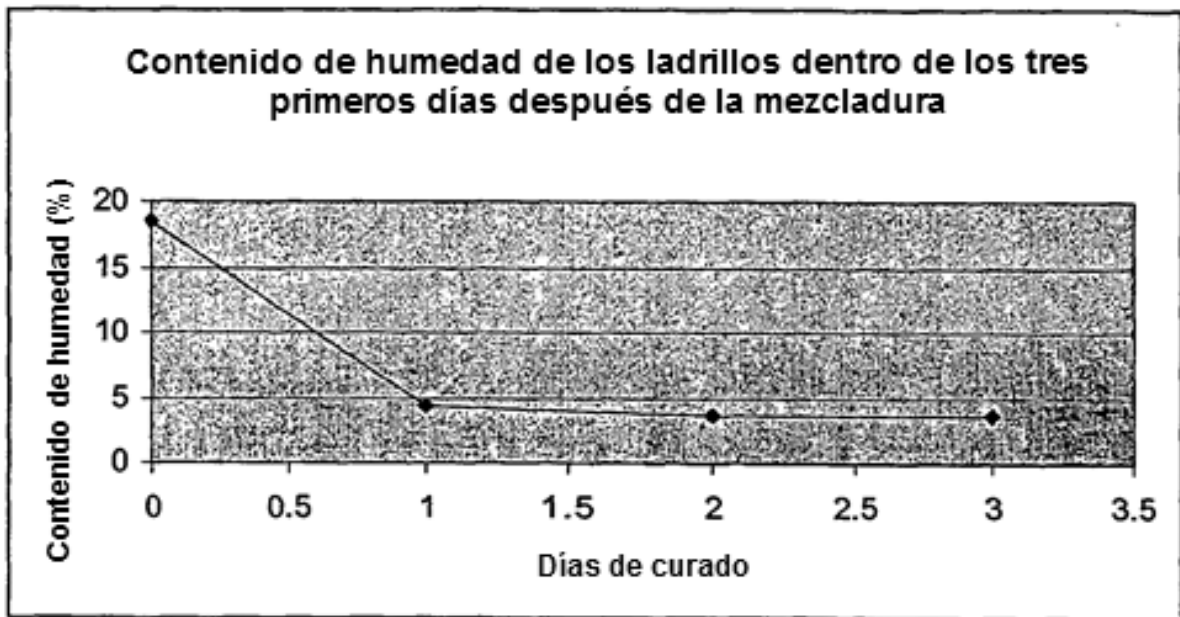


FIG. 5

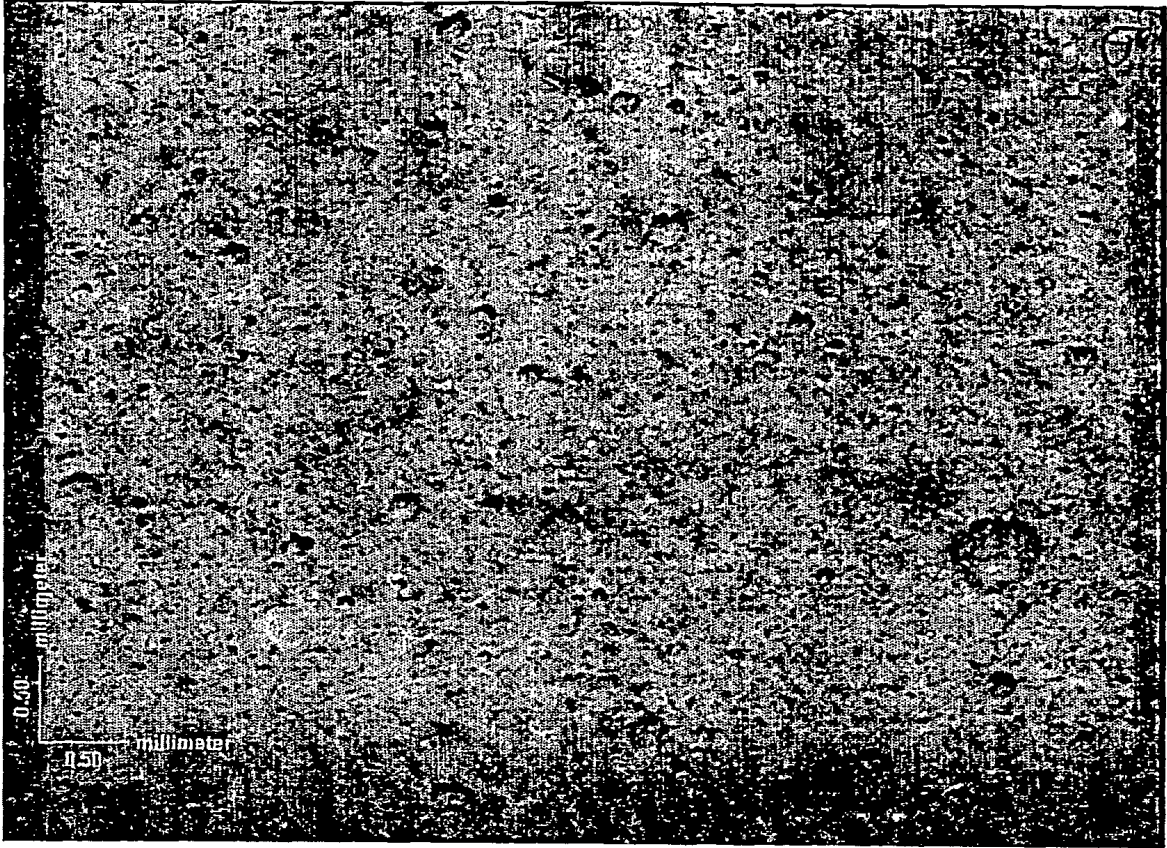


FIG. 6

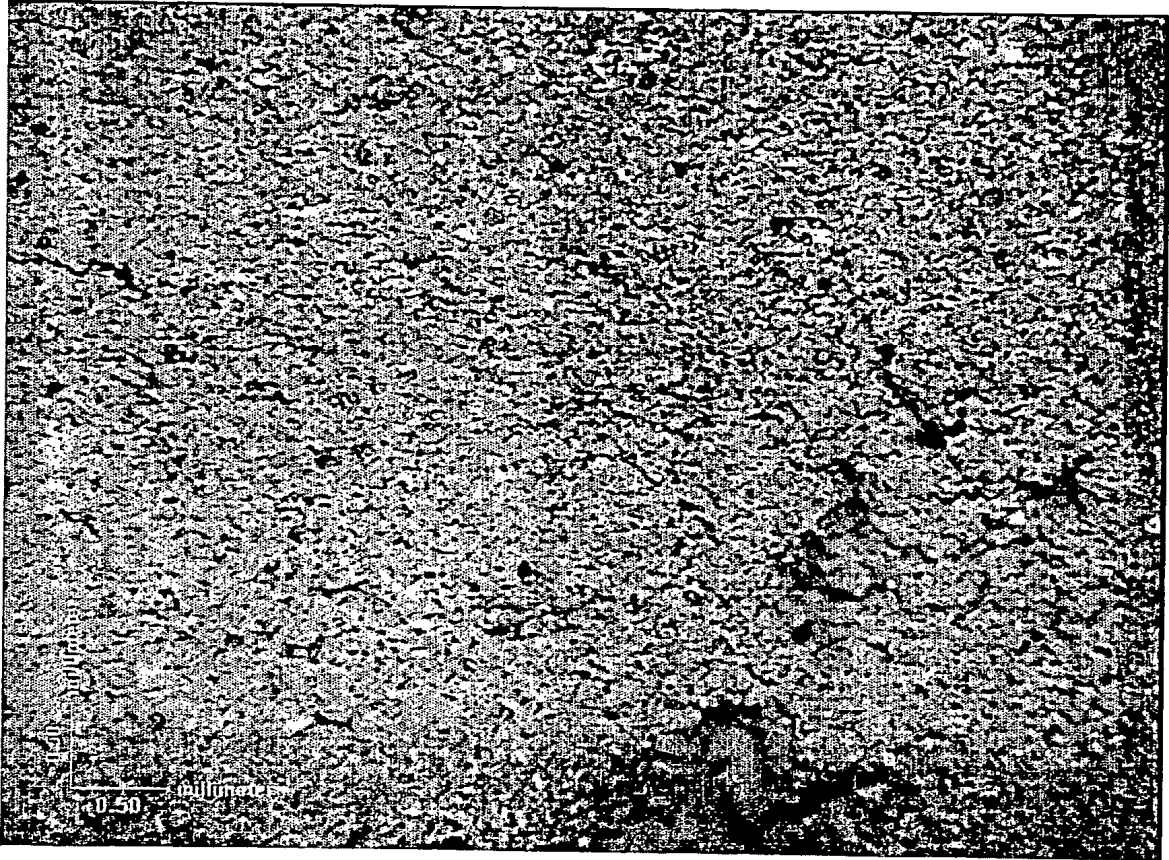


FIG. 7