

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 980 276**

51 Int. Cl.:

C04B 40/02 (2006.01)

B28B 11/24 (2006.01)

C04B 28/02 (2006.01)

F26B 25/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.09.2018 PCT/CA2018/051215**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.04.2019 WO19060992**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.09.2018 E 18860881 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.03.2024 EP 3687960**

54 Título: **Procedimiento y sistema de carbonatación por aire desplazado (CAD)**

30 Prioridad:

28.09.2017 US 201762564822 P

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

30.09.2024

73 Titular/es:

**CARBOCLAVE CORP. (100.0%)
189 Deer Ridge Drive
Kitchener, ON N2P 2K5, CA**

72 Inventor/es:

**AL-GHOULEH, ZAID y
HARGEST, PAUL WAYNE**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 980 276 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

Procedimiento y sistema de carbonatación por aire desplazado (CAD)

ANTECEDENTES

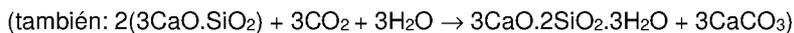
- 5 El documento WO 2017041188 describe el uso de gas dióxido de carbono para curar medios de hormigón según el preámbulo de la reivindicación 1, y un procedimiento para producir productos prefabricados en un recinto hermético, que comprende las etapas de una carbonatación de unidades prefabricadas de hormigón presecadas alimentando gas CO₂ en un recinto hermético cerrado en condiciones de presión atmosférica cercana a la ambiental (psig entre 0 y 2 (entre 101,325 kPa y 115,115 kPa)) y/o baja presión (entre 2 y 15 psig (entre 115,115 kPa y 204,746 kPa)), en el que dichas unidades de hormigón presecadas han perdido entre 25 y 60 % de su contenido de agua de mezcla inicial.
- 10 El documento CN104290183 describe un método para mantener el hormigón poroso mediante dióxido de carbono. El método incluye las siguientes etapas: (1) se mezcla y se forma hormigón; (2) un cuerpo de hormigón inicial obtenido se coloca en un dispositivo de premantenimiento para el premantenimiento, en el que la temperatura de premantenimiento oscila de 15°C a 25°C, y la humedad relativa oscila de 50 % a 70 %; el aire circula a través de un soplador de aire o un ventilador, en el que el tiempo de premantenimiento oscila de 1 h a 18 h; (3) cuando la relación agua residual-cemento del cuerpo de material mezclado obtenido después del premantenimiento alcanza una relación agua residual-cemento preestablecida, el cuerpo de material mezclado se coloca en un recipiente de mantenimiento de CO₂, se lleva a cabo el vacío, y después el gas CO₂ se lleva al recipiente de mantenimiento de CO₂ para el mantenimiento de CO₂, el gas se descarga una vez finalizado el mantenimiento, y se detiene el mantenimiento. Mediante el método, se puede lograr el control sobre el contenido de humedad del cuerpo de hormigón, se puede mejorar eficazmente la capacidad de absorción de gas dióxido de carbono del hormigón, y se puede mejorar eficazmente la calidad de un producto de hormigón; además, el gas residual de efecto invernadero, concretamente el gas dióxido de carbono, se puede usar eficazmente, se puede reducir la emisión del gas de efecto invernadero, se puede proteger el medioambiente, y se puede suprimir el efecto invernadero.

(a) Campo

- 25 La materia objeto descrita generalmente se refiere al uso de gas dióxido de carbono para curar medios de hormigón aplicando un diferencial de presión, creado mediante una sustitución parcial del volumen de aire ambiental original presente en un recinto de curado por gas CO₂ puro.

(b) Técnica anterior relacionada

- 30 El procedimiento de carbonatación implica el componente de silicato de calcio del cemento Portland, a saber, silicato tricálcico (3CaO.SiO₂; C₃S - alita) y silicato dicálcico (2CaO.SiO₂; C₂S - belita), que constituyen la mayor parte del cemento. El gas CO₂ reacciona con estos silicatos de calcio, en presencia de agua, para formar C-S-H y CaCO₃ (según las Ecuaciones 1 y 2 siguientes).



- 35 $2C_2S + CO_2 + 3H_2O \rightarrow C-S-H + CaCO_3 \quad (2)$



- 40 Generalmente, C-S-H es conocido como la fase que contribuye a la unión del hormigón, y es uno de los productos normalmente generados por la reacción hidráulica entre el cemento y el agua (junto con el hidróxido de calcio en un grado mucho menor). La velocidad de formación de esta fase se acelera considerablemente en presencia de suficiente CO₂, que también actúa como reactivo reaccionante que acelera la reacción que da como resultado la precipitación de carbonato de calcio (en lugar de hidróxido de calcio). Por esta razón, a veces se considera que la carbonatación es un acelerador para la hidratación del cemento. Los primeros trabajos de Young et al. [1] y Bukowski et al. [2] mostraron una rápida consolidación de polvos de silicato de calcio sujetos a cortos períodos de exposición a CO₂ puro. Este desarrollo físico se correlaciona con la generación igualmente rápida de C-S-H, según las Ecuaciones 1 y 2. Los cristales de CaCO₃ que se producen simultáneamente a partir de la reacción se encuentran íntimamente entremezclados con la C-S-H a nanoescala. Estos precipitados de nano-CaCO₃ refuerzan la matriz de C-S-H, lo que da como resultado una matriz de unión compuesta resiliente.

- 50 Sería muy deseable realizar un procedimiento industrial fácilmente adaptable que prácticamente explote la carbonatación como un medio para implicar activamente al cemento Portland dentro del marco temporal de un ciclo de producción convencional, llegando así a un producto prefabricado de hormigón altamente resiliente caracterizado por tener un alto contenido inmediato de C-S-H, una resistencia considerablemente mayor que las marcas de referencia comerciales, y la capacidad de secuestrar beneficiosamente dióxido de carbono en forma de precipitados de cristales de CaCO₃ que refuerzan físicamente.

SUMARIO

- Esta invención presenta una configuración de procedimiento alternativo a la cubierta en la solicitud de patente provisional de EE. UU. N° 62/217.239 -PCT/CA2016/051076, desarrollada para facilitar una adopción más amplia de la tecnología Carboclave® en plantas de hormigón prefabricado nuevas y existentes. La invención introduce un nuevo sistema de curado que puede integrarse con bastante facilidad como una modificación de diseño en nuevas instalaciones de curado o como una actualización física a procedimientos de curado que ya están en funcionamiento. El sistema margina la dependencia de la carbonatación de la presión para la producción de productos de hormigón Carboclave®, para los cuales se usa CO₂ como agente de curado. En lugar de una acumulación de presión elevada para promover la difusión y la carbonatación del CO₂, la nueva configuración del sistema depende de la aplicación de un diferencial de presión suficiente para la reacción. El diferencial se logra desplazando el aire ambiental primero a través de succión/vacío, seguido de la inyección de gas CO₂. La succión podría dar como resultado una ligera presión subatmosférica, que se mantiene sólo momentáneamente en un esfuerzo por purgar tanto volumen de aire como sea técnicamente posible mediante la instalación. Se minimiza la presencia de un volumen residual de aire ambiental en la cámara de curado, pero es realmente inevitable. Después de la semipurga, la inyección de CO₂ se inicia y se regula de manera que la carbonatación se lleve a cabo a una presión manométrica ligeramente positiva, entre 0 y 2 psig (entre 101,325 kPa y 115,115 kPa). Tales condiciones de funcionamiento permiten realizar el curado por carbonatación en cámaras de curado con vapor convencionales ligeramente modificadas (el procedimiento de producción de referencia de la industria). Al sistema presentado y al procedimiento asociado se les asigna la abreviatura CAD, que significa Carbonatación por Aire Desplazado.
- Según la presente invención, se proporciona el uso de gas dióxido de carbono para curar medios de hormigón según la reivindicación 1.
- El uso de la presente invención puede comprender además una etapa de desplazamiento de aire que precede a la carbonatación destinada a crear succión y lograr presiones subatmosféricas dentro del recinto de curado entre 0 y -5 psig (entre 101,325 kPa y 66,852 kPa).
- El uso de la presente invención puede comprender además una etapa de purga que precede a la carbonatación, en la que el gas CO₂ fluye continuamente hacia el recinto de curado para desplazar volúmenes parciales de aire ambiental a través de una salida abierta, en la que la salida se cierra cuando el aire expulsado alcanza una concentración de CO₂ que supera 10.000 ppm.
- El recinto de curado puede alcanzar una concentración interna de CO₂ entre 20 y 50 % después de la etapa de purga.
- El uso de la presente invención puede comprender además una etapa de inyectar de manera muy controlada CO₂ hasta alcanzar una presión interna entre 0 y +2 psig (entre 101,325 kPa y 115,115 kPa) y mantenerla constante durante todo el procesamiento de carbonatación, mediante el cual el diferencial de presión es para crear una cabeza de presión suficiente para una mejor difusión del gas dentro del material de hormigón y mejorar la reacción de carbonatación.
- La necesidad de presión durante la carbonatación puede quedar marginada.
- El uso de la presente invención puede ser para la preparación de productos de hormigón prefabricados o fabricados en seco, armados y no armados.
- Los productos de hormigón prefabricados o fabricados en seco se pueden seleccionar del grupo que consiste en unidades de mampostería, adoquines, piedra sintética, ladrillos, losas alveolares huecas, tuberías, paneles de pared, tableros de fibrocemento, y muros de contención.
- El recinto de curado de hormigón se puede seleccionar del grupo que consiste en horno, cámara, autoclave, vasija, tienda, en el que el recinto está diseñado o modificado para que sea hermético y capaz de soportar desviaciones marginales de presión tanto por debajo como por encima de las condiciones ambientales.
- Según la presente invención, se proporciona un sistema de carbonatación por aire desplazado que usa gas dióxido de carbono para curar medios de hormigón según la reivindicación 10.
- El conjunto de puerta puede construirse a partir de uno cualquiera o una combinación de materiales que incluyen polímero, plástico, aluminio, y/o acero.
- El revestimiento interior compuesto puede consistir en una capa primaria de espuma de poliuretano en aerosol (SPF) con un grosor que oscila de 25 a 50 mm, y una capa secundaria de poliurea con un grosor que oscila entre 2 a 10 mm, en el que el revestimiento compuesto está destinado a aliviar las tensiones internas que surgen del diferencial de presión aplicado al sistema.
- Según la presente invención, se proporciona un kit para transformar un sistema de cámara en un recinto hermético y presurizable según la reivindicación 13.
- El revestimiento interior compuesto puede consistir en una capa primaria de espuma de poliuretano en aerosol (SPF) con un grosor que oscila de 25 a 50 mm, y una capa secundaria de poliurea con un grosor que oscila entre 2 y 10 mm.

Las características y ventajas de la materia objeto aquí resultarán más evidentes a la luz de la siguiente descripción detallada de realizaciones seleccionadas, como se ilustra en las figuras que se acompañan. Como se comprenderá, la materia objeto descrita y reivindicada es susceptible de modificaciones en diversos aspectos, todo ello sin apartarse del alcance de las reivindicaciones. En consecuencia, los dibujos y la descripción deben considerarse de naturaleza
5 ilustrativa, y no restrictiva, y el alcance completo de la materia objeto se expone en las reivindicaciones.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Otras características y ventajas de la presente descripción resultarán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada, tomada en combinación con los dibujos adjuntos, en los que:

- 10 la Fig. 1 ilustra un diagrama de flujo del procedimiento CAD para la producción de unidades de mampostería de hormigón (UMH) estándar de 20 cm;
- la Fig. 2 ilustra una ilustración esquemática de una cámara de curado típica a gran escala convertida en un sistema de curado CAD;
- la Fig. 3 ilustra una sección transversal del revestimiento de pared interior compuesto del sistema CAD;
- a Fig. 4 ilustra un sistema de curado CAD antes y después de comenzar el curado por carbonatación;
- 15 la Fig. 5 ilustra un prototipo de sistema CAD;
- la Fig. 6 ilustra un sistema de escape por desplazamiento de aire de un prototipo;
- la Fig. 7 ilustra (a) un recinto cargado con bloques de UMH estándar de 20 cm; (b) una lámina de polímero de neopreno de 5 mm firmemente fijada para hacer hermético al recinto; y
- 20 la Fig. 8 ilustra el sistema de recinto CAD cuando se desinfla mediante succión, y cuando se infla posteriormente a una presión constante de 0,5 psig (104,772 kPa) durante la carbonatación.

Se observará que, en todos los dibujos adjuntos, características similares se identifican con números de referencia similares.

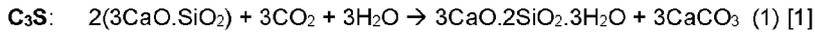
DESCRIPCIÓN DETALLADA

Procedimiento CAD

- 25 El procedimiento CAD presenta una metodología para curar artículos de hormigón usando dióxido de carbono en lugar de vapor (la ruta de curado convencional). La generación de vapor consume agua y gas natural, los cuales se evitan con el procedimiento CAD. Se pueden obtener mayores ahorros reduciendo el uso de cemento, la materia prima más cara, sin comprometer el cumplimiento de las especificaciones de los códigos de construcción. Los productos de
30 hormigón Carboclave® superan las marcas comerciales en áreas de comportamiento ambiental y de durabilidad, además de demostrar mejoras considerables en la resiliencia química y física. El procedimiento CAD se aplica a productos de hormigón prefabricados (armados y no armados con acero), incluyendo, pero sin limitarse a, unidades de mampostería de hormigón, adoquines, tuberías, tableros de fibrocemento, y losas alveolares huecas. El procedimiento se puede adaptar a los sistemas de curado con vapor existentes mediante modificaciones de
35 actualización física sin incurrir en grandes costes de capital no recuperables. La Fig. 1 es un diagrama de flujo del procedimiento que detalla las etapas del procedimiento CAD para la producción de UMH (unidad de mampostería de hormigón) de 20 cm.

Las etapas individuales en la Fig. 1 se describen con más detalle a continuación,

- 40 i. Formación de bloques: Esta etapa sigue las prácticas convencionales de formación de bloques, con la única diferencia de la posibilidad de dosificar un menor contenido de cemento. La alta resistencia lograda por los bloques procesados con CO₂ permite compensar parcialmente el contenido de cemento (hasta un 25 %) mediante reducción directa del contenido y/o sustitución por cargas cementosas.
- 45 ii. Prefraguado: el prefraguado es una etapa de cebado importante, que implica una profunda monitorización y control de la pérdida de agua que experimentan los bloques antes de la carbonatación. La pérdida de agua crea espacios dentro del componente pastoso de los bloques húmedos, facilitando así la difusión de CO₂ y logrando grados óptimos de carbonatación. Según estudios paramétricos extensos previos, una pérdida de masa en el intervalo de 30 a 50 % del agua total en los bloques produce resultados óptimos en términos de reacción. El contenido de agua residual en el bloque es en cierto modo un parámetro crítico - si es demasiado, la difusión de CO₂ se verá obstaculizada debido al bloqueo; si es demasiado poco, los granos de cemento no reaccionan debido a la falta de agua. Es necesario
50 mantener un contenido de agua óptimo antes de la exposición al CO₂. De hecho, el agua tiene dos propósitos vitales: es el medio en el que se disuelven los solvatos del gas CO₂ y los silicatos de calcio; y un agente reaccionante en la siguiente reacción de carbonatación de múltiples etapas que genera la matriz de unión compuesta de C-S-H (silicato cálcico hidratado) y CaCO₃.



Las Ecuaciones (1) y (2) presentan las reacciones estequiométricas genéricas de los principales constituyentes del cemento, silicatos tricálcico (C₃S) y dicálcico (C₂S), respectivamente, durante la carbonatación. El gas CO₂ finalmente se convierte en CaCO₃ estable. Tanto C-S-H como CaCO₃ se nuclean en poros previamente ocupados por agua en la pasta húmeda. Generalmente, se sabe que el hidrato de C-S-H es responsable de la resistencia aglutinante del hormigón endurecido. La velocidad de formación de esta fase se acelera considerablemente cuando los silicatos de calcio se activan con CO₂. Los primeros trabajos de Young et al. [1] y Bukowski et al. [2] mostraron una rápida consolidación de polvos de silicato de calcio sometidos a períodos cortos de exposición a CO₂ puro, en los que correlacionan el efecto con una generación igualmente rápida de C-S-H.

El secado se cuantificó monitorizando el cambio de peso experimentado por los bloques representativos. El grado de secado buscado se simplificó a un peso diana final absoluto, con base en la fórmula de la Ecuación 3, que también tiene en cuenta la propiedad de absorción de los agregados. La ecuación calcula la caída de peso que debe experimentar un solo bloque, considerando una pérdida diana de 35 % del contenido total de agua en este caso. Lograr la caída de peso marca el final de la etapa de prefraguado. Por ejemplo, el WL_{35%} para un bloque NW con un peso inicial de 16,8 kg, y una absorción de agregados de 3%, es 0,349 kg.

$$WL_{35\%} = [(M_{agr.} \times A_{agr.}) + (M_{bloque} \times \% \text{ de Agua})] \times 35\% \quad (3)$$

WL_{35%} Masa de 35% de pérdida de agua diana

M_{Agr.}: Masa de agregados en bloque

A_{Agr.}: Absorción de agregados

M_{Bloque}: Masa de bloque

iii. Carbonatación: Esta etapa se lleva a cabo después de que los productos de hormigón adecuadamente imprimado se colocan en un recinto de curado y se sellan. Una vez asegurado herméticamente, el recinto está sujeto a succión (mediante el uso de bomba, venturi, compresor, etc.) para el desplazamiento parcial del volumen de aire ambiental originalmente presente en el recinto. Esto puede dar como resultado un estado de vacío parcial, posiblemente registrando presiones subatmosféricas dentro del recinto entre 0,00 y -5,00 psig (entre 101,325 kPa y 66,852 kPa).

Este estado se mantiene sólo brevemente hasta que la presión vuelve a la atmosférica (0 psig (101,325 kPa)), y hasta un máximo de 2,00 psig (115,115 kPa), con la inyección de gas CO₂. El objetivo principal del diferencial de presión -ve/+ve es crear una cabeza de presión suficiente para una mejor difusión del gas dentro del material de hormigón, y, por lo tanto, una mejor reacción de carbonatación.

Durante la carbonatación, la inyección de gas CO₂ se controla cuidadosamente para garantizar que el medio de hormigón absorba su capacidad diana de CO₂ para las condiciones de curado y el período de tiempo dados. Esta característica de 'autolimpieza' se desarrolló para asegurarse de que el gas inyectado sea completamente consumido por el hormigón - evitando la liberación de gas a la atmósfera al final del ciclo de carbonatación. Un regulador se usa para garantizar que la presión de carbonatación (entre 0 y 2 psig (entre 101,325 kPa y 115,115 kPa)) dentro del recinto se mantiene con precisión. Se produce una caída de presión cuando el hormigón absorbe CO₂, lo que hace que el regulador contrarreste reponiendo el recinto con más gas. Se usa un caudalímetro para cuantificar la cantidad total de CO₂ inyectada. Una vez alcanzada la capacidad diana de gas que se podría absorber por la carga de hormigón, entonces se detiene el suministro de gas.

Para cuantificar la cantidad de CO₂ que puede absorber una carga de hormigón, se puede usar la Ec. 4. Esto permitirá una dosificación precisa de la inyección de gas durante la carbonatación.

$$Q_{CO2} = N \times M_{unidad} \times (\% \text{ de Aglutinante}) \times U_{CO2} \quad (4)$$

en la que,

Q_{CO2}: Cantidad de gas CO₂ total a inyectar por carga, Kg

N: Número de unidades de hormigón cargadas para curado (por ejemplo, bloques, adoquines, tuberías)

M_{unidad}: Masa promedio de una unidad individual, Kg

% de Aglutinante: % de proporción de aglutinante (es decir, cemento) en el diseño de la mezcla de hormigón, %

U_{CO2}: Consumo diana de CO₂, expresado como % de masa de aglutinante (generalmente entre 15 - 25 %), %

La Ecuación 4 generalmente se aplica al hormigón prefabricado. A partir de ensayos exhaustivos anteriores, la cantidad de CO₂ que podría ser secuestrada potencialmente por una unidad de hormigón (U_{CO2}), en las condiciones de procesamiento prescritas, se supone conservadoramente que equivale a 20 % de la masa inicial de cemento. Por ejemplo, considerando 10 unidades de mampostería de hormigón (UMH) estándar de peso normal de 20 cm, con un peso promedio de 17 kg por unidad y un contenido de cemento de 9,7 %, la cantidad de CO₂ que potencialmente podría ser absorbida por la carga es 3,3 kg ($Q_{CO2} = 10 \times 17\text{kg} \times 9,7 \% \times 20 \%$).

Sistema CAD

El montaje del sistema de curado CAD se detalla en esta sección, siendo la realización descrita adaptable a instalaciones de curado con vapor tanto nuevas como existentes. La adaptación generalmente transforma cualquier sistema de curado (horno, vasija, cámara, etc.) en un recinto hermético, capaz de soportar un diferencial de presión que oscila de -5 psig (66,852 kPa) durante la succión y hasta 2 psig (115,115 kPa) durante la carbonatación. La Figura 2 ilustra un sistema típico de curado CAD a gran escala, que representa una versión modificada de la cámara de curado con vapor más comúnmente usada. El recuadro de la figura es un primer plano de la sección transversal de la pared, que revela un revestimiento interior compuesto por dos capas pulverizadas sucesivamente. La sección transversal de la pared revela un revestimiento interior de poliuretano/poliurea compuesto. La primera capa es un material de espuma de poliuretano en aerosol (SPF) de 25 - 50 mm de grosor, que generalmente se usa con fines aislantes en la construcción. La segunda capa es la de un material flexible de 'poliurea' cuyo grosor oscila entre 2 y 10 mm. Ambos materiales exhiben una alta tolerancia a la deformación elástica.

El revestimiento compuesto alivia las tensiones que actúan sobre las paredes interiores del recinto y que surgen del diferencial de presión aplicado. Crea un compartimento similar a una vejiga que anula considerablemente los cambios dimensionales impuestos durante el funcionamiento. La etapa de desplazamiento de aire antes de la carbonatación se administra para crear succión y lograr una presión subatmosférica entre 0 y -5 psig (entre 101,325 kPa y 66,852 kPa).

Sin embargo, el efecto de vacío se mantiene marginal para evitar la delaminación del revestimiento interior. Cuando el recinto cargado de hormigón se infla durante la carbonatación, la acumulación de presión interna es contenida en su mayor parte por el revestimiento a través de la tensión y deformación del material. La Figura 3 ilustra la disipación de carga interna durante el inflado. La capa de poliurea experimenta una ligera expansión volumétrica, que se traduce en fuerzas de tracción dentro del material. La expansión da como resultado adicionalmente la deformación dimensional de la capa de SPF (δ), que a su vez absorbe parte de la carga creada por la presión interna. El doble efecto de alivio presentado por el revestimiento interior compuesto minimiza la presión directa que actúa sobre las paredes reales de la cámara. De esta manera, una cámara no comprimible se puede convertir en una instalación de curado hermética y comprimible, sin incurrir en modificaciones estructurales importantes en la cámara.

Existen muchos tipos de revestimientos de poliurea y espuma de poliuretano pulverizados y no pulverizados que se pueden usar, cuya composición, densidad y propiedades mecánicas varían significativamente. Para no restringir la invención al uso de un producto o marca específica, se presentan criterios generales de conformidad del material para garantizar la aplicación adecuada del componente de revestimiento interior. La capa de espuma primaria (SPF u otras espumas en aerosol) debe ser adhesiva, porosa y ligeramente maleable, de modo que sea elásticamente comprimible cuando actúa una carga sobre el revestimiento interior. Se prefiere que la capa de SPF sea espuma en aerosol de celdas cerradas de densidad media (ccSPF). También se puede usar espuma en aerosol de celdas abiertas de densidad ligera (ocSPF). La capa secundaria de poliurea (u otro material polimérico o elastomérico en aerosol equivalente) debe ser sin costuras, altamente adhesiva, y poseer una resistencia a la tracción superior (>20 MPa) y capaz de lograr un alargamiento >200 %. También se puede usar poliurea elastomérica autorreparable. En general, cualquier sistema de revestimiento, compuesto por uno o más componentes, que se ajusta a los atributos antes mencionados, y que sirve para la funcionalidad prevista, puede ser intercambiable con las realizaciones prescritas.

Otra característica importante del sistema CAD es el conjunto de la puerta, en el que se usa una lámina de polímero flexible y se fija al extremo abierto del recinto. Después de cargar la carga de hormigón, la puerta de polímero se sujeta/fija firmemente de manera que el recinto quede completamente hermético. El grosor de la puerta se puede ajustar según las propiedades de tracción requeridas (> 20 MPa). Antes de la carbonatación, la bomba de succión se usa para desplazar parcialmente el volumen de aire ambiental presente en el recinto. La puerta de polímero flexible proporciona un indicador visual para esta etapa, en la que la lámina se desinflaría internamente. Una vez que se expulsa una cantidad suficiente de aire, se inicia la carbonatación inyectando gas CO₂ hasta que el recinto se infla, y se mantiene una presión interna entre 0 y 2 psig (entre 101,325 kPa y 115,115 kPa) durante todo el curso de la carbonatación. De nuevo, la lámina de polímero sobresale hacia afuera durante la carbonatación, como se muestra en la Fig. 4. La carbonatación se prolonga hasta que se inyecta completamente la cantidad diana de CO₂ (Q_{CO2}).

Prueba de concepto

Se llevó a cabo una prueba de concepto a escala reducida del sistema y procedimiento CAD en el sitio de una planta de unidades de mampostería de hormigón (UMH). Los bloques de UMH producidos localmente se sometieron a procesamiento CAD usando el prototipo que se muestra en la Fig. 5. Para el recinto, se usó una caja de madera cuyo interior se roció primero con una capa de SPF de 50 mm de grosor (Bayseal 2.7 Insulthane de Elastochem), seguida

de una capa de 2 mm de poliurea (9511 HT de Elastochem). Se usó gas CO₂ licuado de alta pureza, con inyección controlada por válvula de intervalo fino y regulador. La Fig. 6 muestra el sistema de escape por desplazamiento de aire. Se usó una bomba venturi para crear la succión necesaria para desplazar parcialmente el volumen de aire ambiental antes de la carbonatación.

- 5 Una vez que los bloques de hormigón imprimados se colocan dentro del recinto (Fig. 7 (a)), se fija firmemente una lámina de polímero de neopreno de 5 mm mediante tornillos y un sellador de alta presión (X-Trasil HT), como se muestra en la Fig. 7 (b)). Después, se evacuó el aire dentro del recinto usando la bomba venturi, con el manómetro indicando una presión subatmosférica de -3 psig (80,641 kPa) después de 5 a 10 minutos. La succión resultante dio como resultado una desviación hacia adentro de la lámina de polímero, como se muestra en la Fig. 8. La inyección de gas CO₂ se inició poco después hasta que se logró una presión positiva de 0,5 psig (104,772 kPa), y se mantuvo durante toda la etapa de carbonatación, que duró alrededor de 10 horas. La Fig. 8 también muestra el estado inflado del recinto durante la carbonatación. La carbonatación se prolongó hasta que se suministró la cantidad diana de CO₂, que podría ser absorbida por los bloques ($Q_{CO_2} = 1,33$ kg de CO₂ usando la Ec. 4).

- 10 Los bloques finales alcanzaron una absorción promedio de CO₂ de 310 g, y una resistencia a la compresión promedio de 38 MPa en 1 día.

Si bien las realizaciones preferidas se han descrito anteriormente e ilustrado en los dibujos que se acompañan, será evidente para aquellos expertos en la técnica que se pueden realizar modificaciones sin apartarse del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

Referencias:

- 20 Young, J.F.; Berger, R.L.; Breese, J. 1974. Accelerated Curing of Compacted Calcium silicate Mortars on Exposure to CO₂. *Journal of the American Ceramic Society* 57(9), 394-397.

Bukowski, J.M.; Berger, R.L. 1979. Reactivity and Strength Development of CO₂ Activated Non-Hydraulic Calcium Silicates. *Cement and Concrete Research* 9(1), 57-68.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Uso de gas dióxido de carbono para curar medios de hormigón aplicando un diferencial de presión creado a través de una sustitución parcial del volumen de aire ambiental original presente en un recinto de curado hermético y presurizable por gas CO₂ puro, caracterizado por que el recinto de curado comprende un revestimiento interior pulverizado de poliuretano/poliurea compuesto.
2. El uso de la reivindicación 1, que comprende una etapa de desplazamiento de aire que precede a la carbonatación, destinada a crear succión y lograr presiones subatmosféricas dentro del recinto de curado entre 101,325 kPa (0 psig) y 66,852 kPa (-5 psig).
- 10 3. El uso de la reivindicación 1, que comprende una etapa de purga que precede a la carbonatación, en la que el gas CO₂ fluye continuamente hacia el recinto de curado para desplazar volúmenes parciales de aire ambiental a través de una salida abierta, en la que la salida se cierra cuando el aire expulsado alcanza una concentración de CO₂ que excede las 10.000 ppm.
4. El uso de la reivindicación 3, en el que después de la etapa de purga, el recinto de curado alcanza una concentración interna de CO₂ entre 20 y 50 %.
- 15 5. El uso de las reivindicaciones 2 - 4, que comprende una etapa adicional de inyección controlada de CO₂ hasta que se alcanza una presión interna entre 101,325 kPa (0 psig) y 115,115 kPa (+2 psig) y se mantiene constante durante todo el procesamiento de carbonatación, mediante el cual el diferencial de presión es para crear una cabeza de presión suficiente para una mejor difusión del gas dentro del material de hormigón y mejorar la reacción de carbonatación.
6. El uso de las reivindicaciones 1 - 5, en el que se margina la necesidad de presión durante la carbonatación.
- 20 7. El uso de la reivindicación 1, para la preparación de productos de hormigón prefabricado o fabricado en seco, armados y no armados.
8. El uso de la reivindicación 7, en el que los productos de hormigón prefabricado o fabricado en seco se seleccionan del grupo que consiste en unidades de mampostería, adoquines, piedra sintética, ladrillos, losas alveolares huecas, tuberías, paneles de pared, tableros de fibrocemento, y muros de contención.
- 25 9. El uso de las reivindicaciones 1 - 8, en el que el recinto de curado de hormigón se selecciona del grupo que consiste en horno, cámara, autoclave, vasija, tienda, en el que el recinto está diseñado o modificado para ser hermético y capaz de soportar desviaciones marginales en presión tanto por debajo como por encima de las condiciones ambientales.
10. Un sistema de carbonatación por aire desplazado que usa gas dióxido de carbono para curar medios de hormigón, que comprende
- 30 • una cámara hermética y presurizable con un conjunto de puerta flexible o rígida, en la que se aplica y se crea un diferencial de presión mediante la sustitución parcial del volumen de aire ambiental original presente en un recinto de curado por gas CO₂ puro, caracterizado por que dicha cámara tiene un revestimiento interior pulverizado de poliuretano/poliurea compuesto.
- 35 11. El sistema de carbonatación por aire desplazado de la reivindicación 10, en el que el conjunto de puerta está construido a partir de uno cualquiera o una combinación de materiales que incluyen polímero, plástico, aluminio, y/o acero.
- 40 12. El sistema de carbonatación por aire desplazado de la reivindicación 10 u 11, en el que el revestimiento interior compuesto consiste en una capa primaria de espuma de poliuretano en aerosol (SPF) que oscila en grosor de 25 a 50 mm, y una capa secundaria de poliurea que oscila de 2 a 10 mm de grosor, en el que el revestimiento compuesto está destinado a aliviar las tensiones internas que surgen del diferencial de presión aplicado al sistema.
13. Un kit para transformar un sistema de cámara en un recinto hermético y presurizable, que comprende
- un revestimiento interior pulverizado de poliuretano/poliurea compuesto
- un conjunto de puerta de lámina de polímero.
- 45 14. El kit de la reivindicación 13, en el que el revestimiento interior compuesto consiste en una capa primaria de espuma de poliuretano en aerosol (SPF) que oscila en grosor de 25 a 50 mm, y una capa secundaria de poliurea que oscila de 2 a 10 mm de grosor.

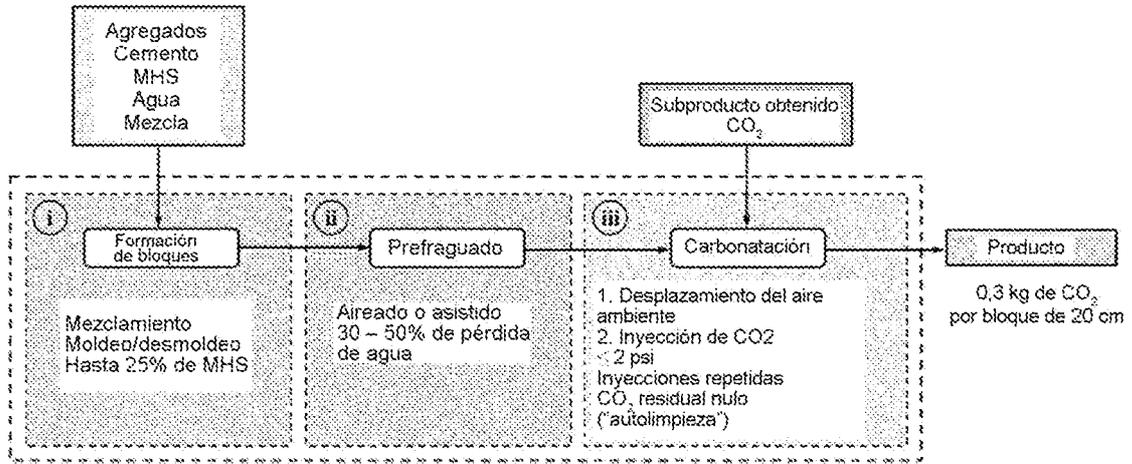


Fig. 1 1 psi = 6,89 kPa

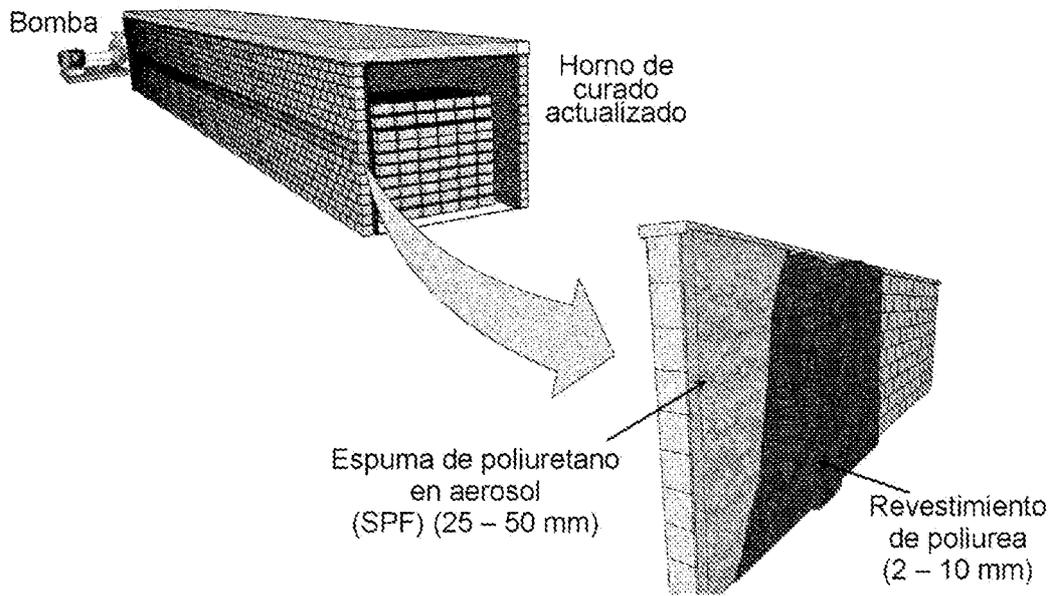


Fig. 2

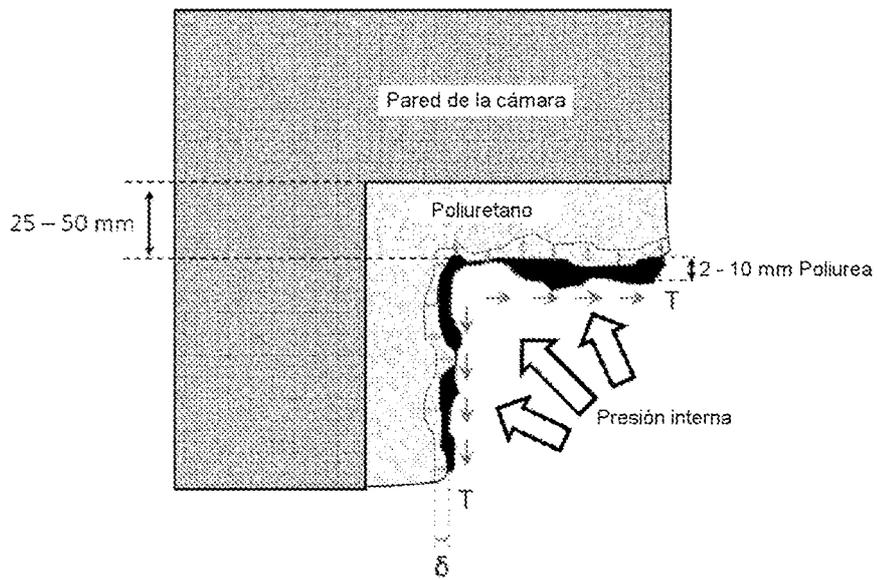


Fig. 3

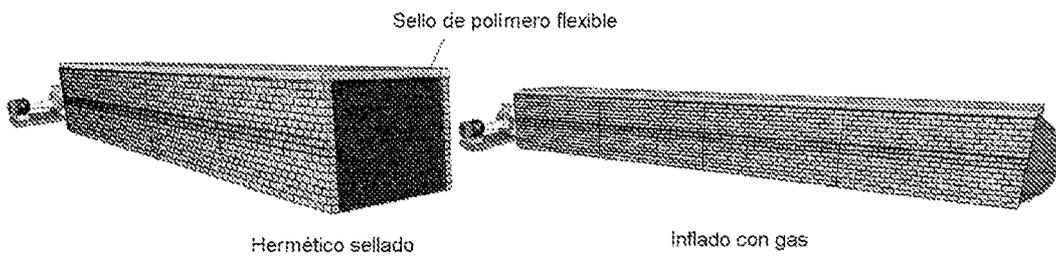


Fig. 4

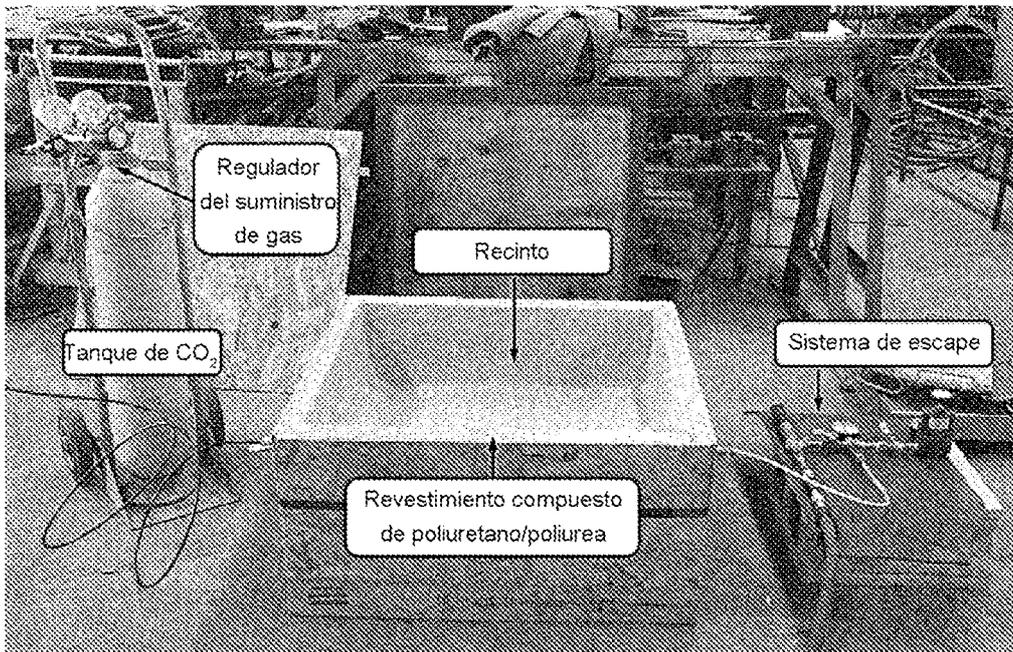


Fig. 5

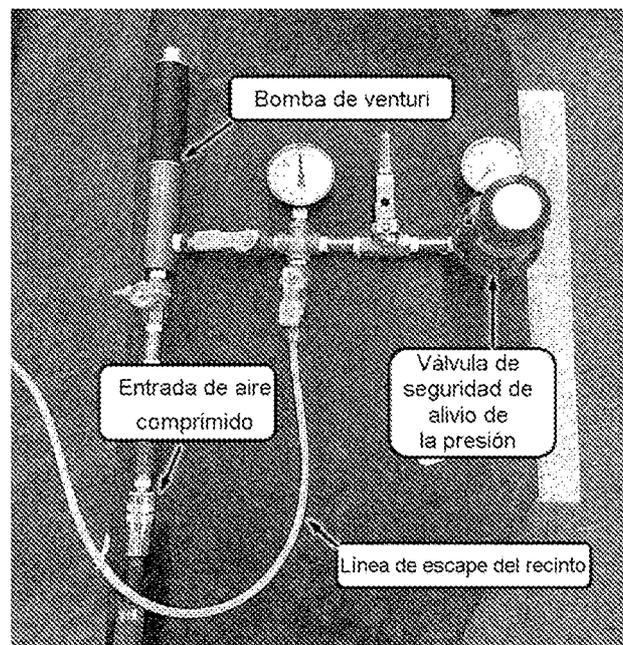


Fig. 6

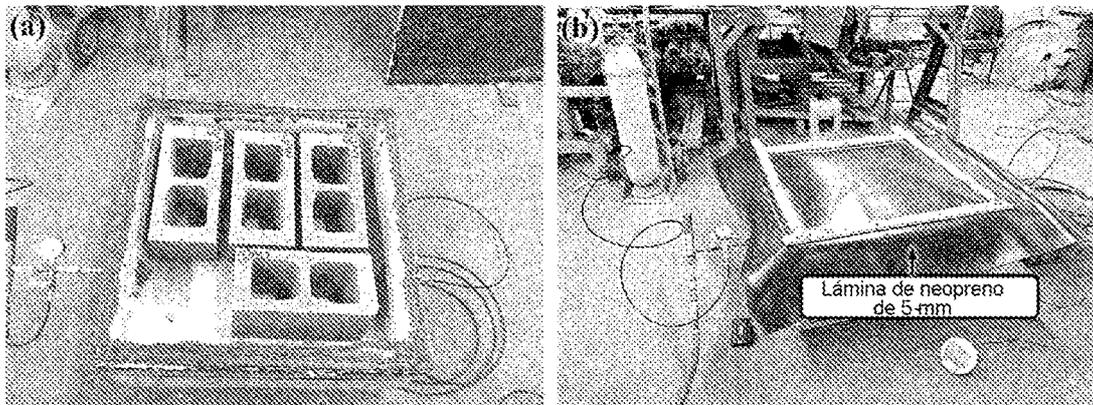


Fig. 7

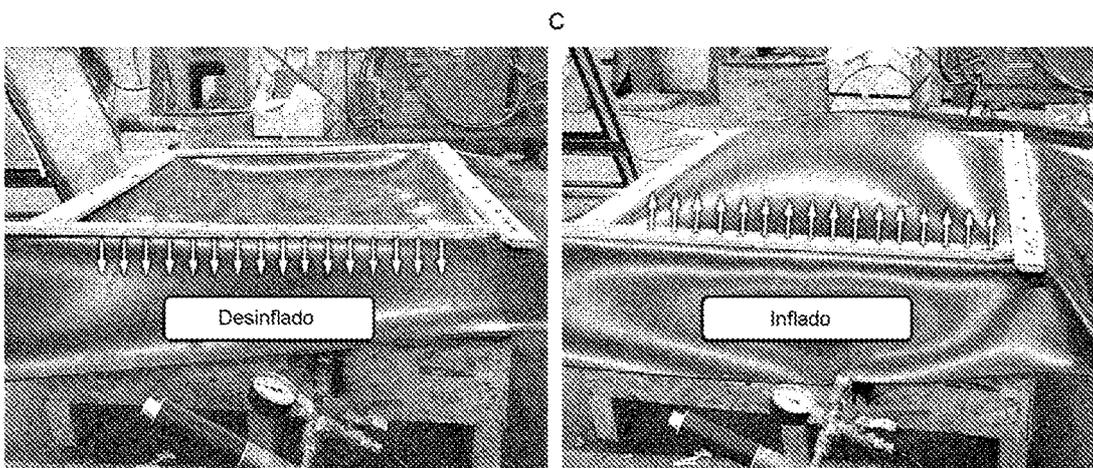


Fig. 8