

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 695 577**

51 Int. Cl.:

C04B 20/06 (2006.01)

C04B 28/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.02.2012 PCT/US2012/026613**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.08.2012 WO12116325**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.02.2012 E 12709203 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.08.2018 EP 2678289**

54 Título: **Paneles de yeso ligeros resistentes al fuego con densidad reducida**

30 Prioridad:

25.02.2011 US 201161446941 P

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

09.01.2019

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**YU, QIANG;
LUAN, WENQI;
SONG, WEIXIN D.;
VEERAMASUNENI, SRINIVAS y
LI, ALFRED**

74 Agente/Representante:

RIZZO , Sergio

ES 2 695 577 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

Paneles de yeso ligeros resistentes al fuego con densidad reducida

REFERENCIAS CRUZADAS A SOLICITUDES RELACIONADAS

- 5 **[0001]** Esta solicitud de patente reivindica el beneficio de prioridad con la solicitud de patente provisional U.S. 61/446,941, presentada el 25 de febrero de 2011, y titulada "Paneles de yeso resistentes al fuego ligeros con baja densidad".

ANTECEDENTES

[0002] Esta exposición pertenece generalmente a paneles de yeso con un peso y densidad reducidos con propiedades de aislamiento térmico mejoradas, resistencia a la contracción por calor, y resistencia al fuego.

- 10 **[0003]** Los paneles de yeso utilizados normalmente en edificios y otras aplicaciones de construcción (como una placa de yeso o paneles de techo) comprenden normalmente un núcleo de yeso con hojas de cubierta de papel, fibra de vidrio u otros materiales adecuados. Los paneles de yeso normalmente se fabrican mezclando yeso calcinado o "estuco", con agua y otros ingredientes para preparar una lechada que se utiliza para formar el núcleo de los paneles. Tal como se entiende por lo general en la técnica, el estuco comprende principalmente
15 una o más formas de yeso calcinado, es decir, yeso sometido a deshidratación (normalmente al calentarlo) para formar yeso anhidro o yeso hemihidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$). El yeso calcinado puede comprender sulfato de calcio hemihidrato beta, sulfato de calcio hemihidrato alfa, sulfato de calcio anhidro soluble al agua, o mezclas de cualquiera de los anteriores, de fuentes naturales o sintéticas. Cuando se introducen en la lechada, el yeso calcinado empieza un proceso de hidratación que se completa durante la formación de paneles de yeso. Este
20 proceso de hidratación, cuando se completa adecuadamente, produce una matriz cristalina generalmente continua de yeso fraguado dihidrato en varias formas cristalinas (esto es, formas de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

- [0004]** Durante la formación de los paneles, las hojas de cubierta normalmente se proporcionan como redes continuas. La lechada de yeso se deposita como un flujo o franja en una primera de las hojas de cubierta. La lechada se extiende a lo largo del ancho de la primera hoja de cubierta a un espesor aproximado predeterminado
25 para formar el núcleo del panel. Una segunda hoja de cubierta se sitúa sobre la lechada, intercalando el núcleo de yeso entre las hojas de cubierta y formando un panel continuo.

- [0005]** El panel continuo normalmente se transporta a lo largo de un transportador para permitir que el núcleo continúe con el proceso de hidratación. Cuando el núcleo está lo suficientemente hidratado y endurecido, se corta a uno o más de los tamaños deseados para formar paneles de yeso individuales. Los paneles se
30 transfieren a y pasan a través de un horno a temperaturas suficientes para secar los paneles a un nivel de humedad libre deseado (normalmente un contenido de humedad libre relativamente bajo).

- [0006]** Dependiendo del proceso empleado y del uso esperado de los paneles y otras tales consideraciones, pueden aplicarse capas de lechada adicionales, tiras o franjas que comprenden yeso y otros aditivos en las primeras o segundas hojas de cubierta para proporcionar propiedades específicas a los paneles terminados,
35 como bordes endurecidos o una cara del panel endurecida. De manera similar, puede añadirse espuma a la lechada del núcleo de yeso y/o otras franjas o tiras de lechada en una o más ubicaciones en el proceso para proporcionar una distribución de vacíos de aire dentro del núcleo de yeso o las partes del núcleo de los paneles terminados.

- [0007]** Los paneles resultantes pueden cortarse de forma adicional y procesarse para su uso en una variedad de aplicaciones dependiendo del tamaño del panel deseado, la composición de la hoja de cubierta, las composiciones del núcleo, etc. Los paneles de yeso normalmente varían en espesor desde aproximadamente $\frac{1}{4}$
40 de pulgada (0,635 cm) a aproximadamente una pulgada (2,54 cm) dependiendo de su uso y aplicación previstos. Los paneles pueden aplicarse a una variedad de elementos estructurales utilizados para crear paredes, techos y otros sistemas similares utilizando uno o más elementos de sujeción, como tornillos, clavos y/o adhesivos.

- [0008]** En caso de que los paneles de yeso terminados se expusiesen a temperaturas relativamente altas, como las producidas por llamas o gases a altas temperaturas, algunas porciones del núcleo de yeso pueden absorber suficiente calor para comenzar a liberar agua de los cristales de yeso dihidrato del núcleo. La absorción del calor y la liberación de agua del yeso dihidrato puede ser suficiente para retrasar la transmisión del calor a través o dentro de los paneles durante un tiempo. El panel de yeso puede actuar como una barrera para evitar
50 que las llamas a altas temperaturas pasen directamente a través del sistema de paredes. El calor absorbido por el núcleo de yeso puede ser suficiente para recalcar esencialmente partes del núcleo, dependiendo de las temperaturas de la fuente de calor y el tiempo de exposición. A ciertos niveles de temperatura, el calor aplicado a un panel también puede causar cambios de fase en la anhidrita del núcleo de yeso y en el reordenamiento de las estructuras cristalinas. En algunos casos, la presencia de sales e impurezas puede reducir el punto de fusión de
55 las estructuras de cristal del núcleo de yeso.

5 **[0009]** Los paneles de yeso pueden experimentar una contracción de las dimensiones del panel en una o más direcciones como un resultado de algunos o todos estos efectos del calentamiento por altas temperaturas, y dicha contracción puede causar fallos en la integridad estructural de los paneles. Cuando los paneles están unidos a una pared, techo u otros ensamblajes de estructuras, la contracción del panel puede dar lugar a la separación de los paneles de otros paneles instalados en los mismos ensamblajes, y de sus soportes, y, en algunos casos, el colapso de los paneles o de los soportes (o ambos). Como resultado, los gases o llamas a altas temperaturas pueden pasar directamente hacia dentro o a través de una pared o estructura de techo.

10 **[0010]** Los paneles de yeso se han producido de manera que resistan los efectos de temperaturas relativamente altas durante un periodo de tiempo, que puede retrasar inherentemente el paso de altos niveles de calor a través o entre los paneles, y hacia dentro (o a través) de sistemas que los utilicen. Los paneles de yeso a los que se hace referencia como ignífugos o "resistentes al fuego" normalmente se formulan para aumentar la habilidad de los paneles de retrasar el paso de calor a través de estructuras de pared o de techos, y desempeñan una función importante a la hora de controlar la propagación de fuego en edificios. Como resultado, las autoridades del código de construcción y otras entidades públicas y privadas implicadas normalmente establecen rigurosos estándares para el rendimiento de la resistencia al fuego de los paneles de yeso resistentes al fuego.

20 **[0011]** La habilidad de los paneles de yeso para resistir el fuego y el calor extremo asociado puede evaluarse llevando a cabo pruebas generalmente aceptadas. Algunos ejemplos de dichas pruebas se utilizan de manera rutinaria en la industria de la construcción, como los publicados por Underwriters Laboratories ("UL"), como los protocolos y procedimientos de ensayo UL U305, U419 y U423, además de procedimientos descritos en las especificaciones E119 publicadas por la American Society for Testing and Materials (ASTM). Dichas pruebas pueden comprender la construcción de ensamblajes de prueba utilizando paneles de yeso, normalmente una aplicación de una única capa de los paneles en cada cara de una estructura de pared compuesta por montantes de acero o de madera. Dependiendo de la prueba, el ensamblaje puede o no puede estar sujeto a fuerzas de carga. La cara de un lado del ensamblaje, como un ensamblaje construido conforme al UL U305, U419 y U423, por ejemplo, está expuesta a un aumento de las temperaturas en un periodo de tiempo de acuerdo con una curva de calentamiento, como las que se exponen en los procedimientos del ASTM E119.

30 **[0012]** Las temperaturas aproximadas del lado calentado y las temperaturas de la superficie del lado sin calentar del ensamblaje se monitorizan durante las pruebas para evaluar las temperaturas experimentadas por los paneles de yeso expuestos y el calor transmitido a través del ensamblaje a los paneles que no están expuestos. Las pruebas se terminan cuando hay uno o más fallos estructurales de los paneles y/o cuando las temperaturas del lado que no está expuesto del ensamblaje supera un umbral predeterminado. Normalmente, estas temperaturas de umbral se basan en la temperatura máxima en cualquiera de dichos sensores y/o la media de los sensores de temperatura del lado sin calentar del ensamblaje.

35 **[0013]** Los procedimientos de ensayo, como los que se exponen en el UL U305, U419 y U423 y ASTM E119, están dirigidos a una resistencia del ensamblaje a la transmisión del calor a través de un ensamblaje en su conjunto. Las pruebas también proporcionan, en un aspecto, una medida de la resistencia de los paneles de yeso utilizados en el ensamblaje a la contracción en la dirección x-y (ancho y largo) cuando el ensamblaje se someta a un calentamiento por altas temperaturas. Dichas pruebas también proporcionan una medida de la resistencia de los paneles a pérdidas en la integridad estructural que resultan en huecos y espacios abiertos entre paneles en un ensamblaje de pared, con el paso resultante de las altas temperaturas hacia la cavidad interior del ensamblaje. En otro aspecto, las pruebas proporcionan una medida de la habilidad de los paneles de yeso de resistir la transmisión de calor a través de los paneles y el ensamblaje. Se cree que dichas pruebas reflejan la capacidad del sistema especificada para proporcionar a los ocupantes del edificio y a los bomberos/sistemas de control de incendios una pequeña oportunidad para hacer frente o escapar en caso de incendio.

40 **[0014]** En el pasado, se emplearon varias estrategias para mejorar la resistencia al fuego de los paneles de yeso resistentes al fuego. Por ejemplo, se han proporcionado núcleos de paneles más densos y espesos que usan más yeso en comparación con paneles de yeso menos densos, y por tanto incluyen un aumento de la cantidad de agua unida químicamente dentro del yeso (sulfato de calcio dihidrato), para que actúe como un disipador térmico, para reducir la contracción de los paneles, y para aumentar la estabilidad estructural y la fuerza de los paneles. De forma alternativa, varios ingredientes, incluyendo fibra de vidrio y otras fibras se han incorporado en el núcleo del yeso para aumentar la resistencia al fuego de los paneles de yeso al aumentar la resistencia a la tracción del núcleo y al distribuir la tensión de contracción en toda la matriz del núcleo. De forma similar, cantidades de determinadas arcillas, como las que miden menos de un micrómetro, y sílice coloidal o aditivos de alúmina, como los que miden menos de un micrómetro, se han utilizado en el pasado para proporcionar un aumento de la resistencia al fuego (y resistencia a la contracción por altas temperaturas) en un núcleo de un panel de yeso. Se ha reconocido, sin embargo, que la reducción del peso y/o la densidad del núcleo de los paneles de yeso al reducir la cantidad de yeso en núcleo afectará de manera adversa la integridad estructural de los paneles y su resistencia al fuego y a las condiciones de calentamiento.

[0015] Otro enfoque ha sido añadir vermiculita sin dilatar (a la que también se le hace referencia como mineral de vermiculita) y fibra de vidrio o minerales al núcleo de los paneles de yeso. En dichos enfoques, se espera que la vermiculita se dilate en condiciones de calor para compensar la contracción de los componentes de yeso del núcleo. Se cree que las fibras de vidrio/minerales pueden mantener unidas las partes de la matriz del yeso.

5 **[0016]** Dicho enfoque se describe en las patentes estadounidenses U.S. 2,526,066 y U.S. 2,744,022, que analizan el uso de vermiculita sin exfoliar desmenuzada y fibras de vidrio y minerales en proporciones suficientes para inhibir la contracción de los paneles de yeso en condiciones de altas temperaturas. No obstante, ambas referencias dependen de un núcleo de alta densidad para proporcionar suficiente yeso para que actúe como un disipador térmico. Dan a conocer la preparación de paneles de yeso con un espesor de ½ pulgada (1,27 cm) con un peso de 9,76 a 11,2 kg/m² (2 a 2,3 libras por pie cuadrado (2 000 a 2 300 libras por mil pies cuadrados ("lb/msf"))) y densidades de placa de 801 kg/m³ (aproximadamente 50 libras por pie cúbico ("pcf")) o más.

10 **[0017]** La patente '066 expuso que las secciones cortadas a partir de dichos paneles (con un dos por ciento de fibra mineral y un 7,5 % de vermiculita de menos de malla 28) demostraron hasta un 19,1 % de expansión en espesor cuando se calentaron a 1400 °F (760 °C) durante 30 minutos, pero no proporcionaron ninguna información sobre la contracción de esas muestras en la dirección x-y. La patente '066 advirtió además que, dependiendo de la formulación del panel y el contenido en vermiculita, la dilatación de la vermiculita podría causar fallos en el panel debido al abultamiento los paneles y/o a grietas y aberturas en los paneles.

15 **[0018]** La patente '022 se dirigió a aumentar el contenido de yeso (y por consiguiente la densidad y el peso) de los paneles expuestos en la patente '066 al reducir el contenido en fibra de vidrio/mineral de esos paneles para proporcionar una mayor capacidad de disipación del calor del yeso. Referencias como la patente '022 reconocen además que las propiedades expansivas de la vermiculita, a menos que esté contenida, darían como resultado el astillamiento (es decir, la fragmentación, descascarillado o descamación) del núcleo y la destrucción de un ensamblaje de pared en un periodo de tiempo relativamente corto en condiciones de altas temperaturas.

20 **[0019]** En otro ejemplo, la patente estadounidense U.S. 3,454,456 describe la introducción de vermiculita sin dilatar en el núcleo de los paneles de placas de yeso resistentes al fuego para resistir la contracción de los paneles. La patente '456 también se basa en una densidad y un contenido de yeso relativamente altos para proporcionar una capacidad de disipación térmica deseada. La patente '456 da a conocer pesos de placas para paneles de yeso terminados de 1,27 cm (½ pulgada) con un peso mínimo de 9,4 kg/m² (aproximadamente 1925 lb/msf), y una densidad de placa de 737 kg/m³ (aproximadamente 46 pcf). Esta es una densidad comparable a paneles de yeso mucho más gruesos y pesados de 1,6 cm (5/8 pulgadas) de espesor (11,7 kg/m² (aproximadamente 2400 lb/msf)) ofrecidos en la actualidad comercialmente para aplicaciones de resistencia al fuego.

25 **[0020]** La patente '456 también da a conocer que la utilización de vermiculita en un núcleo de un panel de yeso para aumentar la resistencia al fuego del panel está sujeta a limitaciones significativas. Por ejemplo, la patente '456 apunta que la expansión de la vermiculita dentro del núcleo puede causar que el núcleo se desintegre debido al astillamiento y otros efectos destructivos. La patente '456 también da a conocer que las partículas de vermiculita sin dilatar pueden debilitar también la estructura del núcleo de manera que el núcleo se vuelve débil, blando y quebradizo. La patente '456 pretende afrontar dichas limitaciones significativas inherentes al uso de la vermiculita en paneles de yeso empleando una vermiculita sin dilatar "única" con una distribución del tamaño de partículas relativamente pequeño (más del 90 % de las partículas sin dilatar es más pequeño que un tamaño de malla 50 (aberturas de aproximadamente 0,0117 pulgadas (0,297 mm), con menos del 10 % con un tamaño de algo más de malla 50). Al parecer, este enfoque inhibió los efectos adversos de la dilatación de la vermiculita en el panel, tal como se explicó en la columna 2, 11. 52-72 de la patente '456.

30 **[0021]** La patente '456, además, explica que la vermiculita sin dilatar presentando la distribución del tamaño de partículas descrito anteriormente se corresponde con un producto conocido de manera comercial como vermiculita sin dilatar de "Grado N.º 5". La vermiculita sin dilatar de Grado N.º 5 se ha utilizado en paneles comerciales resistentes al fuego/ignífugos con núcleos de yeso de densidades de placa convencionales (por ejemplo, de 721 kg/m³ (aproximadamente 45 pcf) hasta 881 kg/m³ en exceso (aproximadamente 5 pcf)) desde al menos el principio de los años 70. Por las razones expuestas anteriormente, el uso de vermiculita sin dilatar comprendiendo una distribución de partículas significativa con tamaños mayores que los típicos de la vermiculita sin dilatar de Grado N.º 5 se ha considerado potencialmente destructivo de los paneles resistentes al fuego debido al astillamiento mencionado anteriormente y otros efectos causados por la expansión de la vermiculita dentro de un núcleo de yeso en condiciones de altas temperaturas.

35 **[0022]** En otro enfoque, la patente estadounidense U.S. 3,616,173 está dirigida a paneles de yeso resistentes al fuego con un núcleo de yeso caracterizado por la patente '173 como con un peso más ligero o una densidad menor. La patente '173 distinguió sus paneles de los paneles de 1,27 cm (1/2 pulgada) de la técnica anterior que pesaban 9,8 kg/m² (aproximadamente 2000 lb/msf) o más y que presentan densidades del núcleo de más de 769 kg/m³ (aproximadamente 48 pcf). Por tanto, la patente '173 da a conocer paneles de ½ pulgada (1,27 cm) de ancho con una densidad de o superior a 561 kg/m³ (aproximadamente 35 pcf), y preferiblemente de 641 kg/m³ (aproximadamente 40 pcf) a 801 kg/m³ (aproximadamente 50 pcf). La patente '173 consigue sus densidades del

núcleo expuestas incorporando cantidades considerables de material inorgánico con partículas pequeñas de, o bien arcilla, sílice coloidal o de alúmina coloidal en su núcleo de yeso, además de fibras de vidrio en cantidades requeridas para evitar la contracción de sus paneles de yeso en condiciones de altas temperaturas.

5 **[0023]** La patente '173 da a conocer la adición opcional adicional de vermiculita sin dilatar a su composición del núcleo de yeso, junto con las cantidades requeridas de sus materiales inorgánicos con un tamaño de partícula pequeño expuestos. Sin embargo, incluso con estos aditivos, las pruebas dadas a conocer para cada uno de los paneles de la patente '173 mostraron que experimentan una contracción significativa. La contracción ocurrió sin importar que cada uno de los paneles probados y dados a conocer tuviese densidades de núcleo de 689 kg/m³ (aproximadamente 43 pcf) o mayores.

10 **[0024]** Para paneles de yeso de 1,27 cm (1/2 pulgada) de espesor, la patente '173 dio a conocer que los paneles tienen una "resistencia a la contracción" desde aproximadamente el 60 % hasta aproximadamente el 85 %. La "resistencia a la contracción" tal como se utiliza para la patente '173 es una medida de la proporción o porcentaje del área x-y (ancho-largo) de un segmento de núcleo que queda después de que el núcleo se caliente hasta una temperatura definida durante un periodo definido de tiempo según se describe en la patente '173.
15 Véase, p. ej., la col. 12,11. 41-49.

[0025] También se han hecho otros esfuerzos para aumentar la fuerza e integridad estructural de los paneles de yeso y reducir el peso del panel por varios medios. Algunos ejemplos de tales placas de yeso ligeras incluyen las patentes estadounidenses U.S. 7,731,794 y U.S. 7,736,720 y las solicitudes de patente estadounidenses U.S. 2007/0048490 A1, U.S. 2008/0090068 A1, y U.S. 2010/0139528 A1.

20 **[0026]** Finalmente, se observa que en ausencia de aditivos resistentes al agua cuando se sumergen en agua, el yeso fraguado puede absorber hasta el 50 % de su peso en agua. Y, cuando los paneles de yeso –incluidos los paneles de yeso resistentes al fuego– absorben agua, pueden hincharse, deformarse y perder resistencia, lo que puede degradar sus propiedades de resistencia al fuego. Los paneles resistentes al fuego ligeros tienen bastante más vacíos de agua y/o aire que los paneles resistentes al fuego convencionales, de más peso. Puede esperarse que estos vacíos aumenten el índice y la magnitud de la absorción de agua, con la esperanza de que
25 dichos paneles resistentes al fuego ligeros absorberían más el agua que los paneles resistentes al fuego convencionales más pesados.

[0027] En el pasado se han realizado muchos intentos de mejorar la resistencia al agua de los paneles de yeso, generalmente. Se han añadido a las lechadas utilizadas para hacer los paneles de yeso varios hidrocarburos, incluyendo cera, resinas y asfalto, a fin de impartir resistencia al agua a los paneles. También se han utilizado siloxanos en las lechadas de yeso impartiendo resistencia al agua a los paneles de yeso al formar resinas de silicona *in situ*. Sin embargo, no se esperaba que los siloxanos protegieran los paneles ligeros lo suficiente. En consecuencia, existe una necesidad en la técnica de un método de producción de paneles de yeso resistentes al fuego de bajo peso y densidad con una resistencia al agua mejorada a un coste razonable al
35 aumentar la resistencia al agua impartida normalmente por los siloxanos.

SUMARIO

[0028] La presente invención se refiere a un panel de yeso resistente al fuego comprendiendo las características de la reivindicación 1. Otros modos de realización son objeto de las reivindicaciones dependientes. Los modos de realización dados a conocer en de la presente exposición, que no están cubiertos por la reivindicación 1, son puramente ilustrativos y en la presente invención se etiquetan como que no se ajustan a la presente invención.
40

[0029] En algunos modos de realización, la presente exposición describe un panel de yeso con un peso y densidad reducidos –y métodos para fabricar dichos paneles– presentando propiedades de resistencia al fuego comparables a paneles de yeso más pesados y densos utilizados normalmente para aplicaciones de construcción en las que se requiere resistencia al fuego. De acuerdo con la presente invención, los paneles creados según los principios de la presente exposición comprenden un núcleo de yeso fraguado con una densidad del núcleo de menos de 640 kg/m³ (aproximadamente 40 libras por pie cúbico ("pcf")) dispuesto entre dos hojas de cubierta. En modos de realización de dichos paneles que tienen 1,6 cm (5/8-pulgadas) de espesor, el peso es de menos de aproximadamente 10,2 kg/m² (aproximadamente 2100 lb/msf).
45

[0030] Según la presente invención, las partículas de alta expansión comprendiendo vermiculita sin dilatar se incorporan en el núcleo de yeso en una cantidad de aproximadamente el 10 % en peso para proporcionar resistencia al fuego en lo que se refiere a resistencia a la contracción comparable a paneles de yeso de Tipo X comerciales y otros paneles de yeso mucho más pesados y densos. Las partículas de alta expansión pueden tener una primera fase sin expandir y una segunda fase en la que se dilata al calentarse. Tales paneles pueden proporcionar de manera adicional resistencia al fuego en cuanto a la dirección x-y (ancho-largo), propiedades de Contracción a Altas Temperaturas y de aislamiento térmico, así como propiedades de Expansión del Espesor a Altas Temperaturas en la dirección-z, que es comparable a o considerablemente mayor que los paneles de yeso Tipo X comerciales y otros paneles comerciales más pesados y densos, incluidos los paneles de yeso comerciales que contienen vermiculita de Grado N.º 5. En algunos otros modos de realización, los paneles
55

creados conforme a los principios de la presente exposición pueden proporcionar resistencia al fuego en ensamblajes como los que se someten a las pruebas de fuego estándar de la industria que pueden compararse a al menos paneles de yeso de Tipo X comerciales y otros paneles comerciales más pesados y densos. Estas pruebas de resistencia al fuego estándar de la industria incluyen, sin limitaciones, las expuestas en los procedimientos y especificaciones de las pruebas de fuego a gran escala UL U305, U419 y U423 y las pruebas de fuego equivalentes a estas.

[0031] En otros modos de realización, los paneles de yeso con un peso y densidad reducidos creados conforme a los principios de la presente exposición, y los métodos para fabricarlos, pueden proporcionar una Contracción a Altas Temperaturas (a temperaturas de aproximadamente 1560 °F (850 °C)) de menos del 10 % en las direcciones x-y y una expansión en la dirección z de más de aproximadamente el 20 %. En algunos modos de realización, la proporción de la Expansión del Espesor a Altas Temperaturas en la dirección z y la Contracción a Altas Temperaturas es de más de aproximadamente 0,2 en algunos modos de realización, de más de aproximadamente 2 en otros modos de realización, en algunos modos de realización es mayor que aproximadamente 3, en otros modos de realización es mayor que aproximadamente 7, en otros modos de realización es de más de 17, y en algunos otros modos de realización es de aproximadamente 2 hasta aproximadamente 17. En otros modos de realización, los paneles de yeso con un peso y densidad reducidos creados conforme a los principios de la presente exposición, y los métodos para fabricarlos, pueden proporcionar una resistencia a la contracción de más de aproximadamente el 85 % en las direcciones x-y a temperaturas de más de aproximadamente 1800 °C (980 °C).

[0032] En algunos otros modos de realización, un panel de yeso resistente al fuego creado conforme a los principios de la presente exposición, y los métodos para fabricarlo, puede incluir un núcleo de yeso dispuesto entre dos hojas de cubierta. El núcleo de yeso puede comprender una matriz cristalina de yeso fraguado y partículas de alta expansión que pueden expandirse hasta aproximadamente un 300 % o más de su volumen original después de haberse calentado durante aproximadamente una hora a aproximadamente 1560 °F (aproximadamente 850 °C). El núcleo de yeso puede tener una densidad (D) de aproximadamente 40 libras por pie cúbico o menos y una dureza de al menos aproximadamente 11 libras (5 kg). Puede ser eficaz proporcionar al núcleo de yeso un Índice de Aislamiento Térmico (TI) de aproximadamente 20 minutos o más.

[0033] En otros modos de realización, los ensamblajes fabricados utilizando paneles de yeso con un peso y densidad reducidos y de 1,6 cm (5/8 pulgadas) de espesor formados según los principios de la presente exposición pueden proporcionar una resistencia al fuego que puede compararse con (o mejor que) los ensamblajes que utilizan paneles de yeso mucho más pesados y densos cuando se prueban conforme a los procedimientos de ensayo de exposición al fuego UL U305, U419 y U423. La resistencia al fuego de los paneles creados conforme a los principios de la presente exposición puede reflejarse en la temperatura máxima de un único sensor o la temperatura media del sensor en la superficie que no está expuesta de tales ensamblajes fabricados conforme a los procedimientos de ensayo de exposición al fuego UL U305, U419 y U423 (y procedimientos de ensayo de exposición al fuego equivalentes). En algunos modos de realización, los ensamblajes fabricados utilizando paneles creados conforme a los principios de la presente exposición y probados conforme al UL U419 proporcionan una temperatura máxima de un único sensor de menos de aproximadamente 500 °F (260 °C) y/o una temperatura media del sensor de menos de aproximadamente 380 °F (195 °C) aproximadamente a los 60 minutos de tiempo transcurrido. En algunos modos de realización, los ensamblajes fabricados utilizando paneles creados conforme a los principios de la presente exposición y probados conforme al UL U419 proporcionan una temperatura máxima de un único sensor de menos de aproximadamente 127 °C (aproximadamente 260 °F) y/o una temperatura media del sensor de menos de aproximadamente 121 °C (aproximadamente 250 °F) aproximadamente a los 50 minutos de tiempo transcurrido. En algunos otros modos de realización, los ensamblajes fabricados utilizando paneles creados conforme a los principios de la presente exposición en tales ensayos UL U419 pueden proporcionar una temperatura máxima de un único sensor de menos de aproximadamente 410 °F (210 °C) y/o una temperatura media del sensor de menos de aproximadamente 160 °C (aproximadamente 320 °C) aproximadamente a los 55 minutos. En algunos otros modos de realización, los ensamblajes creados utilizando paneles creados conforme a los principios de la presente exposición en tales pruebas pueden proporcionar una temperatura máxima de un único sensor de menos de 149 °C (aproximadamente 300 °F) y/o una temperatura media del sensor de menos de aproximadamente 138 °C (280 °F) aproximadamente a los 55 minutos de tiempo transcurrido.

[0034] En otros modos de realización, un ensamblaje de paneles de yeso creado conforme a los principios de la presente exposición puede exhibir resistencia al fuego en las pruebas conforme a los procedimientos UL U419 reflejados por una temperatura máxima de un único sensor de menos de 260 °C (aproximadamente 500 °F) y/o una temperatura media del sensor de menos de 193 °C (aproximadamente 380 °F) aproximadamente a los 60 minutos de tiempo transcurrido. En algunos otros modos de realización, los ensamblajes que utilizan paneles creados conforme a los principios de la presente exposición pueden experimentar en dichas pruebas una temperatura máxima de un único sensor de menos de aproximadamente 213 °C (aproximadamente 415 °C) y/o una temperatura media del sensor de menos de aproximadamente 160 °C (aproximadamente 320 °C) aproximadamente a los 60 minutos de tiempo transcurrido. En algunos de tales modos de realización, los paneles de yeso creados conforme a los principios de la presente exposición pueden tener un núcleo con una

densidad de menos de 641 kg/m³ (aproximadamente 40 pcf) que satisface los requisitos para un panel de yeso resistente al fuego de 60 minutos conforme a uno o más de los procedimientos de ensayo de exposición al fuego UL U305, U419 y U423 y otros procedimientos de ensayo de exposición al fuego que sean equivalentes a estos.

5 **[0035]** En algunos otros modos de realización, la formulación para la reducción del peso y la densidad de los paneles que siguen los principios de la presente exposición, y los métodos para fabricarlos, pueden producir paneles de yeso con las propiedades de resistencia al fuego mencionadas anteriormente, una densidad de menos de 640 kg/m³ (aproximadamente 40 pcf) y una resistencia a la extracción de clavos que pueden cumplir los estándares del ASTM C 1396/C 1396/M-09. Más en particular, tales paneles, cuando presentan un espesor nominal de 16, cm (5/8-pulgadas), puede tener una resistencia a la extracción de clavos de al menos 39,4 kg (87 lb). Además, en otros modos de realización, dichos paneles proporcionan características de transmisión del sonido esencialmente iguales que las de paneles mucho más pesados y densos. En algunos modos de realización, los paneles de 1,6 cm (5/8 pulgadas) de ancho creados conforme a los principios de la presente exposición pueden presentar clasificaciones de clase de transmisión del sonido de al menos aproximadamente 35 cuando se colocan en un ensamblaje de montantes de acero conforme a los ensayos y procedimientos del ASTM E90-99.

20 **[0036]** En algunos otros modos de realización, se proporciona una composición de núcleo de yeso fraguado para un panel resistente al fuego de 1,6 cm (5/8 pulgadas) nominales utilizando lechada que contiene yeso que comprende al menos agua, estuco, y vermiculita de alta expansión. En uno de estos modos de realización, el núcleo de yeso fraguado tiene una densidad de 481 kg/m³ (aproximadamente 30 pcf) a 641 kg/m³ (aproximadamente 40 pcf), y el núcleo comprende estuco en una cantidad de 5,7 kg/m² (aproximadamente 1162 lbs/msf) a 7,6 kg/m² (aproximadamente 1565 lbs/msf), vermiculita de alta expansión de aproximadamente un 5 % a aproximadamente un 10 % en peso del estuco, y fibra de vidrio o mineral de aproximadamente un 0 % a aproximadamente 0,9 % en peso del estuco. (A menos que se indique de otro modo, los porcentajes del componente del núcleo de yeso se expresan en peso en función del peso del estuco utilizado para preparar la lechada del núcleo). En otro modo de realización, el núcleo de yeso fraguado tiene una densidad de 481 kg/m³ (aproximadamente 30 pcf) a 641 kg/m³ (aproximadamente 40 pcf), y el núcleo comprende estuco en una cantidad de 5,7 kg/m² (aproximadamente 1162 lbs/msf) a 7,6 kg/m² (aproximadamente 1565 lbs/msf), vermiculita de alta expansión de aproximadamente un 5 % a aproximadamente un 10 % en peso del estuco, almidón de aproximadamente un 0,3 % a aproximadamente un 3 % en peso del estuco, y fibra de vidrio o mineral de aproximadamente un 0,3 % a aproximadamente 0,9 % en peso del estuco, y fosfato de aproximadamente un 0,03 % a aproximadamente 0,4 % en peso del estuco.

35 **[0037]** En otros modos de realización, el núcleo de yeso de paneles de 1,6 (5/8 pulgadas) de espesor creados conforme a los principios de la presente exposición puede tener una densidad de 513 (aproximadamente 32) a 609 kg/m³ (aproximadamente 38 libras por pie cúbico), y un peso del núcleo de yeso de aproximadamente 7,3 (1500) a 8,3 kg/m² (aproximadamente 1700 lb/msf). En algunos modos de realización, el núcleo de yeso puede incluir de aproximadamente un 5,5 % a aproximadamente un 8 % de vermiculita de alta expansión, de aproximadamente un 0,4 % a aproximadamente un 0,7 % de fibra de vidrio o mineral, y de aproximadamente un 0,07 % a aproximadamente un 0,25 % de fosfato. En otros modos de realización, el núcleo de yeso puede incluir de aproximadamente un 5,5 % a aproximadamente un 8 % de vermiculita de alta expansión, de aproximadamente un 0,5 % a aproximadamente un 2,5 % de almidón, de aproximadamente un 0,4 % a aproximadamente un 0,7 % de fibra de vidrio o mineral, y de aproximadamente un 0,07 % a aproximadamente un 0,25 % de fosfato. En algunos otros modos de realización, cada uno de los componentes del núcleo de yeso, como el contenido en almidón, fibra y fosfato, puede ajustarse de manera adicional para proporcionar propiedades de panel deseadas, y en vista de la composición y peso de las hojas de cubierta, otros aditivos al núcleo del panel y la calidad del estuco del yeso.

50 **[0038]** Cada uno de los constituyentes del núcleo de yeso descrito en el presente documento también puede variar de forma apropiada para paneles de distintos espesores, como apreciará un experto en la materia. Por ejemplo, los paneles de 1,27 cm (1/2 pulgadas) pueden tener valores de lb/msf de yeso en aproximadamente el 80 % de los valores señalados, y los paneles de 3/4 pulgadas (1,905 cm) pueden tener valores de lb/msf en aproximadamente un 120 % de los valores señalados. En algunos modos de realización, estas proporciones pueden variar dependiendo de las especificaciones de la propiedad física para paneles de distinto espesor. Otros aspectos y variaciones de los paneles y formulaciones del núcleo en función con los principios de la presente invención se exponen a continuación en el presente documento.

55 **[0039]** Otros aditivos convencionales también pueden emplearse en lechadas del núcleo y composiciones del núcleo de yeso dadas a conocer en el presente documento, en cantidades usuales, para impartir propiedades deseables al núcleo y para facilitar los procesos de fabricación. Ejemplos de tales aditivos son: aceleradores de fraguado, retardadores de fraguado, inhibidores de la deshidratación, aglutinantes, adhesivos, ayudantes de dispersión, agentes niveladores o no niveladores, espesantes, bactericidas, fungicidas, reguladores del pH, colorantes, repelentes de agua, rellenos, espumas acuosas, y mezclas de los mismos.

60 **[0040]** En paneles creados conforme a los principios de la presente exposición, y los métodos para fabricarla, puede añadirse espuma acuosa a la lechada del núcleo en una cantidad efectiva para proporcionar las

densidades del núcleo de yeso deseadas, utilizando métodos que se expondrán a continuación de forma adicional. En algunos modos de realización, la adición del componente de espuma a la lechada del núcleo puede resultar en una distribución de los vacíos y en tamaños de vacío en la presencia del componente de vermiculita del núcleo que contribuye a una o más propiedades de fuerza del núcleo y/o panel. De manera similar, pueden aplicarse capas de lechada adicionales, tiras o franjas que comprenden yeso y otros aditivos (que pueden tener una densidad aumentada en relación con otras partes del núcleo) a las primeras o segundas hojas de cubierta para proporcionar propiedades específicas a los paneles terminados, como bordes más duros.

[0041] En algunos otros modos de realización, un panel de yeso resistente al fuego creado conforme a los principios de la presente exposición, y los métodos para fabricarlo, pueden incluir un núcleo de yeso dispuesto entre dos hojas de cubierta. El núcleo de yeso fraguado puede tener una densidad (D) de aproximadamente 40 libras por pie cúbico (aproximadamente 640 kg/m³) o menos y comprender una matriz cristalina de yeso fraguado y partículas de alta expansión. Las partículas de alta expansión pueden expandirse hasta aproximadamente un 300 % o más de su volumen original después de haberse calentado durante aproximadamente una hora a aproximadamente 1560 °F (aproximadamente 850 °C).

[0042] En otros modos de realización, la presente exposición describe un método para fabricar un panel de yeso resistente al fuego. Se prepara una lechada de yeso presentando partículas de alta expansión dispersas en la misma. La lechada de yeso se coloca entre una primera hoja de cubierta y una segunda hoja de cubierta para formar un ensamblaje. El ensamblaje se corta en un panel de dimensiones predeterminadas. El panel se seca. El núcleo de yeso fraguado tiene una densidad (D) de aproximadamente 40 libras por pie cúbico (aproximadamente 640 kg/m³) o menos y comprende una matriz cristalina de yeso fraguado y las partículas de alta expansión. Las partículas de alta expansión pueden expandirse hasta aproximadamente un 300 % o más de su volumen original después de haberse calentado durante aproximadamente una hora a aproximadamente 1560 °F (aproximadamente 850 °C).

[0043] En otros modos de realización, la presente exposición describe un método para fabricar paneles de yeso resistentes al fuego en los que el componente del núcleo de yeso se forma a partir de lechada acuosa que contiene yeso calcinado. En algunos modos de realización, la lechada puede incluir vermiculita de alta expansión, almidón, dispersantes, fosfatos, fibras de vidrio/minerales, espuma, otros aditivos en las cantidades descritas anteriormente, estuco y agua en una proporción de peso agua/estuco de aproximadamente 0,6 a aproximadamente 1,2, preferiblemente aproximadamente 0,8 a aproximadamente 1,0, y más preferiblemente aproximadamente 0,9. La lechada del núcleo puede depositarse como una franja continua y distribuirse sobre una red continua o una primera hoja de cubierta. Una red continua de una segunda hoja de cubierta puede situarse sobre la lechada depositada en la red de la primera hoja de cubierta para formar un panel de yeso generalmente continuo de un espesor aproximado deseado. El panel de yeso generalmente continuo puede cortarse en paneles individuales de una longitud deseada después de que la lechada que contiene yeso calcinado se haya endurecido (por hidratación del yeso calcinado para formar una matriz continua de yeso fraguado) lo suficiente para cortar, y los paneles de yeso resultantes pueden secarse.

[0044] Tal como se observará, los principios relacionados con los paneles de yeso expuestos en el presente documento son susceptibles de ser llevados a cabo y utilizados en otros y diferentes modos de realización, y susceptibles de ser modificados en diversos aspectos. Se apreciarán otros aspectos y características adicionales y alternativas de la siguiente descripción detallada y de los dibujos que la acompañan. En consecuencia, debe entenderse que tanto el resumen general anterior como la siguiente descripción detallada son solamente ilustrativas y explicativas y no limitan el alcance de las reivindicaciones adjuntas.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0045] Las Figuras enumeradas y expuestas a continuación con detalle, a menos que se exponga de otro modo expresamente, son ejemplos de, y no limitan, la invención expuesta en el presente documento.

La Figura 1 es una imagen bidimensional desarrollada a partir de un escáner micro-CT por rayos X, tal como se expondrá a continuación de manera adicional, de una sección de núcleo de un espécimen de un panel de ejemplo con unas medidas nominales de 1,6 cm (5/8 pulgadas de ancho), 9,2 kg/m² (aproximadamente 1880 lb/msf) creado conforme a los principios de la presente exposición.

La FIG. 2 es una imagen tridimensional desarrollada a partir de un escáner micro-CT por rayos X, tal como se expondrá a continuación de manera adicional, de una sección de núcleo del espécimen mostrado en la FIG. 1.

La FIG. 3 es una imagen renderizada en volumen tridimensional desarrollada a partir de un escáner micro-CT por rayos X, tal como se expondrá a continuación de manera adicional, de una sección del núcleo del espécimen mostrado en la FIG. 1.

La FIG. 4 es una imagen bidimensional desarrollada a partir de un escáner micro-CT por rayos X, tal como se expondrá a continuación de manera adicional, de una sección del núcleo de un espécimen de un

panel de ejemplo con unas medidas nominales de 1,6 cm (5/8 pulgadas de ancho), 9,1 kg/m² (aproximadamente 1860 lb/msf) creado conforme a los principios de la presente exposición.

5 La FIG. 5 es una imagen tridimensional desarrollada a partir de un escáner micro-CT por rayos X, tal como se expondrá a continuación de manera adicional, de una sección del núcleo del espécimen mostrado en la FIG. 4.

La FIG. 6 es una imagen renderizada en volumen tridimensional desarrollada a partir de un escáner micro-CT por rayos X, tal como se expondrá a continuación de manera adicional, de una sección del núcleo del espécimen mostrado en la FIG. 4.

10 La FIG. 7 es una vista en perspectiva de un modo de realización de un ensamblaje representativo construido conforme al UL U305, UL U419, UL U423, y/o un ensayo de exposición al fuego equivalente e incluyendo paneles de yeso creados conforme a los principios de la presente exposición, mostrándose los paneles de yeso en forma fragmentaria y con el compuesto y la cinta para juntas retirados con fines ilustrativos.

15 La FIG. 8 es una vista en alzado del ensamblaje de la FIG. 7 desde la superficie que no está expuesta, que incluye una pluralidad de sensores de temperatura conforme al ensayo UL U305, UL U419, UL U423 y/o a ensayos de exposición al fuego equivalentes.

20 La FIG. 9 es una gráfica de la temperatura máxima de un único sensor en la superficie sin exponer de cada uno de los ensamblajes hechos con paneles de la Serie de Muestras 1 a 17 y 21 descritos en el presente documento y sometidos a pruebas de exposición al fuego en las condiciones del UL U419 (tal como se expondrá a continuación), desde los 0 minutos desde que se terminaron las pruebas, y un gráfico de la curva de temperatura del ASTM E119 utilizada en las pruebas para las temperaturas del horno en los ensayos.

25 La FIG. 10 muestra una gráfica de las temperaturas medias del sensor en la superficie sin exponer de cada uno de los ensamblajes de los ensayos de exposición al fuego UL U419, que son el sujeto de la FIG. 9, desde los 0 minutos desde que se terminaron las pruebas, y una gráfica de la curva de temperatura ASTM E119 utilizada en las pruebas para las temperaturas del horno en tales ensayos.

La FIG. 11 es un gráfico expandido de las temperaturas máximas de un único sensor de las pruebas de exposición al fuego U419 que son el sujeto de la FIG. 9 para los ensamblajes utilizando los paneles de las Series de Muestras 1 a 17 y 21, en un tiempo transcurrido de 40 minutos a 65 minutos.

30 La FIG. 12 es un gráfico expandido de la media de las temperaturas del sensor de los ensayos de exposición al fuego UL U419 que son el sujeto de la FIG. 10 para los ensamblajes utilizando los paneles de las Series de Muestras 1 a 17 y 21, en un tiempo transcurrido de 40 minutos a 65 minutos.

La FIG. 13 es un gráfico de los datos de la FIG. 11 para los ensamblajes utilizando los paneles de las Series de Muestras 5, 14 y 21.

35 La FIG. 14 es un gráfico de los datos de la FIG. 12 para los ensamblajes utilizando los paneles de las Series de Muestras 5, 14 y 21.

40 La FIG. 15 es un gráfico expandido de las temperaturas máximas de un único sensor en la superficie que no está expuesta de cada uno de los ensamblajes utilizando los paneles de las Series de Muestras 18 y 22 que se sometieron a una prueba de resistencia al fuego en las condiciones del UL U423 (tal como se expondrá a continuación), en un tiempo transcurrido de 40 a 65 minutos.

La FIG. 16 es un gráfico expandido de las temperaturas medias del sensor en la superficie que sin exponer de cada uno de los ensamblajes utilizando los paneles de la Serie de Muestras 18 y 22, a partir de las pruebas de exposición al fuego UL U423 que serán el sujeto de la FIG. 15, en un tiempo transcurrido de 40 a 65 minutos.

45 La FIG. 17 es un gráfico expandido de las temperaturas máximas de un único sensor en la superficie sin exponer de los ensamblajes utilizando paneles de la Serie de Muestras 19 y 20 que se sometieron a un ensayo de resistencia al fuego con arreglo a las condiciones del UL U305 (tal como se expondrá a continuación), las pruebas realizadas de 40 a 65 minutos de tiempo transcurrido.

50 La FIG. 18 es un gráfico expandido de la temperatura media del sensor en la superficie sin exponer de cada uno de los ensamblajes utilizando los paneles de la Serie de Muestras 19 y 20, a partir de las pruebas de exposición al fuego UL U305 que son el sujeto de la FIG. 17, en un tiempo transcurrido de 40 a 60 minutos.

La FIG. 19 es una tabla (Tabla I) de formulaciones de ejemplo para paneles de yeso creados conforme a los principios de la presente exposición.

- La FIG. 20 es una tabla (Tabla II) de la pérdida de peso y los cambios en la densidad con la temperatura de la vermiculita de Grado N.º 5.
- La FIG. 21 es una tabla (Tabla III) de la pérdida de peso y los cambios en la densidad con la temperatura de la vermiculita de alta expansión.
- 5 La FIG. 22 es una tabla (Tabla IV) de información estadística de la distribución de los vacíos de aire de los Especímenes 1-4.
- La FIG. 23 es una tabla (Tabla V) de información estadística de las distribuciones del espesor de la pared de los Especímenes 1-4.
- La FIG. 24 es una tabla (Tabla VI) de los resultados de los ensayos de la resistencia a la contracción.
- 10 Las FIGS. 25a-b son una tabla (Tabla VII) de componentes principales de las formulaciones (los valores medios de cada muestra, a menos que se indique lo contrario) para los paneles de muestra a los que se hace referencia en el Ejemplo 4.
- Las FIGS. 26a-b son una tabla (Tabla VIII) de los ensayos de la contracción a altas temperaturas y la expansión del espesor a altas temperaturas de los especímenes de las series de muestras a las que se hace referencia en la Tabla VII y en el Ejemplo 4B.
- 15 La FIG. 27 es una tabla (Tabla IX) de los valores del Índice de Aislamiento Térmico mínimo previsto para la resistencia al fuego deseada a los 50, 55, 60 minutos en ensamblajes utilizando paneles creados conforme a los principios de la presente exposición.
- 20 Las FIGS. 28a-b son una tabla (Tabla X) de los ensayos de aislamiento térmico a altas temperaturas de los especímenes de las series de muestras a las que se hace referencia en la Tabla VII y en el Ejemplo 4D.
- Las FIGS. 29a-b son una tabla (Tabla XI) de los datos de los ensayos de resistencia al fuego de los especímenes de las series de muestras a las que se hace referencia en la Tabla VII y en el Ejemplo 4E.
- 25 La FIG. 30 es una tabla (Tabla XII) de los datos de los ensayos de resistencia a la extracción de clavos de los especímenes de las series de muestras a las que se hace referencia en la Tabla VII y en el Ejemplo 5.
- La FIG. 31 es una tabla (Tabla XIII) de los datos de los ensayos de resistencia a la flexión de los especímenes de las series de muestras 17, 18 y 19.
- Las FIGS. 32a-c son una tabla (Tabla XIV) de los datos de las pruebas de dureza del núcleo, extremos y bordes de los especímenes de las series de muestras 17, 18 y 19.
- 30 La FIG. 33 es una tabla (Tabla XV) de datos de los ensayos de la pérdida de transmisión de sonido de los ejemplos de los paneles de yeso creados conforme a los principios de la presente exposición y de los paneles de yeso resistentes al fuego comerciales de Tipo X.
- Las FIGS. 34a-b son una tabla (Tabla XVI) de la evaluación de laboratorio de los paneles tratados con almidón/siloxano.
- 35 La FIG. 35 es una tabla (Tabla XVIII) de los ensayos de la contracción a altas temperaturas y de la expansión del espesor a altas temperaturas de los especímenes de las muestras de laboratorio a las que se hace referencia en el Ejemplo 10.
- La FIG. 36 es una tabla (Tabla XVIII) de los ensayos del Índice de Aislamiento Térmico a altas temperaturas de los especímenes de las muestras de laboratorio a las que se hace referencia en el Ejemplo 10.
- 40 La FIG. 37 es una tabla (Tabla XIX) de formulaciones para las muestras de laboratorio con cantidades variables de vermiculita.
- Las FIGS. 38a-c son tablas (Tabla XXa-c) de los ensayos del Índice de Aislamiento de Altas Temperaturas, la Contracción a Altas Temperaturas, y la Dilatación Térmica a Altas Temperaturas del Ejemplo 11 A, Muestras 1-9, con cantidades variables de trihidrato de aluminio (ATH).
- 45 La FIG. 39 es un gráfico de la cantidad de ATH como un porcentaje en masa en peso del estuco frente al Índice de Aislamiento a Altas Temperaturas tomado de los datos del ensayo en la Tabla XXb de la FIG. 38a para el Ejemplo 11A, Muestras 3-9.
- 50 Las FIGS. 40a-c son tablas (Tabla XXIa-c) de los ensayos del Índice de Aislamiento a Altas Temperaturas, la Contracción a Altas Temperaturas, y la Dilatación Térmica a Altas Temperaturas del Ejemplo 11B, Muestras 10-17, con cantidades variables de ATH.

Las FIGS. 41a-c son tablas (Tabla XXIIa y XXIIb) de los ensayos del Índice de Aislamiento de Altas Temperaturas, la Contracción a Altas Temperaturas, y la Dilatación Térmica a Altas Temperaturas del Ejemplo 11C, Muestras 18-20, con ATH.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

- 5 **[0046]** Los modos de realización descritos a continuación no pretenden ser exhaustivos o limitar las reivindicaciones adjuntas de las composiciones, ensamblajes, métodos y operaciones específicas expuestas en el presente documento. En su lugar, los aspectos descritos y modos de realización se han elegido para explicar los principios de la presente exposición y su aplicación, funcionamiento y uso a fin de permitir mejor que otros expertos en la materia sigan lo descrito.
- 10 **[0047]** La presente exposición proporciona modos de realización utilizando combinaciones de estuco, partículas de alta expansión, como vermiculita de alta expansión, en un estado sin dilatar, y otros ingredientes señalados, algunos ejemplos de los cuales se mencionan en la Tabla 1 de la FIG. 19. Estas formulaciones proporcionan paneles de yeso resistentes al fuego con un peso y densidad reducidos que proporcionan las propiedades de resistencia al fuego deseadas que anteriormente no se creían factibles para paneles de yeso de tales densidades y pesos reducidos. Los paneles creados conforme a los principios de la presente exposición también pueden tener resistencia a la extracción de clavos y características de transmisión del sonido adecuadas para una variedad de propósitos de construcción, y, en algunos modos de realización, tales propiedades pueden compararse a paneles comerciales resistentes al fuego mucho más pesados y densos. Las formulaciones únicas y métodos para fabricar paneles creados conforme a los principios de la presente exposición hacen posible la producción de tales paneles de yeso con alto rendimiento, peso y densidad reducidos, resistentes al fuego, con una contracción a altas temperaturas de menos del 10 % en las direcciones x-y (ancho-largo) y expansión del espesor a altas temperaturas en la dirección z (espesor) de más de aproximadamente el 20 % cuando se calienta hasta aproximadamente 1560 °F (850 °C). En algunos otros modos de realización, cuando se utilizan en paredes u otros ensamblajes, tales ensamblajes tienen un rendimiento en los ensayos de resistencia al fuego comparables con ensamblajes fabricados con paneles comerciales resistentes al fuego más pesados y densos.
- 15 **[0048]** En algunos otros modos de realización, un panel de yeso resistente al fuego creado conforme a los principios de la presente exposición, y los métodos para fabricarlo, pueden incluir un núcleo de yeso dispuesto entre dos hojas de cubierta. El núcleo de yeso puede comprender una matriz cristalina de yeso fraguado y partículas de alta expansión que pueden expandirse hasta aproximadamente un 300 % o más de su volumen original después de haberse calentado durante aproximadamente una hora a aproximadamente 1560 °F (aproximadamente 850 °C). El núcleo de yeso puede tener una densidad (D) de aproximadamente 640 kg/m³ (40 pcf) o menos y una dureza de al menos aproximadamente 11 libras (5 kg). Puede ser eficaz proporcionar al núcleo de yeso un Índice de Aislamiento Térmico (TI) de aproximadamente 20 minutos o más. El núcleo de yeso puede ser eficaz para proporcionar al panel una proporción de TI/D de aproximadamente 0,6 minutos/libras por pie cúbico (0,038 minutos/(kg/m³)) o más.
- 20 **[0049]** En algunos modos de realización, un panel de yeso resistente al fuego creado conforme a los principios de la presente exposición, y los métodos para fabricar el mismo, puede proporcionar un panel que exhiba una resistencia a la contracción media de aproximadamente un 85 % o más cuando se calienta a más de 1800 °F (980 °C) durante una hora. En otros modos de realización, el panel exhibe una resistencia a la contracción media de aproximadamente un 75 % o más cuando se calienta a aproximadamente 1800 °F (980 °C) durante una hora.
- 25 **[0050]** En algunos modos de realización, la presente exposición proporciona paneles de yeso de 1,6 cm (5/8 pulgadas) de espesor con una densidad del núcleo de yeso de menos de 640 kg/m³ (aproximadamente 40 pcf). En otros modos de realización preferidos, las densidades del núcleo de yeso del panel son de 481 kg/m³ (aproximadamente 30 pcf) a 641 kg/m³ (aproximadamente 40 pcf); de 513 kg/m³ (aproximadamente 32 pcf) a 609 kg/m³ (aproximadamente 38 pcf); o de 561 kg/m³ (aproximadamente 35) a 593 kg/m³ (aproximadamente 37 pcf). Tales paneles creados conforme a los principios de la presente exposición proporcionan propiedades de resistencia al fuego comparable a paneles de yeso mucho más pesados y densos, como los paneles de yeso comerciales corrientes resistentes al fuego de 1,6 cm (5/8") de Tipo X (resistentes al fuego) que suelen tener una densidad del núcleo de al menos 6731 kg/m³ (aproximadamente 42 pcf), (y un panel de un espesor de 1,6 cm (5/8 pulgadas) que pese al menos 10,7 kg/m² (aproximadamente 2200 lb/msf)) como los paneles de Tipo X marca SHEETROCK® FIRE CODE®.
- 30 **[0051]** En otros modos de realización, se proporcionan métodos para fabricar paneles de yeso resistentes al fuego preparando un yeso calcinado que contiene lechada acuosa con los componentes expuestos a continuación en el presente documento, donde el yeso calcinado (al que también se hace referencia como estuco) y el agua se utilizan para crear una lechada acuosa en una relación de peso agua/estuco preferida de aproximadamente 0,6 a aproximadamente 1,2 en algunos modos de realización, aproximadamente 0,8 a aproximadamente 1,0 en otros modos de realización, y aproximadamente 0,9 en algunos otros modos de realización. La lechada se deposita como una franja continua en una cinta de lámina de cubierta de papel, fibra de vidrio sin tejer, u otros materiales fibrosos o una combinación de materiales fibrosos. Una segunda de dicha cinta de lámina de cubierta continua se sitúa después sobre la franja de lechada depositada para formar un panel
- 35
40
45
50
55
60

de yeso continuo con una anchura y espesor deseados. El panel de yeso continuo se corta en una longitud deseada después de que la lechada que contiene yeso calcinado se haya endurecido (por hidratación del yeso calcinado para formar una matriz continua de yeso calcinado) lo suficiente para cortar, y los paneles de yeso resultantes se secan. Los paneles secados, además, pueden someterse a unos pasos de recorte, moldeo y despiece adicionales.

[0052] En otros modos de realización, una capa de yeso con una densidad más alta puede formarse en o alrededor de la primera hoja de cubierta y/o a lo largo de los bordes periféricos de las hojas de cubierta. La capa con una densidad más alta normalmente proporciona propiedades beneficiosas para la superficie del panel, como un aumento de la dureza, una mejora de la resistencia a la extracción de clavos, etc. La mayor densidad a lo largo de los bordes periféricos de las hojas de cubierta proporciona normalmente una mejora de la dureza de los bordes y otras propiedades beneficiosas. En algunos otros modos de realización, se aplica una capa de mayor densidad a una o ambas hojas de cubierta, o a las partes equivalentes de la construcción de las hojas de cubierta/núcleo.

[0053] Normalmente, las capas con mayor densidad se aplican mediante técnicas convencionales, como revistiendo una o ambas capas de cubierta en la parte anterior o muy cerca del depósito de la capa del núcleo en la primera hoja de cubierta o la aplicación de la segunda hoja de cubierta sobre la capa de lechada del núcleo. De manera similar, la capa periférica de mayor densidad se suele aplicar como una tira o una franja estrecha de lechada de yeso (con una densidad diferente a la lechada del núcleo) en los bordes periféricos de la primera hoja de cubierta en la parte anterior de o cerca del depósito de la lechada del núcleo en la primera hoja. En algunos de estos modos de realización, las capas de mayor densidad comprenden de aproximadamente un 3 % a aproximadamente un 4 % del peso de la placa.

[0054] En consecuencia, en algunos modos de realización, se proporciona un panel de yeso resistente al fuego con un peso y densidad reducidos adecuado para su uso como tablero para tabiques, tablero para techo u otras aplicaciones de construcción (como revestimiento exterior, material de tejado, etc.). En algunos de tales modos de construcción, los paneles de yeso tienen un espesor nominal adecuado para su uso en aplicaciones de construcción, como 1,6 cm (aproximadamente 5/8 pulgadas), 1,27 cm (aproximadamente 1/2 pulgada) y/o 0,63 cm (aproximadamente 1/4 pulgada), que son espesores típicos utilizados para muchas aplicaciones de construcción exteriores e interiores. Las hojas de cubierta también pueden revestirse con revestimientos resistentes al agua o resistentes al mal uso, o en algunas aplicaciones, yeso, materiales de cementación, materiales acrílicos u otros revestimientos adecuados para necesidades de construcción específicas. Los paneles también están formados en una variedad de dimensiones adecuadas para aplicaciones estándar, no estándar o personalizadas. Algunos ejemplos de tales paneles son paneles de cuatro pies (aprox. 1,22 m) nominales de ancho presentando una longitud nominal de ocho pies (aprox. 2,44 m), diez (aprox. 3 m) y doce pies (aprox. 3,66 m) típica de los que se usan con fines de construcción de edificios.

[0055] La densidad del núcleo de los paneles resistentes al fuego con un peso reducido contribuye de forma considerable al peso total de los paneles comparado con los paneles convencionales con dimensiones similares. En consecuencia, en modos de realización con las densidades de los núcleos mencionadas anteriormente, las densidades del panel con láminas de cubierta de papel típicas pueden incluir de 480 kg/m³ (aproximadamente 30 pcf) a 633 kg/m³ (aproximadamente 39,5 pcf); de 524 kg/m³ (aproximadamente 32,7 pcf) a 617 kg/m³ (aproximadamente 38,5 pcf); o de 570 kg/m³ (aproximadamente 35,6) a 601 kg/m³ (aproximadamente 37,5 pcf). Para paneles con un espesor de 1,6 cm (5/8 pulgadas), de 122 cm por 144 cm (cuatro pies por ocho pies), con tales densidades de panel, los pesos del panel pueden ser de 7,8 kg/m² (aproximadamente 1600 lb/msf) a 10 kg/m² (aproximadamente 2055 lb/msf), de 8,3 kg/m² (aproximadamente 1700 lb/msf) a 9,8 kg/m² (aproximadamente 2000 lb/msf), y de 9 kg/m² (1850 lb/msf) a 9,5 kg/m² (aproximadamente 1950 lb/msf), respectivamente. Para otros espesores y dimensiones del panel, el peso de los paneles puede variar proporcionalmente. Por ejemplo, en el caso de que los paneles presentasen densidades similares pero con un espesor nominal de 1,27 cm (1/2 pulgadas), el peso del panel sería de aproximadamente el 80 % del peso del panel de 1,6 cm (5/8 pulgadas) de espesor mencionado anteriormente. De manera similar, para paneles con densidades o dimensiones comparables pero con un espesor nominal de 1,9 cm (3/4 pulgadas), los pesos de los paneles podrían ser de aproximadamente el 120% del peso de los paneles de 1,6 cm (5/8 pulgadas) de espesor mencionados anteriormente.

[0056] En modos de realización en los que el núcleo de yeso fraguado tiene una densidad de 481 kg/m³ (aproximadamente 30 pcf) a 641 kg/m³ (aproximadamente 40 pcf), el núcleo de los paneles de 1,6 cm (5/8 pulgadas) de espesor puede estar hecho con formulaciones de lechada que comprenden estuco en una cantidad de 5,7 kg/m² (aproximadamente 1162 lbs/msf) a 7,6 kg/m² (aproximadamente 1565 lbs/msf); vermiculita de alta expansión de aproximadamente un 5 % a aproximadamente un 10 % en peso del estuco, almidón de aproximadamente un 0,3 % a aproximadamente un 3 % en peso del estuco; fibra de vidrio o mineral de aproximadamente un 0,3 % a aproximadamente 0,5% en peso del estuco, y fosfato de aproximadamente un 0,03 % a aproximadamente 0,4 % en peso del estuco. Tal como se ha mencionado anteriormente, pueden emplearse otros aditivos convencionales en la práctica de los principios de la presente exposición en cantidades habituales para impartir propiedades deseables, para facilitar la fabricación y para obtener la densidad del núcleo

deseada. En otros modos de realización, el núcleo de yeso de paneles de 1,6 (5/8 pulgadas) de ancho creados conforme a los principios de la presente exposición puede tener una densidad de 513 (aproximadamente 32) a 609 kg/m³ (aproximadamente 38 libras por pie cúbico), y un peso del núcleo de yeso de 7,3 (aproximadamente 1500) a 8,3 kg/m² (aproximadamente 1700 lb/msf). En algunos de dichos modos de realización, el núcleo de yeso también comprende de aproximadamente un 5,5 % a aproximadamente un 8 % de vermiculita de alta expansión; de aproximadamente un 0,5 % a aproximadamente un 2,5 % de almidón; de aproximadamente un 0,4 % a aproximadamente un 0,7 % de fibra de vidrio o mineral; y aproximadamente un 0,07 % a aproximadamente un 0,25 % de fosfato. Tal como se ha mencionado anteriormente, cada componente del núcleo de yeso, como el almidón, fibra y fosfato, puede ajustarse de manera adicional para proporcionar propiedades de panel deseadas, y en vista de la composición y peso de las hojas de cubierta, la naturaleza y cantidad de otros aditivos al núcleo del panel, y la calidad del estuco de yeso.

[0057] En los modos de realización de ejemplo mencionados en la Tabla I en la FIG. 19, la combinación de estuco, las partículas de alta expansión en forma de vermiculita de alta expansión, y el resto de ingredientes señalados proporcionan paneles de yeso con un peso reducido con la resistencia al fuego deseada, y también proporciona paneles que satisfacen la resistencia a la extracción de clavos deseada y las propiedades de transmisión del sonido. Esta combinación de ingredientes (y otras dentro del alcance de la invención) hace posible producir tales paneles de yeso de gran rendimiento, peso reducido y resistentes al fuego, con resistencia a la contracción en el área x-y y propiedades de expansión en la dirección z comparables con, si no mejores que, paneles de yeso mucho más pesados y densos. En modos de realización como los que se han expuesto en la Tabla 1 de la FIG. 19, la contracción a altas temperaturas de los paneles suele ser de menos de aproximadamente un 10 % en las direcciones x-y (ancho-largo) y la expansión del espesor a altas temperaturas del espesor del panel en la dirección z (espesor) suele ser de más de aproximadamente el 20 % a aproximadamente 1560 °F (850 °C) tal como se expone en la continuación en el Ejemplo 4B. En algunos modos de realización, la proporción de la expansión del espesor a altas temperaturas en la dirección z con la contracción x-y a altas temperaturas es al menos 2:17 a 1570 °F (855 °C), tal como se expone en el Ejemplo 4B.

[0058] Otra medida de la resistencia al calor se expone más adelante en el Ejemplo 3. En ese ensayo, se evaluó la resistencia a temperaturas de más de 1800 °F (980 °C). Utilizando paneles formados conforme a los principios de la presente invención, como aquellos expuestos en la Tabla I en la FIG. 19, los paneles de yeso con un peso y densidad reducidos demostraron una resistencia a la contracción de más de aproximadamente el 85 % en las direcciones x-y. Los valores expresados en la Tabla I como lb/msf son para paneles de 1,6 cm (5/8 pulgadas) nominales de espesor.

[0059] Pueden emplearse otros aditivos convencionales en la práctica de los principios de la presente exposición en cantidades habituales para impartir propiedades deseables y para facilitar la fabricación. Ejemplos de tales aditivos son: espumas acuosas, aceleradores de fraguado, retardadores de fraguado, inhibidores de la deshidratación, aglutinantes, adhesivos, ayudantes de dispersión, agentes niveladores o no niveladores, espesantes, bactericidas, fungicidas, reguladores del pH, colorantes, repelentes de agua, rellenos, y mezclas de los mismos. En algunos modos de realización, los paneles de yeso creados conforme a los principios de la presente exposición pueden incorporar material inorgánico como arcilla, sílice coloidal o alúmina coloidal en su núcleo de yeso. En la mayoría de modos de realización, dichos materiales inorgánicos no están en cantidades que podrían afectar considerablemente la resistencia a la contracción de los paneles de yeso en condiciones de altas temperaturas.

[0060] En algunos modos de realización que utilizan una o más formulaciones de las expuestas en la Tabla I de la FIG. 19, se proporcionan paneles y métodos para fabricarlos, que están configurados como paneles de yeso de 1,6 cm (5/8 pulgadas) de espesor con un peso y densidad reducida, que cumplirá o superará la resistencia al fuego "de una hora" según los requisitos de contención de incendios e integridad estructural de los estándares y procedimientos de ensayo de exposición al fuego UL U305, U419, U423 y/o equivalentes. En algunos otros modos de realización que utilizan las formulaciones de la Tabla I, la presente exposición proporciona paneles de yeso de 1,27 (1/2 pulgadas) de ancho con un peso y densidad reducidos, y métodos para fabricarlos, que son capaces de satisfacer al menos una resistencia al fuego de 3/4 de hora, según los requisitos de contención de incendios e integridad estructural de los estándares U419. Pueden conseguirse resultados similares utilizando otras formulaciones en consonancia con los principios descritos en el presente documento.

[0061] La combinación de peso reducido, resistencia al fuego, y las características estructurales y de fuerza a las que se ha hecho referencia anteriormente, se cree que se deben a los resultados inesperados de varias combinaciones de los componentes anteriores. Los componentes útiles en formulaciones de lechada de yeso calcinado conforme a los principios de la presente exposición se expone en la continuación con más detalle.

[0062] Estucos - El componente de estuco (o yeso calcinado) utilizado para formar la matriz cristalina del núcleo del panel de yeso comprende normalmente sulfato de calcio hemihidrato beta, sulfato de calcio anhidro soluble en agua, sulfato de calcio hemihidrato alfa, o mezclas de cualquiera de ellos, de fuentes naturales o sintéticas. En algunos modos de realización, el estuco puede incluir minerales distintos al yeso, como cantidades

menores de arcillas u otros componentes que estén asociados con la fuente de yeso o se añadan durante la calcinación, procesamiento y/o la distribución del estuco en la mezcladora.

5 **[0063]** A modo de ejemplo, las cantidades de estuco a las que se hace referencia en la Tabla 1 de la FIG. 19 dan por sentado que la fuente de yeso tiene al menos aproximadamente un 95 % de pureza. Por consiguiente, los componentes, y sus cantidades relativas, como las mencionadas anteriormente en la Tabla I, utilizadas para formar la lechada del núcleo pueden variarse o modificarse dependiendo de la fuente del estuco, su pureza y contenido. Por ejemplo, la composición de la lechada del núcleo de yeso y la cantidad de vermiculita de alta expansión utilizada puede modificarse para composiciones de estuco diferentes dependiendo de la pureza del yeso, la fuente natural o sintética para el yeso, el contenido en agua del estuco, el contenido de arcilla del estuco, etc.

15 **[0064] Partículas de alta expansión** - Los paneles de yeso con un peso y densidad reducidos creados conforme a los principios de la presente exposición pueden conseguir resultados únicos e inesperados en lo que se refiere a la resistencia al fuego y las condiciones de calor extremo asociadas, sin depender de las cantidades aumentadas de yesos hemihidrato típicos de paneles de yeso resistentes al fuego convencionales o que dependen sobre todo de vermiculita convencional de relativamente baja expansión, como a la que se hace referencia como vermiculita sin dilatar "de Grado N.º 5" (con un tamaño de partícula típico de menos de aproximadamente 0,0157 pulgadas (0,40 mm)). Tal como se ha mencionado anteriormente, los paneles creados conforme a los principios de la presente exposición pueden utilizar partículas de alta expansión en forma de vermiculita con un alto volumen de expansión en relación con la vermiculita de Grado N.º 5 (sistema de clasificación estadounidense) y otras vermiculitas de baja expansión que han sido utilizadas en paneles de yeso comerciales resistentes al fuego.

25 **[0065]** Las vermiculitas a las que se hace referencia en el presente documento como "vermiculita de alta expansión" tienen un volumen de expansión después de calentarlas durante una hora a aproximadamente 1560 °F (aproximadamente 850 °C) de aproximadamente un 300 % o más de su volumen original. En cambio, la vermiculita sin dilatar de Grado N.º 5 normalmente tiene un volumen de expansión a aproximadamente 1560 °F (aproximadamente 850 °C) de aproximadamente un 225 %. Otras partículas con propiedades comparables a la vermiculita de alta expansión también pueden utilizarse en modos de realización de paneles creados conforme a los principios de la presente exposición. En algunos modos de realización, puede utilizarse vermiculita de alta expansión que tenga un volumen de expansión de aproximadamente un 300 % a aproximadamente un 380 % de su volumen original tras situarse durante una hora en una cámara con una temperatura de aproximadamente 1560 °F (aproximadamente 850 °C).

35 **[0066]** Se suele hacer referencia a una de dichas vermiculitas de alta expansión como vermiculita sin dilatar de Grado N.º 4 (sistema de clasificación estadounidense) (tales partículas de alta expansión se rechazaron como ingrediente útil en placas de yeso resistentes al fuego en la patente estadounidense US 3,454,456, expuesta anteriormente). En algunos modos de realización, al menos aproximadamente el 50 % de las partículas en la vermiculita de alta expansión utilizada en paneles creados conforme a los principios de la presente exposición será de más de aproximadamente malla 50 (es decir, aberturas de más de aproximadamente 0,0117 pulgadas (0,297 mm)). En otros modos de realización, al menos aproximadamente el 70 % de las partículas serán de más de aproximadamente malla 70 (es decir, aberturas de más de aproximadamente 0,0083 pulgadas (0,210 mm)).

40 **[0067]** En otros modos de realización, las vermiculitas de alta expansión pueden utilizarse de forma que se clasifiquen según sistemas de clasificación diferentes y/o extranjeros. Tales vermiculitas de alta expansión deberían tener una expansión sustancialmente similar y/o características de resistencia térmica propias de las expuestas en el presente documento. Por ejemplo, en algunos modos de realización, puede utilizarse una vermiculita clasificada en Europa, Sudamérica o Sudáfrica como de Grado 0 (micrón) o de Grado 1 (superfina).

45 **[0068]** En algunos modos de realización, puede utilizarse una vermiculita de alta expansión que incluye una distribución granulométrica en la que hasta el 50 % de las partículas de vermiculita son de menos de 500 micrómetros, hasta el 60 % de las partículas de vermiculita son de entre aproximadamente 500 micrómetros y aproximadamente 1000 micrómetros, hasta aproximadamente el 40 % de las partículas de vermiculita son de entre aproximadamente 1000 micrómetros y aproximadamente 1500 micrómetros, y hasta el 20 % de las partículas de vermiculita son de entre aproximadamente 1500 micrómetros y aproximadamente 3000 micrómetros. En algunos modos de realización, una vermiculita de alta expansión puede incluir partículas de vermiculita conforme a la siguiente distribución: entre aproximadamente el 25 % y aproximadamente el 45% de las partículas son de menos de aproximadamente 500 micrómetros, entre aproximadamente el 40 % y el 60 % de las partículas de vermiculita son de entre 500 micrómetros y aproximadamente 1000 micrómetros, hasta aproximadamente el 20% de las partículas son de entre aproximadamente 1000 micrómetros y aproximadamente 1500 micrómetros, y hasta el 10% de las partículas son de entre aproximadamente 1500 micrómetros y aproximadamente 3000 micrómetros. En algunos otros modos de realización, una vermiculita de alta expansión puede incluir partículas de vermiculita conforme a la siguiente distribución: entre aproximadamente el 5 % y el 20% de las partículas son de menos de aproximadamente 500 micrómetros, entre aproximadamente el 35 % y el 60 % de las partículas son de entre 500 micrómetros y aproximadamente 1000 micrómetros, entre aproximadamente el 20 % y el 40 % de las partículas son de entre aproximadamente 1000 micrómetros y

aproximadamente 1500 micrómetros, y hasta aproximadamente el 20 % de las partículas son de entre aproximadamente 1500 micrómetros y aproximadamente 3000 micrómetros.

5 **[0069]** En algunos otros modos de realización, pueden utilizarse vermiculitas que han sido tratadas químicamente o modificadas de otra forma de manera que exhiban un comportamiento de expansión del volumen en condiciones de calentamiento similar a las vermiculitas de alta expansión expuestas en el presente documento. Las vermiculitas de alta expansión útiles en paneles creados conforme a los principios de la presente exposición también pueden incluir otras vermiculitas, mezclas de vermiculita y/o composiciones que contengan vermiculita (y otros tamaños de partícula y distribución granulométrica), además de otros materiales en partículas con propiedades de expansión comparables que proporcionan al panel las características de expansión y 10 contracción típicas de los paneles expuestos en el presente documento. Otras vermiculitas de alta expansión adecuadas y otras partículas también pueden diferenciarse de las expuestas en el presente documento en cuanto a que no influyen sobre la producción de los paneles de yeso resistentes al fuego y con un peso y densidad reducidos expuestos en el presente documento.

15 **[0070]** En algunos modos de realización, la vermiculita de alta expansión utilizada en los paneles de yeso resistentes al fuego con un peso y densidad reducidos creados conforme a los principios de la presente exposición pueden incluir vermiculita comercial de Grado 4 estadounidense disponible en el mercado a través de varias fuentes. Cada uno de los productores comerciales puede proporcionar especificaciones para propiedades físicas de la vermiculita de alta expansión, como la dureza según la escala de Mohs, la humedad total, la humedad libre, la densidad aparente, la relación específica, la relación de aspecto, la capacidad de intercambio de cationes, solubilidad, pH (en agua destilada), relación de expansión, temperatura de expansión, y punto de fusión, por ejemplo. Se contempla que en diferentes modos de realización utilizando distintas fuentes de vermiculitas de alta expansión, estas propiedades físicas pueden variar.

20 **[0071]** En algunos modos de realización, las partículas de vermiculita de alta expansión están distribuidas generalmente por toda la parte de núcleo de los paneles de yeso. En otros modos de realización, las partículas de vermiculita de alta expansión están distribuidas generalmente de manera uniforme por toda la parte de núcleo de los paneles de yeso.

25 **[0072]** La vermiculita de alta expansión puede estar distribuida generalmente de manera aleatoria a lo largo de las partes con una densidad reducida del núcleo del panel. En algunos modos de realización, puede ser deseable tener una distribución de vermiculita diferente en las partes más densas de un panel, como en la capa de yeso con una densidad aumentada mencionada anteriormente adyacente a la(s) cara(s) del panel o en las partes del núcleo con una densidad mayor a lo largo de los bordes del panel. En otros modos de realización, la vermiculita de alta expansión puede excluirse sustancialmente de las partes más densas de los paneles, como los bordes endurecidos y las caras de los paneles. Tales variaciones en los contenidos de partículas de vermiculita y la distribución en las partes más densas de los paneles puede aparecer como resultado de extraer 30 lechada del núcleo de la mezcladora de lechada del núcleo para su uso en esas partes del panel, al introducir la vermiculita a través de otros medios apropiados en la lechada para las partes del núcleo del panel con una densidad reducida, al utilizar mezcladoras de bordes precisos, u otros medios conocidos por los expertos en la materia.

35 **[0073]** Puede haber de manera adicional una variación considerable en la cantidad de partículas de alta expansión distribuidas a lo largo del núcleo, y en la distribución específica de las partículas en algunos modos de realización de los paneles creados conforme a los principios de la presente exposición en relación con la distribución de las partículas en otros paneles creados de este modo. Tales variaciones en la cantidad y distribución de las partículas de alta expansión dependerán de la cantidad y tipo de vermiculita u otras partículas incorporadas en la lechada, el tamaño de las partículas de alta expansión y la distribución granulométrica, la 40 composición de la lechada del núcleo, y los procedimientos de distribución y mezcla de la lechada del núcleo, entre otros factores. De manera similar, la distribución de las partículas específicas, las propiedades de las partículas y la granulometría dentro del núcleo puede variar y puede depender de factores similares durante la mezcla y distribución de la lechada del núcleo durante el proceso de formación del panel.

45 **[0074]** En algunos modos de realización, la distribución de partículas de alta expansión evita ejemplos de grandes concentraciones de partículas de alta expansión en partes del núcleo del panel que reducen significativamente la integridad y solidez estructural del núcleo durante un uso normal de los paneles o durante condiciones de fuego y/o altas temperaturas. Esto no incluiría pequeñas variaciones encontradas en producciones comerciales típicas. La distribución de las partículas de alta expansión también puede modificarse en cuanto a la concentración de partículas en una o más partes del núcleo para aplicaciones específicas 50 deseadas de los paneles.

55 **[0075]** En algunos modos de realización, la distribución mencionada anteriormente de las partículas de alta expansión en el núcleo de densidad reducida de los paneles sucede durante la mezcla de la lechada del núcleo, el paso de la lechada a la primera hoja de cubierta y/o la distribución de la lechada a lo largo de la hoja de cubierta. En algunos modos de realización, las partículas de alta expansión pueden añadirse a la mezcladora de 60 la lechada del núcleo con otros materiales secos o semisecos durante la mezcla y preparación de la lechada del

núcleo. De manera alternativa, en otros modos de realización, las partículas de alta expansión pueden añadirse en otros procedimientos, pasos o etapas que distribuyen generalmente las partículas de alta expansión dentro de las partes deseadas del núcleo de yeso del panel.

5 **[0076]** Tal como se refleja en las FIGS. 1-6, que se expondrán adicionalmente más adelante, las partículas de vermiculita normalmente se distribuyen cerca o adyacentes a los vacíos formados en las partes de densidad reducida del núcleo de yeso, además de en las partes cristalinas del núcleo que un experto en la materia esperaba que contribuyesen en la solidez estructural del núcleo. Dicha distribución en la estructura del núcleo cristalina de densidad reducida (que en sí misma se considera relativamente frágil), provocaría que un experto en la materia creyese que la considerable expansión de las partículas de vermiculita alteraría el núcleo y causaría el astillamiento, fracturas en el núcleo y fallos en el núcleo conocidos por los expertos en la materia y analizados en las referencias analizadas anteriormente. Esto sería particularmente verdad en modos de realización de un panel de yeso creado conforme a los principios de la presente exposición donde el núcleo del panel presenta una densidad relativamente baja, y en consecuencia, un volumen de vacío relativamente alto, y un contenido en yeso cristalino considerablemente reducido. Se esperaba que la reducción del contenido en yeso cristalino del núcleo redujese la solidez estructural y la capacidad de disipación térmica de los paneles de yeso. Tal como se analizará con más adelante con más detalle, sorprendentemente este no era el caso para paneles creados conforme a los principios de la presente exposición.

20 **[0077] Almidón** - Como apreciará un experto en la materia, los modos de realización de la formulación de la lechada del núcleo para su uso en la preparación de paneles creados conforme a los principios de la presente exposición pueden comprender almidón. En algunos modos de realización de los paneles creados conforme a los principios de la presente exposición, y los métodos para preparar dichos paneles, la formulación de la lechada del núcleo, tal como se menciona en la Tabla I de la FIG. 19, incluye un almidón pregelatinizado o un almidón funcionalmente equivalente. El almidón crudo puede pregelatinizarse al cocinar el almidón en agua a temperaturas de al menos 85 °C (185 °F) o por otros métodos conocidos para causar la formación de geles en el almidón utilizado en el núcleo del panel. El almidón puede incorporarse en la lechada del núcleo en una forma seca, una forma líquida predispersada, o una combinación de ambas. En una forma seca, el almidón puede añadirse a la mezcladora de la lechada del núcleo con otros ingredientes secos o en una etapa, paso o procedimiento de adición separado. En la forma predispersada, puede añadirse con otros ingredientes líquidos, como agua de amasado, por ejemplo, o en una etapa, paso o procedimiento de adición separado.

30 **[0078]** Algunos ejemplos de almidones pregelatinizados disponibles con facilidad que pueden utilizarse en la práctica de la presente exposición son el almidón de harina de maíz amarilla gelificado previamente disponible en el mercado de Cargill, Inc. o de Archer Daniels Midland Co. En algunos modos de realización, el componente de almidón incluye al menos almidón de maíz pregelatinizado, como harina de maíz pregelatinizada disponible de Bunge Milling, St. Louis, Missouri. Dicho almidón pregelatinizado presenta las siguientes características típicas: 35 aproximadamente un 75 % de humedad, aproximadamente un 8,0 % de proteína, aproximadamente un 0,5 % de fibra cruda, aproximadamente un 0,3 % de ceniza; presentando una resistencia en verde de 0,03 bares (aproximadamente 0,48 psi); y presentando una densidad aparente de 561 kg/m³ (aproximadamente 35 lb/ft³). En algunos otros modos de realización, la formulación del núcleo de la lechada puede incluir uno o más hidroxietilalmidones disponibles en el mercado adecuados para los objetivos de la presente exposición.

40 **[0079]** En otros modos de realización, pueden utilizarse otros almidones útiles, incluidos almidones modificados con ácido, como harina de maíz modificada con ácido disponible como HI-BOND, de Bunge Milling, St. Louis, Missouri. Este almidón presenta las siguientes características típicas: un 10,0 % de humedad, un 1,4 % de aceite, aproximadamente un 17,0 % de solubles en agua fría, aproximadamente un 98,0 % de fluidez alcalina, densidad aparente de 481 kg/m³ (aproximadamente 30 lb/ft³), y aproximadamente un 20 % de lechada que produce un pH de aproximadamente 4,3. Otro almidón útil es almidón blanco no pregelatinizado, como ECOSOL-45, disponible de ADM/Ogilvie, Montreal, Quebec, Canadá.

50 **[0080] Fibras** - En algunos modos de realización que incorporan fibras tal como se menciona en la Tabla I de la FIG. 19, y los métodos para preparar dichos paneles, las fibras pueden incluir fibras minerales, fibras de vidrio y/o de carbono, y mezclas de dichas fibras, así como otras fibras comparables que proporcionen beneficios comparables al panel. En algunos modos de realización, las fibras de vidrio se incorporan en la lechada del núcleo de yeso y resultan en una estructura del núcleo cristalina. Las fibras de vidrio en algunos de estos modos de realización pueden tener una longitud media de 1,27 a 1,9 cm (aproximadamente de 0,5 a aproximadamente 0,75 pulgadas) y un diámetro de aproximadamente 11 a aproximadamente 17 micras. En otros modos de realización, dichas fibras de vidrio pueden tener una longitud media de 0,5 a 0,675 pulgadas (1,27 cm a 1,7145 55 cm) y un diámetro de aproximadamente 13 a aproximadamente 16 micras. En algunos otros modos de realización, las fibras de vidrio de clase E se utilizan presentando un punto de reblandecimiento de más de aproximadamente 800 °C y una de dichos tipos de fibras son las fibras de vidrio Advantex® (disponible de Owens Corning) presentando un punto de reblandecimiento de más de aproximadamente 900 °C. Puede utilizarse lana mineral o fibras de carbono como las que conocen los expertos en la materia en lugar de o combinadas con fibras de vidrio, como las mencionadas anteriormente.

[0081] Fosfatos - En algunos modos de realización de los paneles creados conforme a los principios de la presente exposición y los métodos para preparar dichos paneles, se añade una sal de fosfato u otra fuente de iones de fosfato como los mencionados en la Tabla I de la FIG. 19 a la lechada de yeso utilizado para producir el núcleo de yeso del panel. El uso de dichos fosfatos puede contribuir a proporcionarle al núcleo de yeso un aumento de la resistencia, resistencia a la deformación permanente (p. ej., resistencia al pandeo), y estabilidad dimensional, comparado con el yeso fraguado formado a partir de una mezcla que no contiene fosfato. En algunos de dichos modos de realización, la fuente del fosfato se añade en cantidades para proporcionar estabilidad dimensional, o resistencia a la humedad, al panel y al núcleo del panel mientras que el yeso hemihidrato en el núcleo se hidrata y forma la estructura del núcleo cristalino de yeso dihidrato (por ejemplo durante el tiempo entre la formación de la placa y la sección de horno del proceso de formación). De forma adicional, se señala que en la medida en que el fosfato añadido actúa como retardante, puede añadirse un acelerador apropiado al nivel adecuado para superar cualquier efecto retardante adverso del fosfato. Los fosfatos normalmente se añaden en forma seca y/o en forma líquida, con los ingredientes secos normalmente añadidos a la mezcladora de la lechada del núcleo y los ingredientes líquidos añadidos a la mezcla o en otras etapas o procedimientos.

[0082] Los componentes que contienen fosfato útiles en la presente exposición incluyen componentes solubles en agua y pueden estar en forma de ion, de sal, o un ácido, a saber, ácidos fosfóricos condensados, cada uno de los cuales comprende dos o más unidades de ácido fosfórico; sales o iones de fosfatos condensados, cada uno de los cuales comprende dos o más unidades de fosfato; y sales monobásicas o iones monovalentes de ortofosfatos, como se describe, por ejemplo, en las patentes estadounidenses N.º U.S. 6,342,284; 6,632,550; y 6,815,049. Ejemplos adecuados de estas clases de fosfatos serán evidentes para los expertos en la materia. Por ejemplo, cualquier compuesto adecuado que contenga ortofosfato monobásico puede utilizarse en la práctica de los principios de la presente exposición, incluyendo, pero sin carácter limitativo, fosfato monoamónico, fosfato monosódico, fosfato monopotásico, y combinaciones de los mismos. Una sal de fosfato monobásica preferida es el fosfato monopotásico.

[0083] De manera similar, puede utilizarse cualquier sal de polifosfato soluble en agua adecuada de conformidad con la presente invención. El polifosfato puede ser cíclico o acíclico. Los ejemplos de polifosfatos cíclicos incluyen, por ejemplo, sales de trimetafosfato y sales de tetrametafosfato. La sal de trimetafosfato puede seleccionarse, por ejemplo, de entre trimetafosfato de sodio (al que también se hace referencia en el presente documento como STMP), trimetafosfato de sodio, trimetafosfato de litio, trimetafosfato de amonio, y similares, o combinaciones de los mismos.

[0084] Además, puede utilizarse cualquier sal de polifosfato acíclico soluble en agua adecuada de conformidad con la presente invención. El la sal de polifosfato acíclico tiene al menos dos unidades de fosfato. A modo de ejemplo, las sales de polifosfato acíclico adecuadas de acuerdo con la presente invención incluyen, pero sin carácter limitativo, pirofosfatos, tripolifosfatos, hexametafosfato sódico, presentando de aproximadamente seis a aproximadamente 27 unidades de fosfato que se repiten, hexametafosfato potásico que presenta de aproximadamente seis a aproximadamente 27 unidades de fosfato que se repiten, hexametafosfato de amonio presentando de aproximadamente seis a aproximadamente 27 unidades de fosfato que se repiten, y combinaciones de los mismos. Una sal de polifosfato acíclica preferida conforme a la presente invención está disponible comercialmente como CALGON.RTM de ICL Performance Products LP, St. Louis, Missouri, que es un hexametafosfato sódico que presenta de aproximadamente 6 a aproximadamente 27 unidades de fosfato que se repiten.

[0085] Preferiblemente, el compuesto que contiene fosfato se selecciona del grupo que consiste en trimetafosfato de sodio presentando la fórmula molecular $(\text{NaPO}_3)_3$, hexametafosfato sódico presentando de aproximadamente seis a aproximadamente 27 unidades de fosfato que se repiten y presentando la fórmula molecular $\text{Na}_{n+2}\text{P}_n\text{O}_{3n+1}$ en la que $n=6-27$, pirofosfato tetrapotásico presentando la fórmula molecular $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$, tripolifosfato dipotásico trisódico presentando la fórmula molecular $\text{Na}_3\text{K}_2\text{P}_3\text{O}_{10}$, tripolifosfato sódico presentando la fórmula molecular $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$, pirofosfato tetrasódico presentando la fórmula molecular $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$, trimetafosfato de aluminio presentando la fórmula molecular $\text{Al}(\text{PO}_3)_3$, pirofosfato de ácido de sodio presentando la fórmula molecular $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$, polifosfato de amonio presentando 1000-3000 unidades de fosfato que se repiten y presentando la fórmula molecular $(\text{NH}_4)_{n+2}\text{P}_n\text{O}_{3n+1}$ en la que $n=1000-3000$, o ácido polifosfórico presentando dos o más unidades de ácido fosfórico que se repiten y presentando la fórmula molecular $\text{H}_{n+2}\text{P}_n\text{O}_{3n+1}$ en la que n es dos o más. El trimetafosfato de sodio es el más preferido y está disponible comercialmente de ICL Performance Products LP, St. Louis, Missouri.

[0086] Dispersantes - En otros modos de realización de peso y densidad reducidos, los paneles resistentes al fuego creados conforme a los principios de la presente exposición, y los métodos para preparar tales paneles, pueden incluirse dispersantes como los mencionados en la Tabla I de la FIG. 19 en la lechada del núcleo de yeso. Los dispersantes pueden añadirse en forma seca con otros ingredientes secos y/o en forma líquida con otros ingredientes líquidos en la mezcla de la lechada del núcleo o en otros pasos o procedimientos.

[0087] En algunos modos de realización, tales dispersantes pueden incluir naftalensulfonatos, como ácido polinaftalensulfónico y sus sales (polinaftalensulfonatos) y derivados, que son productos de condensación de

ácidos naftalensulfónicos y formaldehído. Dichos polinaftalensulfonatos deseables incluyen naftalensulfonato de sodio y calcio. El peso molecular medio de los naftalensulfonatos puede variar de aproximadamente 3000 a 27 000, aunque se prefiere que el peso molecular sea de aproximadamente 8000 a 10 000. En una solución acuosa con un porcentaje de sólidos determinado, un dispersante con un peso molecular más alto tiene una mayor viscosidad, y genera una demanda de agua más alta en la formulación que un dispersante con un peso molecular más bajo.

[0088] Algunos naftalensulfonatos útiles incluyen DILOFLO, disponible de GEO Specialty Chemicals, Cleveland, Ohio; DAXAD, disponible de Hampshire Chemical Corp., Lexington, Massachusetts; y LOMAR D, disponible de GEO Specialty Chemicals, Lafayette, Indiana. Los naftalensulfonatos se utilizan preferiblemente como soluciones acuosas en el intervalo de aproximadamente el 35 % a aproximadamente el 55 % en peso de contenido de sólidos, por ejemplo. Se prefiere más utilizar los naftalensulfonatos en forma de una solución acuosa, por ejemplo, en el intervalo de aproximadamente el 40 % a aproximadamente el 45% en peso de contenido de sólidos. De forma alternativa, donde sea apropiado, los naftalensulfonatos pueden utilizarse en forma seca sólida o en polvo, como LOMAR D, por ejemplo.

[0089] De forma alternativa, en otros modos de realización, pueden utilizarse y emplearse dispersantes conocidos para aquellos expertos en la materia útiles para mejorar la fluidez en las lechadas de yeso, como dispersantes de policarboxilato. Un número de dispersantes de policarboxilato, en particular éteres policarboxílicos, son los tipos preferidos de dispersantes. Una clase preferida de dispersantes utilizados en la lechada incluye dos unidades que se repiten y se describe con más detalle en la patente estadounidense U.S. 7,767,019, que se titula "Gypsum Products Utilizing a Two-Repeating Unit System and Process for Making Them". Algunos ejemplos de estos dispersantes son productos de BASF Construction Polymers, GmbH (Trostberg, Alemania) y los suministra BASF Construction Polymers, Inc. (Kennesaw, Georgia) (en lo sucesivo, "BASF") y se les hace referencia en lo sucesivo como los "Dispersantes de Tipo PCE211". Un dispersante particularmente útil de los Dispersantes de Tipo PCE211 se denomina PCE211 (en lo sucesivo, "211"). Otros polímeros de esta serie útiles para la presente exposición incluyen el PCE111. Los dispersantes de Tipo PCE211 se describen con más detalle en U.S. Ser. No. 11/827,722 (Pub. N.º US 2007/0255032A1), presentada el 13 de julio de 2007 y titulada "Polyether-Containing Copolymer" (Copolímero que contiene poliéter).

[0090] El peso molecular de un tipo de estos dispersantes de Tipo PCE211 puede ser de aproximadamente 20 000 a aproximadamente 60 000 Daltons. Se ha descubierto que los dispersantes con un peso molecular bajo provocan un retraso menor del tiempo de fraguado que los dispersantes que presentan un peso molecular de más de 60 000 Daltons. Una longitud de una cadena lateral generalmente más larga, que resulta en un aumento del peso molecular total, aporta una mejor dispensabilidad. No obstante, los ensayos con yeso indican que la eficacia del dispersante se reduce en pesos moleculares de más de 50 Daltons.

[0091] Otra clase de compuestos de policarboxilato que son útiles como dispersantes en esta invención se exponen en la patente estadounidense U.S. 6,777,517, y se le hará referencia en lo sucesivo como "Dispersante de Tipo 2641". Algunos ejemplos de dispersantes de Tipo PCE211 y de Tipo 2641 los fabrica BASF Construction Polymers, GmbH (Trostberg, Alemania) y los comercializa en EE.UU. BASF Construction Polymers, Inc. (Kennesaw, Georgia). Algunos Dispersantes de Tipo 2641 los vende DASF como dispersantes MELFLUX 2641F, MELFLUX 2651F y MELFLUX 2500L.

[0092] Alguna otra familia de dispersantes preferida la vende BASF y se le hace referencia como "Dispersantes de Tipo 1641", El dispersante de Tipo 1641 se describe con más detalle en la patente estadounidense U.S. 5,798,425. Uno de estos Dispersantes de Tipo 1641 se comercializa como dispersante MELFLUX 1641F de BASF. Otros dispersantes que pueden utilizarse incluyen otros éteres de policarboxilato como COATEX Ethacryl M, disponible de Coatex, Inc. de Chester, Carolina del Sur, y lignosulfonatos, o lignina sulfonada. Los lignosulfonatos son polímeros polielectrolitos aniónicos solubles en agua, subproductos de la producción de la pasta de madera utilizando la formación de pasta con sulfito. Un ejemplo de una lignina útil en la práctica de los principios de la presente exposición es la Marasperse C-21, disponible de Reed Lignin Inc., Greenwich, Connecticut.

[0093] Aditivos disipadores térmicos de alta eficiencia ("Aditivos HEHS") - En algunos modos de realización de los paneles formados conforme a los principios de la presente memoria y los métodos para preparar tales paneles, el núcleo del panel puede incluir uno o más aditivos a los que se hace referencia en el presente documento como aditivos disipadores térmicos de alta eficiencia ("aditivos HEHS"). Dichos aditivos tienen una capacidad de disipación térmica que supera la capacidad de disipación térmica de cantidades comparables de yeso dihidratado en el intervalo de temperatura que causa la deshidratación y liberación de vapor de agua del componente de yeso dihidratado del núcleo del panel. Tales aditivos se seleccionan normalmente de entre composiciones, como trihidrato de aluminio u otros hidróxidos de metal, que se descomponen, liberando vapor de agua en intervalos de temperatura iguales o similares como lo hace el yeso dihidratado. Mientras que pueden utilizarse otros aditivos HEHS (o combinaciones de aditivos HEHS) con un aumento de la eficiencia en la disipación térmica en relación con cantidades comparables de yeso dihidratado, los aditivos HEHS preferidos proporcionan una aumento considerable en la eficiencia en la disipación térmica en relación con el yeso dihidrato para compensar cualquier aumento de peso u otras propiedades indeseadas de los

aditivos HEHS cuando se utilizan en un panel de yeso destinados a aplicaciones de resistencia al fuego u otras aplicaciones de alta temperatura.

[0094] Por ejemplo, en modos de realización preferidos, unos o más aditivos HEHS se somete a una reacción endotérmica para absorber el calor cuando se exponen a aumentos de temperatura considerables. En algunos de estos modos de realización, el calor de la descomposición (que puede ser una reacción de deshidratación) por unidad de masa del aditivo(s) HEHS consume al menos aproximadamente 685 julios/gramo; en otros modos de realización al menos aproximadamente 1000 julios/gramo, y en algunos otros modos de realización consume de aproximadamente 11100 a aproximadamente 1400 julios/gramo. En tales modos de realización, el aditivo(s) HEHS puede tener un calor de descomposición por unidad de masa en el intervalo de temperatura relevante que sea significativamente mayor que el del yeso deshidratado en el panel de yeso. Por consiguiente, el aditivo HEHS consume más energía (julios/gramos) durante el calentamiento que la que se consume por la deshidratación del yeso deshidratado.

[0095] En algunos modos de realización, la temperatura de descomposición más baja del aditivo(s) HEHS es de aproximadamente 40 °C o más. En otros modos de realización, las temperaturas de descomposición del aditivo(s) HEHS varían de aproximadamente 40 °C a aproximadamente 1000 °C; en otros modos de realización, de aproximadamente 150 °C a aproximadamente 450 °C; y en otros modos de realización, de aproximadamente 150 °C a aproximadamente 300 °C. En algunos otros modos de realización, el aditivo(s) empieza la descomposición térmica endotérmica a aproximadamente 150 °C y se descomponen sustancialmente, o completamente, a una temperatura de aproximadamente 980 °C, que es la temperatura final tras 1 hora en la curva de temperatura del ASTM-E119 utilizada en los ensayos de exposición al fuego mencionados anteriormente.

[0096] Tal como se ha mencionado anteriormente, un aditivo HEHS preferido comprende trihidrato de aluminio (ATH) que contiene agua cristalizada o unida o complejada de otro modo. El ATH normalmente es muy estable a temperatura ambiente. En temperaturas superiores entre aproximadamente 180 °C y 205 °C, el ATH normalmente se somete a una descomposición endotérmica que libera vapor de agua. El calor de la descomposición para dichos aditivos de ATH es de más de 1000 julios/gramo, y en un modo de realización preferido es de aproximadamente 1170 julios/gramo. Sin quedar obligado por la teoría, se cree que el aditivo ATH se descompone para liberar aproximadamente el 35 % del agua de la cristalización como vapor de agua cuando se calienta a más de 205 °C de la siguiente manera: $AL(OH)_3 \rightarrow Al_2O_3 \cdot 3H_2O$. En modos de realización que utilizan ATH como un aditivo HEHS, puede utilizarse cualquier ATH adecuado. En modos de realización, puede utilizarse ATH de proveedores comerciales, como Akrochem Corp. of Akron, OH. Puede utilizarse cualquier grado de ATH adecuado. Un ejemplo es el ATH de Grado N.º SB-36. El ATH de Grado N.º SB-36 puede tener un tamaño de partícula medio de aproximadamente 25 micras y una zona de superficie de aproximadamente 1 m²/g. En otros modos de realización, pueden utilizarse otros grados de ATH adecuados que presentan cualquier tamaño de partícula medio y zona de superficie adecuados.

[0097] En otros modos de realización, el aditivo(s) HEHS puede comprender hidróxido de magnesio. En estos modos de realización, el aditivo HEHS de hidróxido de magnesio preferiblemente tiene un calor de descomposición de más de aproximadamente 1000 julios/gramos, como aproximadamente 1350 julios/gramo, de 180 °C o más a 205 °C. En tales modos de realización, puede utilizarse cualquier hidróxido de magnesio, como el que está disponible en el mercado de proveedores comerciales, incluidos Akrochem Corp. of Akron, OH.

[0098] La capacidad de disipación térmica aumentada de los aditivos HEHS preferidos puede utilizarse para aumentar las propiedades de aislamiento térmico de los paneles de yeso expuestos en el presente documento en comparación con los paneles creados sin el aditivo HEHS. La cantidad y la composición de aditivos HEHS incorporados en los paneles de yeso expuestos en el presente documento puede variar dependiendo del peso y densidad deseados de los paneles, la pureza del estuco utilizado para formar los paneles, la formulación del núcleo del panel, la presencia de otros aditivos y otras consideraciones similares. Algunos ejemplos de las formulaciones del núcleo preferidas para los paneles de yeso que incorporan los aditivos HEHS preferidos se resumen en la Tabla I de la FIG. 19. El aditivo HEHS puede añadirse en forma seca y/o en forma líquida, con los ingredientes secos normalmente añadidos a la mezcladora de la lechada del núcleo y los ingredientes líquidos añadidos normalmente a la mezcla o en otras etapas o procedimientos.

[0099] En uno de estos modos de realización preferidos, el núcleo del panel incorpora un aditivo HEHS como trihidrato de aluminio en una cantidad de aproximadamente el 2 % a aproximadamente el 5 % en peso del estuco en algunos modos de realización, de aproximadamente el 2 % a aproximadamente el 7 % en peso del estuco en otros modos de realización, y en cantidades hasta aproximadamente el 10 % en peso del estuco en algunos otros modos de realización preferidos. En algunos de tales modos de realización preferidos, la incorporación del aditivo HEHS en la formulación del núcleo permite la reducción del contenido en estuco de la formulación para reducir el peso y la densidad del núcleo del panel. En un ejemplo del uso del aditivo HEHS, el intervalo de aditivo HEHS para retirar el estuco en función del peso es de aproximadamente 1 a aproximadamente 2. En algún otro ejemplo, en otras palabras, de 195 a 244 g/m² (aproximadamente 40-50 lbs/msf) del aditivo HEHS puede incorporarse en la formulación del núcleo y de 390 a 488 g/m² (aproximadamente 80-100 lbs/msf) del estuco puede retirarse de la formulación. Por consiguiente, puede conseguirse una reducción de 195 a 244 g/m²

(aproximadamente 40-50 lbs/msf) en este ejemplo sin un cambio sustancial en las propiedades de aislamiento térmico del panel.

5 **[0100]** La proporción de aditivo HEHS en relación con el estuco retirado de una formulación del núcleo puede variar dependiendo del aditivo HEHS utilizado, sus propiedades de disipación térmica, las propiedades de disipación térmica del estuco específico, la formulación del núcleo de yeso, las propiedades de aislamiento térmico deseadas del panel, las propiedades físicas y la reducción del peso deseada del panel, y cuestiones relacionadas. En algunos modos de realización preferidos que utilizan trihidrato de aluminio, la proporción del aditivo HEHS en relación con el estuco retirado puede ser de 2:1 en algunos modos de realización, en otros modos de realización de aproximadamente 3:1, y en algunos otros modos de realización aproximadamente 4:1.
10 La proporción de aditivo(s) HEHS en relación con el estuco retirado puede ser distinta para distintas aplicaciones y composiciones del aditivo HEHS.

15 **[0101] Retardadores/Aceleradores** - los retardadores del fraguado (hasta aproximadamente 2 lb/MSF (aprox. 9,8 g/m²) en paneles de 1,6 cm (5/8 pulgadas) de espesor) o aceleradores secos (hasta aproximadamente 35 lb/MSF (aprox. 170 g/m²) en paneles de 1,6 cm (5/8 pulgadas) de ancho) pueden añadirse a algunos modos de realización de la lechada del núcleo para modificar la proporción a la que suceden las reacciones de hidratación del estuco. El "CSA" es un ejemplo de un acelerador de fraguado preferido que comprende aproximadamente un 95 % de sulfato de calcio dihidrato molido conjuntamente con aproximadamente un 5 % de azúcar y calentado a 250 °F (121 °C) para caramelizar el azúcar. El CSA está disponible en la central de USG Corporation, Southard, Oklahoma y está fabricado según la patente estadounidense U.S. 3,573,947. El sulfato de potasio es otro ejemplo de un acelerador preferido. El "HRA", que es otro acelerador preferido de ejemplo, es sulfato de calcio dihidrato fresco molido con azúcar en una proporción de aproximadamente 2,3 a 11,3 kg (de aproximadamente 5 a aproximadamente 25 libras) de azúcar por 45,4 kg (100 libras) de sulfato de calcio dihidratado. El HRA se describe de forma adicional en la patente estadounidense U.S. 2,078,199.

25 **[0102]** Otro acelerador, conocido como acelerador de yeso húmedo o "WGA", por sus siglas en inglés, es también un acelerador preferido. En la patente estadounidense U.S. 6,409,825 se da a conocer una descripción de un uso del acelerador de yeso húmedo y un método para la fabricación del mismo. Este acelerador incluye al menos un aditivo seleccionado de entre el grupo consistente en un compuesto fosfónico orgánico, un compuesto que contiene fosfato o mezclas de los mismos. Este acelerador particular exhibe una longevidad considerable y mantiene su efectividad con el tiempo de manera que el acelerador de yeso húmedo puede fabricarse, almacenarse e incluso transportarse largas distancias antes de utilizarse. El acelerador de yeso húmedo puede utilizarse en cantidades que van desde aproximadamente 5 hasta aproximadamente 80 libras por mil pies cuadrados (aprox. 24,3 a 390 g/m²) de un producto de cartón yeso de 1,6 cm (5/8 pulgadas) de espesor.

30 **[0103] Espumas** - La espuma puede introducirse en la lechada del núcleo en cantidades que proporcionen la densidad y el peso reducidos del núcleo mencionados anteriormente. La introducción de espuma en la lechada del núcleo en las formulaciones, procesos y cantidades apropiadas puede producir una red deseada y la distribución de vacíos de aire, y paredes entre los vacíos de aire, dentro del núcleo de los paneles secados finales. En algunos modos de realización, el tamaño de los vacíos de aire, las distribuciones y/o el espesor de las paredes entre los vacíos de aire proporcionados por la composición de la espuma y el sistema de introducción de espuma se ajustan a las analizadas a continuación, además de a aquellas que proporcionan una resistencia, densidades comparables, y propiedades relacionadas a los paneles. Esta estructura de vacíos de aire permite la reducción del yeso y otros constituyentes del núcleo y de la densidad y el peso del núcleo, mientras mantienen sustancialmente (o en algunos casos mejoran) las propiedades de resistencia del panel, como la resistencia a la compresión del núcleo, y la rigidez del panel, la resistencia a la flexión, la resistencia a la extracción de clavos, entre otras.

45 **[0104]** En algunos modos de realización, a un espesor nominal del panel de 1,6 cm (aproximadamente 5/8 pulgadas), un panel de yeso creado conforme a los principios de la presente invención, y los métodos para fabricarlo, proporciona un panel que tiene resistencia a la extracción de clavos, determinada de acuerdo con el estándar ASTM C473-09, de al menos 31,8 kg (aproximadamente 70 lb). En otros modos de realización, el panel puede tener una resistencia a la extracción de clavos, determinada conforme al estándar ASTM C473-09, de al menos 38,6 kg (aproximadamente 85 lb).
50

[0105] En algunos de estos modos de realización, el diámetro esférico medio equivalente de los vacíos de aire puede ser de al menos aproximadamente 75 µm, y en otros modos de realización al menos aproximadamente 100 µm. En otros modos de realización, el diámetro esférico medio equivalente de los vacíos de aire puede ser de aproximadamente 75 µm a aproximadamente 400 µm. En algunos otros modos de realización, el diámetro esférico medio equivalente de los vacíos de aire puede ser de aproximadamente 100 µm a aproximadamente 350 µm con una desviación estándar de aproximadamente 100 a aproximadamente 225. En otros modos de realización, el diámetro esférico medio equivalente de los vacíos de aire puede ser de aproximadamente 125 µm a aproximadamente 325 µm con una desviación estándar de aproximadamente 100 a aproximadamente 200.
55

[0106] En algunos modos de realización, de aproximadamente el 15 % a aproximadamente el 70 % de los vacíos de aire tienen un diámetro esférico medio equivalente de aproximadamente 150 µm o menos. En otros
60

modos de realización, de aproximadamente el 45 % a aproximadamente el 95 % de los vacíos de aire tienen un diámetro esférico equivalente de aproximadamente 300 μm o menos, y de aproximadamente el 5 % a aproximadamente el 55 % de los vacíos de aire tienen un diámetro esférico equivalente de aproximadamente 300 μm o más. En otros modos de realización, de aproximadamente el 45 % a aproximadamente el 95 % de los vacíos de aire tienen un diámetro esférico equivalente de aproximadamente 300 μm o menos, y de aproximadamente el 5 % a aproximadamente el 55 % de los vacíos de aire tienen un diámetro esférico equivalente de aproximadamente 300 μm a aproximadamente 600 μm . En el análisis de los tamaños medios de los vacíos de aire del presente documento, los vacíos del núcleo de yeso que son de aproximadamente 5 μm o menos no se tienen en cuenta cuando se calcula el número de vacíos de aire o el tamaño medio de los vacíos de aire.

[0107] En esos y otros modos de realización, el espesor, distribución y disposición de las paredes entre los vacíos en tales modos de realización, por sí solos y/o en conjunto con una disposición y distribución de tamaños de vacíos de aire deseada, también permite una reducción de la densidad del núcleo del panel y su peso, mientras sustancialmente mantiene (o en algunos casos mejora) las propiedades de resistencia del panel. En algunos de estos modos de realización, el espesor medio de las paredes que separan los vacíos de aire puede ser de al menos aproximadamente 25 μm . En algunos modos de realización, las paredes que definen y separan los vacíos de aire dentro del núcleo de yeso pueden tener un espesor medio de aproximadamente 25 μm a aproximadamente 200 μm , de aproximadamente 25 μm a aproximadamente 75 μm en otros modos de realización, y de aproximadamente 25 μm a aproximadamente 50 μm en algunos otros modos de realización. En algunos otros modos de realización, las paredes que definen y separan los vacíos de aire dentro del núcleo de yeso pueden tener un espesor medio de aproximadamente 25 μm a aproximadamente 75 μm con una desviación estándar de aproximadamente 5 a aproximadamente 40. En algunos otros modos de realización, las paredes que definen y separan los vacíos de aire dentro del núcleo de yeso pueden tener un espesor medio de aproximadamente 25 μm a aproximadamente 50 μm con una desviación estándar de aproximadamente 10 a aproximadamente 25.

[0108] Sin quedar obligado por la teoría, se cree que los modos de realización con las distribuciones y disposiciones de los vacíos de aire analizadas anteriormente, y las distribuciones y espesores de pared, ayudan a mejorar las propiedades de resistencia a altas temperaturas del panel cuando se utilizan con la vermiculita de alta expansión expuesta en el presente documento. Se cree que el vacío de la espuma y el espesor de las paredes ayudan a reducir o evitar considerablemente la creación de defectos sustanciales en la estructura del núcleo de yeso cuando la vermiculita de alta expansión se expande en condiciones de altas temperaturas.

[0109] Ejemplos del uso de agentes espumantes para producir estructuras de pared y de vacío deseadas incluyen las analizadas en la patente estadounidense U.S. 5,643,510. En algunos modos de realización, puede utilizarse una combinación de un primer agente espumante más estable y un segundo agente espumante menos estable en la mezcla de la lechada del núcleo. En otros modos de realización, se utiliza solo un tipo de agente espumante, siempre que se satisfagan las necesidades de resistencia del panel y la densidad deseada. Los enfoques para añadir espuma a la lechada del núcleo se conocen en la técnica y algunos ejemplos de este enfoque se analizan en las patentes estadounidenses U.S. 5,643,510 y 5,683,635.

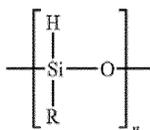
[0110] Hojas de cubierta - En algunos modos de realización de un panel creado conforme a los principios de la presente exposición, la primera hoja de cubierta comprende papel de manila de baja porosidad sobre el que se dispensa la lechada de yeso (la cual normalmente está en la cara expuesta del panel cuando se utiliza en una aplicación de construcción). Puede utilizarse papel *newsline* como la segunda hoja de cubierta situada en la lechada del núcleo de yeso durante el proceso de formación (que normalmente es el dorso oculto de los paneles cuando se utilizan en aplicaciones de construcción). En otras aplicaciones, pueden utilizarse esteras de fibra de vidrio no tejida, materiales de hojas de otros materiales fibrosos o no fibrosos, o combinaciones de papel y otros materiales fibrosos como una o ambas hojas de cubierta. Como apreciará un experto en la materia, en otros modos de realización, pueden utilizarse otras hojas de cubierta que sean adecuadas para los fines previstos del panel.

[0111] En modos de realización que utilizan papel u hojas de cubierta similares, la primera hoja de cubierta puede tener una densidad y un gramaje básico más alto que la segunda hoja de cubierta. Por ejemplo, en algunos modos de realización, la primera hoja de cubierta puede tener un gramaje básico de 269 a 317 g/m^2 (de aproximadamente 55 a aproximadamente 65 lb/msf) y la segunda hoja de cubierta puede tener un gramaje básico de 171 a 220 g/m^2 (aproximadamente 35 a aproximadamente 45 lb/msf). En algunos otros modos de realización, pueden utilizarse, por ejemplo, distintos tipos de láminas de cubierta de papel, presentando distintos pesos, y comprendiendo distintos materiales. De manera similar, en algunos modos de realización, las hojas de cubierta pueden incorporar y pueden haber añadido a sus superficies expuestas revestimientos de materiales que proporcionen superficies adecuadas para aplicaciones de construcción específicas como revestimiento exterior, material de tejado, bases para baldosas, etc.

[0112] Siloxanos - En algunos modos de realización, la resistencia al agua de los paneles de yeso formados conforme a los principios de la presente exposición puede mejorarse añadiendo un siloxano polimerizable a la lechada utilizada para fabricar los paneles. Preferiblemente, el siloxano se añade en forma de emulsión. A

continuación, se le da forma a la lechada y se seca en condiciones que favorecen la polimerización del siloxano para formar una resina de silicona altamente reticulada. A la lechada de yeso se le puede añadir un catalizador que favorece la polimerización del siloxano para formar una resina de silicona altamente reticulada.

- 5 **[0113]** Preferiblemente, el siloxano es generalmente un siloxano fluido lineal modificado con hidrógeno, pero también puede ser un siloxano cíclico modificado con hidrógeno. Dichos siloxanos son capaces de formar resinas de silicona altamente reticuladas. Los expertos en la materia conocen bien dichos fluidos y estos están comercialmente disponibles y se describen en la literatura de patentes. Normalmente, los siloxanos lineales modificados con hidrógeno útiles en la práctica de la presente exposición comprenden aquellos que tienen una unidad de repetición de la fórmula general:



10

donde R representa un radical hidrocarbonado monovalente saturado o insaturado. En modos de realización preferidos, R representa un grupo alquilo y más preferiblemente R es un grupo metilo. Durante la polimerización, los grupos terminales pueden eliminarse mediante condensación y los grupos siloxano se unen para formar la resina de silicona. También puede producirse la reticulación de las cadenas. La resina de silicona resultante imparte resistencia al agua a la matriz de yeso a medida que se forma.

15

- 20 **[0114]** Preferiblemente, un fluido de metilhidrógeno siloxano sin disolvente vendido con el nombre de SILRES BS 94 por Wacker-Chemie GmbH (Múnich, Alemania) se utilizará como el siloxano. El fabricante indica que este producto es un fluido de siloxano que no contiene agua ni disolventes. Se contempla que se puede utilizar de aproximadamente 0,3 % hasta aproximadamente el 1,0 % del siloxano BS 94, basado en el peso de los ingredientes en seco. Se prefiere utilizar desde aproximadamente 0,4 % hasta aproximadamente 0,8 % del siloxano en función del peso del estuco seco.

20

- 25 **[0115]** El siloxano puede conformarse en una emulsión o una suspensión estable con agua. Se contemplan varias emulsiones de siloxano para utilizarse en esta lechada. Las emulsiones de siloxano en agua están también disponibles para su compra, pero pueden incluir agentes emulsionantes que tienden a modificar las propiedades de los artículos de yeso, tales como la adherencia del papel en los productos de panel de yeso. Por lo tanto, se prefieren las emulsiones o suspensiones estables preparadas sin el uso de emulsionantes. Preferiblemente, la suspensión se conformará *in situ* mezclando el fluido de siloxano con agua. La suspensión de siloxano se mantiene en una condición estable hasta que se utiliza y se queda bien dispersa en las condiciones de la lechada. La suspensión o emulsión de siloxano se mantiene en una condición bien dispersa en presencia de los aditivos opcionales, tales como aceleradores de fraguado, que pueden estar presentes en la lechada. La suspensión o emulsión de siloxano se mantiene de tal manera que permanece estable a lo largo de las etapas en las que también se forman los paneles de yeso. Preferiblemente, la suspensión permanece estable durante más de 40 minutos. Más preferiblemente, permanece estable durante al menos una hora. En la exposición y reivindicaciones siguientes, el término "emulsión" pretende incluir emulsiones y suspensiones auténticas que son estables al menos hasta que el estuco está fraguado a aproximadamente el 50 %.

30

35

- 40 **[0116]** La polimerización del siloxano avanza lentamente por sí misma, necesitando que los paneles se almacenasen durante un tiempo suficiente para que se desarrolle la resistencia al agua antes del transporte. Se sabe que los catalizadores aceleran la reacción de polimerización, reduciendo o eliminando el tiempo necesario para almacenar los paneles de yeso a medida que se desarrolla la resistencia al agua. El uso de óxido de magnesio calcinado a muerte para la polimerización del siloxano se describe en la patente estadounidense U.S. 7,892,472, titulada "Method of Making Water-Resistant Gypsum-Based Article" (Método de fabricación de un artículo a base de yeso resistente al agua), el óxido de magnesio calcinado a muerte no es soluble en agua e interactúa menos con el resto de componentes de la lechada. Este acelera el curado del siloxano y, en algunos casos, provoca que el siloxano se cure de manera más completa. Está comercialmente disponible con una composición consistente. Una fuente particularmente preferida de óxido de magnesio calcinado a muerte es BAYMAG 96. Tiene una superficie BET de al menos 0,3 m²/g. La pérdida por calcinación es inferior a aproximadamente 0,1 % en peso. El óxido de magnesio se utiliza preferiblemente en cantidades de aproximadamente 0,1 % a aproximadamente 0,5 % en función del peso del estuco seco.

40

45

- 50 **[0117]** Hay al menos tres grados de óxido de magnesio en el mercado, dependiendo de la temperatura de calcinación. El óxido de magnesio "calcinado a muerte" se calcina entre 1500 °C y 2000 °C, eliminando la mayoría, si no toda, la reactividad. MagChem P98-PV (Martin Marietta Magnesia Specialties, Bethesda, Maryland) es un ejemplo de un óxido de magnesio "calcinado a muerte". BayMag 96 (Baymag, Inc. de Calgary, Alberta, Canadá) y MagChem 10 (Martin Marietta Magnesia Specialties, Bethesda, Maryland) son ejemplos de magnesia "calcinada dura". El óxido de magnesio "calcinado duro" se calcina a temperaturas desde 1000 °C hasta aproximadamente 1500 °C. Presenta un rango reducido de reactividad, una densidad alta y se utiliza normalmente en aplicaciones en las que se requiere reactividad química o degradación lenta, tal como en los piensos para animales y los fertilizantes. El tercer grado es la magnesia "calcinada suave" o "cáustica", producida

55

al calcinarla a temperaturas de aproximadamente 700 °C a aproximadamente 1000 °C. Este tipo de magnesia se utiliza en un amplio rango de aplicaciones, incluyendo el procesamiento de plásticos, basura, papel y pulpa, aditivos para calderas de acero, adhesivos y neutralización ácida. Algunos ejemplos de magnesia calcinada suave incluyen BayMag 30, BayMag 40 y BayMag 30 (malla -325) (BayMag, Inc. de Calgary, Alberta, Canadá).

5 **[0118]** Como se menciona en la Patente estadounidense U.S. 7,803,226, los catalizadores preferidos están hechos de una mezcla de óxido de magnesio y ceniza volante de clase C. Cuando se combinan de esta manera, cualquiera de los grados de óxido de magnesio es útil. Sin embargo, se prefieren los óxidos de magnesio calcinados a muerte y calcinados duros debido a su reactividad reducida. La reactividad relativamente alta de los
10 óxidos de magnesio puede provocar reacciones de agrietamiento que pueden producir hidrógeno. A medida que se genera el hidrógeno, el producto se dilata, provocando grietas donde el estuco ha fraguado. La expansión también provoca la ruptura de los moldes en los que se vierte el estuco, dando lugar a una pérdida de detalle y deformación del producto en una o más dimensiones. Preferiblemente, BayMag 96, MagChem P98-PV y MagChem 10 son las fuentes preferidas de óxido de magnesio. Preferiblemente, el óxido de magnesio y la ceniza volante se añaden al estuco antes de su adición al agua de amasado. Los componentes secos tales como
15 estos se añaden a menudo al estuco a medida que se mueve a lo largo de un transportador hasta la mezcladora.

[0119] Una ceniza volante preferida es una ceniza volante de clase C. La ceniza volante hidráulica de clase C, o su equivalente, es el componente de ceniza volante más preferido. En la Tabla I de la Patente estadounidense U.S. 7,803,226, se muestra una composición típica de una ceniza volante de clase C. Ceniza volante de un alto contenido en cal, superior a aproximadamente 20 % de cal en peso, que se obtiene a partir del procesamiento de
20 ciertos carbones. La designación ASTM C-618, describe las características de la ceniza volante de clase C. Una ceniza volante de clase C preferida la suministra Bayou Ash Inc., Big Cajun, II, Louisiana. Preferiblemente, la ceniza volante se utiliza en cantidades de aproximadamente 0,1% a aproximadamente 5% en función del peso del estuco seco. Más preferiblemente, la ceniza volante se utiliza en cantidades de aproximadamente 0,2 % a aproximadamente 1,5 % en función del peso del estuco seco.

25 **[0120]** La catálisis de los resultados del siloxano da lugar a una polimerización y una reticulación más rápida y completa de siloxano para conformar la resina de silicona. La hidratación del estuco forma una matriz entrelazada de cristales de sulfato de calcio dihidratado. Mientras se está formando la matriz de yeso, las moléculas de siloxano están formando también una matriz de resina de silicona. Puesto que estas se forman simultáneamente, al menos en parte, las dos matrices se entrelazan entre sí. El exceso de agua y los aditivos de
30 la lechada, incluyendo la ceniza volante, el óxido de magnesio y los aditivos descritos a continuación, que se dispersaron por toda la lechada, se dispersan por las matrices en los espacios intersticiales para conseguir la resistencia al agua a lo largo del núcleo del panel. En algunos modos de realización, cantidades adecuadas de almidón pregelatinizado o almidón funcionalmente equivalente, pueden trabajar en conjunto con el siloxano para retrasar la entrada de agua por los bordes más vulnerables del panel.

35 **[0121]** En algunos modos de realización, los modos de realización de la formulación de la lechada del núcleo para su utilización en la preparación de paneles creados conforme a los principios de la presente exposición pueden comprender una combinación de almidón pregelatinizado (o almidón funcionalmente equivalente) en una cantidad de más de un 2 % en peso en función del peso del estuco y siloxano en una cantidad de al menos
40 aproximadamente 0,4 % y preferiblemente al menos aproximadamente 0,7 % en peso en función del peso del estuco, que puede producir paneles de yeso con una absorción de agua de menos del 5 %. Esta propiedad de resistencia al agua puede ser particularmente útil ya que un panel con una densidad reducida presenta vacíos de agua y/o aire en mucho más de su volumen total que un panel convencional. Se esperaría que este aumento del volumen vacío hiciera los paneles ligeros mucho más absorbentes de agua. Aunque no se desea estar vinculado a la teoría, se cree que la resistencia al agua se desarrolla cuando el siloxano se cura dentro de los paneles
45 formados y que el al menos aproximadamente 2,0 % en peso de almidón pregelatinizado trabaja junto con el siloxano para frenar la entrada de agua a través de los microporos de los bordes de los paneles primero bloqueando la entrada de agua y luego, después de que el almidón absorba agua, formando una combinación altamente viscosa de almidón y agua. En otros modos de realización, un almidón pregelatinizado o un almidón que es funcionalmente equivalente a un almidón pregelatinizado puede utilizarse en conjunto con el siloxano.

50 **[0122]** Con referencia ahora a las figuras 7 y 8, se muestra un ejemplo de modo de realización de un ensamblaje 100 que incluye paneles de yeso 102 formados conforme a los principios de la presente exposición. Los paneles de yeso 102 se aplican a ambas superficies opuestas 104, 105 del ensamblaje 100. El ensamblaje 100 es representativo de un ensamblaje construido según las especificaciones UL U305, U419, y U423 de Underwriters Laboratories y otros procedimientos de ensayo de exposición al fuego que sean equivalentes a
55 cualquiera de esos procedimientos de ensayo de exposición al fuego. Debería entenderse que las referencias del presente documento a un procedimiento de ensayo de exposición al fuego en particular de Underwriters Laboratories, como el UL U305, U419, y U423, por ejemplo, también incluye un procedimiento de ensayo de exposición al fuego, como uno promulgado por cualquier otra entidad, que sea equivalente al estándar UL particular en cuestión.

60 **[0123]** El ensamblaje 100 incluye montantes de madera 110 que tienen nominalmente 2" (5,08 cm) de espesor por 4" (10,16 cm) de ancho y espaciados entre sí 16 pulgadas (40,64 cm) desde el centro. El ensamblaje también

incluye un par de placas de soleras 112 y una placa superior 114 hechas de madera de 2 pulgadas (5,08 cm) por 4 (10,16 cm) pulgadas nominales. En algunos modos de realización, los montantes de madera 110 y las placas 112, 114 pueden ser montantes de madera secados en horno de grado número 2. El ensamblaje 100 es efectivamente un cortafuegos con un conjunto de bloques 116 apropiados dispuestos entre los montantes 110. Debe entenderse que, aunque el ensamblaje 100 de ejemplo incluye montantes de madera 110, el ensamblaje puede incluir montantes de metal y parámetros de carga para conformar el ajuste a la especificación particular conforme a la que se fabrica.

[0124] Los paneles de yeso 102 del ensamblaje 100 son de 5/8 pulgadas (aprox. 1,6 cm) de grosor e incluyen láminas de cubierta de papel con bordes ahusados y extremos cuadrados. Los paneles de yeso 102 se aplican de manera horizontal a los montantes 110 con uniones horizontales 122 entre paneles de yeso 102 adyacentes alineados en las superficies opuestas 104, 105 del ensamblaje 100.

[0125] En otros modos de realización, los paneles de yeso 102 pueden aplicarse de manera vertical a los montantes 110. Las uniones horizontales de los paneles aplicados verticalmente no necesitan apoyarse en los montantes 110.

[0126] Las uniones horizontales 122 entre paneles de yeso 102 adyacentes están cubiertas con cinta de papel 130 y compuesto de unión 132. El compuesto de unión y la cinta de papel pueden omitirse cuando se utilicen placas con bordes cuadrados. En otros modos de realización, un enlucido de revestimiento de yeso de 0,24 cm nominales (3/32 pulgadas) de grosor puede aplicarse a toda la superficie de los paneles de yeso como un zócalo de revestimiento con las uniones reforzadas con cinta de papel.

[0127] Los paneles de yeso 102 pueden asegurarse a los montantes 110 utilizando unas especificaciones de claveteo o atornillado apropiadas. Por ejemplo, los paneles de yeso pueden estar unidos a los montantes de madera con clavos de 6d revestidos con cemento (4,8 cm (1-7/8 pulgadas) de largo, 0,23 cm (0,0915 pulgadas) de diámetro de rosca, y 0,6 cm (15/64 pulgadas) de diámetro de cabeza) clavados a 17,8 cm (7 pulgadas) del centro. Las cabezas de los clavos se cubren con compuesto de unión 134 (véase la FIG. 8). En otros modos de realización, las cabezas de los clavos pueden dejarse expuestas. En otros modos de realización, las especificaciones de claveteo pueden ser distintas y pueden utilizarse tornillos con unas especificaciones de atornillado apropiadas.

[0128] En el modo de realización ilustrado, el espacio entre montantes 110 adyacentes se deja vacío. En otros modos de realización, los soportes de aislamiento de lana mineral o de fibra de vidrio pueden situarse para llenar por completo o parcialmente las cavidades de los montantes. En algunos otros modos de realización, como alternativa a los soportes de aislamiento, puede utilizarse material de aislamiento de celulosa aplicado con spray. El material de aislamiento en spray puede aplicarse con agua para rellenar la cavidad del montante incluido de conformidad con los procedimientos de aplicación determinados para el producto utilizado.

[0129] Los paneles de yeso 102 creados conforme a la presente exposición son efectivos para inhibir la transmisión de calor a través de los paneles del ensamblaje 100 preparados de conformidad con los procedimientos UL U305 en los que la primera superficie 104 se expone a una fuente de calor y la superficie opuesta 105 se deja sin calentar. El ensamblaje 100 se somete a fuerzas de carga de acuerdo con el UL U305 mientras es sometido al calor. La fuente de calor sigue una curva de temperatura de conformidad con el estándar ASTM E119-09a. Con referencia a la FIG. 8, la superficie sin calentar 105 incluye sensores de temperatura 138 aplicados al mismo. Los sensores 138 se disponen en un patrón de acuerdo con los procedimientos UL U305. Los paneles de yeso 102 son efectivos para inhibir la transmisión del calor de tal forma desde la superficie calentada 104 hasta la superficie sin calentar 105 que la temperatura única máxima de los sensores 138 de la superficie sin calentar 105 es de menos de 213 °C (aproximadamente 415 °F) y la temperatura media de los sensores 138 de la superficie sin calentar 105 es de menos de 171 °C (aproximadamente 340 °F) aproximadamente a los 50 minutos de tiempo transcurrido cuando se mide según el UL U302. Los paneles de yeso 102 son efectivos para inhibir tal transmisión de calor desde la superficie calentada 104 hasta la superficie sin calentar 105 para poder clasificarse como con una resistencia al fuego de una hora para el ensamblaje 100.

[0130] Los paneles de yeso 102 creados conforme a la presente exposición son efectivos para soportar el ensayo de exposición al chorro de manguera que también se lleva a cabo como parte de los procedimientos de ensayo UL U305. Conforme al UL U305, un ensamblaje fabricado de forma similar al de la FIG. 7 se somete a los ensayos de resistencia al fuego conforme al U305 durante 30 minutos, momento en que se retira del entorno de calentamiento y se mueve a otra ubicación para el ensayo de exposición al chorro de manguera conforme al U305. El ensamblaje se somete a un chorro de agua de una manguera contraincendios equipada para soltar el agua a una presión de 2,1 bares (aproximadamente 30 psi) durante un periodo de sesenta segundos.

[0131] Por extensión, los paneles de yeso creados conforme a los principios de la presente exposición pueden utilizarse en ensamblajes que son efectivos para inhibir la transmisión de calor a su través para alcanzar la calificación de resistencia al fuego de una hora y así poder clasificarse como una placa de Tipo X conforme al ASTM 1396/C 1396M-06. En otros modos de realización, pueden fabricarse ensamblajes utilizando paneles de yeso creados conforme a los principios de la presente exposición que se ajustan a la especificación de otros ensamblajes de UL, como por ejemplo, el UL U419 y U423. En algunos otros modos de realización, los paneles

de yeso creados conforme a los principios de la presente exposición pueden utilizarse en otros ensamblajes que son sustancialmente equivalentes a al menos uno de entre U305, U419 y U423. Tales ensamblajes pueden aprobar la clasificación de resistencia al fuego de una hora y los ensayos de la manguera contraincendios correspondientes para el U305, U419, U423 y otros procedimientos de ensayo de exposición al fuego equivalentes.

EJEMPLOS

[0132] Los siguientes ejemplos ilustran aún más los aspectos de la presente invención pero, obviamente, no debería interpretarse que limitan, de ninguna manera, su alcance.

Ejemplo 1

[0133] Las características de la vermiculita de expansión relativamente baja utilizada normalmente en paneles de yeso resistentes al fuego, como vermiculita de Grado N.º 5, en relación con la vermiculita de alta expansión utilizada en los paneles y los métodos para seguir los principios de la presente exposición se evaluaron en condiciones de calentamiento sustancialmente idénticas. En este estudio, se pusieron muestras de 50 gramos de vermiculita de Grado 5 (relativamente baja expansión) de ejemplo y vermiculita de alta expansión (en este caso, vermiculita de Grado 4) de ejemplo en tres crisoles y se calentaron en un horno durante una hora a temperaturas constantes de aproximadamente 212 °F (100 °C), aproximadamente 390 °F (200 °C), aproximadamente 750 °F (400 °C), aproximadamente 1110 °F (600 °C) y aproximadamente 1470 °F (800 °C). Después de calentarlos durante una hora, las muestras se pesaron y se midieron sus respectivas densidades. Las comparaciones del peso y la densidad medias resultantes para cada muestra se enumeran en las Tablas II y III, en las FIGS. 20 y 21, respectivamente.

[0134] La densidad aparente de las vermiculitas sin dilatar de Grado N.º 5 y de alta expansión sin dilatar del presente estudio era prácticamente la misma: 1059 vs. 1072 kg/m³ (66,1 vs. 66,9 lb/ft³). El volumen de la vermiculita no mostró cambios apreciables a menos de aproximadamente 390 °F (200 °C), pero comenzó a expandirse aproximadamente sobre 390 °F (200 °C) y la densidad aparente disminuyó con el aumento de temperatura. La vermiculita de alta expansión se expandió considerablemente más que la vermiculita de Grado N.º 5 de expansión relativamente baja a las mismas temperaturas, produciendo diferencias correspondientes en las densidades aparentes. También debería señalarse que mientras se calentaba la vermiculita N.º 5 desde la temperatura ambiente hasta aproximadamente 1470 °F (800 °C), que se aproxima a las temperaturas experimentadas en condiciones de incendio y en los ensayos de exposición al fuego, produjo una expansión de volumen de aproximadamente un 290 % en relación con el volumen original sin calentar. El calentamiento de la vermiculita de alta expansión desde la temperatura ambiente hasta 1470 °F (800 °C) produjo una expansión de volumen significativamente mayor, de aproximadamente un 390 % en relación con el volumen original sin calentar.

[0135] Este estudio confirmó, entre otras observaciones, que para una densidad y peso determinados de una vermiculita, la cantidad de volumen de la expansión adicional producida por la vermiculita de alta expansión superó con creces el de la vermiculita utilizada en placas resistentes al fuego convencionales. Estos resultados también confirmaron que un experto en la materia no consideraría obvio utilizar tales vermiculitas de alta expansión en cualquier cantidad significativa en paneles de yeso con los pesos y densidades reducidas formados conforme a los principios de la presente exposición. Se esperaría que las propiedades de expansión de dicha vermiculita de alta expansión dañaran gravemente y redujeran la integridad estructural y estabilidad de tales paneles de yeso cuando se exponen a condiciones de altas temperaturas como las que se experimentan en condiciones de incendios y en condiciones de ensayos de resistencia al fuego.

Ejemplo 2

[0136] Como se ha mencionado anteriormente, los paneles de yeso resistentes al fuego con una densidad y un peso reducidos y con láminas de cubierta de papel se fabricaron conforme a los principios de la presente exposición y se sometieron a un análisis exploratorio por micro tomografía computarizada (TC) por rayos X. Los paneles eran especímenes de la Serie de Muestras 2, y de una de las Series de Muestras 3, 4 o 5, analizadas a continuación en el Ejemplo 4. Cada uno de los especímenes de las Series de Muestras 2, 3, 4 y 5 se fabricaron con 6,2 kg/m² (aproximadamente 1280 lb/msf) de estuco; de 366 a 488 g/m² (aproximadamente 75-100 lb/msf) de vermiculita de Grado 4; 98 g/m² (aproximadamente 20 lb/msf) de almidón pregelatinizado; 156 g/m² (aproximadamente 32 lb/msf) de acelerador HRA, 37 g/m² (aproximadamente 7,5 lb/msf) de fibra de vidrio, 9,7 g/m² (aproximadamente 2 lb/msf) de dispersante; 7,3 g/m² (aproximadamente 1,5 lb/msf) de fosfatos, y espuma en una composición y cantidad suficiente para dotar al panel de los pesos y densidades deseados. La primera hoja de cubierta del panel era papel de manila grueso de 298 g/m² (aproximadamente 61 lb/msf), y la segunda hoja de cubierta era papel *newsline* de 200 g/m² (aproximadamente 41 lb/msf). La placa terminada tenía un espesor de 1,6 cm (aproximadamente 5/8 pulgadas). Se fabricaron muestras de los paneles terminados en distintas fechas con un peso nominal de 9,1 kg/m² (aproximadamente 1860 lb/msf) (Series de Muestras 3, 4 y 5) y 9,2 kg/m² (aproximadamente 1880 lb/msf) (Serie de Muestras 2). Las densidades de los núcleos son de 593 kg/m³ (aproximadamente 37 pcf) y 585 kg/m³ (36,5 pcf), respectivamente.

[0137] Los especímenes del núcleo de cada una de las dos series de muestras se analizaron utilizando una técnica de escáner micro CT por rayos X de haz cónico con una resolución de micras, tal como se expone en general en Lin, Videla, Yu and Miller, "Characterization and Analysis of Porous, Brittle Solid Structures by X-Ray Micro CT", JOM, Vol. 62, No. 12, pp. 91-94 (Mineral, Metals and Materials Society, 12/2010) ("el artículo sobre micro CT por rayos X de Lin"). Los datos de los escáneres se analizaron y se utilizaron para producir las imágenes mostradas en las FIGS. 1-6. Las FIG. 1 y 4 son porciones bidimensionales de especímenes del núcleo de las muestras de 9,2 kg/m² (1880 lb/msf) y de 9,1 kg/m² (1860 lb/msf), respectivamente. Las FIG. 2 y 5 son imágenes tridimensionales de los mismos especímenes, respectivamente, consistiendo en 1020x1024x1626 vóxeles, en los que el tamaño de cada vóxel es de 5,07 x 5,07 x 5,07 μm. Las FIG. 3 y 6 presentan imágenes renderizadas en volumen tridimensional de las muestras de 9,2 kg/m² (1880 lb/msf) y 9,1 kg/m² (1860 lb/msf), respectivamente, mostrando la distribución de los vacíos y la vermiculita de alta expansión (y otras partículas).

[0138] La muestra de paneles de yeso resistentes al fuego de 1,6 cm (5/8 pulgadas) de espesor creados conforme a los principios de la presente exposición mostrados en las FIGS. 1-6 incluyen un núcleo de yeso fraguado que comprende una matriz de cristales de yeso que presentan paredes que definen vacíos de aire dentro del núcleo de yeso. La distribución de los tamaños de los vacíos de aire tridimensionales se determinó utilizando una microtomografía por rayos X de alta resolución (HRXMT, por sus siglas en inglés) basada en un algoritmo de *watershed* de 3D analizado en el artículo sobre micro CT por rayos X de Lin (véase también, A. Videla, C.L. Lin, and J.D. Miller, Part. Syst. Charact., 23 (2006), pp. 237-245). El análisis de la imagen de la HRXMT tridimensional con una resolución de vóxeles de 5,07 μm se utilizó con el algoritmo de *watershed* de 3D para calcular un diámetro esférico equivalente para los vacíos de aire calculados. La Tabla IV de la FIG. 22 presenta los resultados para la distribución tridimensional medida de los tamaños de vacíos de aire, por número y por volumen, para los Especímenes 1 y 2 de las Series de Muestras 2 y 3, respectivamente, y dos especímenes adicionales de paneles de yeso creados conforme a los principios de la presente exposición utilizando los mismos procedimientos analíticos.

[0139] Con referencia a la FIG. 22, en distintos modos de realización, los paneles de yeso creados conforme a los principios de la presente exposición pueden incluir una variedad de distintos tamaños de vacíos de aire, distribuciones de tamaño, y disposiciones dentro de la matriz de cristales de yeso del núcleo de yeso fraguado. Por ejemplo, los vacíos de aire totales por tamaño de muestra determinado pueden variar de menos de aproximadamente mil a aproximadamente 7000, y la el diámetro esférico equivalente medio de los vacíos de aire puede variar de entre aproximadamente 100 μm a aproximadamente 350 μm con una desviación estándar de aproximadamente 100 a 255. Tal como se ha mencionado anteriormente, tales disposiciones y estructuras de vacíos de aire permiten la reducción de la densidad y el peso del núcleo, al mismo tiempo que mantienen propiedades estructurales del panel y de resistencia deseadas.

[0140] La distribución del espesor de la pared del núcleo de yeso de los especímenes mostrados en las FIGS. 1-6 se determinó utilizando una HRXMT basada en las operaciones de esqueletización, dilación y erosión expuestas en el artículo sobre micro CT por rayos X de Lin (véase también, W.B. Lindquist et al., J. Geophys. Res., 101B (1996), pp. 8297-8310). El análisis de la imagen HRXMT tridimensional utilizó el procedimiento de esqueletización tridimensional para calcular un espesor de las paredes del panel de yeso entre los vacíos de aire. El espesor de las paredes entre vacíos de aire adyacentes se obtuvo mediante una operación de eje medio y es igual al diámetro de una esfera equivalente que toca ambos lados de la pared. La Tabla V de la FIG. 23 presenta los resultados para el espesor medido de las paredes para los Especímenes 1 y 2 de las Series de Muestras 2 y 3, respectivamente, y dos especímenes adicionales de paneles de yeso formados según los principios de la presente exposición utilizando el mismo procedimiento analítico.

[0141] Con referencia a la FIG. 23, en distintos modos de realización, los paneles de yeso creados conforme a los principios de la presente exposición pueden incluir una variedad de diferentes configuraciones de la pared dentro de la matriz de cristales de yeso del núcleo del yeso fraguado. Por ejemplo, el número total de paredes por tamaño de muestra determinado puede variar de entre aproximadamente 20 millones y aproximadamente 35 millones en algunos modos de realización, y el espesor de pared medio dentro del núcleo de yeso puede ser al menos aproximadamente 25 μm. En los especímenes, las paredes que definen y separan los vacíos de aire dentro del núcleo de yeso pueden tener un espesor medio de aproximadamente 25 μm a aproximadamente 50 μm con una desviación estándar de aproximadamente 10 a aproximadamente 25. Tal como se ha mencionado anteriormente, tales estructuras de pared y su disposición permiten la reducción de la densidad y el peso del núcleo, al mismo tiempo que mantienen propiedades estructurales del panel y de resistencia deseadas. En algunos modos de realización, un núcleo de yeso de un panel puede emplear los beneficios combinados de la disposición y distribución de tamaños de vacíos de aire mencionada anteriormente, y la disposición y distribución del espesor de la pared para obtener una densidad sustancial y una reducción del peso, al mismo tiempo que proporcionan una resistencia aceptable y propiedades relacionadas.

[0142] Tal como se indica en las FIGS. 1 y 2, y 4 y 5, las partículas de vermiculita de alta expansión se muestran en su forma sin dilatar como partículas blancas o grises distribuidas generalmente a lo largo del material del núcleo. Muchas de las partículas de vermiculita están situadas cerca o adyacentes a las estructuras de los vacíos en el espécimen de núcleo, además de intercaladas a lo largo de los elementos estructurales de los

núcleos de los paneles. En las FIGS. 3 y 6, las partículas de vermiculita se muestran como partículas grandes coloreadas en varias orientaciones suspendidas en la estructura del núcleo, dispersas de nuevo a lo largo de la matriz cristalina del núcleo, a menudo cerca de o adyacentes a los vacíos del núcleo. Las FIG. 1-6 también reflejan las variaciones en las distribuciones y tamaños de partículas de vermiculita que pueden suceder en la estructura del núcleo de los paneles de yeso creados conforme a los principios de la presente exposición.

[0143] Tal como se menciona en el presente documento, las FIGS. 1-6 son una muestra del relativamente alto contenido de vacíos, la compleja distribución de los vacíos, y la densidad reducida típica del núcleo de yeso de los paneles creados conforme a los principios de la presente exposición. Esta estructura se complica aún más por la variación en las estructuras cristalinas de las paredes de los vacíos y en la estructura del núcleo intermedia entre vacíos. Esta estructura cristalina puede incluir cristallitos similares a agujas, cristallitos similares a placas, y/o combinaciones de las mismas, y otros elementos amorfos y cristalinos. Tales modos de realización de los paneles creados conforme a los principios de la presente exposición dependen de la integridad de tales estructuras de núcleo relativamente frágiles para proporcionar la resistencia al fuego, y/u otras estructuras del panel y propiedades de resistencia, como la resistencia a la extracción de clavos, la resistencia al pandeo, y la resistencia a la flexión.

[0144] Por consiguiente, tal como se ilustra en las FIGS. 1-6, se esperaría que la incorporación de partículas de vermiculita de alta expansión en tales estructuras provocara el astillamiento, fractura y alteración de las paredes de los vacíos y las áreas del núcleo intermedias cuando el panel se expone a altas temperaturas debido a la expansión muy significativa resultante de los volúmenes de las partículas de vermiculita (por ejemplo, resultando en volúmenes de aproximadamente un 290 % a más de aproximadamente el 390 % de los volúmenes de vermiculita sin calentar originales). Se esperaría que esto debilitara seriamente la estructura del núcleo, provocando fallos, agrietamiento prematuro o un colapso de los paneles. Además, como el alto grado de expansión de la vermiculita sucede a temperaturas en las que el panel de yeso está perdiendo volumen, y potencialmente integridad, debido a la pérdida de agua y otros cambios y/o pérdidas de morfología cristalina, se esperaría que el alto grado de expansión de la vermiculita en las paredes de los vacíos y en las estructuras del núcleo intermedias acelerasen la pérdida de integridad del panel. En consecuencia, se esperaría que se requiriesen cantidades sustanciales de yeso añadido u otros aditivos resistentes a la contracción para proporcionar una resistencia estructural necesaria para las propiedades de resistencia al fuego y la resistencia de la placa. Tal como se ha analizado anteriormente, y como se ilustrará adicionalmente en los siguientes ejemplos en el presente documento, los paneles con una densidad y peso reducidos formados creados conforme a los principios de la presente exposición, por el contrario, proporcionan capacidades de resistencia al fuego comparables a paneles de contenido de yeso mayores y con una densidad mucho más alta.

Ejemplo 3

[0145] El ensayo de resistencia a la contracción x-y (ancho y largo, respectivamente) del panel, tal como se expone en la referencia mencionada anteriormente, la patente estadounidense U.S. 3,616,173 (la "patente '173"), se investigó como una manera de caracterizar las propiedades de resistencia al fuego de los paneles de yeso creados conforme a los principios de la presente exposición. Tal como se ha explicado en la patente '173, la medida en la que las dimensiones x-y de una sección seleccionada de un panel de yeso se contrae cuando la sección se somete al calor es una indicación de la resistencia del panel a la contracción, agrietamiento y la separación de los montantes y soportes de ensamblajes estructurales que utilizan los paneles.

[0146] Una Serie de Muestras de placas de yeso de aproximadamente 3 pulgadas (7,62 cm) por 9 pulgadas (22,86 cm), de 5/8 pulgadas (1,6 cm) de espesor, se utilizó en este estudio y se analizó siguiendo generalmente los procedimientos descritos en la patente '173. Las muestras se cortaron a partir de una hoja entera de placas de yeso de la Serie de Muestras 13 mencionada más abajo. (En la patente '173, las muestras se moldearon a un espesor de 1,27 cm (aproximadamente 1/2 pulgada) a partir de una mezcla de laboratorio que utiliza agua en lugar de espuma para controlar la densidad). Las mezclas se colocaron en un horno de mufla situándolas en vertical sobre su borde largo (y en este caso, de 1,6 cm (5/8 pulgadas) de espesor) sobre una pieza de material aislante, con bloques aislantes situados entre las muestras para evitar que las muestras del núcleo se volcasen. Se midió la superficie x-y inicial de uno o ambos lados de cada muestra.

[0147] El horno y la muestra estaban a temperatura ambiente cuando las muestras se situaron en el horno de mufla. El horno de mufla se calentó hasta 1800 °F (982,2 °C) y luego se sostuvieron durante una hora después de que se cortase el calor y el horno se dejó enfriar con la puerta un poco abierta. Después de que el horno y la muestra se enfriasen hasta llegar a temperatura ambiente, las muestras se retiraron y se midió la zona de superficie x-y de las muestras. La zona de superficie de la muestra que quedó después de calentarla se dividió por la superficie de la muestra inicial antes de calentarla, y se multiplicó por 100 para obtener el porcentaje de la zona de superficie que quedaba después de calentarla. En el presente documento, se hace referencia a este número, el porcentaje de la zona de superficie restante, como el valor de "resistencia a la contracción" dado que es el término que se utiliza en el presente documento.

[0148] Los especímenes obtenidos de tres muestras diferentes de paneles de yeso se analizaron en una primera serie. En esta primera serie, se cortaron tres especímenes de una muestra de 1,6 cm (5/8 pulgadas) de

ancho de un panel de yeso preparado según la presente exposición a partir de la Serie de Muestras 13 analizada en el Ejemplo 4 más abajo. Estos especímenes se analizaron de manera simultánea con tres especímenes de cada una de las dos muestras de las placas comerciales cortadas a partir de un panel de Tipo X comercial de 1,6 cm (5/8 pulgadas) comercializados bajo la denominación "Sheetrock Brand Firecode® 1,6 cm (5/8") Type-X Core Board", disponible comercialmente de la United States Gypsum Company. Las muestras de Tipo X tienen una densidad de núcleo de 212 kg/m³ (aproximadamente 43,5 pcf) y un peso del panel de 11 kg/m² (aproximadamente 2250 lb/msf).

[0149] El primer panel de muestra, de la Serie de Muestras 13 expuesta en el Ejemplo 4, se preparó conforme a la presente exposición y tenía 1,6 cm (aproximadamente 5/8 pulgadas) de espesor y pesaba 9 kg/m² (aproximadamente 1850 lb/msf), con una densidad del núcleo de 569 kg/m³ (35,5 pcf). El panel se fabricó a partir de 6,4 kg/m² (aproximadamente 1311 lb/msf) de estuco, 132 g/m² (aproximadamente 27 lb/msf) de HRA, 146 g/m² (aproximadamente 30 lb/msf) de almidón pregelatinizado, 488 g/m² (aproximadamente 100 lb/msf) de vermiculita de alta expansión, 36,6 g/m² (aproximadamente 7,5 lb/msf) de fibra de vidrio, 7,3 g/m² (aproximadamente 1,5 lb/msf) de trimetafosfato de sodio, y 12,5 g/m² (aproximadamente 2,5 lb/msf) de dispersante de naftalensulfonato, además de espuma en una cantidad y formulación necesaria para producir la densidad de núcleo deseada. Las pruebas físicas del panel establecieron que demostró una resistencia a la extracción de clavos de 46,7 kg (aproximadamente 103 lb) mediante la utilización de procedimientos de ensayo ASM.

[0150] En una segunda serie, tres especímenes de cada una de una segunda placa comercial de Tipo X de 1,6 cm (5/8 pulgadas), comercializados bajo la denominación "Sheetrock Brand Firecode 1,6 cm (5/8") Type-X Board" disponible comercialmente de la United States Gypsum Company. Las muestras de Tipo X tienen una densidad de núcleo de una media de 668 kg/m³ (aproximadamente 41,73 pcf) y un peso del panel de 12,5 kg/m² (aproximadamente 2250 lb/msf). También se cortaron tres especímenes de cada uno de un panel comercial Firecode® C core de 1,27 cm (½ pulgada) y de 1,6 cm (5/8 pulgadas) comercializados bajo la denominación "Sheetrock Brand Firecode® C core" de 1,27 cm (½") and 1,6 (5/8"), respectivamente. Estos paneles también estaban disponibles comercialmente de la United States Gypsum Company. Las placas Firecode® C incorporaban vermiculita de baja expansión. La densidad del núcleo de las muestras de 1,27 cm (½") y 1,6 cm (5/8 pulgadas) de una media de 771 kg/m³ (aproximadamente 48,12 pcf) y 751 (aproximadamente 46,86), respectivamente, y un peso de la placa de 9,9 kg/m² (aproximadamente 2025 lb/msf) y 12,5 kg/m² (aproximadamente 2550 lb/msf), respectivamente.

[0151] Los valores medios de los resultados de las pruebas de la resistencia a la contracción se encuentran en la Tabla VI de la FIG. 24. Los datos anteriores demuestran que los paneles resistentes al fuego creados conforme a los principios de la presente exposición tenían una resistencia a la contracción considerablemente superior, a un peso y densidad mucho menores, utilizando esta prueba. La resistencia media a la contracción era de aproximadamente un 88 % en comparación con la resistencia a la contracción de muestras de paneles de Tipo X comerciales mucho más pesados y densos de aproximadamente un 77 % y aproximadamente un 61 %. Se observaron resultados similares en relación con los paneles Firecode® C comerciales considerablemente más densos y pesados, lo que demostró una resistencia a la contracción de aproximadamente un 74 % utilizando esta prueba. No había ninguna diferencia apreciable en la resistencia a la contracción utilizando esta prueba entre las muestras de Firecode® C de 1,27 cm (½ pulgada) y 1,6 cm (5/8 pulgadas)

[0152] Para fines comparativos, la patente '173 informó de que cada una de las muestras de 1,27 cm (½ pulgada) analizadas en sus ejemplos (a menos que se indique lo contrario) tenían una densidad de núcleo de 689 kg/m³ (aproximadamente 43 pcf). La patente '173 informó además de que con esa densidad, las 63 muestras analizadas demostraron una resistencia a la contracción registrada del 54 % (paneles de yeso sin material inorgánico de partículas pequeñas o vermiculita añadida) a aproximadamente el 85 % (paneles de yeso con arcilla y fibras de vidrio a un 0,45 por ciento del peso de todos los ingredientes secos del núcleo).

[0153] Las muestras de la patente '173 solo con fibra de vidrio añadida (un 0,45 por ciento del peso de todos los ingredientes secos del núcleo) había demostrado una resistencia a la contracción de menos de aproximadamente un 60 % (p. ej. 53,7 %, a 61,5 %). Con la vermiculita y la fibra de vidrio añadidas, y sin el material inorgánico con granulometría pequeña añadido, las muestras mostraron valores de resistencia a la contracción de aproximadamente un 60,8 % (vermiculita a un 1,0 por ciento en peso de todos los ingredientes secos del núcleo) y aproximadamente un 64,1 % (vermiculita y fibra de vidrio a un 1,0 y 0,45 por ciento del peso, respectivamente, de todos los ingredientes secos del núcleo). Las muestras con valores de resistencia a la contracción notificados de aproximadamente el 80 % o más tenían un contenido de arcilla considerable del 5,0, en peso de todos los ingredientes secos del núcleo, incluyendo aquellas muestras con fibra de vidrio y vermiculita añadidas. En la mayoría, si no en todos, de los ejemplos, se demostró poco o ningún beneficio se demostró de la vermiculita añadida utilizada en ellos cuando la cantidad de arcilla añadida se mantenía constante. Por consiguiente, es sorprendente que en modos de realización de los paneles de yeso creados conforme a los principios de la presente exposición que no incorporaban cantidades considerables de material inorgánico de granulometría pequeña de cualquier arcilla, sílice coloidal, o alúmina coloidal en su núcleo de yeso para resistir la contracción en condiciones de altas temperaturas, esos modos de realización, sin embargo,

mostraron una resistencia a la contracción al menos comparable a, si no mejor que, los paneles de yeso de Tipo X y paneles comerciales que utilizan vermiculita de baja expansión, como los paneles Firecode® C.

5 **[0154]** En consecuencia, las formulaciones y los métodos para fabricar paneles de yeso resistentes al fuego conforme a los principios de la presente exposición pueden proporcionar paneles de yeso con propiedades de resistencia a la contracción con este ensayo que superan a paneles de yeso mucho más pesados y densos, y cumplen o superan paneles del mismo tipo con ingredientes añadidos significativos, como arcilla, que eran necesarios para proporcionar la resistencia a la contracción deseada.

Ejemplo 4

10 **[0155]** Se realizaron varios conjuntos de ensayos en días diferentes para producir ejemplos de paneles de yeso con un peso y densidad reducidos 5/8 pulgadas (1,6 cm) nominales de espesor creados conforme a los principios de la presente exposición hechos utilizando un enfoque de formulación analizado en el presente documento, y se muestran ejemplos de ello en la Tabla I de la FIG. 19. Las muestras de los conjuntos de ensayos se describen además, en parte, en la Tabla VII en las FIGS. 25A-b, que también proporcionan cantidades de componentes, pesos de placas y densidades de placas (cantidades aproximadas). Los paneles de ejemplo creados conforme a los principios de la presente exposición se sometieron a los ensayos analizados a continuación en los Ejemplos 4A a 4E. También se obtuvieron muestras de paneles de yeso resistentes al fuego de Tipo X disponibles en el mercado y paneles de yeso con estera de vidrio con fines comparativos. Las muestras comerciales a las que se hace referencia como paneles de Tipo X se obtuvieron de paneles de yeso marca SHEETROCK® FIRECODE® de Tipo X de 5/8 pulgadas (1,6 cm) de espesor disponible comercialmente de la United States Gypsum Company (resistencia al fuego de una hora) (Serie de Muestras 21). Las muestras comerciales a las que se hace referencia como paneles de estera de vidrio se tomaron a partir de paneles de yeso con un revestimiento de estera de vidrio comerciales de 5/8 pulgadas (1,6 cm) de espesor de la marca SECUROCK® de la United States Gypsum Company (resistencia al fuego de una hora).

25 **[0156]** Los especímenes para los ensayos de aislamiento, las densidades, resistencia a la contracción y la expansión del espesor a altas temperaturas en la dirección z que se tomaron de los paneles de yeso analizados en estos Ejemplos, de los ejemplos de los principios de la presente exposición y los de los paneles de yeso comerciales, se tomaron al menos seis pulgadas de los bordes del panel en una o más ubicaciones en el "campo" de los paneles a menos que se indique lo contrario.

Ejemplo 4A

30 **[0157]** Los especímenes de las Series de Muestras 1 a 20 de paneles de yeso resistentes al fuego y con un peso y densidad reducidos creados conforme a los principios de la presente exposición se sometieron a un ensayo de cohesión del núcleo a altas temperaturas de conformidad con el método de ensayo EN 520 *Gypsum Plasterboards - Definitions, Requirements and Test Method*, que se utiliza normalmente en Europa como un estándar para determinados paneles de yeso resistentes al fuego. Los procedimientos para este ensayo también se analizan en el informe ASTM WK25392 - *Revision of C473 - 09 Standard Test Methods for Physical Testing of Gypsum Panel Products* (en lo sucesivo, "ASTM Pub. WK25392") disponible en la página web www.astm.org/DATABASE.CART/WORKITEMS/WK25392.htm o de ASTM International en otras formas o formatos.

40 **[0158]** Este ensayo evalúa la habilidad de los paneles de yeso de soportar la deformación y las tensiones mecánicas encontradas cuando los ensamblajes que utilizan los paneles se exponen a altas temperaturas, como las que se encuentran en los incendios. En condiciones de altas temperaturas, por ejemplo, los elementos estructurales de los ensamblajes, como montantes de paredes, pueden deformarse o ponerse en riesgo por su exposición a las altas temperaturas. Como resultado, puede causarse que los ensamblajes se deformen hacia o en dirección contraria a la fuente de calor que impone fuerzas de expansión y/o compresión en los paneles.

45 **[0159]** En estos ensayos, un espécimen de ensayo de aproximadamente 1,75 pulgadas por aproximadamente 12 pulgadas (24 mm por 100 mm) se monta de manera horizontal con una longitud de voladizo de aproximadamente 10 pulgadas (254 mm). Se impone una tensión de cizallamiento y un momento de flexión por un peso colgado del extremo libre del espécimen. El peso se suspende aproximadamente a 0,39 pulgadas (10 mm) sobre una plataforma. La masa del peso se basa en el espesor del espécimen de ensayo, variando de aproximadamente 10,6 onzas (300 g) a aproximadamente 25,9 onzas (450 g) para espesores de especímenes de ensayo de aproximadamente 1/2 pulgadas (12,7 mm) a aproximadamente 3/4 pulgadas (19,1 mm). El espécimen de ensayo se expone a las llamas por dos mecheros Merker opuestos horizontalmente situados a aproximadamente 3,9 pulgadas (100 mm) del extremo fijo del espécimen.

50 **[0160]** La boca de cada mechero se sitúa a aproximadamente 1,0 pulgadas (25,4 mm) de la cara adyacente del espécimen de ensayo y se ajusta de tal manera que un termopar insertado a aproximadamente 0,2 pulgadas (5 mm) del espécimen marque aproximadamente 1830 °F (1000 °C). Si el espécimen se debilita y/o desvía, pero se mantiene intacto sin romperse en pedazos cuando el peso hace contacto con la plataforma, entonces se considera que ha superado la prueba. Al menos seis o siete réplicas deben pasar por la muestra del panel de yeso para superarla. Los resultados se expresan en términos de "superado" o "fallido".

[0161] Las pruebas para los especímenes de todas las Series de Muestras utilizaron un peso de 25,9 onzas (450 g). Los especímenes de cada una de las Series de Muestras superaron la prueba de cohesión del núcleo a altas temperaturas, independientemente del peso y densidad reducidos de los paneles de yeso.

Ejemplo 4B

5 **[0162]** Tal como se ha mencionado anteriormente, además de los problemas de cohesión del núcleo, la
 10 contracción del núcleo de yeso debido a la exposición a altas temperaturas también contribuye a la pérdida de
 integridad física de una estructura de panel ensamblada, como una unidad de pared y/o la barrera contra el
 fuego. Una prueba para medir la "Contracción a Altas Temperaturas" se desarrolló y presentó en la ASTM Pub.
 WK25392 para proporcionar una medida cuantitativa de las características de contracción de los paneles de yeso
 15 en condiciones de altas temperaturas. Este procedimiento de ensayo refleja el hecho de que la Contracción a
 Altas Temperaturas que los paneles de yeso pueden experimentar en condiciones de incendio está influenciada
 por factores aparte de las reacciones de calcinación que pueden ocurrir en los núcleos de yeso del panel en
 condiciones de altas temperaturas. Por consiguiente, el protocolo de ensayo utiliza un horno sin ventilación de
 20 manera que no haya un flujo de aire desde fuera del horno que pueda enfriar los especímenes de ensayo. La
 temperatura del horno también está entre 1560 °F (850 °F) para tener en cuenta la contracción que puede ocurrir
 en las fases anhidrita de las estructuras del núcleo de yeso, además de la calcinación y otros efectos de altas
 temperaturas, cuando se exponen a las condiciones de altas temperaturas de los incendios. La "Contracción a
 Altas Temperaturas" tal como se utiliza en el presente documento hace referencia a una medida de las
 características de contracción de los paneles de yeso en ensayos a altas temperaturas y en condiciones de
 muestra coherentes con las que se describen en el presente documento.

[0163] Los especímenes de los paneles de las Series de Muestras 1 a 20 creadas conforme a los principios de
 la presente exposición se sometieron al ensayo de la cantidad de Contracción a Altas Temperaturas x-y que
 experimentaron en las condiciones de altas temperaturas especificadas en la ASTM Pub. WK25392. Los
 25 especímenes también se evaluaron en lo que se refiere al aumento o pérdida de espesor en estos ensayos. Los
 especímenes de ensayo eran discos de aproximadamente 4 pulgadas (100 mm) de diámetro cortados a partir de
 muestras de paneles de yeso utilizando un taladro con una hoja de sierra copa. Se necesitaban seis
 especímenes para cada ensayo, y se situaron en el horno uno junto al otro sin tocarse. Los especímenes de
 ensayo también se situaron en pequeños pedestales para permitir que se calentasen y ventilasen de manera
 uniforme en ambas caras de manera que siguiesen siendo discos cilíndricos relativamente planos.

30 **[0164]** A fin de evitar un choque térmico para los especímenes de ensayo, que puede producir unos resultados
 inválidos en la prueba debido al astillamiento y la rotura, el protocolo de ensayo se modificó para situar los
 especímenes de ensayo en el horno antes de que se calentase a aproximadamente 1560 °C (850 °C). Los
 especímenes se mantuvieron a esa temperatura durante aproximadamente 20 minutos mínimo antes de apagar
 35 el horno. La puerta del horno se mantuvo cerrada mientras el horno se enfriaba. Los especímenes no se retiraron
 para medirlos hasta después de que la temperatura hubiese bajado a cerca de la temperatura ambiente.

[0165] Como la placa de yeso es anisótropa, la cantidad de contracción variará ligeramente en las direcciones
 del largo y ancho. Por tanto, se tomaron dos mediciones ortogonales y se promediaron para computar el
 diámetro medio del disco. En estos ensayos, se tomaron dos medidas a 90 grados entre sí ya que se había
 40 observado que este enfoque proporcionaba un diámetro medio coherente de un espécimen a otro. Se ha
 observado que la orientación de los especímenes en lo que se refiere a la "dirección longitudinal" y a la "dirección
 transversal" no es una preocupación considerable para los propósitos de este ensayo. Normalmente, si las dos
 mediciones para un disco variaban en más de 0,01 pulgadas (0,25 mm), entonces el disco se rechazaba y las
 mediciones se excluían de los resultados observados. La Contracción a Altas Temperaturas se calculó como el
 45 cambio porcentual en el diámetro medio tras la exposición al calor, y se anotó "S", normalmente hasta el 0,1 %
 más cercano para el grupo de seis especímenes de ensayo.

[0166] Los datos de estos ensayos se muestran en la Tabla VIII en las FIGS. 26A-b y demuestran que la
 estructura del núcleo de los paneles de ejemplo creados conforme a los principios de la presente exposición son
 considerable más resistentes a la Contracción a Altas Temperaturas, (S de aprox. 2 % a aprox. 4 %), de lo que
 50 se esperaría dada la densidad reducida del núcleo y la falta de contenido de yeso que normalmente se considera
 necesario para reducir la contracción de los paneles de yeso.

[0167] Además, las muestras demuestran una expansión del espesor, o "Expansión del Espesor a Altas
 Temperaturas, TE", en la dirección z de aproximadamente un 11 % hasta más de aproximadamente un 30 % de
 su espesor inicial antes de calentarse hasta su espesor final tras calentarse. La "Expansión del Espesor a Altas
 55 Temperaturas" tal como se utiliza en el presente documento hace referencia a una medida de las características
 de expansión del espesor de los paneles de yeso en la dirección z en ensayos a altas temperaturas y en
 condiciones de muestra coherentes con las que se describen en el presente documento. La proporción de la
 Expansión del Espesor a Altas Temperaturas (dirección z) en relación con la Contracción a Altas Temperaturas
 (es decir, TE/S) proporciona una medida del beneficio total de los siguientes principios de la presente exposición,
 y era de aproximadamente 3 a aproximadamente 17 en las Series de Muestras 1 a 20.

[0168] Con fines comparativos, la Contracción a Altas Temperaturas, la Expansión del Espesor a Altas Temperaturas, y la proporción de la expansión en relación con la contracción típica de los paneles de yeso de 5/8 pulgadas (1,6 cm) de espesor comerciales resistentes al fuego también se incluyen en la Tabla VIII de la FIG. 26b. Estos datos, y los datos de la densidad y peso normales, provienen de paneles de yeso marca SHEETROCK® FIRECODE® de Tipo X comerciales, paneles de yeso marca SHEETROCK® FIRECODE® de Tipo C, y paneles de yeso marca SECUROCK® con revestimiento de estera de vidrio, todos disponibles comercialmente de la United States Gypsum Company. Tal como puede observarse, la Contracción a Altas Temperaturas relativamente baja en estos paneles de ejemplo creados conforme a los principios de la presente exposición es comparable a, si no mejor que, los paneles comerciales resistentes al fuego. Además, la cantidad de Expansión del Espesor a Altas Temperaturas en los paneles de ejemplo creados conforme a los principios de la presente exposición es inesperada y sustancialmente mayor que la de las placas de yeso resistentes al fuego convencionales más densas y pesadas, sin otros efectos adversos.

[0169] El beneficio inesperado de los paneles creados conforme a los principios de la presente exposición también se refleja en su proporción sustancialmente mayor del Expansión del Espesor a Altas Temperaturas (dirección z) en relación con la Contracción a Altas Temperaturas (TE/S) con respecto a los paneles de yeso comerciales resistentes al fuego. La Contracción a Altas Temperaturas relativamente pequeña y la Expansión del Espesor a Altas Temperaturas sustancialmente alta de los paneles de ejemplo creados conforme a los principios de la presente exposición indican que proporcionan una resistencia al fuego inesperada para su peso y densidad a temperaturas que reflejan las que se encuentran en condiciones de incendio estructural. Se obtienen resultados similares con paneles producidos de otras combinaciones de los materiales constituyentes que están dentro del alcance de la invención.

Ejemplo 4C

[0170] Un indicador útil de la resistencia al fuego de los paneles de yeso en los ensamblajes, por ejemplo los que utilizan estructuras de montantes de madera cargados, tal como se estipula en los ensayos de exposición al fuego ASTM E119, se analizan en el artículo Shipp, P. H., and Yu, Q., "Thermophysical Characterization of Type X Special Fire Resistant Gypsum Board," *Proceedings of the Fire and Materials 2011 Conference*, San Francisco, 31 enero – 2 Febrero 2011, Interscience Communications Ltd., Londres, UK, pp. 417-426. Ese artículo analiza una amplia serie de ensayos de exposición al fuego E119 de ensamblajes de paredes con estructuras de madera que soportan cargas, y una correlación entre la Contracción a Altas Temperaturas y las características de aislamiento térmico de paneles de yeso comerciales de Tipo X y su resistencia esperada en los procedimientos de ensayo de exposición al fuego E119.

[0171] Se realizó un análisis de regresión multivariable lineal en los datos de los ensayos con la resistencia al fuego, *FR*, (en minutos) como la variable dependiente. Las variables independientes eran la contracción en porcentaje, *SH*, (tal como se ha medido en los ensayos de Contracción a Altas Temperaturas mencionado anteriormente en el Ejemplo 4B), el Índice de Aislamiento Térmico, *TI*, (tal como se ha medido en el ensayo expuesto a continuación en el Ejemplo 4D), el contenido de humedad en la madera, *MC*, (como un porcentaje en peso), y las instalaciones del laboratorio de los ensayos $LAB = \{0, 1\}$. El análisis de la regresión lineal resultante establecida en la siguiente relación (con un estándar de error para la regresión de 2,55 minutos):

$$FR = 18.3 - 1.26 SH + 1.60 TI + 0.42 MC + 6.26 LAB \quad (1)$$

[0172] Asumiendo que los ensayos se llevaron a cabo en un único laboratorio ($LAB = 1$) y con un contenido de humedad en la madera típico del 13,5 %, la relación anterior puede expresarse de la siguiente manera:

$$FR = 30.23 - 1.26*SH + 1.60*TI \quad (2)$$

[0173] La ecuación 2 puede reorganizarse para indicar un Índice de Aislamiento Térmico mínimo previsto para un panel de Tipo X comercial típico en un ensamblaje de montantes de madera cargados necesario para proporcionar el rendimiento en los ensayos de exposición al fuego con arreglo a los ensayos de exposición al fuego E119 utilizando datos de los ensayos de Contracción a Altas Temperaturas. La relación resultante puede expresarse de la siguiente manera:

$$TI \geq (FR - 30.23) / 1.60 + 1.26 / 1.60*SH \quad (3)$$

[0174] Para la resistencia al fuego a los 50, 55 y 60 minutos, el *TI* deseado sería mayor que o igual al siguiente:

$$TI \geq 12.36 + 0.78*SH \quad (4a)$$

$$TI \geq 15.48 + 0.78*SH \quad (4b)$$

$$TI \geq 18.60 + 0.78*SH \quad (4c)$$

[0175] Tal como se muestra en la Tabla IX en la FIG. 27, las relaciones anteriores expresadas en las ecuaciones 4a a 4c indican que los valores de TI mínimos aproximados enumerados se necesitarían para proporcionar una resistencia al fuego aceptable en las condiciones del E119 aproximadamente a los 50, 55 y 60 minutos. Los valores de la Contracción a Altas Temperaturas *SH* para los paneles de la Serie de Muestras y los paneles comerciales se proporcionan en la Tabla X de las FIGS. 28a-b tal como se ha analizado anteriormente en el Ejemplo 4B.

[0176] Para los paneles de ejemplo de las Series de Muestras 1 a 20 creadas conforme a los principios de la presente exposición, los valores de *TI* mínimos derivados de las relaciones (ecuaciones 4(a) a 4(c)) serían iguales que o de más de aproximadamente 13,8 a aproximadamente 15,8 a 50 minutos, de aproximadamente 16,6 a aproximadamente 19 a 55 minutos, y de aproximadamente 20 a aproximadamente 22 a 60 minutos. Estos valores de TI calculados comparables a, si no mejores que, los valores de TI calculados de paneles de yeso comerciales de Tipo X, de Tipo C (con vermiculita de grado 5) y paneles acristalados también se presentan en la Tabla IX de la FIG. 27. Los valores de TI calculados para los paneles comerciales, con densidades y pesos mucho más pesados, serían iguales que o de más de aproximadamente 13,9 a 16,6 a 50 minutos, de aproximadamente 17 a aproximadamente 19,7 a 55 minutos, y de aproximadamente 20,2 a aproximadamente 23 a 60 minutos.

[0177] Tal como se expone a continuación en el Ejemplo 4D, los valores de *TI* medidos para los especímenes de los paneles de ejemplo creados conforme a los principios de la presente exposición, las Series de Muestras 1 a 20, igualaron o superaron estos valores mínimos de *TI* previstos, independientemente de sus pesos y densidades considerablemente reducidos en relación con los paneles de yeso de Tipo X, y eran comparables con los valores de TI medidos de la muestra de panel de yeso de Tipo X. Asimismo, conforme a los ensayos comparables que utilizan los procedimientos U305 expuestos a continuación en el Ejemplo 4E, los paneles creados conforme a los principios de la presente exposición realmente proporcionaron una resistencia al fuego mayor de la prevista cuando se sometieron a ensayos de resistencia al fuego. Sin quedar obligado por la teoría, se cree que la resistencia al fuego sorprendentemente aumentada de los paneles creados conforme a los principios de la presente exposición demostrada en los ensayos de exposición al fuego reales se puede atribuir, en parte, al grado de Expansión del Espesor a Altas Temperaturas conseguida por los paneles y métodos de la presente invención. Asimismo, sin quedar obligado por la teoría, se cree que los beneficios de dicha Expansión del Espesor a Altas Temperaturas considerable pueden no reflejarse en las relaciones anteriores, dado que se basan en ensayos con paneles de yeso de Tipo X que normalmente exhiben una contracción durante el calentamiento (véase la Tabla VIII de la FIG. 26B, ensayos de Tipo X).

Ejemplo 4D

[0178] También se evaluó el ensayo del Índice de Aislamiento Térmico a Altas Temperaturas con arreglo a los procedimientos analizados en la ASTM Pub. WK25392. Este procedimiento proporciona un ensayo simple y representativo de las características de aislamiento térmico a altas temperaturas de los paneles de yeso. Las condiciones de transferencia del calor reflejadas en este ensayo pueden describirse con la ecuación de energía para la conducción del calor inestable unidimensional a lo largo del espesor de la placa:

$$\Delta/\Delta x (k (\Delta T/\Delta x)) + q = \rho c_p (\Delta T/\Delta t) \quad (5)$$

donde *T* es la temperatura en un tiempo *t* y profundidad *x* determinados en la placa. La conductividad térmica (*k*), densidad (*p*), y el calor específico (*c_p*) son funciones dependientes de temperatura no lineales a temperaturas elevadas. El índice de generación de calor *q* representa una variedad de reacciones endotérmicas y exotérmicas, por ejemplo, los cambios de fase del yeso y la combustión del papel frontal, que suceden a distintas temperaturas, y por consiguiente, en distintos momentos.

[0179] A fin de evaluar la conducción del calor total a través de la placa de yeso y, por consiguiente, sus resultados de aislamiento térmico, normalmente no es necesario medir y describir cada variable mencionada anteriormente de forma separada. Es suficiente evaluar su efecto acumulativo neto en la transferencia del calor. Para ello, se desarrolló el ensayo simple del Índice de Aislamiento Térmico a Altas Temperaturas en la ASTM Pub. WK25392. El "Índice de Aislamiento Térmico a Altas Temperaturas" tal como se utiliza en el presente documento hace referencia a una medida de las características de aislamiento térmico de los paneles de yeso en ensayos a altas temperaturas y en condiciones de muestra coherentes con las que se describen en el presente documento. Cada espécimen de ensayo consiste en dos discos de 4 pulgadas (100 mm) de diámetro sujetos por tornillos de cabeza avellanada de tipo G. Un termopar se sitúa en el centro del espécimen. El espécimen se monta luego en el borde en una repisa diseñada para asegurar un calentamiento uniforme sobre su superficie y se sitúa en un horno precalentando hasta 930 °F (500 °C). El aumento de temperatura en el centro del espécimen de muestra se anota y un Índice de Aislamiento Térmico, TI, calculado como el tiempo, en minutos, requerido para que el espécimen de muestra se caliente de aproximadamente 105 °F (40 °C) a aproximadamente 390 °F (200 °C). El Índice de Aislamiento Térmico del espécimen de muestra se calcula de la siguiente manera:

$$TI = t_{200\text{ }^{\circ}\text{C}} - t_{40\text{ }^{\circ}\text{C}} \quad (6)$$

5 **[0180]** Un perfil de temperatura desarrollado a partir de los datos recogidos por este procedimiento normalmente muestra la transición de yeso a hemihidrato a aproximadamente 212 °F (100 °C) y la conversión de hemihidrato a la primera fase de anhídrita aproximadamente a cerca de 285 °F (140 °C). Tales datos también muestran a menudo que una vez que estas transiciones de fase se completan, la temperatura aumenta rápidamente de manera lineal dado que normalmente no sucede ninguna reacción química o de cambio de fase adicional por debajo de la temperatura del horno de aproximadamente 930 °F (500 °C). Al esperar hasta que la temperatura del núcleo del espécimen haya alcanzado aproximadamente 105 °F (40 °C) para comenzar a medir el tiempo, puede conseguirse una repetitividad y reproducibilidad aceptable.

10 **[0181]** Los ensayos del Índice de Aislamiento Térmico de los especímenes de las Series de Muestras 1-20 se presentan en la Tabla x de las FIGS. 2a-b. Los datos del Índice de Aislamiento Térmico (*TI*) para los ejemplos de las Series de Muestras muestran que la estructura del núcleo de los paneles de yeso con un peso y densidad reducidos creados conforme a los principios de la presente exposición proporciona propiedades de aislamiento térmico sorprendentemente efectivas dada su densidad y contenido en yeso. Tal como se indica en la Tabla X, 15 los valores del Índice de Aislamiento Térmico varían de aproximadamente 22 minutos a aproximadamente 25 minutos para los especímenes de las Series de Muestras 1-20. Esto indica que una composición del núcleo creada conforme a los principios de la presente exposición es un aislante del calor más efectivo de lo que se esperaba en función de la densidad del núcleo para los propósitos de resistencia a las altas temperaturas experimentadas en condiciones de incendios y de ensayos de exposición al fuego. Estos ejemplos también 20 muestran que la proporción del Índice de Aislamiento Térmico en relación con la densidad varía de aproximadamente 0,60 a aproximadamente 0,68 minutos/16 kg/m³ (minutos/pcf) para los especímenes de las Series de Muestras 1-20. Para comparar, la proporción del Índice de Aislamiento Térmico en relación con la densidad era de aproximadamente 0,55 a aproximadamente 0,59 minutos/16 kg/m³ (minutos/pcf) para los especímenes de las Series de Muestras 1-20 de paneles de yeso marca SHEETROCK® FIRECODE® de Tipo X 25 comerciales más pesados y densos, los paneles de yeso marca SHEETROCK® FIRECODE® de Tipo C, y los paneles de yeso marca SECUROCK® con revestimiento de estera de vidrio.

[0182] Tal como indican estos datos, los paneles de ejemplo creados conforme a los principios de la presente exposición presentan unos valores del Índice de Aislamiento Térmico algo más bajos que los de los paneles comerciales mucho más densos y pesados. Esto puede considerarse una indicación de que los paneles de 30 ejemplo creados conforme a los principios de la presente exposición tendrían un rendimiento de resistencia al fuego reducido. Sin embargo, cuando se tiene en cuenta la densidad de los paneles de ejemplo creados conforme a los principios de la presente exposición, sus capacidades de aislamiento térmico (tal como se refleja en las proporciones de *TI* con respecto a la densidad) son similares o mejores que las de los paneles comerciales más densos y pesados. Además, tal como se indica en el Ejemplo 4E, los paneles de ejemplo 35 creados conforme a los principios de la presente exposición demostraron una resistencia al fuego inesperada en relación a paneles comerciales más densos y pesados cuando se utilizaron en ensamblajes sometidos a un ensayo de resistencia al fuego a gran escala.

Ejemplo 4E

40 **[0183]** Los especímenes de las Series de Muestras 1 a 20 con un peso y densidad reducidos, los paneles resistentes al fuego creados conforme a los principios de la presente exposición se sometieron a un ensayo de resistencia al fuego a escala completa conforme a los procedimientos establecidos en los procedimientos de UL U419, U423 y U305. Estos procedimientos de ensayo requieren el ensamblaje de una estructura de ensayo que comprende un marco de ensamblaje de pared de montantes de acero o madera (normalmente montantes 45 verticales de 305 cm (aproximadamente 10 pies), montados entre la placa de base y una placa de tapa del mismo material). Ensamblajes que utilizan especímenes de paneles creados conforme a los principios de la presente exposición a partir de las Series de Muestras 1 a 17 se sometieron a un ensayo de resistencia al fuego conforme a los procedimientos U419; un ensamblaje que utiliza especímenes de paneles creados conforme a los principios de la presente exposición a partir de la Serie de Muestras 18 se sometió a los procedimientos de ensayo de resistencia al fuego U423; y ensamblajes que utilizaban especímenes de paneles creados conforme a 50 los principios de la presente exposición a partir de las Series de Muestras 19 a 20 se sometieron a procedimientos de ensayo de resistencia al fuego U305.

[0184] Además, las muestras de paneles de yeso comerciales marca SHEETROCK® FIRECODE® de Tipo X de 1,6 cm (5/8 pulgadas) de espesor resistentes al fuego de una hora, (Serie de Muestras 21), y los paneles de yeso comerciales de marca SECUROCK® recubiertos de estera de vidrio resistentes al fuego de una hora (Serie 55 de Muestras 22), se sometieron a los procedimientos de U419 y U423, respectivamente, con fines comparativos. Los paneles de Tipo X de la Serie de Muestras 21 pesaban 11 kg/m² (aproximadamente 2250 lb/msf), con una densidad de núcleo de 697 kg/m³ (aproximadamente 43,5 pcf). Los paneles de Tipo X de la Serie de Muestras 22 pesaban 12,8 kg/m² (aproximadamente 2630 lb/msf), con una densidad de núcleo de 817 kg/m³ (aproximadamente 51 pcf).

[0185] En los ensayos U419 y U423, los montantes eran montantes de acero de un calibre ligero disponibles en el mercado fabricados a partir de acero presentando un espesor de aproximadamente 0,015 pulgadas (0,381 mm) a aproximadamente 0,032 pulgadas (0,8128 mm), y presentando las dimensiones de 9,2 cm a 8,9 cm (aproximadamente 3-5/8" o 3-1/2" pulgadas) de ancho por 3,2 (aproximadamente 1-¼" pulgadas) de espesor. Estos montantes de acero, montantes de acero Viper 25 (Marino/Ware, Div of Ware Industries Inc), estaban separados 61 cm (aproximadamente 26 pulgadas) entre sí en el ensamblaje. En la prueba U305 se utilizaron #2 montantes de 2 x 4 de madera de abeto de Douglas (8,9 cm (aproximadamente 3,5 pulgadas) de ancho por 3,8 cm (1,5 pulgadas) de espesor), separados 40,6 (aproximadamente 16 pulgadas) entre sí.

[0186] Los procedimientos de ensayo U419 se consideran entre los más rigurosos de todos los tipos de ensayos de UL dado que los montantes de acero de calibre ligero normalmente experimentan una deformación por calor (normalmente instando a los paneles expuestos hacia las llamas del quemador) debido a la transferencia de calor a través de los paneles y hacia dentro de la cavidad del ensamblaje entre los paneles expuestos y sin exponer. Esta deformación normalmente causa la separación de las uniones del panel, u otros fallos, en el lado calentado y expuesto del ensamblaje, permitiendo una penetración de la llama del quemador hacia dentro del lado sin exponer y sin calentar del ensamblaje. Se espera que cuanto más ligero sea el calibre de los montantes de acero, mayor la probabilidad de que los montantes y el ensamblaje se deforme por el calor.

[0187] Los paneles de yeso estaban unidos de manera horizontal, es decir, de manera perpendicular a los montantes verticales, en cada lado del ensamblaje. Normalmente, se utilizaron dos paneles de 305 cm por 122 cm (aproximadamente 10 pies por 4 pies), y un panel de 305 cm por 61 cm (aproximadamente 10 pies por 2 pies) en cada lado de la estructura. El panel de 305 cm por 61 cm (10 pies por 2 pies) se situó en la parte superior del ensamblaje, que presenta una prueba aún más difícil para el ensamblaje que si el panel más estrecho estuviera situado en medio entre los paneles más anchos o en la parte inferior del ensamblaje. Las uniones del borde horizontal y las uniones del extremo en lados opuestos de los montantes no eran escalonadas. Los paneles estaban unidos a la estructura con tornillos con rosca Hi-Lo (doble rosca alta-baja) de tipo S de una pulgada (2,54 cm) a cada lado del ensamblaje, a ocho pulgadas (20,32 cm) del centro. Los paneles se situaron de tal manera que las juntas entre los paneles en cada lado de la estructura estuvieran alineadas entre sí. Entonces, las juntas se sellaron con cinta de papel para juntas y compuesto de unión.

[0188] El tipo de prueba, el tipo de montante y los resultados expresados en tiempo (minutos y segundos) hasta la finalización de la prueba se indican en la Tabla XI en las FIGS. 29a-c. En las pruebas que siguen a los procedimientos del U419, el acero utilizado para formar los montantes de calibre ligero tenía o bien 0,038 cm (0,015 pulgadas) o de 0,046 cm (0,018 pulgadas) de espesor. Las pruebas que seguían a los procedimientos del U423 utilizaron montantes de acero disponibles en el mercado hechos de acero de 0,08 cm (aproximadamente 0,032 pulgadas) de espesor. Conforme a los procedimientos del U419, el ensamblaje no está sujeto a una carga externa. En el ensayo U419, los especímenes fracasaron al exceder los límites de temperatura prescritos. Conforme a los procedimientos U423 y U305, se aplicó una carga externa total de 4318 kg (aproximadamente 9520 lb) (U423) y 8096 kg (17 849 lb) (U305) en la parte superior del ensamblaje. En los ensayos U423 y U305, los especímenes fracasaron al romperse bajo la carga en lugar de exceder los límites de temperatura prescritos.

[0189] En cada uno de los ensayos, el ensamblaje de la estructura y panel completado se situó de tal manera que un lado del ensamblaje, el lado expuesto, se sometió a un conjunto de llamas del horno de llama abierta que calentó el lado expuesto del ensamblaje a temperaturas y a un ritmo especificado por el estándar ASTM E119, con arreglo a los procedimientos U305, U419 y U423. Algunos ejemplos de la curva de calentamiento del ASTM E119 se muestran en las FIGS. 9 y 10. Con arreglo a estos procedimientos de ASTM y UL, un conjunto de aproximadamente 14 sensores se dispuso en una relación espaciada entre el lado expuesto calentado del ensamblaje y cada uno de los quemadores para monitorizar las temperaturas utilizadas para calentar el lado expuesto del ensamblaje. También con arreglo a estos procedimientos de ASTM y UL, se dispuso un conjunto de sensores en una relación espaciada en el lado sin exponer opuesto sin calentar del ensamblaje. Por lo general, se disponían 12 sensores en la superficie sin exponer del ensamblaje en un patrón con arreglo a las especificaciones del ASTM y/o UL. Con arreglo a estos procedimientos, cada sensor también se cubrió con una almohadilla aislante.

[0190] Durante los primeros procedimientos de ensayo de exposición al fuego, las temperaturas del horno utilizadas seguían la curva de calentamiento del ASTM-E119, comenzando a temperatura ambiente y aumentando en el lado expuesto del ensamblaje hasta más de 871 °C (1600 °F) en aproximadamente una hora, con el cambio más rápido de temperatura ocurriendo al principio de la prueba y casi al final de la prueba. La prueba finalizó cuando o bien había un fallo de la estructura catastrófico del ensamblaje, la media de las temperaturas de los sensores en el lado sin exponer del ensamblaje superaba una temperatura preseleccionada, o cuando un único sensor del lado sin exponer del ensamblaje superaba una segunda temperatura preseleccionada.

[0191] Los datos de los ensayos de exposición al fuego se muestran en las FIGS. 9-16. La FIG. 9 muestra un gráfico de la temperatura máxima de un único sensor en la superficie sin exponer de cada uno de los ensamblajes con paneles de las Series de Muestras 1 a 17 y muestras comerciales 21, desde el comienzo de cada prueba hasta la finalización de la prueba. Tal como se ha mencionado anteriormente, la FIG. 9 también

muestra un gráfico de la curva de temperatura del ASTM E119 utilizada para las temperaturas del horno en el lado expuesto de los ensamblajes. La FIG. 10 muestra un gráfico de las temperaturas medias de la superficie sin exponer de cada uno de los ensamblajes con paneles de las Series de Muestras 1 a 17 desde el comienzo de cada prueba hasta la finalización de estas, además de la curva de temperatura del ASTM E119 utilizada para las temperaturas del horno en el lado expuesto de los ensamblajes. Tal como indican los gráficos de datos, las temperaturas del lado sin exponer, las temperaturas máximas de un único sensor, y las temperaturas medias del sensor para todos los ensamblajes estaban estrechamente alineadas a lo largo del ensayo, independientemente de las diferencias muy significativas en densidad y el contenido en yeso entre los paneles de las Series de Muestras 1-20 y los paneles de yeso acristalados y de Tipo X comerciales mucho más pesados y densos, las Series de Muestras 21 y 22.

[0192] Asimismo, tal como se indica en las FIGS. 9 y 10, hay una inflexión en los gráficos entre aproximadamente de 50 a 55 minutos de tiempo transcurrido y tras el punto de inflexión, las temperaturas medias del sensor y las temperaturas máximas de un único sensor sin exponer para cada ensayo muestran un aumento considerable en la inclinación. Se cree, sin quedar obligado por la teoría, que el punto de inflexión indica un punto en el que los paneles calentados sin exponer del ensamblaje están cerca o más allá de los límites de sus capacidades de aislamiento térmico y de disipación térmica y por tanto la transferencia del calor a lo largo del ensamblaje aumenta rápidamente a lo largo de la finalización de la prueba. Esta transmisión puede hacerse a través de los propios paneles o a través de una o más aberturas en las uniones entre paneles. Independientemente de las razones específicas para los puntos de inflexión demostrados por los datos, no se esperaba que las temperaturas transmitidas a través de los paneles y cavidades de ensamblaje, y el ritmo de transmisión de temperatura, puedan compararse en los paneles de densidad y peso reducidos creados conforme a los principios de la presente exposición y paneles mucho más pesados con densidades del núcleo mucho mayores.

[0193] Las FIG. 11 y 12 son gráficos de las temperaturas máximas de un único sensor y las temperaturas medias del sensor, respectivamente, en la superficie sin exponer de cada uno de los ensamblajes en los ensayos de exposición al fuego U419 del uso de los paneles de las Series de Muestras 1 a 17 y la Serie de Muestras 21 de los comerciales de Tipo X. Las FIG. 11 y 12 muestran un gráfico expandido de los datos de 40 minutos de tiempo transcurrido a los 65 minutos de tiempo transcurrido (todas las pruebas se terminaron antes de los 65 minutos). Estos gráficos de datos muestran en mayor detalle la estrecha correspondencia en la resistencia al fuego de paneles creados conforme a los principios de la presente exposición, y ensamblajes fabricados utilizándolos, con los paneles de Tipo X mucho más pesados y densos, y ensamblajes utilizando los paneles de Tipo X hasta entre aproximadamente 50 y 55 minutos.

[0194] Las temperaturas medidas de los ensamblajes que utilizan paneles de las Series de Muestras de los paneles creados conforme a los principios de la presente exposición siguieron correspondiéndose estrechamente con las de los paneles comerciales desde aproximadamente 55 minutos hasta más de 60 minutos. Las FIG. 13 y 14 muestran un gráfico de los datos de las FIGS. 9 y 10, respectivamente, para los ensamblajes que utilizan los paneles de ejemplo creados conforme a los principios de la presente exposición a partir de las Series de Muestras 5, 14, o la Serie de Muestras 21 (el ejemplo de panel comercial de Tipo X). Estos datos muestran que los paneles creados conforme a los principios de la presente exposición y los ensamblajes fabricados utilizándolos son capaces de proporcionar paneles presentando una resistencia al fuego comparable, si no mejor que la de paneles comerciales mucho más pesados y densos con arreglo a las condiciones del ensayo de exposición al fuego U419 durante al menos aproximadamente 60 minutos. Se obtienen resultados similares con paneles producidos de otras combinaciones de los materiales constituyentes que están dentro del alcance de la invención.

[0195] También se observó que tras aproximadamente 50 minutos, las temperaturas para los ensamblajes que utilizan paneles de las Series de Muestras 6, 7 y 9 aumentó algo más rápido que los ensamblajes que utilizan paneles de otras Series de Muestras. Tal como se observa en la Tabla VII en la FIG. 25b, los paneles de la Serie de Muestras 6 tenían el peso y densidad más bajos, y los paneles de las Series de Muestras 7 y 9 pueden haber estado sometidos a un secado en exceso. De manera similar, las temperaturas para los ensamblajes que utilizan paneles de las Series de Muestras 8 y 15 también aumentaron algo más rápidamente que el resto de ensamblajes. Como también se indicó en la Tabla VII, los paneles para las Series de Muestras 8 y 15 también pueden haber sido afectados por un secado en exceso o impurezas en la fuente de yeso. Sin quedar obligado por la teoría, se cree que esas condiciones materiales y de fabricación contribuyeron sustancialmente a las diferencias entre los perfiles de temperatura desde los ensamblajes que utilizan los paneles y los de los ensamblajes que utilizan paneles de otras Series de Muestras.

[0196] Dadas estas consideraciones, y la dificultad de los estándares de ensayo U419, los datos de estos ensayos muestran que los paneles creados conforme a los principios de la presente exposición proporcionaban, sin embargo, una resistencia al fuego sorprendentemente efectiva dados sus pesos y densidades. En su conjunto, los datos de los ensamblajes que utilizan paneles creados conforme a los principios de la presente exposición muestran además que los métodos y paneles de la presente exposición pueden proporcionar ensamblajes robustos resistentes al fuego que permiten una flexibilidad considerable para un experto en la

materia para ajustar el contenido en vermiculita y estuco de los paneles para compensar por variaciones considerables de las condiciones de fabricación y la calidad del material en crudo.

5 **[0197]** Las FIG. 15 y 16 son gráficos de las temperaturas máximas de un único sensor y las temperaturas medias del sensor en la superficie sin exponer de cada uno de los ensamblajes en los ensayos de exposición al fuego U423 que utilizan paneles de las Series de Muestras 18 y 22. Las FIG. 15 y 16 muestran un gráfico
 10 expandido de los datos de 40 minutos de tiempo transcurrido a 65 minutos de tiempo transcurrido (todas las pruebas se terminaron antes de los 65 minutos). Este gráfico de datos muestra en más detalle la resistencia al calor comparable de los ensamblajes que utilizan paneles creados conforme a los principios de la presente exposición y los paneles de yeso comerciales recubiertos con estera de vidrio mucho más pesados y densos
 15 (Serie de Muestras 22), aunque se esperaría que las hojas de cubierta de vidrio de los paneles proporcionarían una resistencia adicional al fuego en esta prueba. Estos datos, en particular los datos tras 50 minutos de tiempo transcurrido, confirman que los paneles creados conforme a los principios de la presente exposición, y los ensamblajes que los utilizan, son capaces de proporcionar resistencia al fuego comparable con (y en algunos casos potencialmente mejor que) paneles comerciales mucho más densos y pesados con arreglo a las condiciones del ensayo de exposición al fuego U423.

20 **[0198]** Los datos expuestos en la Tabla XI en las FIGS. 29a-c proporcionan las temperaturas máximas alcanzadas por cualquier sensor y la media de todos los sensores de la superficie sin exponer del ensamblaje en un tiempo transcurrido de 50, 55 y 60 minutos. La Tabla XI también muestra la temperatura máxima alcanzada por cualquier sensor y la media de todos los sensores en la superficie sin exponer del ensamblaje al acabar la prueba. En las pruebas de las Series de Muestras 6, 7 y 8, la prueba se terminó a los 58 minutos (muestras 6 y 7) o a los 59 minutos (Serie de Muestras 8), y por tanto, las temperaturas máximas de un único sensor y las temperaturas medias del sensor, al acabar, son las mismas.

25 **[0199]** Para los ensayos U419, una temperatura máxima de un único sensor de menos de 127 °C (aproximadamente 260 °F) en la superficie sin exponer del ensamblaje y/o una temperatura media del sensor de menos de 121 °C (aproximadamente 250 °F) en esa superficie sin exponer a aproximadamente 50 minutos de tiempo transcurrido se consideró una indicación de una prueba satisfactoria y una indicación de que la formulación del núcleo del panel de yeso y el proceso de fabricación sometidos a la prueba, y los ensamblajes que utilizan paneles creados conforme a los principios de la presente exposición son capaces de satisfacer o superar los requisitos para una resistencia al fuego de "una hora" conforme a los procedimientos de ensayo de UL apropiados. De manera similar, una temperatura máxima de un único sensor de menos de 210 °C
 30 (aproximadamente 410 °F) en la superficie sin exponer del ensamblaje a aproximadamente 55 minutos y/o una temperatura media de sensor de menos de 160 °C (aproximadamente 320 °F) en dicha superficie sin exponer aproximadamente a los 55 minutos en el U419 era una indicación adicional de que los paneles y métodos de la presente exposición podrían utilizarse para proporcionar un ensamblaje resistente al fuego para su uso en aplicaciones de resistencia al fuego. Esto lo confirmaron los resultados que mostraron temperaturas de menos de 149 °C (300 °F) en la superficie sin exponer del ensamblaje y aproximadamente a los 55 minutos y/o una temperatura media del sensor de menos de 138 °C (aproximadamente 280 °F) en dicha superficie sin exponer a aproximadamente 55 minutos para muchos de los ensamblajes conforme a las condiciones de la prueba U419.

35 **[0200]** El hecho de que los ensamblajes que utilizan paneles creados conforme a los principios de la presente exposición demostraran una temperatura máxima de un único sensor aproximadamente a los 60 minutos de tiempo transcurrido de menos de 260 °C (aproximadamente 500 °F) en la superficie sin exponer del ensamblaje y/o una temperatura de sensor media de menos de 193 °C (aproximadamente 380 °F) en dicha superficie sin exponer también demostró la sorprendente resistencia al fuego de los paneles creados conforme a los principios de la presente exposición y los ensamblajes que los utilizan conforme a los estándares del U419, teniendo en cuenta el peso y densidad reducido de los paneles. Gran parte de los ensamblajes experimentó una temperatura máxima de un único sensor aproximadamente a los 60 minutos de tiempo transcurrido de menos de 213 °C
 45 (aproximadamente 415 °F) en la superficie sin exponer del ensamblaje y/o una temperatura media del sensor de menos de 160 °C (aproximadamente 320 °F) a la que la superficie sin exponer demostró que los paneles creados conforme a los principios de la presente exposición y ensamblajes que los utilizan conforme a los estándares de ensayo U419 podrían calificarse como con una resistencia al fuego de 60 minutos conforme a dichos estándares.

50 **[0201]** Independientemente de las temperaturas específicas máximas y medias del sensor a los 50, 55 y 60 minutos, los resultados de los ensamblajes que utilizan paneles de las Series de Muestras 1 a 17 fueron además sorprendentes cuando se compararon con los paneles de yeso comerciales de Tipo X y los paneles de yeso acristalados de las Series de Muestras 21 y 22. Teniendo en cuenta las considerables diferencias en peso y densidad entre las Series de Muestras 1 a 17 y las muestras comerciales mucho más pesadas y densas, se esperaría ver diferencias mucho mayores en las temperaturas máximas del sensor y la media de las temperaturas del sensor en cada uno de los periodos de 50, 55 y 60 minutos de tiempo transcurrido. Las temperaturas medias del sensor para la superficie sin exponer de los paneles de la mayoría de las Series de Muestras 1 a 17 tampoco reflejan la densidad y peso considerablemente más bajos de aquellos paneles en
 55 relación con los paneles comerciales de las Series de Muestras 21 y 22.
 60

[0202] Como también se refleja en la Tabla XI de la FIG. 29a-c, las temperatura máxima de un único sensor y las temperaturas medias del sensor en el lado sin exponer de los ensamblajes que utilizan paneles de las Series de Muestras 18, 19 y 20 eran muy similares, y en algunos casos mejores que las de las placas resistentes al fuego comerciales de los ensamblajes probados con arreglo a los procedimientos de U423 y U305, ambos utilizan montantes de madera e imponen una carga de peso en los ensamblajes. Por ejemplo, los paneles de la Serie de Muestras 18 probaron un ensamblaje con temperaturas del lado sin exponer que eran muy similares a los 50, 55 y 60 minutos a las de los paneles resistentes al fuego comerciales de la Serie de Muestras 22 en ensamblajes que utilizan montantes de acero de 0,08 cm (0,032 pulgadas) probados conforme a los procedimientos U423. Para el ensamblaje que utiliza paneles creados conforme a los principios de la presente exposición a partir de la Serie de Muestras 18 en esas pruebas, las temperaturas máximas de un único sensor eran de menos de 124 °C, 132 °C y 193 °C (aproximadamente 255 °F, 270 °F y 380 °F), aproximadamente a los 50, 55 y 60 minutos de tiempo transcurrido, respectivamente. Las temperaturas medias del sensor eran de menos de 104 °C, 113 °C y 121 °C (aproximadamente 220 °F, 235 °F y 250 °F), aproximadamente a los 50, 55, y 60 minutos de tiempo transcurrido, respectivamente. Los paneles de ejemplo creados conforme a los principios de la presente exposición a partir de la Serie de Muestras 18, de hecho, demostró de manera sorprendente una temperatura de un único sensor a los 60 minutos comparable con la Serie de Muestras 22 comercial, un panel de yeso mucho más denso y pesado con hojas de cubierta de fibra de vidrio. Este resultado es particularmente notable ya que se cree que las hojas de cubierta de fibra de vidrio en los paneles de la Serie de Muestras 22 mejoran la resistencia al fuego de los paneles en relación con los mismos paneles con hojas de cubierta de papel.

[0203] De manera similar, los paneles de las Series de Muestras 19 y 20 examinados en ensamblajes que utilizan montantes de madera con arreglo a los procedimientos del U305 demostraron unas temperaturas máximas de un único sensor de menos de 121 °C, 127 °C y 129 °C (aproximadamente 250 °F, 260 °F y 265 °F), aproximadamente a los 50, 55 y 60 minutos de tiempo transcurrido, respectivamente. Las temperaturas medias del sensor en esos ensamblajes eran de menos de 2110 °C, 116 °C y 118 °C (aproximadamente 230 °F, 240 °F y 245 °F), aproximadamente a los 50, 55, y 60 minutos de tiempo transcurrido, respectivamente.

[0204] Asimismo, con arreglo a los estándares de UL aceptados comúnmente, los datos en la Tabla XI de las FIGS. 29a-c indican que los paneles de yeso con un peso reducido y una densidad reducida creados conforme a los principios de la presente exposición eran capaces de cumplir o superar los estándares requeridos para su aprobación como un panel de yeso resistente al fuego de "una hora" con arreglo al procedimiento U419. Por ejemplo, el ensayo de exposición al fuego del ensamblaje que utiliza los paneles creados conforme a los principios de la presente exposición a partir de la Serie de Muestras 17 expuesto en la Tabla XI, entre otros ensamblajes que utilizan paneles de la presente exposición, se clasificarían en los estándares de las especificaciones U419. El ensamblaje fabricado conforme al U419 que utiliza paneles de la Serie de Muestras 17 demostró una temperatura máxima de un único sensor en el lado sin exponer de menos de la temperatura ambiente a comienzos de la prueba más 163 °C (325 °F) y una temperatura media del sensor de menos de la temperatura ambiente más 121 °C (250 °F). En ese ensayo de exposición al fuego, la máxima de un único sensor estaba por debajo de la temperatura requerida hasta que pasaron 60 minutos y 18 segundos, y la temperatura media del sensor estaba bajo su nivel hasta que pasaron 60 minutos y 8 segundos. En consecuencia, esta prueba confirmó que la formulación y procedimientos utilizados para fabricar los paneles de la Serie de Muestras 17 podrían calificarse como paneles resistentes al fuego de una hora conforme a los estándares del U419.

[0205] Se observaron resultados similares para los paneles de ejemplo de las Series de Muestras 18, 19 y 20, que se probaron conforme a los procedimientos de ensayo U423 y U305. Los límites de temperatura utilizados para los sensores en las superficies sin exponer de esos ensamblajes se calcularon de la misma manera (la temperatura ambiente máxima del sensor único más 163 °C (325 °F) y una temperatura media del sensor de menos de la temperatura ambiente más 121 °C (250 °F)). Para la Serie de Muestras 18, el límite de temperatura de un único sensor y el límite medio del sensor se alcanzó aproximadamente a los 62 minutos, 27 segundos y a los 62 minutos, 35 segundos, respectivamente. Para las Series de Muestras 19 y 20, las pruebas se acabaron antes de que se alcanzase cualquier límite a más de 63 minutos, 40 segundos para la Serie de Muestras 19, y más de 64 minutos, 35 segundos para la Serie de Muestras 20. Esto estableció que los paneles creados conforme a los principios de la presente exposición se clasificarían como resistentes al fuego de una hora conforme a esas pruebas.

[0206] Los datos anteriores de los Ejemplos 4A a 4E demuestran por tanto que los paneles con un peso y densidad reducidos creados conforme a los principios de la presente exposición, y los ensamblajes que los utilizan, proporcionan una integridad estructural, propiedades de aislamiento y disipación térmica (o la combinación de las mismas) comparables con paneles comerciales mucho más pesados y densos, sin el contenido en yeso considerablemente mayor de estos paneles comerciales. Asimismo, un experto en la materia no prevería el hecho de que los paneles de yeso con un peso reducido y una densidad reducida creados conforme a los principios de la presente exposición demostrasen tal integridad estructural, propiedades de aislamiento y disipación térmica en ensamblajes que utilizan montantes de acero de calibre ligero (considerados entre los que es más probable que se deformen y estén afectados de manera negativa por las altas

temperaturas). Se obtienen resultados similares con paneles producidos a partir de otras combinaciones de los materiales constituyentes que están dentro del alcance de la invención.

5 **[0207]** Una preocupación durante las pruebas, además, era que los paneles de las Series de Muestras 1, 6 a 10 y 15 se sometieron a problemas durante la fabricación que podrían afectar su resistencia a las altas
 10 temperaturas en los ensamblajes sometidos a pruebas de exposición al fuego. Tales problemas eran problemas de hidratación del estuco del núcleo potenciales (Serie de Muestras 1), secado en exceso potencial (Series de Muestras 7 a 10) y mayores niveles de impurezas en el núcleo de yeso (Series de Muestras 8 y 15). Los resultados de los ensayos de exposición al fuego indican que tales problemas de fabricación pueden haber
 15 afectado a algunos de los paneles de ejemplo creados conforme a los principios de la presente exposición (por ejemplo, las Series de Muestras 6, 7, 9, y 15). Los resultados también demuestran que tales problemas pueden superarse y/o compensarse mediante la formulación del núcleo y métodos para fabricar paneles siguiendo los principios de la presente invención. Asimismo, los resultados de las pruebas confirman que cualquier ajuste necesario para la resistencia al fuego de los paneles de densidad y peso reducido de la presente invención puede hacerse ajustando las cantidades relativas de vermiculita de alta expansión y yeso para conseguir este comportamiento deseado ante un fuego.

Ejemplo 5

20 **[0208]** En este ejemplo, los especímenes del panel de las Series de Muestras 1 a 20 se sometieron a una prueba de resistencia a la extracción de clavos para determinar las propiedades de resistencia del panel conforme a este criterio utilizado comúnmente. La prueba de resistencia a la extracción de clavos es una medida
 de una combinación de resistencias de un núcleo de un panel de yeso, sus hojas de cubierta, y la unión entre las hojas de cubierta y el yeso. La prueba mide la fuerza máxima requerida para extraer un clavo con una cabeza a través del panel hasta que la placa se agriete aún más. En las pruebas de este Ejemplo, las pruebas de resistencia a la extracción de clavos se llevaron a cabo conforme al Método B del ASTM C473-95.

25 **[0209]** En resumen, los especímenes sometidos a ensayo se condicionaron a 21 °C (aproximadamente 70 °F) y una humedad relativa de aproximadamente el 50 % de humedad relativa durante 24 horas antes de las pruebas. Se utilizó una fresa de 0,28 cm (7/64 pulgadas) para taladrar orificios guía a través del espesor de los especímenes. Después, los especímenes se situaron en una placa de soporte de especímenes con un agujero
 30 de 7,62 (3 pulgadas) de diámetro en el centro, que era perpendicular al trayecto del clavo de la prueba. El agujero guía se alineó con la punta de la caña del tornillo. Se aplicó una carga a una velocidad de deformación de 1 pulgada (2,54 cm) por minuto hasta que se alcanzó la carga máxima. A aproximadamente un 90 % de la carga máxima tras pasar la carga máxima, se paró la prueba y la carga máxima se anotó como la resistencia a la extracción de clavos.

35 **[0210]** Los resultados de la resistencia a la extracción de clavos se resumen en la Tabla XII en la FIG. 30 para las Series de Muestras 1 a 20. Tal como se indica en la Tabla XII, cuatro muestras adicionales, las Series de Muestras 23 a 26, también se sometieron a la prueba de resistencia a la extracción de clavos. Las Series de Muestras 23 a 25 eran ejemplos de paneles de yeso con un peso reducido y una densidad reducida siguiendo los principios de la presente invención y fabricados conforme a la formulación de la Tabla I de la FIG. 19, y las Series de Muestras 1 a 20 de la Tabla VII de las FIGS. 25a-b, con las variaciones en peso y densidad tal como se indican en la Tabla XII en la FIG. 30. La Serie de Muestras 26 era un panel de yeso comercial de Tipo X marca
 40 SHEETROCK® FIRECODE® clasificado como "de una hora" de 1,6 cm (5/8 pulgadas) de espesor disponible comercialmente con un peso de 11 kg/m² (aproximadamente 2250 lb/msf) y una densidad de 659 kg/m³ (aproximadamente 43 pcf).

45 **[0211]** Los valores medios de la resistencia a la extracción de clavos para los paneles de ejemplo con un peso reducido y una densidad reducida creados conforme a los principios de la presente exposición varían desde 325 N (aproximadamente 73 lb-f) hasta más de 476 N (aproximadamente 107 lb-f). Esto indica que, independientemente de la densidad reducida y el uso de vermiculita de alta expansión en los paneles creados conforme a los principios de la presente exposición, los paneles de la presente invención pueden conseguir un valor de resistencia a la extracción de clavos mínimo comparable con paneles de yeso mucho más pesados y densos resistentes al fuego. También indica que los paneles creados conforme a los principios de la presente
 50 exposición pueden conseguir valores de resistencia a la extracción de clavos satisfactorios para fines comerciales, que para paneles de yeso con láminas de cubierta de papel de 1,6 cm (5/8 pulgadas) es de 427 N (aproximadamente 96 lb-f). Se obtienen resultados similares con paneles producidos a partir de otras combinaciones de los materiales constituyentes que están dentro del alcance de la invención.

Ejemplo 6

55 **[0212]** Algunos paneles de ejemplo creados conforme a los principios de la presente exposición y fabricados conforme a la Tabla I en la FIG. 19, y las Series de Muestras 17-19 de la Tabla VII de las FIGS. 25a-b se sometieron a las pruebas de resistencia a la flexión para determinar las propiedades de resistencia de los paneles conforme a este criterio utilizado comúnmente. La prueba de resistencia a la flexión puede incluir en general un procedimiento para evaluar la habilidad de los productos de los paneles de yeso de resistir esfuerzos
 60 de flexión mientras se manipula o utiliza el material. Este método de ensayo evalúa las propiedades de flexión de

los productos de paneles de yeso al soportar el espécimen cerca de los extremos y aplicar una carga transversal en medio de los soportes. En particular, la prueba de resistencia a la flexión se llevó a cabo en los paneles de prueba de las Series de Muestras 17, 18 y 19 conforme al Método B del ASTM C473-95.

5 **[0213]** En resumen, los especímenes sometidos a ensayo se condicionaron a 21 °C (aproximadamente 70 °F) y a una humedad relativa de aproximadamente el 50 % de humedad relativa durante 24 horas antes de las pruebas. Se cortan cuatro piezas de muestra, cada una de 12" (305 mm) por aproximadamente 16" (406 mm) de cada espécimen de panel de yeso, dos presentando la dimensión de 16" paralela al borde y dos presentando la dimensión de 16" perpendicular al borde. Se utiliza un aparato con soportes para el espécimen en paralelo separado 14" (357 mm) del centro, medido en los puntos en que hace contacto con la superficie del espécimen, y unido a una placa que está unida de manera rígida al aparato de la prueba para soportar cada espécimen de forma centralizada en los soportes paralelos fijos. Se aplica una carga en una dirección similar entre los soportes. Para especímenes con la dimensión larga paralela al borde, se somete al ensayo un espécimen de cada producto de panel de yeso boca arriba y el otro boca abajo. Para especímenes con la dimensión larga perpendicular al borde, se somete al ensayo un espécimen de cada producto de panel de yeso boca arriba y el otro boca abajo. Se calcula y presenta la carga de rotura en libras de fuerza (lb-f) o en Newtons (N) para cada condición de ensayo. Las condiciones de ensayo son: (1) paralelo, boca arriba; (2) paralelo, boca abajo; (3) perpendicular, boca arriba; y (4) perpendicular, boca abajo.

10 **[0214]** Los resultados de la prueba de resistencia a la flexión se resumen en la Tabla XIII en la FIG. 31 para especímenes de las Series de Muestras 17, 18 y 19. Tal como se indica en la Tabla XIII, los paneles de yeso creados conforme a los principios de la presente exposición cumplen o superan los estándares de resistencia a la flexión establecidos en la especificación ASTM C 1396 / C 1396M-06 para paneles de yeso de 1,6 cm (5/8") de espesor (es decir, 147 lb-f (654 N) con los bordes en una dirección perpendicular a la longitud del panel, y 46 lb-f (205 N) con los bordes en una dirección paralela a la longitud del panel).

Ejemplo 7

25 **[0215]** Algunos paneles de ejemplo creados conforme a los principios de la presente exposición y fabricados conforme a la Tabla I en la FIG. 19, y las Series de Muestras 17, 18 y 19 de la Tabla VII de las FIGS. 25a-b se sometieron a las pruebas de dureza de los bordes, extremos y núcleo para determinar las propiedades de resistencia de los paneles conforme a estos criterios utilizados comúnmente. Las pruebas de dureza pueden incluir en general un procedimiento para evaluar la habilidad de los bordes, extremos y núcleo de los productos del núcleo de los paneles de yeso de resistir la compresión mientras se manipula o utiliza el material. Este método de ensayo evalúa la dureza de los productos de panel de yeso al determinar la fuerza requerida para presionar un punzón de acero hacia dentro del área de ensayo. En particular, el ensayo de la fuerza de los bordes, extremos y núcleo se llevó a cabo en los paneles de prueba de las Series de Muestras 17, 18 y 19 conforme al Método B del ASTM C473-95.

30 **[0216]** En resumen, los especímenes sometidos a ensayo se condicionaron a 21 °C (aproximadamente 70 °F) y a una humedad relativa de aproximadamente el 50 % de humedad relativa durante 24 horas antes de las pruebas. Se cortó una pieza de prueba para el ensayo de la fuerza del núcleo de no menos de 12" por 3" (305 mm por 76 mm) del centro de cada espécimen del panel de yeso. Se cortó una pieza de prueba para el ensayo de la fuerza del extremo de no menos de 12" por 3" (305 mm por 76 mm) de un extremo fresado de cada espécimen del panel de yeso. La dimensión de 12" (305 mm) para la dureza del núcleo y las muestras de dureza del extremo es perpendicular a los bordes del espécimen del panel de yeso. Se cortó una pieza de prueba para el ensayo de la fuerza del borde de no menos de 12" por 3" (305 mm por 76 mm) del centro de cada espécimen del panel de yeso. La dimensión de 12" (305 mm) de las muestras de dureza del extremo es perpendicular a los bordes del espécimen del panel de yeso.

35 **[0217]** Se proporciona un medio de asegurar la muestra a la base del aparato de pruebas de manera que la cara de la muestra sea perpendicular a la base del aparato de ensayo y paralela al movimiento del punzón de acero. El punzón de acero se sitúa de manera que su eje central sea paralelo a la línea de desplazamiento. La muestra se asegura en una posición fija vertical en su borde de 12" (305 mm). Se llevaron a cabo tres ensayos, separados aproximadamente 4" (102 mm), en cada muestra, con la primera área de ensayo a $2 \pm 1/2$ " (51 \pm 13 mm) de un borde de la muestra. El punzón de acero se sitúa sobre el área de ensayo y se aplica la carga. La medición de la dureza del borde, extremo o núcleo se muestra como la carga en libras de fuerza (lb-f) o Newtons (N) requeridos para empujar el punzón de acero una distancia de 1/2" (13 mm) hacia dentro del núcleo de la muestra. La dureza del borde, extremo y núcleo del espécimen se muestra como la media de las tres mediciones de muestra.

40 **[0218]** Los resultados de las pruebas de dureza del borde, extremo y núcleo se resumen en la Tabla XIV de las FIGS. 3a-c para especímenes de las Series de Muestras 17, 18 y 19. Tal como se indica en la Tabla XIV, los paneles de yeso creados siguiendo los principios de la presente exposición cumplen o superan los estándares de dureza en los bordes, extremos y núcleo establecidos en la especificación ASTM C 1396 / C 1396M-06 para los paneles de yeso (es decir, 11 lb-f (49 N)).

60 **Ejemplo 8**

[0219] Algunos paneles de ejemplo creados conforme a los principios de la presente exposición y fabricados conforme a la Tabla I en la FIG. 19, y las Series de Muestras 17-19 de la Tabla VII de las FIGS. 2a-b se sometieron a las pruebas de la transmisión del sonido y un valor de clasificación de la transmisión del sonido ("STC", por sus siglas en inglés). Los paneles de las Series de Muestras 17, 18 y 19 se sometieron a ensayos en dos ensamblajes de pared básicos preparados conforme a los procedimientos de ensayo de UL U305 y U419. El ensamblaje de tipo U305 se fabricó a partir de montantes de madera de 5 x 10 cm (aproximadamente 2 x 4 pulgadas), separados 41 cm (aproximadamente 16 pulgadas) del centro. Los ensamblajes de tipo U419 se fabricaron a partir de montantes de acero de 9,2 cm (3 5/8 pulgadas), calibre 25 (aproximadamente 0,015 pulgadas de espesor), dispuestos a 61 cm (24 pulgadas) del centro. Los dos tipos de montantes se dispusieron en un marco de 20,3 cm x 20,3 cm (8" x 8").

[0220] Todos los ensamblajes consistían en una única capa de placas de yeso en cada cara del ensamblaje. Los ensamblajes, además, se sometieron a pruebas con y sin 8,9 cm (aproximadamente 3-1/2") de aislamiento de fibra de vidrio en las cavidades de la pared. Los paneles de yeso del ejemplo con un peso reducido y una densidad reducida creados conforme a los principios de la presente exposición tenían un peso medio de 9,3 kg/m² (aproximadamente 1900 lb/msf), y una densidad del núcleo de aproximadamente 36 pcf (576,66 kg/m³).

[0221] Los ensamblajes y los resultados de la prueba de transmisión del sonido, incluidos los valores de la STC determinados conforme a las especificaciones ASTM E90/ASTM E413 se resumen en la Tabla XV de la FIG. 33. Estos ensamblajes fabricados a partir de montantes de acero y que utilizan paneles creados conforme a los principios de la presente exposición demostraron unos valores de la STC con aproximadamente 1-2 puntos menos que los que se encuentran normalmente con ensamblajes de montantes de acero correspondientes contruidos con los paneles comerciales de Tipo X de mayor densidad. Sin embargo, en montantes de madera, los ensamblajes que utilizan paneles creados conforme a los principios de la presente exposición obtuvieron valores de STC muy similares a los valores típicos para ensamblajes comparables que utilizan los paneles comerciales de Tipo X. En general, se entiende que cualquier diferencia en la STC de menos de 3 puntos no es discernible por un oído humano sin entrenar, y en consecuencia, la mayoría de los oyentes no deberían notar las diferencias totales de 1 a 2 puntos entre los valores de STC de los ejemplos de los paneles creados conforme a los principios de la presente exposición y los paneles comerciales de Tipo X. Tal como han demostrado estos ensayos, los ejemplos de los paneles de yeso de densidad reducida y de peso reducido sorprendentemente presentan características de transmisión del sonido muy similares a paneles de yeso mucho más pesados y densos, además de otros beneficios expuestos en el presente documento. Se obtienen resultados similares con paneles producidos a partir de otras combinaciones de los materiales constituyentes que están dentro del alcance de la invención.

Ejemplo 9

[0222] Se fabricaron cubos de ensayo a partir de las formulaciones de paneles de yeso de la Tabla XVI en las FIGS. 34a-b para examinar el efecto de añadir siloxano a la lechada utilizada para fabricar paneles de yeso siguiendo los principios de la presente exposición.

[0223] Se utilizó una mezcladora de cizalladura alta que funcionaba a 7500 RPM durante 2,5 minutos para hacer la emulsión de siloxano. La emulsión de siloxano se mezcló con estuco y aditivos para hacer una lechada con 10 segundos de remojo más 10 segundos mezclándola a la alta velocidad de un mezclador Waring. La lechada se vació en cubos de 5 cm x 5 cm x 5 cm (2"x2"x2") y se secó a 46 °C (115 °F) durante toda la noche. Las densidades se ajustaron al variar la proporción agua/estuco. El método de ensayo de la absorción de agua ASTM C1396 se llevó a cabo situando cubos secos en agua a 21 °C (70 °F) durante dos horas y se determinó el porcentaje de ganancia de peso.

[0224] Los resultados se expusieron en la línea final de la Tabla XVI. Estos datos muestran que se consiguió una absorción de agua de menos de aproximadamente el 5 % con el uso de siloxano de 39 a 58,6 g/m² (aproximadamente 8 a aproximadamente 12 lb/MSF) y aproximadamente un 2,15 % de almidón pregelatinizado a densidades de cubo tan bajas como 481 kg/m³ (aproximadamente 30 lb/ft³). Este ejemplo establece por tanto que la presencia de más de un 2 % de almidón pregelatinizado trabaja en conjunto con el siloxano para conseguir un aumento inesperado de la resistencia al agua.

Ejemplo 10

[0225] Los efectos que tienen los cambios en la cantidad de vermiculita en las propiedades térmicas que incluyen la Contracción a Altas Temperaturas, la Expansión del Espesor a altas Temperaturas y las características de aislamiento térmico de la vermiculita de alta expansión utilizada en paneles y métodos conforme a los principios de la presente invención se evaluaron en condiciones de calentamiento sustancialmente idénticas. En este estudio, se prepararon muestras de laboratorio que utilizaban 1000 gramos de estuco, 11 gramos de acelerador resistente al calor, 15 gramos de almidón pregelatinizado, 6 gramos de fibra de vidrio, y 2000 ml de agua a 21 °C (70 °F). Estas muestras de laboratorio se prepararon utilizando cantidades variables y tipos de vermiculita de alta expansión conforme a las formulaciones expuestas en la Tabla VII en la FIG. 35.

[0226] Las muestras de laboratorio solo se diferencian en el tipo y cantidad de vermiculita de alta expansión utilizada en la preparación de las muestras. La Palabra micrón y superfina (de Grado 0 y 1, respectivamente) están disponibles comercialmente de Sudáfrica. Como se muestra en la FIG. 19, estos grados sudafricanos de vermiculita pueden compararse con la vermiculita de Grado 4 utilizando el sistema de clasificación estadounidense. La Palabra de Grado 0 tiene una distribución granulométrica que se corresponde sustancialmente con la vermiculita de grado 4 en el sistema de clasificación estadounidense disponible comercialmente. La Palabra de Grado 1 tiene una distribución granulométrica que incluye una porción mayor de partículas más grandes, pero se superpone con las muestras de vermiculita de grado 4 utilizando el sistema de clasificación estadounidense.

[0227] Las muestras de laboratorio se evaluaron utilizando el protocolo de ensayo de la Contracción a Altas Temperaturas descrito en la ASTM Pub. WK25392 y analizado en el Ejemplo 4B. La ASTM Pub. WK25392 y el análisis anterior correspondiente se incorporan en el presente documento. Los datos de estos ensayos se muestran en la Tabla XVII en la FIG. 35. Para cada Serie de Muestras, se evaluaron seis especímenes utilizando los ensayos de Contracción a Altas Temperaturas y de Expansión del Espesor a Altas Temperaturas (dirección z) descritos en la ASTM Pub. WK25392. La media de los resultados de los seis especímenes de ensayo se encuentra en la Tabla XVII. El ensayo demuestra que la proporción (TE/S) del Expansión del Espesor a Altas Temperaturas (dirección z) en relación con la Contracción a Altas Temperaturas generalmente aumenta con el aumento de la cantidad de vermiculita de alta expansión. Este cambio en el rendimiento disminuyó o menguó una vez que el uso de la vermiculita llegó a aproximadamente el 10 % en peso del estuco. Estos resultados son coherentes entre los dos tipos diferentes utilizados de vermiculita de alta expansión.

[0228] Las muestras de laboratorio también se evaluaron utilizando el Índice de Aislamiento Térmico de Altas Temperaturas descrito en la ASTM Pub. WK25392 y analizado en el Ejemplo 4D. La ASTM Pub. WK25392 y el análisis anterior correspondiente se incorporan en el presente documento. Los datos de estos ensayos se muestran en la Tabla XVIII en la FIG. 36. Para cada muestra, se evaluaron dos especímenes de ensayo utilizando el Índice de Aislamiento Térmico de Altas Temperaturas descrito en la ASTM Pub. WK25392. La media de los resultados de los dos especímenes de ensayo se encuentra en la Tabla XVIII. El ensayo demuestra que el Índice de Aislamiento Térmico de altas temperaturas de las muestras del laboratorio aumenta un poco con el aumento de la cantidad de vermiculita de alta expansión. Este cambio en el rendimiento disminuyó o menguó una vez que el uso de la vermiculita llegó a aproximadamente el 10 % en peso del estuco. Estos resultados son coherentes entre los dos tipos diferentes utilizados de vermiculita de alta expansión.

Ejemplo 11

[0229] Los estudios de laboratorio se llevaron a cabo en relación con la efectividad de un aditivo HEHS preferido, trihidrato de aluminio (ATH), utilizados en las formulaciones del núcleo de yeso siguiendo los principios de la presente exposición. Las propiedades en los paneles de muestra fabricados utilizando esas formulaciones se evaluaron en lo que se refiere al Índice de Aislamiento Térmico de Altas Temperaturas ("TI"), y la Contracción a Altas Temperaturas ("SH %"), y la Expansión del Espesor a Altas Temperaturas ("TE %"). En los Ejemplos 11A, 11B y 11C analizados a continuación, las formulaciones del núcleo se prepararon utilizando cantidades variables de estuco, vermiculita de alta expansión, ATH, acelerador resistente al calor ("HRA"), almidón pregelatinizado, trimetafosfato, fibras de vidrio, dispersante de naftalensulfonato, y agua conforme a las formulaciones expuestas en cada Ejemplo para las Muestras 1 a 20 de formulaciones del núcleo.

[0230] Las cantidades de cada componente se proporcionan en "partes" en peso, que pueden estar en libras, gramos u otras unidades de medida. Donde un valor para un componente en una formulación del núcleo se exprese como un porcentaje, esto hace referencia a la cantidad del componente en relación con el componente de estuco como un porcentaje en peso. Donde la cantidad de componente se exprese en términos de libras por mil pies cuadrados (lb/msf), el valor notificado es un equivalente calculado, aproximado a la cantidad en peso del componente en un panel de mil pies cuadrados (92,9 m²) de aproximadamente 5/8 pulgadas de espesor (aproximadamente 0,625 pulgadas, 15,9 mm), en función de la cantidad en peso de los componentes en la fórmula.

[0231] Para cada formulación de la muestra, los ingredientes secos se combinaron con el agua en un mezclador Waring para obtener una lechada de yeso bien mezclada y consistente. Entonces, dos paneles de aproximadamente 12 pulgadas por 12 pulgadas (30,5 cm a 30,5 cm), de aproximadamente 5/8 pulgadas de espesor (aprox. 0,625 pulgadas, 15,9 mm), se formaron con cada formulación de muestra. Para formar los paneles, las lechadas de cada formulación de muestra se vaciaron entre un papel superior de 234 g/m² (aproximadamente de 48 libras por msf) y una capa de papel inferior de 205 g/m² (aproximadamente 42 libras por msf).

[0232] Se dejó que cada uno de los paneles moldeados fraguara hasta que la hidratación del estuco se hubiera completado sustancialmente, y luego se secó a aproximadamente 350 °F (aproximadamente 177 °C) durante aproximadamente 20 minutos y aproximadamente a 110 °F (aproximadamente 40 °C) durante aproximadamente 48 horas. El contenido en agua de la formulación se utilizó para proporcionar el peso y densidad indicados de las muestras moldeadas, secadas y fraguadas. No se añadió espuma a las formulaciones de muestra. Los valores

aproximados para los siguientes se exponen en las FIGS. 38, 40 y 41, en las Tablas XXa a XXIIb, para los paneles creados a partir de las Muestras 1 a 20 de la formulación: densidad del panel (libras por pie cúbico), % de vermiculita de alta expansión, el peso del estuco aproximado en lb/msf, el ATH% aproximado, y el peso aproximado del ATH en lb/msf.

- 5 **[0233]** Se cortaron diez discos de cuatro pulgadas (10,16 cm) de cada panel. Se utilizaron dos conjuntos (cuatro discos de los diez discos) para las pruebas de Índice de Aislamiento Térmico de Altas Temperaturas. Los otros seis discos se utilizaron para las pruebas de Contracción a Altas Temperaturas y de Expansión del Espesor a Altas Temperaturas. Los resultados del Índice de Aislamiento Térmico a Altas Temperaturas son la media de las dos mediciones (es decir, la media de las mediciones de cada uno de los dos conjuntos). Los porcentajes de la Expansión del Espesor a Altas Temperaturas y la Contracción a Altas Temperaturas registrados son una media de seis mediciones (es decir, la media de las mediciones de seis discos). La prueba del Índice de Aislamiento Térmico de Altas Temperaturas (expresando en minutos, tal como se ha mencionado anteriormente) se llevó a cabo utilizando el protocolo descrito en la ASTM Pub. WK25392 y analizado en el Ejemplo 4D. Los ensayos de Expansión del Espesor a Altas Temperaturas y de Contracción a Altas Temperaturas (expresadas en % de cambio de dimensiones, tal como se ha mencionado anteriormente) se realizaron utilizando los protocolos descritos en la ASTM Pub. WK25392 y analizado en el Ejemplo 4B. Los datos de estos ensayos se muestran en las tablas de las FIGS. 38, 40 y 41 en términos de la media de los resultados de cada conjunto de discos sometidos a las pruebas (es decir, la media de los dos conjuntos de discos sometidos a la prueba del TI y de las medias de los seis discos sometidos a las pruebas de la contracción y expansión).
- 10
- 15
- 20 **[0234]** Las pruebas del Índice de Aislamiento Térmico ("TI") de Altas Temperaturas analizada a continuación en los Ejemplos 11A a 11C demuestra que una cantidad determinada de ATH en peso es más eficiente para aumentar el Índice de Aislamiento Térmico de Altas Temperaturas que una cantidad equivalente de estuco en peso. Con o sin la presencia de vermiculita de alta expansión, estos resultados de los ensayos muestran que en general, aproximadamente 40 a 50 lbs/msf de ATH pueden proporcionar una protección de aislamiento térmico similar a aproximadamente 100 lbs/msf de estuco o más (esta cantidad de estuco puede variar con la fuente y pureza del estuco). Esta prueba también demuestra que el ATH puede utilizarse con la vermiculita de alta expansión sin ningún efecto adverso considerable en las propiedades de Contracción a Altas Temperaturas y Expansión del Espesor a Altas Temperaturas de los paneles. Los paneles de los Ejemplos 11A a 11C en general siguieron mostrando valores de Contracción a Altas Temperaturas de aproximadamente 10 % o menos y una proporción (TE/S) de la Expansión del Espesor a Altas Temperaturas (dirección z) en relación con la Contracción a Altas Temperaturas e aproximadamente un 0,2 o más. En algunas formulaciones, los datos también indican que el aditivo ATH mejora las propiedades de Contracción a Altas Temperaturas y de Expansión del Espesor a Altas Temperaturas de los paneles. Mientras que estos ensayos se llevaron a cabo en muestras creadas en laboratorio, se espera que se consigan resultados comparables utilizando procesos y formulaciones de producción total que incluyan la adición de espuma en la formulación del núcleo para producir vacíos de aire en el núcleo de yeso fraguado de los paneles secados.
- 25
- 30
- 35

Ejemplo 11A

- [0235]** En este ejemplo, un estuco (estuco A) preparado a partir de una fuente de yeso sintético se utilizó para preparar las formulaciones del núcleo para las Muestras 1 a 9. Los paneles de yeso producidos con este estuco de yeso sintético normalmente muestran una mayor contracción a altas temperaturas en relación con los paneles creados a partir de yeso natural de alta pureza. La formulación básica del núcleo se fabricó utilizando las siguientes cantidades aproximadas en peso: 600 partes (Muestras 1 a 8) o 579 partes (Muestra 9) de estuco; 6 partes de HRA; 4,2 partes de almidón pregelatinizado; 0,84 partes de trimetafosfato; 0 partes (Muestra 1) o 42 partes (Muestras 2 a 9) de vermiculita de alta expansión (0 % o 7 % en peso del estuco, respectivamente); 3 partes de fibras de vidrio; 0,8 partes de dispersante de naftalensulfonato; 0 partes (Muestras 1), 12 partes (Muestra 4), 21,1 partes (Muestras 2, 5 y 9), 30 partes (Muestra 6), 42,2 partes (Muestra 7), y 60 partes (Muestras 8) de ATH (2 %, 4 %, 5 %, 7 % y 10 % en peso del estuco, respectivamente); y 1290 partes de agua.
- 40
- 45

- [0236]** Cada una de las formulaciones del núcleo de las Muestras 1 a 9 se vaciaron en los paneles y se sometieron a ensayos del Índice de Aislamiento Térmico de Altas Temperaturas, la Contracción a Altas Temperaturas y la Expansión del Espesor a Altas Temperaturas, tal como se ha mencionado anteriormente. Los paneles secados y fraguados de cada una de las formulaciones de muestra presentaban los valores aproximados para la densidad, contenido de vermiculita de alta expansión, estuco, ATH y TI expuestos en las Tablas XXa y XXb, en las FIGS. 38A y 38B, respectivamente. La Tabla XXa también expone la diferencia entre las formulaciones del núcleo que no presentan ATH (Muestra 1), y las que presentan un 4 % de ATH con un contenido de estuco reducido (Muestra 2), ambos sin vermiculita de alta expansión. La Tabla XXb expone de manera similar la diferencia entre una formulación del núcleo que no presenta ATH (Muestra 3), y los valores de TI para las formulaciones del núcleo que presentan cantidades aumentadas de ATH con cantidades reducidas de estuco (Muestras 4 a 9), de las cuales todas contenían un 7 % de vermiculita de alta expansión. La Tabla XXc de la FIG. 38C, expone la densidad aproximada, el % de vermiculita de alta expansión, el % de ATH, los resultados de la Contracción a Altas Temperaturas, y los resultados de la Expansión del Espesor a Altas Temperaturas para los paneles fabricados a partir de cada una de las formulaciones del núcleo de las Muestras 1 a 9.
- 50
- 55
- 60

[0237] La Tabla XXa muestra que puede añadirse ATH en una cantidad (en este caso, un 4 % en peso del estuco) que sea efectiva para aumentar la TI de los paneles en aproximadamente un minuto, independientemente de una reducción de estuco de aproximadamente 20 libras/msf (97.65 g/m²). Este beneficio se consiguió sin el uso de la vermiculita de alta expansión. La Tabla XXb muestra el efecto de las formulaciones del núcleo, las Muestras 3 a 9, con cantidades aumentadas de ATH en relación con el contenido en estuco, de 0 % hasta tanto como un 10 % en conjunto con el uso de vermiculita de alta expansión a un 7 % en peso del estuco.

[0238] Las formulaciones de las Muestras 3 a 9 proporcionaron un aumento en el TI de aproximadamente 23 a 26 minutos. El efecto de la adición de ATH en estas formulaciones se resume adicionalmente en la FIG. 39, que representa el % de ATH frente al TI en minutos de los paneles fabricados con las formulaciones de las Muestras 3 a 9. Como se muestra en la FIG. 39 y la Tabla XXb, con hasta aproximadamente un 5 % de ATH, el TI de las formulaciones de las Muestras 3 a 6 aumentó tanto como aproximadamente dos minutos, independientemente de una reducción de la cantidad de estuco en la formulación del núcleo de 122 g/m² (aproximadamente 25 lb/msf) en las Muestras 5 y 6. De manera similar, el TI aumentó tanto como aproximadamente 3,3 minutos en la formulación de la Muestra 8, con un 10 % de ATH y una reducción de estuco de 73 g/m² (aproximadamente 15 lbs/msf). Los resultados de los ensayos de cada uno de las Muestras con el mismo contenido aproximado de estuco –las Muestras 5 y 6, 7 y 8– también muestran que el aumento de la cantidad de ATH proporciona un aumento en valores de TI.

[0239] Las formulaciones de las Muestras 3 a 9 con ATH también muestran mejoras en los resultados de la Expansión del Espesor a Altas Temperaturas y la Contracción a Altas Temperaturas. La formulación de la Muestra 1 sin ATH y sin vermiculita de alta expansión presentaba una Contracción a Altas Temperaturas de aproximadamente el 19 % y una Expansión del Espesor a Altas Temperaturas de aproximadamente un -24 %. Con la adición de un 4 % de ATH en la Muestra 2, la Contracción a Altas Temperaturas mejoró hasta aproximadamente el 9 % y la Expansión del Espesor a Altas Temperaturas mejoró hasta aproximadamente un -11,5 %. La adición de aproximadamente un 7 % de vermiculita de alta expansión a las Muestras 3 a 9 muestra una mejora adicional en la Contracción a Altas Temperaturas hasta aproximadamente un 5 % y en la Expansión del Espesor a Altas Temperaturas hasta aproximadamente un 18 %, independientemente de una reducción de estuco considerable (por ejemplo, la Muestra 8).

[0240] Además, la formulación de la Muestra 9 muestra que es posible conseguir un TI deseado a o a más de 23 minutos, mientras reduce el contenido en estuco de la formulación en al menos 355 g/m² (aproximadamente 75 lb/msf), utilizando aproximadamente un 4 % de ATH y aproximadamente un 7 % de vermiculita de alta expansión. La formulación de la Muestra 9 también muestra que una formulación del núcleo con tal contenido de estuco reducido puede mejorar las propiedades de Contracción a Altas Temperaturas al reducir el porcentaje de contracción en al menos aproximadamente un 12 % y las propiedades de Expansión del Espesor a Altas Temperaturas al aumentar el porcentaje de expansión en aproximadamente un 30 % o más. Una comparación de los paneles hechos con la formulación de las Muestras 3 y 9, y las Muestras 4 y 5 muestra que el ATH puede sustituirse por estuco en una proporción de aproximadamente 1 una parte de ATH a al menos aproximadamente 1,7 a aproximadamente 2 partes de estuco, a la vez que mantiene propiedades de TI similares. Las proporciones de sustitución pueden variar considerablemente dependiendo de la fuente del estuco y las formulaciones del núcleo. Además, para una formulación de estuco determinada, las proporciones de sustitución pueden aumentarse si se desea una reducción en el TI o disminuirse si se desean mayores propiedades de TI.

Ejemplo 11B

[0241] En este ejemplo, un estuco (estuco B) preparado a partir de una fuente de yeso natural de pureza relativamente alta (al menos aproximadamente un 90 % de yeso) se utilizó para preparar las formulaciones del núcleo para las Muestras 10 a 17. La formulación básica del núcleo se fabricó utilizando las siguientes cantidades aproximadas en peso: 1000 partes de estuco B; 10 partes de HRA; 7 partes de almidón pregelatinizado; 1,4 partes de trimetafosfato; 70 partes de vermiculita de alta expansión (aproximadamente un 7 % en peso de estuco); 5 partes de fibras de vidrio; 1,4 partes de dispersante de naftalensulfonato; 0 partes (Muestra 10), 17,6 partes (Muestra 11), 35,2 partes (Muestras 12 y 17) y 70,4 partes (Muestras 13 a 16) de ATH (2 %, 4 %, y 7 % en peso del estuco, respectivamente); y 1800 partes (Muestras 10 a 14), 1900 partes (Muestra 15) y 2150 partes (Muestras 16 y 17) de agua.

[0242] Cada una de las formulaciones del núcleo de las Muestras 10 a 17 se vaciaron en los paneles y se sometieron a ensayos del Índice de Aislamiento Térmico de Altas Temperaturas, la Contracción a Altas Temperaturas y la Expansión del Espesor a Altas Temperaturas, tal como se ha mencionado anteriormente. Los paneles secados y fraguados de cada una de las formulaciones de Muestra presentaban los valores aproximados para la densidad, contenido de vermiculita de alta expansión, estuco, % de ATH, TI expuesto en las FIGS. 40A y 40B, en las Tablas XXIa y XXIb, respectivamente. La Tabla XXIa expone la diferencia entre una formulación del núcleo, fabricada utilizando estuco B, sin ATH (Muestra 10), y los valores del TI para la formulación del núcleo con cantidades aumentadas de ATH y sin cambios en el contenido de estuco (Muestras 11 a 14). Cada una de las formulaciones del núcleo contenían aproximadamente un 7 % de vermiculita de alta expansión. La Tabla XXIb expone las diferencias en los resultados del TI entre las formulaciones del núcleo con

aproximadamente un 7 % (Muestras 15 y 16) y aproximadamente un 4 % (Muestra 17) de ATH. Se retiró el equivalente de aproximadamente 100 lb/msf de estuco de las formulaciones de las Muestras 16 y 17, y todos esos ejemplos contenían un 7 % de vermiculita de alta expansión. La Tabla XXIc de la FIG. 40C, expone la densidad, el contenido de vermiculita de alta expansión, el % de ATH y los resultados de la Contracción a Altas Temperaturas y de la Expansión del Espesor a Altas Temperaturas para los paneles fabricados a partir de cada una de las formulaciones del núcleo de las Muestras 10 a 17.

[0243] La Tabla XXa muestra el beneficio de añadir una cantidad de ATH (en este caso, 2 %, 4 % y 7 %) que sea efectiva para dar como resultado un aumento del TI con un contenido de estuco constante, en este caso de aproximadamente 0,1 a aproximadamente 1,5 minutos. La Tabla XXIb muestra el efecto de la formulación del núcleo de las Muestras 15 y 16 en las que el % de ATH se mantiene constante y se retiran 100 libras (45,36 kg) de estuco. Esto produjo una reducción del TI de 1,3 minutos, pero con un TI de más de aproximadamente 24 minutos, ambas Muestras 15 y 16 serían aceptables para aplicaciones de resistencia al fuego. De manera similar, la Muestra 17 muestra que la cantidad de ATH puede reducirse hasta aproximadamente un 4 %, y la cantidad de estuco en la formulación del núcleo puede reducirse el equivalente de 100 lb/msf (488,24 g/m²), a la vez que mantiene un TI de aproximadamente 23 minutos. Esto también se considera aceptable para aplicaciones de resistencia al fuego. Los resultados de la Tabla XXIb muestran que puede utilizarse una cantidad eficaz de ATH para mantener la TI a un nivel predeterminado (por ejemplo, aproximadamente 23 minutos) a la vez que disminuye la cantidad de estuco utilizada en la formulación.

[0244] La Tabla XXIc de la FIG. 40C muestra los resultados de la Contracción a Altas Temperaturas y la Expansión del Espesor a Altas Temperaturas de los paneles fabricados con formulaciones del núcleo de las Muestras 10 a 17. Estos resultados muestran que utilizando estuco B y las formulaciones de las Muestras 10 a 17, los resultados de la Contracción a Altas Temperaturas y la Expansión del Espesor a Altas Temperaturas se mantienen sustancialmente inalterados con la adición en ATH. Esto es real incluso de las fórmulas con una reducción de estuco que es equivalente a aproximadamente 100 lb/msf (véanse los Ejemplos 16 y 17).

25 Ejemplo 11C

[0245] En este ejemplo, un estuco (estuco C) preparado a partir de una fuente de yeso natural de pureza relativamente baja (aproximadamente un 80 % de yeso, y el resto arcillas y otras impurezas) se utilizó para preparar las formulaciones del núcleo para las Muestras 18 a 20. La formulación básica del núcleo se fabricó utilizando las siguientes cantidades aproximadas en peso: 1000 partes (Muestras 18 y 20) o 975 partes (Muestra 19) de estuco C; 10 partes de HRA; 10 partes de almidón pregelatinizado; 2 partes de trimetafosfato; 100 partes de vermiculita de alta expansión (aproximadamente un 10 % en peso de estuco); 5 partes de fibras de vidrio; 5 partes de dispersante de naftalensulfonato; 0 partes (Muestra 18), y 25 partes (Muestras 19 y 20) de ATH (0 %, y 3 % en peso del estuco, respectivamente); y 1750 partes (Muestra 18), 1725 partes (Muestra 19) y 1700 partes (Muestra 20) de agua.

[0246] Cada una de las formulaciones del núcleo de las Muestras 18 a 20 se vaciaron en los paneles y se sometieron a ensayos del Índice de Aislamiento Térmico de Altas Temperaturas, la Contracción a Altas Temperaturas y la Expansión del Espesor a Altas Temperaturas, tal como se ha mencionado anteriormente. Los paneles secados y fraguados de cada una de las formulaciones de Muestra presentaban los valores aproximados para la densidad, contenido de vermiculita de alta expansión, estuco, ATH y TI expuestos en las Tablas XXIIa y XXIIb, en las FIGS. 41A y 41B, respectivamente. La Tabla XXIIa muestra la diferencia entre una formulación del núcleo, fabricada utilizando estuco C, sin ATH (Muestra 18), y los valores de TI para las formulaciones del núcleo con aproximadamente un 3 % de ATH en peso de estuco, en las que la cantidad de estuco C aumentó desde el equivalente de 7,1 kg/m² (aproximadamente 1450 lb/msf) (Muestra 19) en hasta 13,6 kg (aproximadamente 30 libras) hasta 7,2 kg/m² (aproximadamente 1480 lb/msf) (Muestra 20). Cada una de las formulaciones del núcleo contenían aproximadamente un 10 % de vermiculita de alta expansión en peso del estuco. La Tabla XXIIb expone la densidad, el contenido de vermiculita de alta expansión, el % de ATH y los resultados de la Contracción a Altas Temperaturas y de la Expansión del Espesor a Altas Temperaturas para los paneles fabricados a partir de cada una de las formulaciones del núcleo de las Muestras 18 a 20.

[0247] La Tabla XXIIa muestra el beneficio de añadir una cantidad de ATH (en este caso, aproximadamente un 3 % en peso del estuco) que es eficaz para aumentar la TI en paneles fabricados con estas formulaciones en aproximadamente un minuto (compárese la Muestra 18 con las Muestras 19 y 20). La Tabla XXIIa también muestra que el TI de los paneles no se mejoró con la adición de 146 g/m² (aproximadamente 30 lb/msf) de estuco C a la formulación (Muestra 20), añadiendo una cantidad considerable de material de relleno (impurezas) al núcleo. La Tabla XXIIb muestra que, en algunas formulaciones, la adición de aproximadamente un 3 % de ATH en peso del estuco mantiene valores aceptables para la Contracción a Altas Temperaturas (S), como aproximadamente un 10 % menos, y la Expansión del Espesor a Altas Temperaturas, como una expansión positiva. En algunos casos, la adición de aproximadamente 25 partes de ATH en peso de estuco puede mejorar la Contracción a Altas Temperaturas (compárese la Muestra 18 con la Muestra 19).

[0248] Ha de interpretarse que el uso de los términos "un/una" y "el/la/los/las" y referentes similares en el contexto de la descripción de la invención (especialmente en el contexto de las siguientes reivindicaciones) cubre

5 tanto el singular como el plural, a menos que se indique lo contrario en la presente memoria o se contradiga claramente por el contexto. La citación de rangos de valores en la presente memoria pretende simplemente servir como un método abreviado para referirse de manera individual a cada valor independiente incluido dentro del rango, a menos que se indique lo contrario en la presente memoria, y cada valor independiente se incorpora en la memoria como si se citara de manera individual en la presente memoria. Todos los métodos descritos en la presente memoria pueden llevarse a cabo en cualquier orden adecuado, a menos que se indique lo contrario en la presente memoria o se contradiga claramente de otro modo por el contexto. El uso de todos y cada uno de los ejemplos, o del lenguaje de ejemplo (p. ej., "tal como") que se proporciona en la presente memoria pretende simplemente aclarar mejor la invención y no supone una limitación en el alcance de la invención a menos que se reivindique lo contrario. Ninguna expresión en la memoria ha de interpretarse como indicativa de que cualquier elemento no reivindicado es esencial para la práctica de la invención.

10 Los aspectos y modos de realización preferidos de la presente invención se describen en la presente memoria, incluyendo el mejor modo conocido por los inventores para llevar a cabo la invención. Ha de entenderse que los modos de realización ilustrados son a modo de ejemplo únicamente y no deben considerarse limitativos del alcance de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Un panel de yeso resistente al fuego comprendiendo un núcleo de yeso fraguado dispuesto entre dos hojas de cubierta, presentado el núcleo de yeso fraguado una densidad (D) de 40 libras por pie cúbico (640 kg/m^3) o menos y comprendiendo una matriz cristalina de yeso fraguado y partículas de alta expansión, siendo las partículas de alta expansión expansibles hasta un 300 % o más de su volumen original tras calentarse durante una hora a aproximadamente $1560 \text{ }^\circ\text{F}$ (aproximadamente $850 \text{ }^\circ\text{C}$), donde las partículas de alta expansión comprenden partículas de vermiculita sin dilatar y donde el núcleo de yeso está formado a partir de una lechada comprendiendo agua; estuco; las partículas de vermiculita en una cantidad hasta el 10 % en peso en función del peso del estuco; y fibras de carbono, vidrio o minerales, o combinaciones de las mismas.
2. El panel de yeso resistente al fuego según la reivindicación 1, en el que la matriz cristalina de yeso fraguado comprende (a) paredes definiendo vacíos de aire, los vacíos de aire con un diámetro esférico medio equivalente de $100 \text{ }\mu\text{m}$ o más o (b) paredes definiendo y separando vacíos de aire dentro del núcleo del yeso, presentando las paredes un espesor medio de $25 \text{ }\mu\text{m}$ o más.
3. El panel de yeso resistente al fuego según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que la matriz cristalina del yeso fraguado comprende paredes definiendo vacíos de aire con un diámetro esférico medio equivalente desde $100 \text{ }\mu\text{m}$ hasta $350 \text{ }\mu\text{m}$ con una desviación estándar de 100 a 225.
4. El panel de yeso resistente al fuego según la reivindicación 2 o la reivindicación 3, en el que las paredes presentan un espesor medio de $25 \text{ }\mu\text{m}$ a $75 \text{ }\mu\text{m}$ con una desviación estándar de 5 a 40.
5. El panel de yeso resistente al fuego según las reivindicaciones 1 a 4, en el que la lechada comprende además un almidón en una cantidad de 0,3 % al 3,0 % en peso en función del peso del estuco y un dispersante en una cantidad de 0,1 % al 1,0 % en peso en función del peso del estuco.
6. El panel de yeso resistente al fuego según la reivindicación 1 a la reivindicación 5, en el que la lechada incluye además un componente que contiene fosfatos en una cantidad de 0,03 % al 0,4 % en peso en función del peso del estuco.

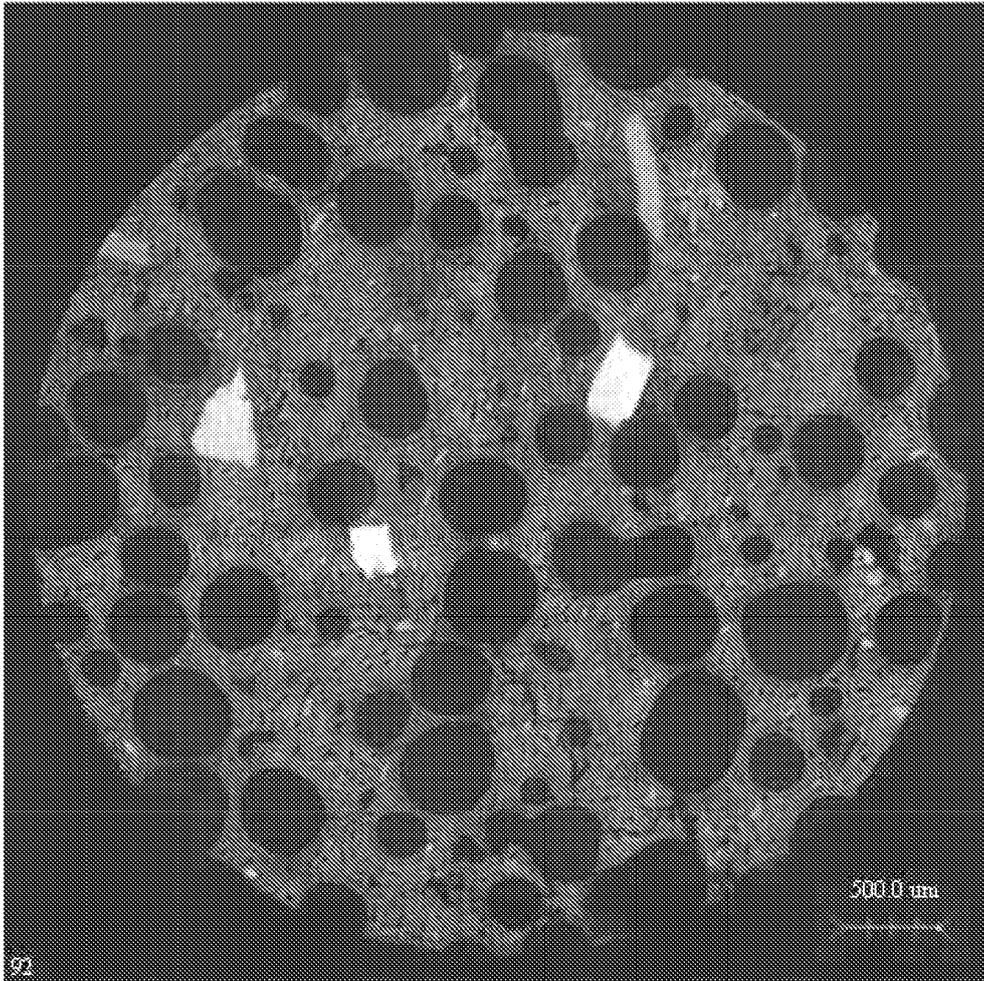


FIG. 1

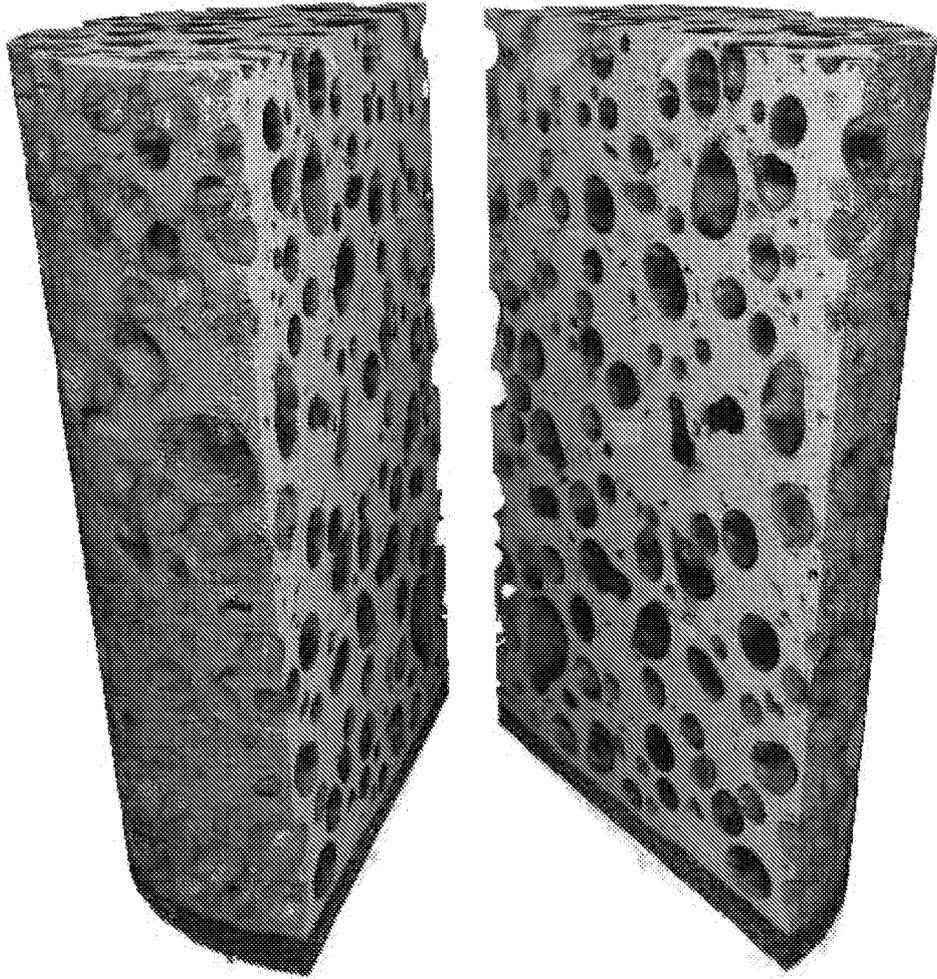


FIG. 2

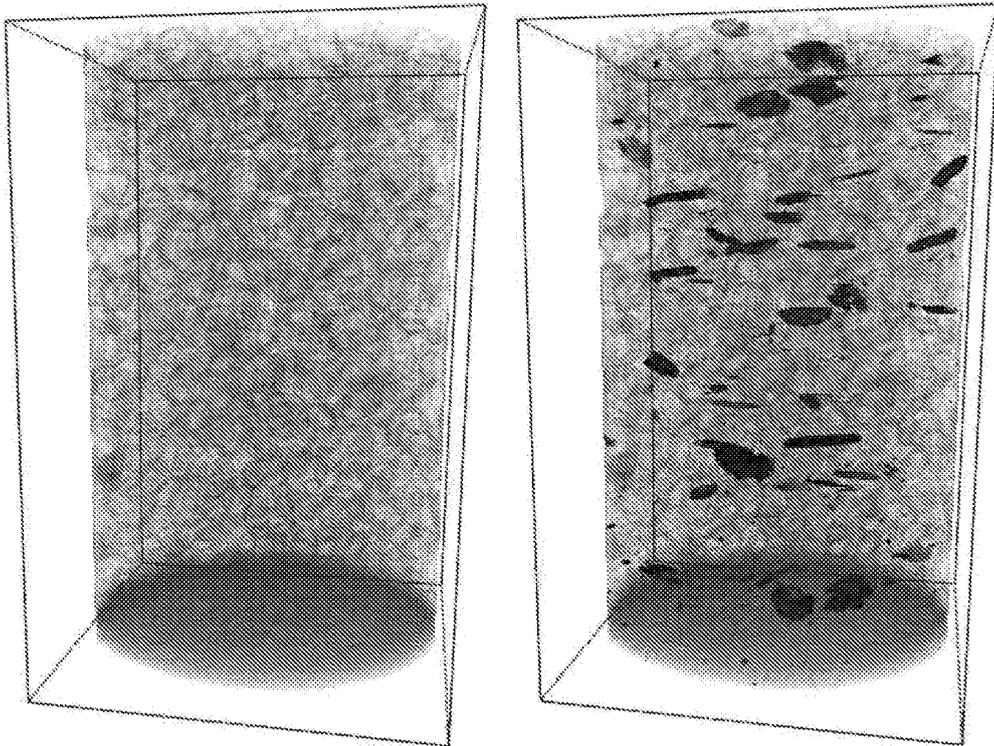


FIG. 3

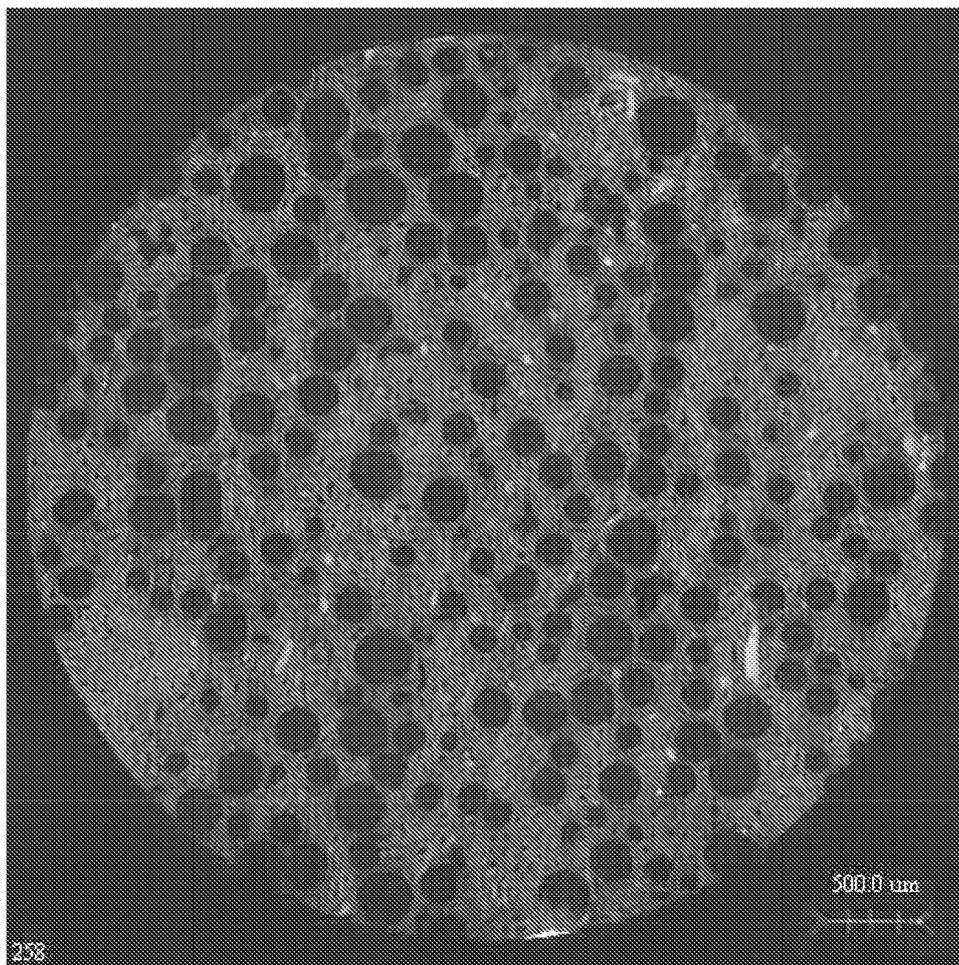


FIG. 4

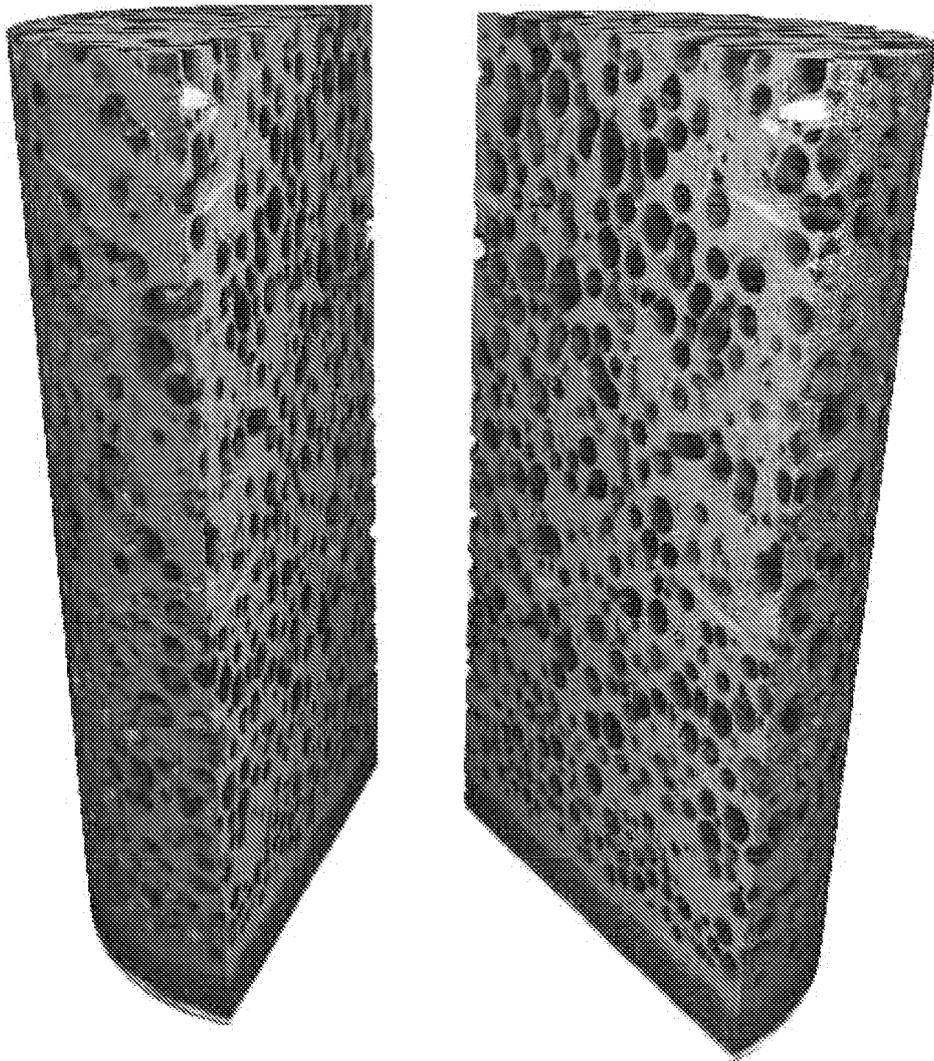


FIG. 5

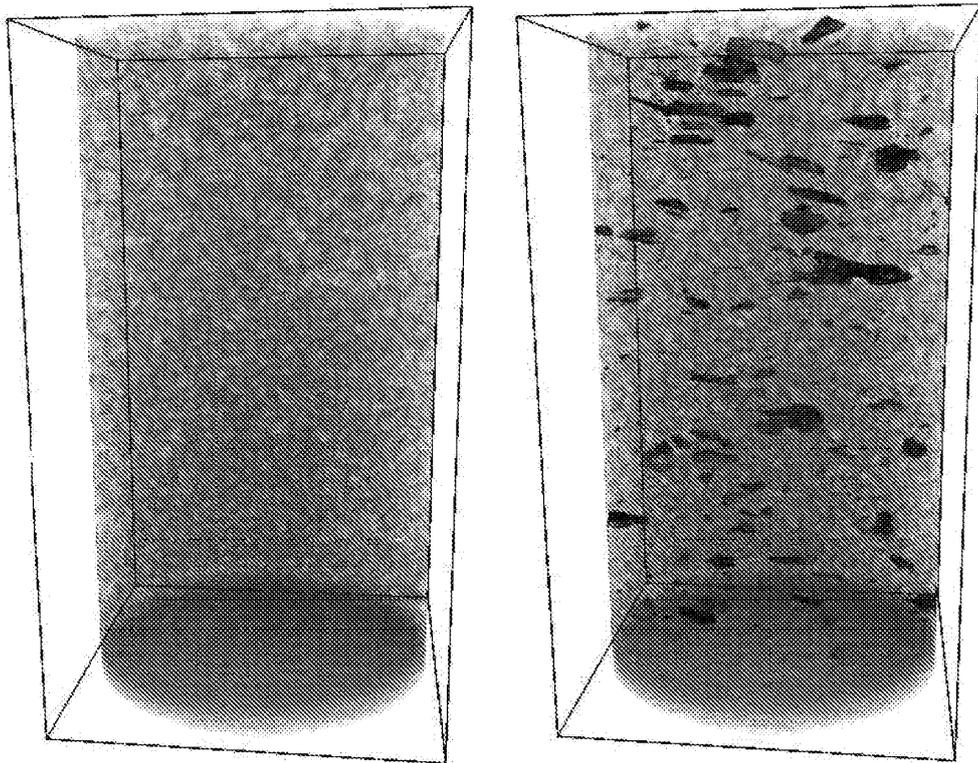
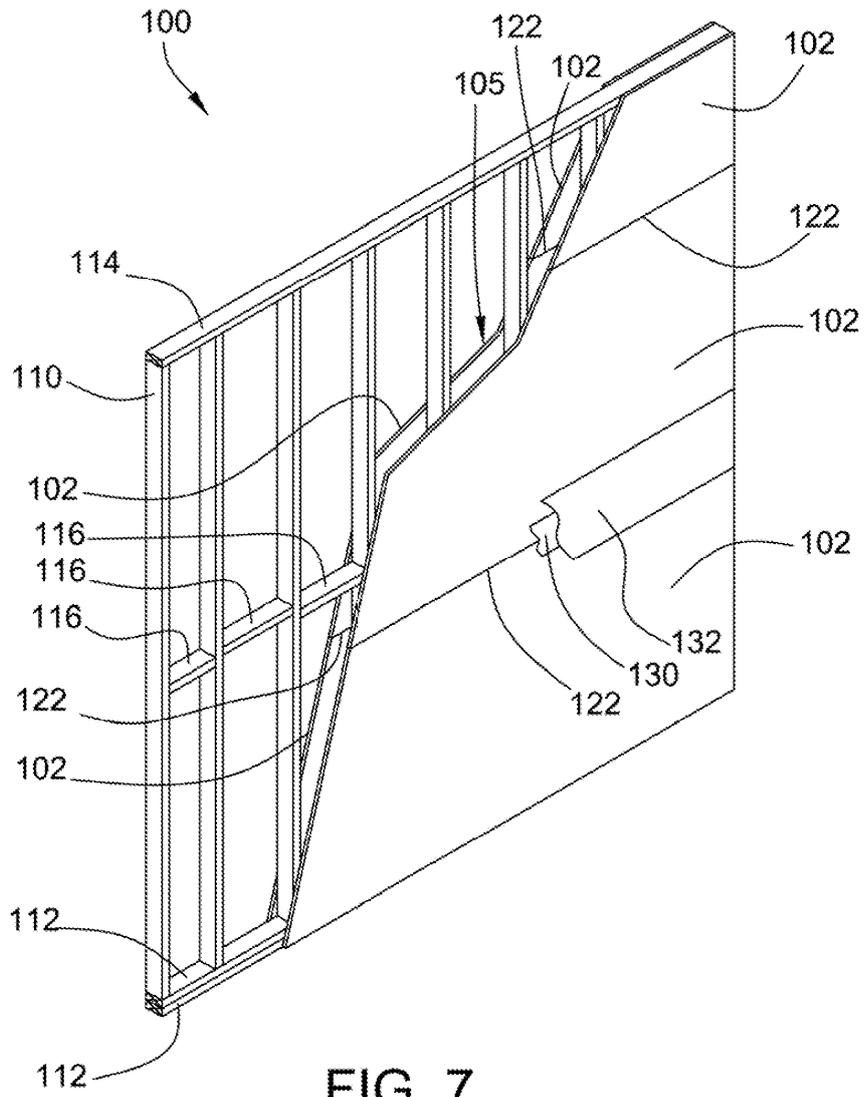


FIG. 6



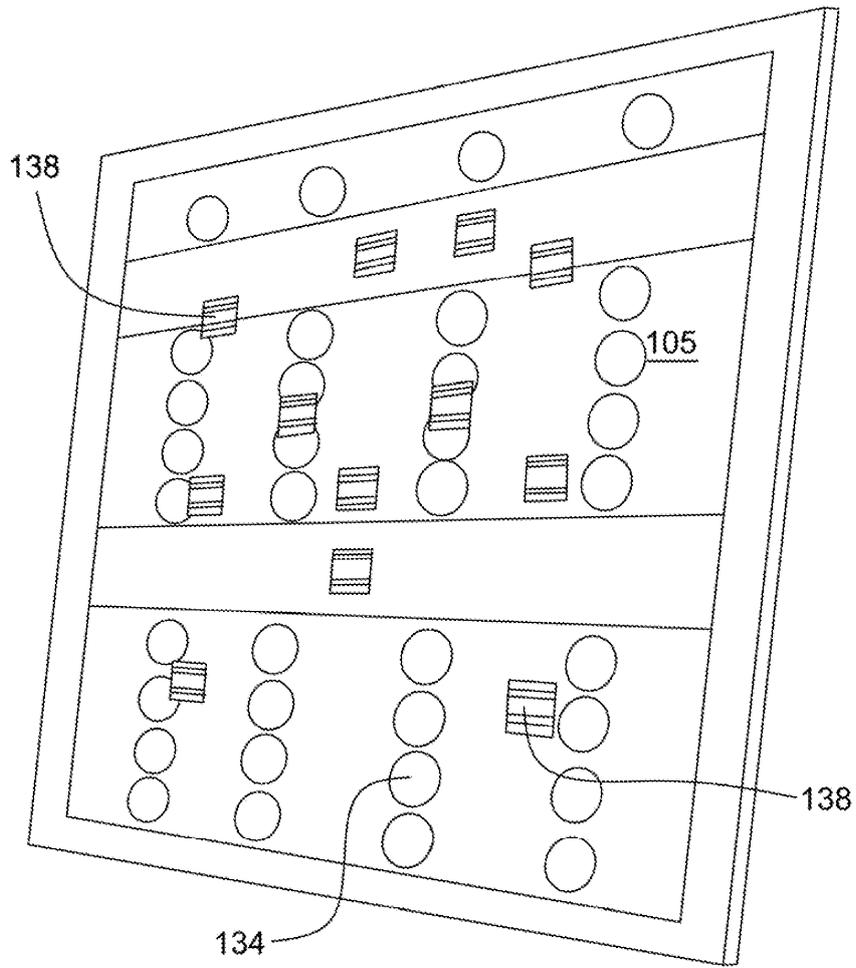


FIG. 8

Tiempo v. temperatura de la superficie sin exponer según el ensayo de exposición al fuego U4.9
(Temperatura máxima del sensor)

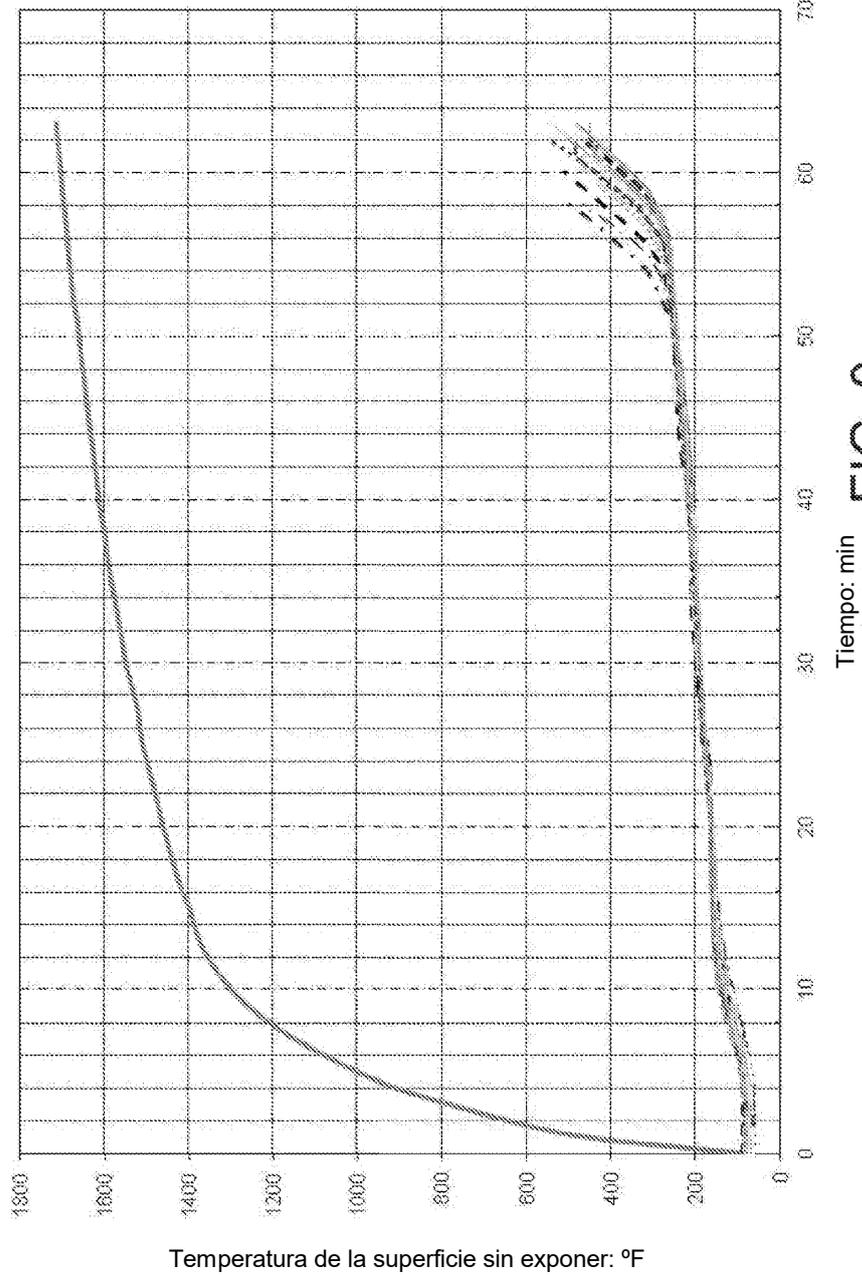


FIG. 9

Tiempo v. temperatura de la superficie sin exponer según el ensayo de exposición al fuego U419
(Temperatura media del sensor)

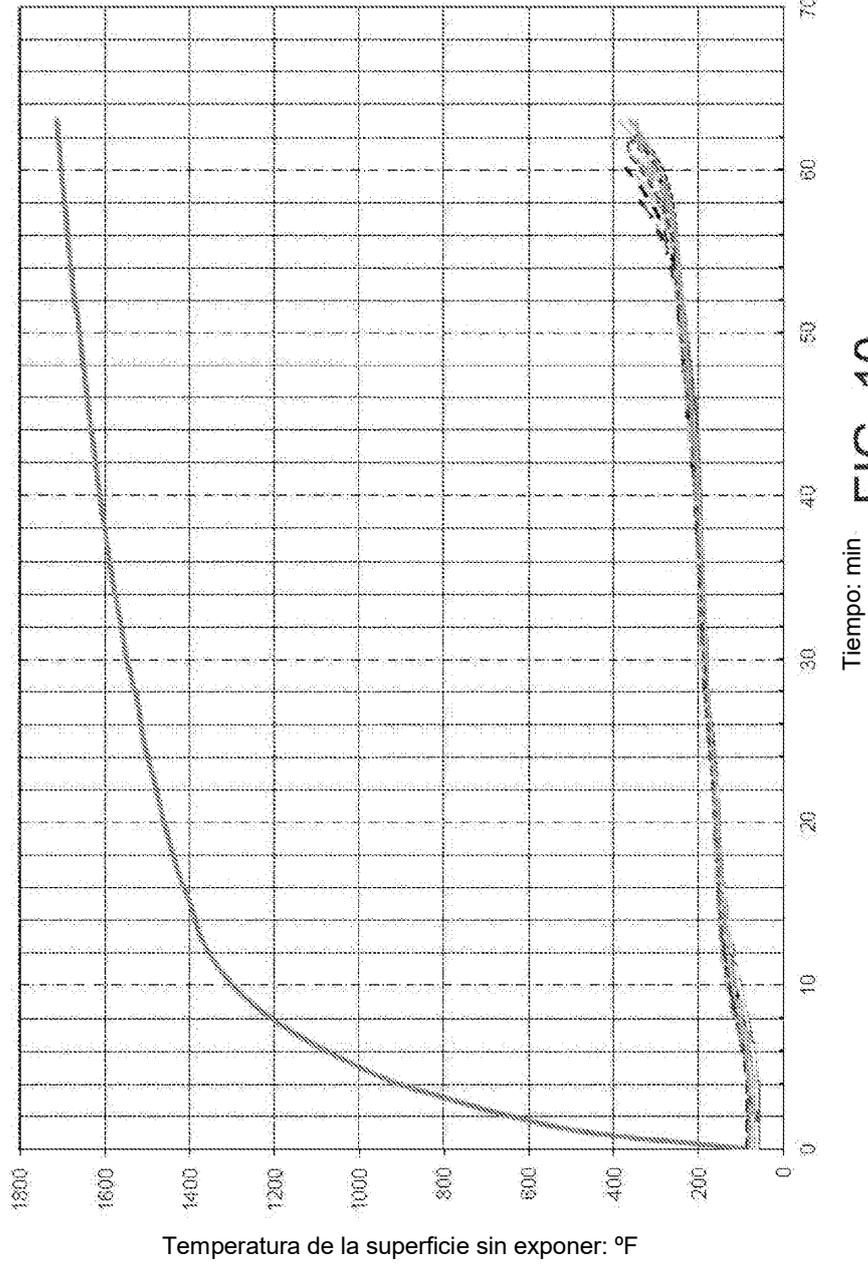
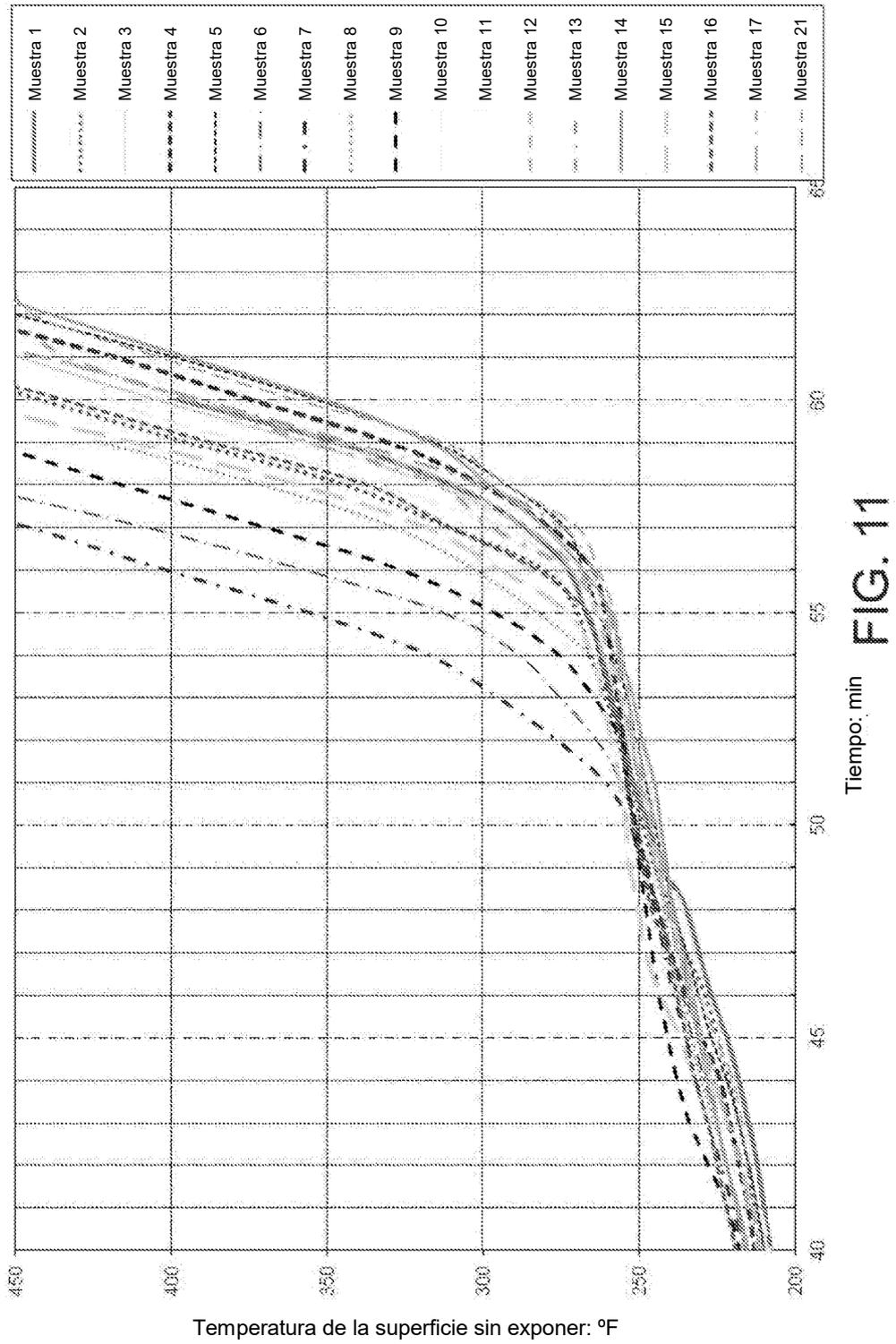


FIG. 10

Tiempo v. temperatura de la superficie sin exponer según ensayo de exposición al fuego U419
(Temperatura máxima del sensor)



Tiempo v. temperatura de la superficie sin exponer según ensayo de exposición al fuego U419
(Temperatura media del sensor)

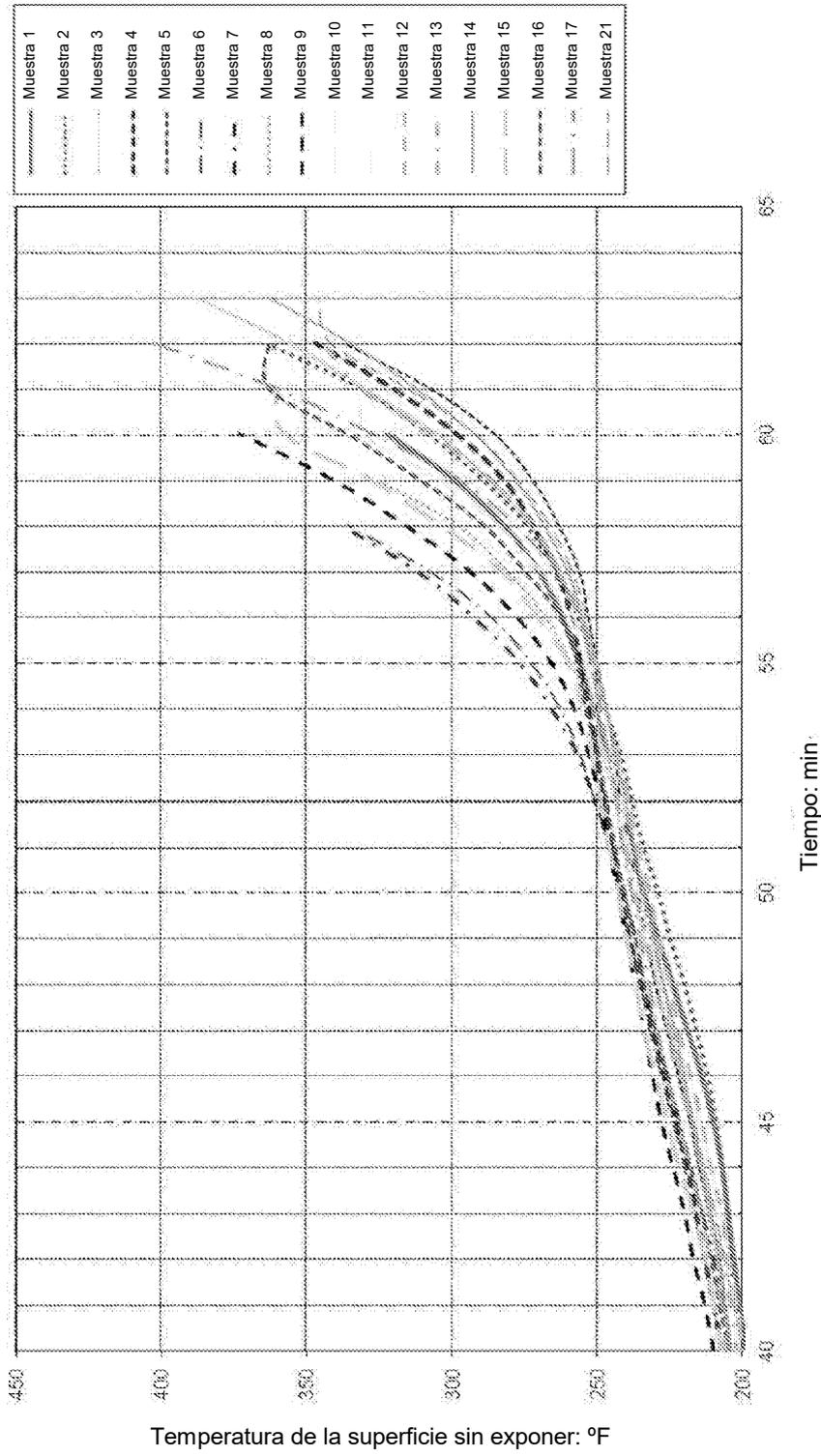


FIG. 12

Tiempo v. temperatura de la superficie sin exponer según ensayo de exposición al fuego U419
(Temperatura máxima del sensor)

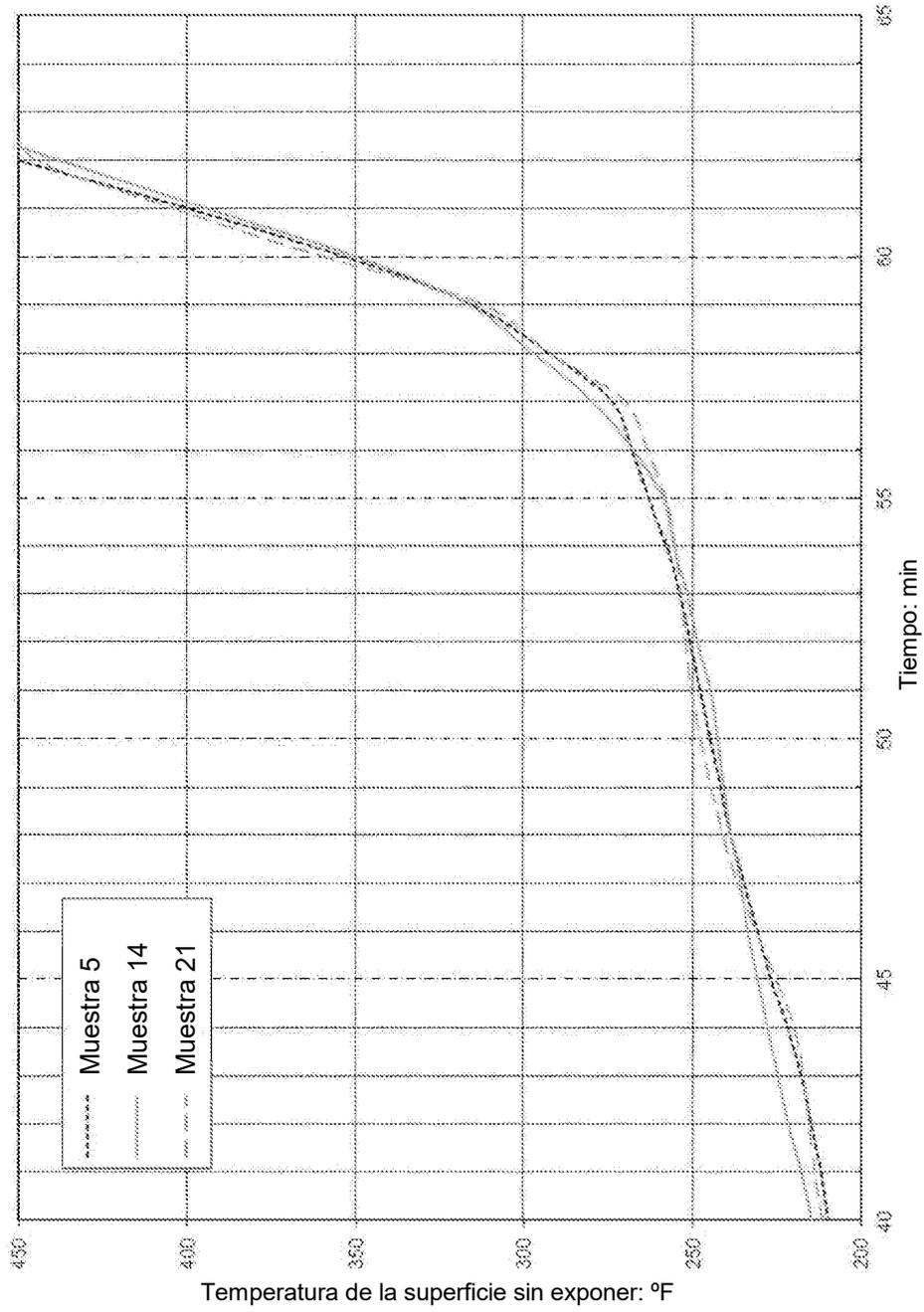


FIG. 13

Tiempo v. temperatura de la superficie sin exponer - Ensayo de exposición al fuego U419
(Temperatura media del sensor)

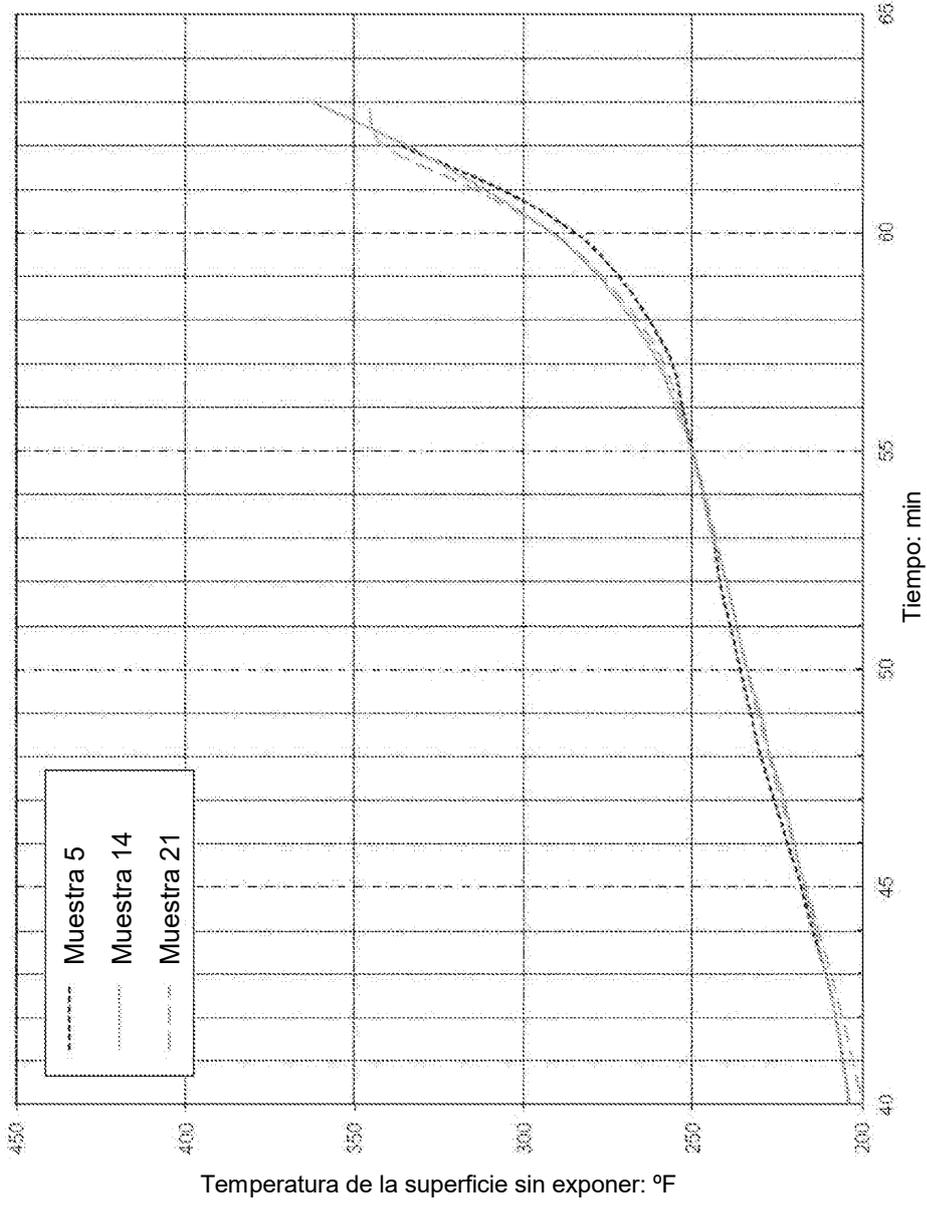


FIG. 14

Tiempo v. temperatura de la superficie sin exponer según el ensayo de exposición al fuego U423 (Temperatura máxima)

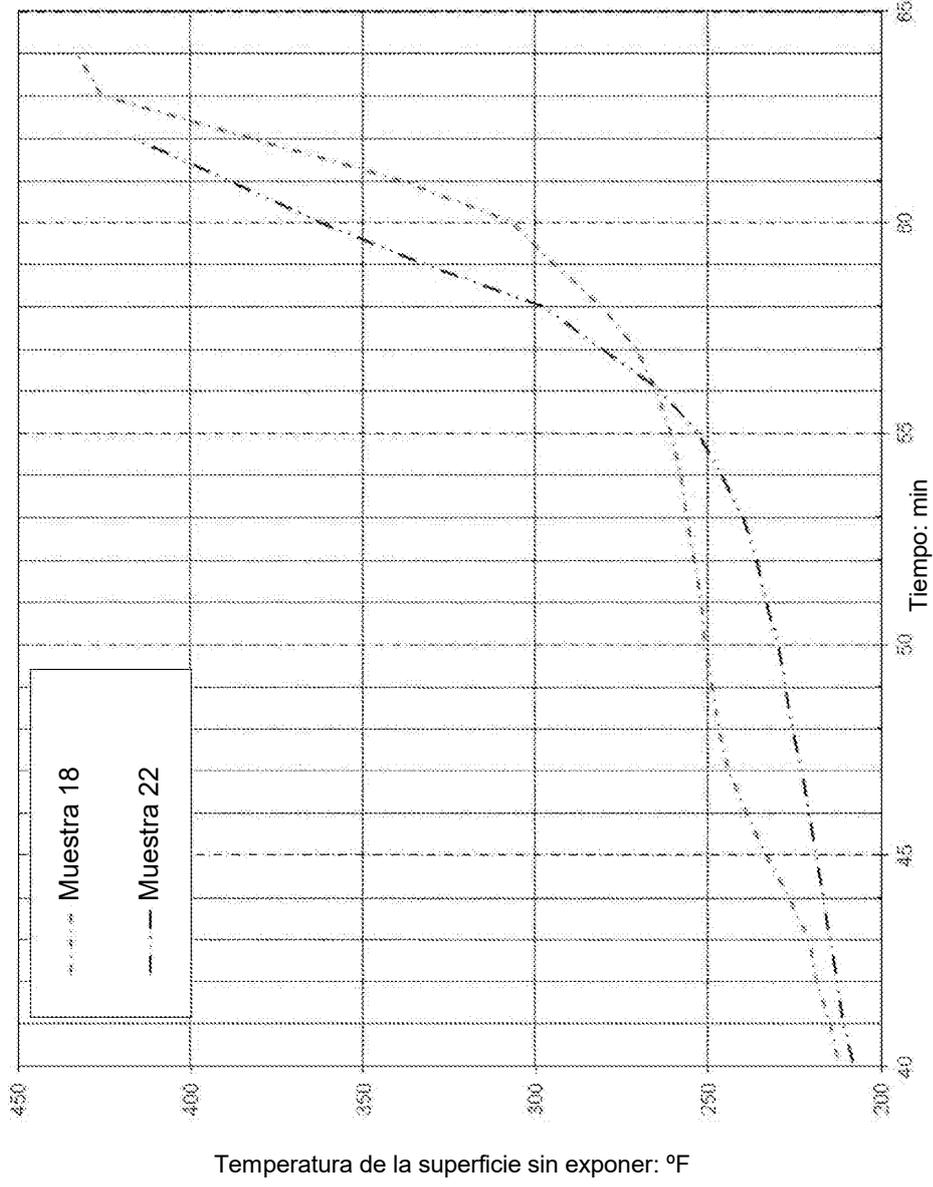


FIG. 15

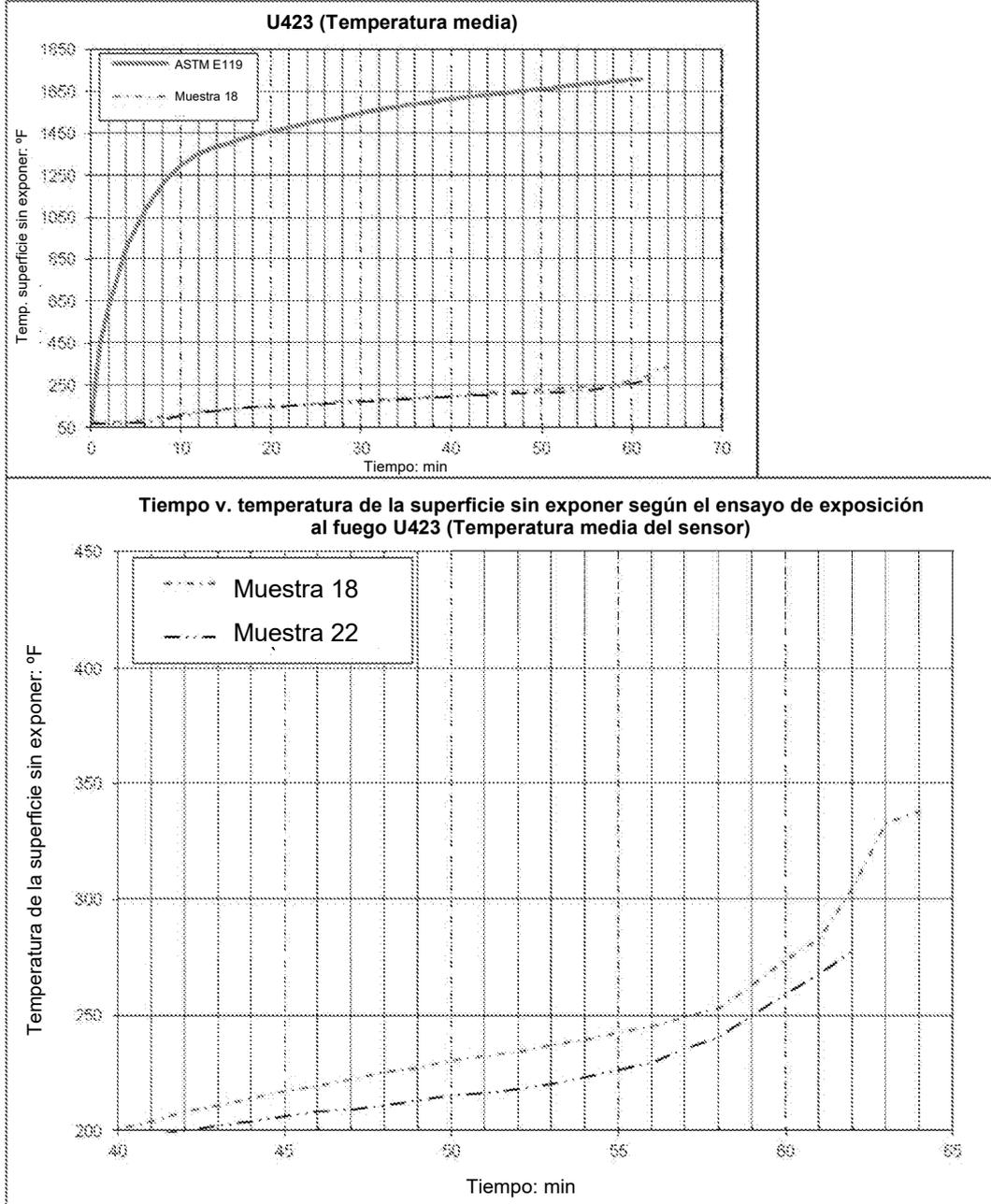


FIG. 16

Tiempo v. temperatura de la superficie sin exponer según el ensayo de exposición al fuego U305
(Temperatura media del sensor)

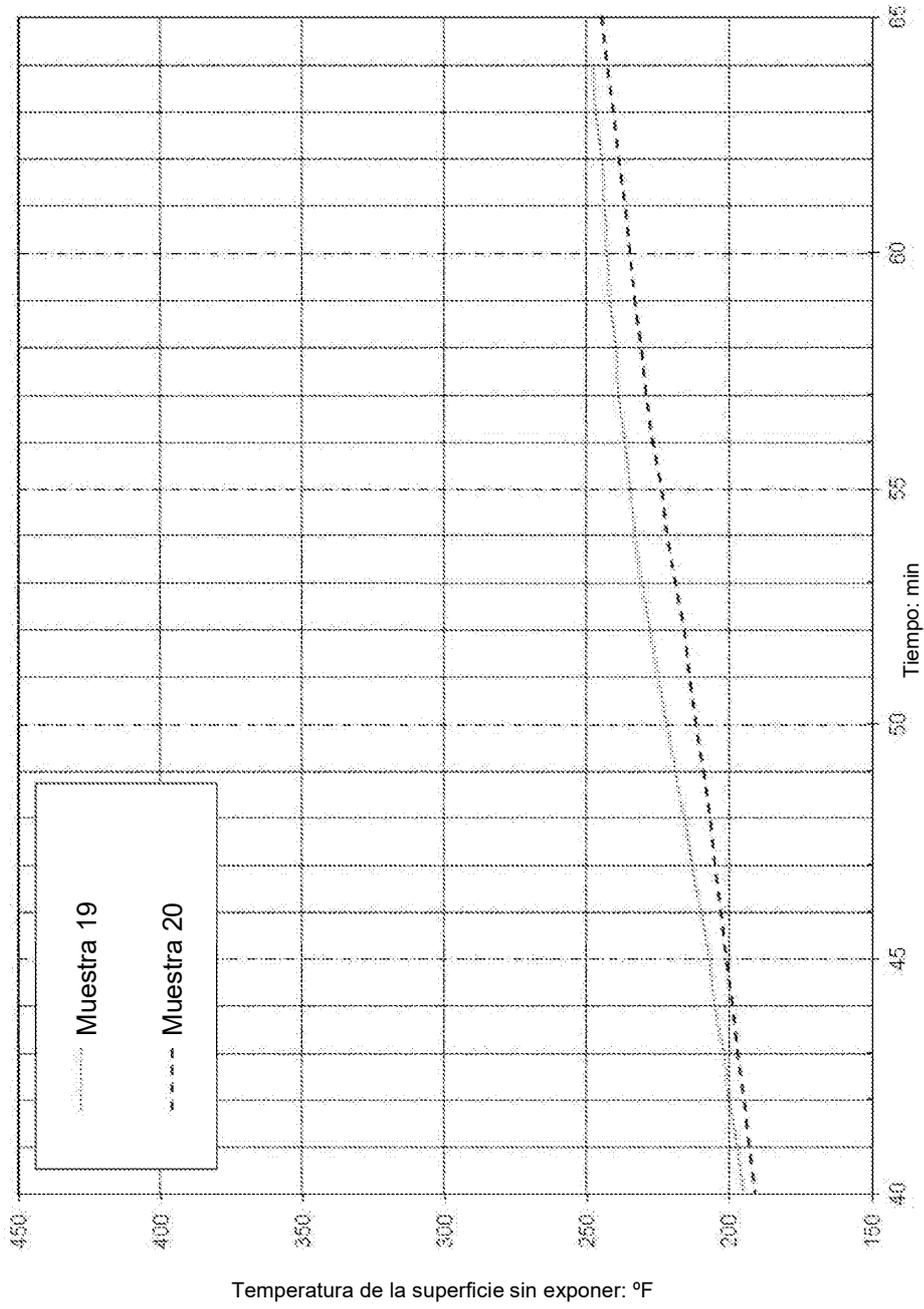


FIG. 17

Tiempo v. temperatura de la superficie sin exponer según el ensayo de exposición al fuego UB05
(Temperatura media del sensor)

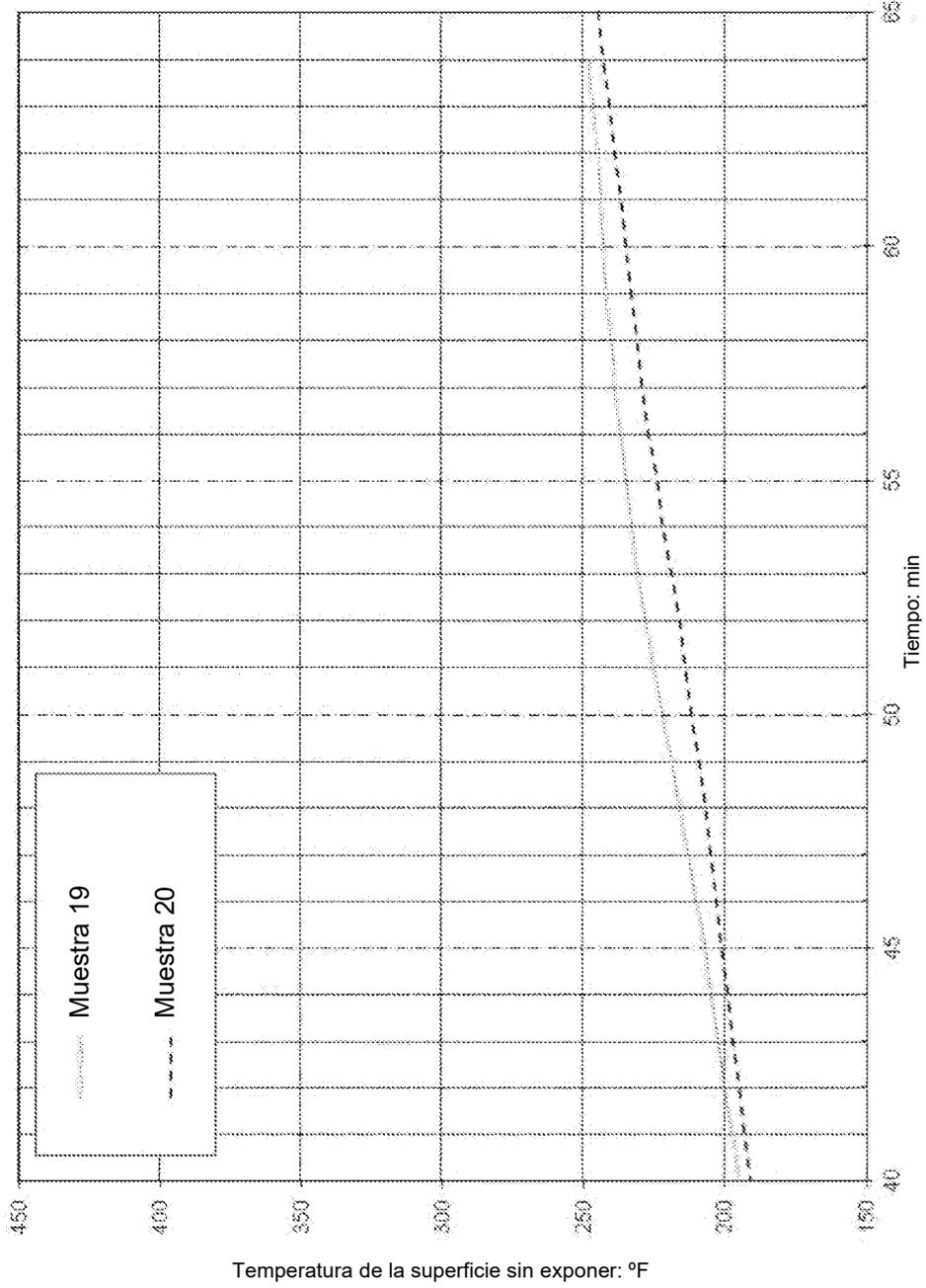


FIG. 18

TABLA I
Formulaciones de ejemplo para paneles de yeso resistentes al fuego con un peso y densidad reducidos creados conforme a los principios de la presente exposición

Componente	Densidad del núcleo de aproximadamente 30,2 a aproximadamente 40,3 pcf (Aprox. 483,8 a aprox. 645 kg/m ³)	Densidad del núcleo de aproximadamente 32,2 a aproximadamente 38,3 pcf (Aprox. 512,8 a aprox. 613,5 kg/m ³)	Densidad del núcleo de aproximadamente 35,3 a aproximadamente 37,3 pcf (Aprox. 565,5 a aprox. 597,5 kg/m ³)
Estuco (aprox. 95 % yeso)	aproximadamente 1162 a aproximadamente 1565 lb/msf (aprox. 5,7 a aprox. 7,6 kg/m ²)	aproximadamente 1227 a aproximadamente 1502 lb/msf (aprox. 6,0 a aprox. 7,3 kg/m ²)	aproximadamente 1354 a aproximadamente 1459 lb/msf (aprox. 6,6 a aprox. 7,1 kg/m ²)
Núcleo/peso del yeso	aproximadamente 1425 a aproximadamente 1780 lb/msf (aprox. 7,0 a aprox. 8,7 kg/m ²)	aproximadamente 1500 a aproximadamente 1700 lb/msf (aprox. 7,3 a aprox. 8,3 kg/m ²)	aproximadamente 1600 lb/msf (aprox. 7,8 kg/m ²)
Vermiculita de alta expansión (% en peso del estuco)	aprox. 5 a aprox. 10	aprox. 5,5 a aprox. 8,0	aprox. 6,0
Almidón (% en peso del estuco)	hasta aprox. 3	hasta aprox. 2,5	hasta aprox. 1,5
Fosfato (% en peso del estuco)	hasta aprox. 0,40	hasta aprox. 0,25	hasta aprox. 0,15
Dispersante (% en peso de estuco)	hasta aprox. 1	hasta aprox. 0,8	hasta aprox. 0,5
Aditivos Disipadores Térmicos de Alta Eficiencia (% en peso del estuco)	hasta aprox. 10	hasta aprox. 10	hasta aprox. 10
Fibra de carbono, vidrio o mineral (% en peso del estuco)	de aprox. 0,3 a aprox. 0,9	aprox. 0,4 a aprox. 0,7	aprox. 0,5
Láminas de cubierta de papel	aproximadamente 40 a aproximadamente 65 lb/msf (aprox. 195 a aprox. 317 g/m ²)	aproximadamente 48 a aproximadamente 60 lb/msf (aprox. 234 a aprox. 293 g/m ²)	aproximadamente 48 a aproximadamente 54 lb/msf (aprox. 234 a aprox. 264 g/m ²)
Densidad del panel (núcleo y hojas de cubierta)	aproximadamente 30 a aproximadamente 39,5 pcf (aprox. 480,6 a aprox. 632,7 kg/m ³)	aproximadamente 32 a aproximadamente 38,5 pcf (aprox. 512,6 a aprox. 616,7 kg/m ³)	aproximadamente 35,5 a aproximadamente 37,5 pcf (aprox. 568,7 a aprox. 60,70 kg/m ³)
Peso del panel, panel de 5/8 pulgadas (1,6 cm) de espesor	aproximadamente 1600 a aproximadamente 2055 lb/msf (aprox. 7,8 a aprox. 10 kg/m ²)	aproximadamente 1700 a aproximadamente 2000 lb/msf (aprox. 8,3 a aprox. 9,8 kg/m ²)	aproximadamente 1850 a aproximadamente 1950 lb/msf (aprox. 9,0 a aprox. 9,5 kg/m ²)

FIG. 19

TABLA II:
Pérdida de peso y cambios de densidad con la temperatura de la vermiculita de Grado 5

Temp.	Peso del crisol	Peso de Muestra	Peso tras calentarlo	Pérdida de peso	Peso de muestra	Volumen	Densidad	Volumen
° F (° C)	g	g	ml	%	g	ml	lb/cf (kg/m ³)	% del volumen original
72 (22)					105.6	99.7	66.1 (1059.1)	100
212 (100)	63.31	50.00	112.39	1.85	48.82	46.00	66.3 (1062.3)	99.7
390 (200)	63.31	50.00	111.12	4.51	47.68	43.33	71.2 (1140.8)	96.5
750 (400)	70.29	50.00	117.53	5.53	47.21	54.00	53.9 (863.6)	122.6
1,110 (600)	70.29	50.00	116.84	6.91	46.54	101.50	28.1 (450.3)	235.2
1,470 (800)	70.29	50.00	115.94	8.70	17.94	50.00	22.8 (365.3)	289.9

FIG. 20

TABLA III:
Pérdida de peso y cambios de densidad con la temperatura de la
vermiculita de alta expansión

Temp.	Peso del crisol	Peso de Muestra	Peso tras calentario	Pérdida de peso	Peso de muestra	Volumen	Densidad	Volumen
°F (°C)	g	g	ml	%	g	ml	lb/cf (kg/m ³)	% del volumen original
72 (22)					267.9	250.0	66.9 (1071.9)	100
212° (100)	105.21	25.00	129.65	2.22	24.12	22.25	67.7 (1084.8)	98.8
390 (200)	105.20	25.00	129.09	4.44	23.13	21.25	67.9 (1088.0)	98.5
750 (400)	105.20	25.00	128.83	5.46	15.36	24.75	38.7 (620.1)	172.9
1,110 (600)	105.20	25.00	128.51	6.74	16.17	50.00	20.2 (323.7)	331.2
1470 (800)	105.20	25.00	128.04	8.62	13.66	50.00	17.1 (274.0)	391.2

FIG. 21

TABLA IV:
Información estadística de la distribución de los vacíos de aire de los Especímenes 1-4

Diámetro esférico equivalente (µm)	Especimen 1 (Muestra 2) (Burbujas de aire totales = 675)				Especimen 2 (Muestra 3) (Burbujas de aire totales = 6900)				Especimen 3 (Burbujas de aire totales = 1177)				Especimen 4 (Burbujas de aire totales = 1915)			
	Recuento		% (cum.)		Recuento		% (cum.)		Recuento		% (cum.)		Recuento		% (cum.)	
		%		%		%		%		%		%		%		%
50	0	0	0	0	1756	25.4%	25.4%	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	14	2.1%	2.1%	2.1%	2054	29.8%	55.2%	204	17.3%	17.3%	404	21.1%	21.1%	480	25.1%	46.2%
150	127	18.8%	20.9%	20.9%	686	9.9%	65.2%	255	21.7%	39.0%	480	25.1%	46.2%	258	13.5%	59.6%
200	112	16.6%	37.5%	37.5%	517	7.5%	72.7%	171	14.5%	53.5%	258	13.5%	59.6%	196	10.2%	69.9%
250	59	8.7%	46.2%	46.2%	591	8.6%	81.2%	145	12.3%	65.8%	187	9.8%	79.6%	161	8.4%	88.0%
300	37	5.5%	51.7%	51.7%	569	8.2%	89.5%	110	9.3%	75.2%	187	9.8%	79.6%	229	12.0%	100%
350	48	7.1%	58.8%	58.8%	386	5.6%	95.1%	99	8.4%	83.6%	161	8.4%	88.0%			
>400	278	41.2%	100%	100%	341	4.9%	100%	193	16.4%	100%	229	12.0%	100%			
Recuento total	675				6900				1177				1915			
Media (µm)	325.49				133.57				221.50				198.06			
Desviación estándar	186.45				111.80				132.40				109.73			

FIG. 22

TABLA V:
Información estadística de las distribuciones del espesor de la pared de los Especímenes 1-4

Espesor de la pared (µm)	Porcentaje			
	Espécimen 1 (Muestra 2) (Burbujas de aire totales = 675)	Espécimen 2 (Muestra 3) (Burbujas de aire totales = 6900)	Espécimen 3 (Burbujas de aire totales = 1177)	Espécimen 4 (Burbujas de aire totales = 1915)
30	28.57	35.57	68.51	81.37
50	36.56	37.89	27.13	16.70
70	23.14	18.85	3.53	1.36
120	10.98	7.12	0.74	0.52
200	0.70	0.52	0.09	0.06
Recuento total	24,527,418	21,740,821	33,438,483	33,487,996
Media (µm)	49.27	44.92	31.20	27.29
Desv. estándar	22.89	21.40	13.34	11.66

FIG. 23

**TABLA VI:
Resultados de los ensayos de la resistencia a la contracción**

Tipo de muestra	Densidad aprox. del núcleo	Longitud anterior	Espesor anterior	Longitud posterior	Espesor posterior	Área anterior	Área posterior	% Contracción	Resistencia a la contracción
Ejemplo de panel de la presente exposición (Serie 1)	36.8 pcf (588.8 kg/m ³)	9 in. (22.9 cm)	3 in. (7.62 cm)	8.5 in. (21.6 cm)	2.8 in. (7.11 cm)	27 in. ² (174.2 cm ²)	23.80 in. ² (153.5 cm ²)	11.85	88.15
Tipo X normal de 5/8" (Serie 1)	43 pcf (688 kg/m ³)	9 in. (22.9 cm)	3 in. (7.62 cm)	8.0625 in. (20.5 cm)	2.584 in. (6.56 cm)	27 in. ² (174.2 cm ²)	20.83 in. ² (134.4 cm ²)	22.84	77.16
Tipo X Normal de 5/8" (Serie 1)	43 pcf (688 kg/m ³)	9 in. (22.9 cm)	3 in. (7.62 cm)	8.0625 in. (20.5 cm)	2.56 in. (6.50 cm)	27 in. ² (174.2 cm ²)	20.64 in. ² (133.2 cm ²)	23.56	76.44
Firecode "X" de 5/8" (Serie 2)	42 pcf (672.8 kg/m ³)	9 in. (22.9 cm)	3.01 in. (7.65 cm)	7.21 in. (18.31 cm)	2.31 in. (5.87 cm)	27.1 in. ² (174.8 cm ²)	16.7 in. ² (107.7 cm ²)	38.47	61.53
Firecode "C" de 1/2" (Serie 2)	48.1 pcf (770.5 kg/m ³)	9 in. (22.9 cm)	3.03 in. (7.70 cm)	7.90 in. (20.07 cm)	2.56 in. (6.50 cm)	27.3 in. ² (176.1 cm ²)	20.2 in. ² (130.3 cm ²)	25.88	74.12
Firecode "C" de 5/8" (Serie 2)	46.9 pcf (751.3 kg/m ³)	9.04 in. (22.96 cm)	3.05 in. (7.75 cm)	8.02 in. (20.37 cm)	2.57 in. (6.53 cm)	27.5 in. ² (177.4 cm ²)	20.6 in. ² (132.9 cm ²)	25.15	74.85

FIG. 24

TABLA VII:
Formulaciones para los paneles de muestra a los que se hace referencia en el Ejemplo 4
Componentes principales (Media de cada serie, a menos que se índice lo contrario)

Serie de Muestras	Estuco aprox.	Vermiculita de alta exp. aprox.	Almidón aprox.	Fosfato aprox.	Dispersante aprox.	Fibra de vidrio/lana mineral aprox.	Acelerador aprox.
	lb/msf (kg/m ²)	lb/msf de estuco (g/m ² de estuco)	lb/msf (g/m ³)	lb/msf (g/m ³)			
1	1281 (6.26)	100 (488.2)	10 (48.82)	1 (4.88)	8 (39.06)	7.5 (36.62)	20 (97.65)
2	1280 (6.25)	75 (366.2)	20 (97.65)	1.5 (7.32)	2 (9.76)	7.5 (36.62)	32 (156.2)
3	1280 (6.25)	100 (488.2)	20 (97.65)	1.5 (7.32)	2 (9.76)	7.5 (36.62)	32 (156.2)
4	1280 (6.25)	100 (488.2)	20 (97.65)	1.5 (7.32)	2 (9.76)	7.5 (36.62)	32 (156.2)
5	1280 (6.25)	100 (488.2)	20 (97.65)	1.5 (7.32)	2 (9.76)	7.5 (36.62)	32 (156.2)
6	1245 (6.08)	100 (488.2)	20 (97.65)	1.5 (7.32)	2 (9.76)	7.5 (36.62)	32 (156.2)
7	1295 (6.32)	100 (488.2)	30 (146.47)	1.5 (7.32)	2 (9.76)	7.5 (36.62)	30 (146.5)
8	1295 (6.32)	100 (488.2)	30 (146.47)	1.5 (7.32)	2 (9.76)	7.5 (36.62)	30 (146.5)
9	1295 (6.32)	100 (488.2)	30 (146.47)	1.5 (7.32)	2 (9.76)	7.5 (36.62)	30 (146.5)
10	1280 (6.25)	100 (488.2)	30 (146.47)	1.5 (7.32)	2 (9.76)	7.5 (36.62)	32 (156.2)
11	1294 (6.32)	100 (488.2)	30 (146.47)	1.5 (7.32)	4 (19.53)	7.5 (36.62)	28 (136.7)
12	1336 (6.52)	100 (488.2)	30 (146.47)	1.5 (7.32)	4 (19.53)	7.5 (36.62)	28 (136.7)
13	1311 (6.40)	100 (488.2)	30 (146.47)	1.5 (7.32)	2 (9.76)	7.5 (36.62)	25 (122.1)
14	1345 (6.57)	100 (488.2)	30 (146.47)	1.5 (7.32)	2 (9.76)	7.5 (36.62)	25 (122.1)
15	1306 (6.38)	100 (488.2)	30 (146.47)	1.5 (7.32)	2 (9.76)	7.5 (36.62)	28 (136.7)
16	1328 (6.49)	100 (488.2)	30 (146.47)	1.5 (7.32)	2 (9.76)	7.5 (36.62)	28 (136.7)
17	1308 (6.39)	100 (488.2)	30 (146.47)	1.5 (7.32)	2 (9.76)	7.5 (36.62)	27 (131.8)
18	1308 (6.39)	100 (488.2)	30 (146.47)	1.5 (7.32)	2 (9.76)	7.5 (36.62)	27 (131.8)
19	1308 (6.39)	100 (488.2)	30 (146.47)	1.5 (7.32)	2 (9.76)	7.5 (36.62)	27 (131.8)
20	1280 (6.25)	100 (488.2)	20 (97.65)	1.5 (7.32)	2 (9.76)	7.5 (36.62)	32 (156.2)

FIG. 25A

TABLA VII (CONTINUACIÓN):
Formulaciones para los paneles de muestra a los que se hace referencia en el Ejemplo 4
Componentes principales (Medio de cada serie, a menos que se índice lo contrario)

Serie de Muestras	Peso aprox. de la hoja de cubierta delantera de manila	Peso aprox. de la hoja de cubierta trasera	Peso medio aprox. del panel	% aprox. de vermiculita de alta expansión (% en peso del estuco)	Espesor medio aprox. del panel	Densidad media aprox. del panel
	lb/msf (g/m ²)	lb/msf (g/m ²)	lb/msf (kg/m ²)	%	pulgadas (cm)	pcf (kg/m ³)
1	51 (249.0)	41 (200.2)	1850 (9.035)	7.8	0.63 (1.60)	35.16 (563.21)
2	61 (297.8)	41 (200.2)	1883 (9.196)	5.8	0.62 (1.57)	36.59 (586.12)
3	61 (297.8)	41 (200.2)	1863 (9.099)	7.8	0.61 (1.55)	36.90 (591.08)
4	61 (297.8)	41 (200.2)	1867 (9.118)	7.8	0.61 (1.55)	36.97 (592.20)
5	61 (297.8)	41 (200.2)	1856 (9.064)	7.8	0.60 (1.52)	36.90 (591.08)
6	61 (297.8)	41 (200.2)	1791 (8.747)	7.8	0.61 (1.55)	35.48 (568.33)
7	61 (297.8)	41 (200.2)	1862 (9.094)	7.8	0.61 (1.55)	36.16 (579.23)
8	61 (297.8)	41 (200.2)	1919 (9.372)	7.8	0.62 (1.57)	37.35 (598.29)
9	61 (297.8)	41 (200.2)	1911 (9.333)	7.8	0.62 (1.57)	37.35 (598.29)
10	61 (297.8)	41 (200.2)	1845 (9.011)	7.8	0.63 (1.60)	35.17 (563.37)
11	61 (297.8)	41 (200.2)	1871 (9.138)	7.8	0.62 (1.57)	36.16 (579.23)
12	61 (297.8)	41 (200.2)	1922 (9.387)	7.8	0.62 (1.57)	36.98 (592.36)
13	61 (297.8)	41 (200.2)	1854 (9.055)	7.8	0.60 (1.52)	36.81 (589.64)
14	61 (297.8)	41 (200.2)	1903 (9.294)	7.8	0.60 (1.52)	38.01 (608.86)
15	61 (297.8)	41 (200.2)	1853 (9.050)	7.8	0.60 (1.52)	38.01 (608.86)
16	61 (297.8)	41 (200.2)	1919 (9.372)	7.8	0.60 (1.52)	37.69 (603.74)
17	61 (297.8)	41 (200.2)	1919 (9.372)	7.8	0.60 (1.52)	37.86 (606.46)
18	61 (297.8)	41 (200.2)	1891 (9.235)	7.8	0.60 (1.52)	37.86 (606.46)
19	61 (297.8)	41 (200.2)	1890 (9.230)	7.8	0.60 (1.52)	37.86 (606.46)
20	61 (297.8)	41 (200.2)	1879 (9.177)	7.8	0.61 (1.55)	37.12 (594.61)
Notas:						
Muestra 1 – Se observó durante la producción que pudo haber problemas de hidratación del núcleo de estuco.						
Muestras 7 a 10 – Se observó durante la producción que los paneles pudieron haberse secado demasiado.						
Muestras 8 y 15 – Se observó que la fuente de yeso contenía mayores niveles de impurezas que la(s) fuente(s) de yeso para las otras muestras.						

FIG. 25B

TABLA VIII:
Ensayos de Contracción a Altas Temperaturas y Expansión del Espesor de los especímenes de las Series de Muestras a las que se hace referencia en la Tabla VII y en el Ejemplo 4B

Serie de Muestras	Peso medio aprox. del panel	Densidad media aprox. del panel	% aprox. de vermiculita de alta expansión (% en peso del estuco)	Porcentaje aprox. medio de Contracción por calor a altas temperaturas (S)	Expansión del espesor (TE) (% aprox. del espesor original)	Proporción del % de expansión del espesor en relación con el % de contracción por calor
	lb/msf (kg/m ²)	pcf (kg/m ³)	%	%	%	
1	1850 (9.035)	35.16 (563.21)	7.8	4.5	25	5.56
2	1883 (9.196)	36.59 (586.12)	5.8	3.7	14	3.78
3	1863 (9.099)	36.90 (591.08)	7.8	3.3	26	7.88
4	1867 (9.118)	36.97 (592.20)	7.8	3.3	26	7.88
5	1856 (9.064)	36.90 (591.08)	7.8	3.3	26	7.88
6	1791 (8.747)	35.48 (568.33)	7.8	3.5	11	3.14
7	1862 (9.094)	36.16 (579.23)	7.8	3.1	23	7.42
8	1919 (9.372)	37.35 (598.29)	7.8	3.1	23	7.42
9	1911 (9.333)	37.35 (598.29)	7.8	2.4	26	10.83
10	1845 (9.011)	35.17 (563.37)	7.8	3.5	23	6.57
11	1871 (9.138)	36.16 (579.23)	7.8	4.0	28	7.60
12	1922 (9.387)	36.98 (592.36)	7.8	4.1	23	5.61
13	1854 (9.055)	36.81 (589.64)	7.8	2.3	28	12.17
14	1903 (9.294)	38.01 (608.86)	7.8	1.8	29	16.11
15	1853 (9.050)	38.01 (608.86)	7.8	2.5	22	8.80
16	1919 (9.372)	37.69 (603.74)	7.8	2.3	24	10.43
17	1919 (9.372)	37.86 (606.46)	7.8	2.4	29	12.08
18	1891 (9.235)	37.86 (606.46)	7.8	1.9	33	17.37
19	1890 (9.230)	37.86 (606.46)	7.8	1.9	33	17.37
20	1879 (9.177)	37.12 (594.61)	7.8	3.3	26	7.88

FIG. 26A

**TABLA VIII (CONTINUACIÓN):
Ensayos de Contracción a Altas Temperaturas y Expansión del Espesor de los especímenes de las Series de Muestras a las que se hace referencia en la Tabla VI y en el Ejemplo 4B**

Serie de Muestras	Peso medio aprox. del panel lb/msf (kg/m ²)	Densidad media aprox. del panel pcf (kg/m ³)	% aprox. de vermiculita de alta expansión (% en peso de estuco)	Porcentaje aprox. medio de Contracción por calor a altas temperaturas (S)	Expansión del espesor (TE) (% aprox. del espesor original)	Proporción del % de expansión del espesor en relación con el % de contracción por calor
Comparación comercial						
Tipo X 5/8"	2250 (10.989)	43.1 (690.4)	0	5.4	-9.0	-1.67
Tipo C 5/8"	2500 (12.210)	47.9 (767.3)	6.5 (Grado 5)	3.0	0.0	0.00
Acristalado 5/8"	2634 (12.864)	50.7 (812.1)	0	2.0	N/A	

FIG. 26B

TABLA IX:				
Valores del Índice de Aislamiento Térmico a Altas Temperaturas mínimos previstos para la resistencia al fuego deseada a los 50, 55 y 60 minutos en ensamblajes que utilizan paneles creados conforme a los principios de la presente exposición, montantes de madera y carga de peso por ASTM E119 de especímenes de las muestras a las que se hace referencia en la Tabla VII y el Ejemplo 4B				
Serie de Muestras	Porcent. Medio aprox. de contracción por calor a altas temperaturas (S)	A 50 min. TI ≥	A 55 min. TI ≥	A 60 min. TI ≥
1	4.5	15.87	18.99	22.11
2	3.7	15.25	18.37	21.49
3	3.3	14.93	18.05	21.17
4	3.3	14.93	18.05	21.17
5	3.3	14.93	18.05	21.17
6	3.5	15.09	18.21	21.33
7	3.1	14.78	17.90	21.02
8	3.1	14.78	17.90	21.02
9	2.4	14.23	17.35	20.47
10	3.5	15.09	18.21	21.33
11	4.0	15.48	18.60	21.72
12	4.1	15.56	18.68	21.80
13	2.3	14.15	17.27	20.39
14	1.8	13.76	16.88	20.00
15	2.5	14.31	17.43	20.55
16	2.3	14.15	17.27	20.39
17	2.4	14.23	17.35	20.47
18	1.9	13.84	16.96	20.08
19	1.9	13.84	16.96	20.08
20	3.3	14.93	18.05	21.17
Comparación comercial				
Tipo X 5/8"	5.4	16.57	19.69	22.81
Tipo C 5/8"	3.0	14.70	17.82	20.94
Acristalado 5/8"	2.0	13.92	17.04	20.16

FIG. 27

TABLA X:
Ensayo de aislamiento térmico a altas temperaturas de los especímenes de las muestras a las que se hace referencia en la Tabla VII y el Ejemplo 4D

Serie de Muestras	Peso medio aprox. del panel	Densidad media aprox. del panel	% aprox. de vermiculita de alta expansión	Valores medios del Índice de Aislamiento Térmico (T)	Proporción de valores del Índice de Aislamiento Térmico (TI) a la densidad media del panel (mins/pcf)
	lb/msf (kg/m ²)	pcf (kg/m ³)	% en peso de estuco	mins. de 40 °C a 200 °C	mins./pcf (mins/(kg/m ³))
1	1850 (9.035)	35.16 (563.21)	7.8	22.95	0.65 (0.041)
2	1883 (9.196)	36.59 (586.12)	5.8	24	0.66 (0.041)
3	1863 (9.099)	36.90 (591.08)	7.8	25.06	0.68 (0.042)
4	1867 (9.118)	36.97 (592.20)	7.8	25.19	0.68 (0.043)
5	1856 (9.064)	36.90 (591.08)	7.8	25.19	0.68 (0.043)
6	1791 (8.747)	35.48 (568.33)	7.8	23	0.65 (0.040)
7	1862 (9.094)	36.16 (579.23)	7.8	21.7	0.60 (0.037)
8	1919 (9.372)	37.35 (598.29)	7.8	23.13	0.62 (0.039)
9	1911 (9.333)	37.35 (598.29)	7.8	24	0.64 (0.040)
10	1845 (9.011)	35.17 (563.37)	7.8	24	0.68 (0.043)
11	1871 (9.138)	36.16 (579.23)	7.8	23.7	0.66 (0.041)
12	1922 (9.387)	36.98 (592.36)	7.8	23.5	0.64 (0.040)
13	1854 (9.055)	36.81 (589.64)	7.8	24.1	0.65 (0.041)
14	1903 (9.294)	38.01 (608.86)	7.8	23.4	0.62 (0.038)
15	1853 (9.050)	38.01 (608.86)	7.8	23.5	0.62 (0.039)
16	1919 (9.372)	37.69 (603.74)	7.8	23.1	0.61 (0.038)
17	1891 (9.235)	37.86 (606.46)	7.8	22.9	0.60 (0.038)
18	1889 (9.226)	37.86 (606.46)	7.8	22.9	0.60 (0.038)
19	1890 (9.230)	37.86 (606.46)	7.8	22.9	0.60 (0.038)
20	1879 (9.177)	37.12 (594.61)	7.8	25.13	0.68 (0.042)

FIG. 28A

TABLA X (continuación):
Ensayo de aislamiento térmico a altas temperaturas de los especímenes de las Series de Muestras a las que se hace referencia en la Tabla VII y el Ejemplo 4D

Serie de Muestras	Peso medio aprox. del panel	Densidad media aprox. del panel	% aprox. de vermiculita de alta expansión	Valores medios del índice de Aislamiento Térmico (TI)	Proporción de valores del índice de Aislamiento Térmico (TI) a la densidad media del panel (mins/pcf)
	lb/msf (kg/m ²)	pcf (kg/m ³)	% en peso de estuco	mins. de 40 °C a 200 °C	mins./pcf (mins/(kg/m ³))
Comparación comercial					
Tipo X 5/8"	2250 (10.989)	43.1 (690.4)	0	25.5	0.59 (0.033)
Tipo C 5/8"	2500 (12.210)	47.9 (767.3)	6.5 (Grado 5)	28	0.58 (0.036)
Acrystalados 5/8"	2634 (12.864)	50.7 (812.1)	0	28	0.55 (0.034)

FIG. 28B

TABLA XI:
Datos del ensayo de resistencia al fuego de los especímenes de las muestras a las que se hace referencia en la Tabla VII y el Ejemplo 4E

Serie de Muestras	Peso medio aprox. del panel lb/msf (kg/m ²)	Densidad media aprox. del panel pcf (kg/m ³)	% aprox. de vermiculita de alta expansión % en peso de estuco	Tipo de ensayo	Tipo de construcción de ensamblaje
1	1850 (9.035)	35.16 (563.21)	7.8	U419	NLB,HA,JA
2	1883 (9.196)	36.59 (586.12)	5.8	U419	NLB,HA,JA
3	1863 (9.099)	36.90 (591.08)	7.8	U419	NLB,HA,JA
4	1867 (9.118)	36.97 (592.20)	7.8	U419	NLB,HA,JA
5	1856 (9.064)	36.90 (591.08)	7.8	U419	NLB,HA,JA
6	1791 (8.747)	35.48 (568.33)	7.8	U419	NLB,HA,JA
7	1862 (9.094)	35.91 (575.22)	7.8	U419	NLB,HA,JA
8	1919 (9.372)	37.35 (598.29)	7.8	U419	NLB,HA,JA
9	1911 (9.333)	36.91 (591.24)	7.8	U419	NLB,HA,JA
10	1845 (9.011)	35.18 (563.53)	7.8	U419	NLB,HA,JA
11	1871 (9.138)	36.16 (579.23)	7.8	U419	NLB,HA,JA
12	1922 (9.387)	36.98 (592.36)	7.8	U419	NLB,HA,JA
13	1854 (9.055)	36.81 (589.64)	7.8	U419	NLB,HA,JA
14	1903 (9.294)	38.01 (608.86)	7.8	U419	NLB,HA,JA
15	1853 (9.050)	36.92 (639.46)	7.8	U419	NLB,HA,JA
16	1919 (9.372)	37.69 (603.74)	7.8	U419	NLB,HA,JA
17	1891 (9.235)	37.86 (606.46)	7.8	U419	NLB,HA,JA
18	1889 (9.226)	37.65 (603.10)	7.8	U423	LB,HA,JA
19	1890 (9.230)	37.56 (601.65)	7.8	U305	LB,HA,JA
20	1879 (9.177)	37.12 (594.61)	7.8	U305	LB,HA,JA
21	2250 (10.989)	43 (688.79)	0	U419	NLB,HA,JA
22	2634 (12.864)	50.68 (812.82)	0	U423	LB,HA,JA

Notas:
 NLB – no soportan cargas
 LB – soportan cargas
 HA – aplicación horizontal de los paneles
 JA – juntas alineadas, calentadas, lados sin calentar

FIG. 29A

TABLA XI (CONTINUACIÓN):
Datos del ensayo de resistencia al fuego de los especímenes de las muestras a las que se hace referencia en la Tabla VII y el Ejemplo 4E

Serie de Muestras	Tipo de montante	Temp. Máx. a los 50 min, sensor único sin exponer, °F (°C)	Temp. media a los 50 min, media de los sensores, sin exponer, °F (°C)	Temp. Máx. a los 55 min, sensor único sin exponer, °F (°C)	Temp. media a los 55 min, media de los sensores, sin exponer °F (°C)
1	0.018" LGS	247 (119)	234 (112)	267 (131)	256 (124)
2	0.018" LGS	249 (121)	229 (109)	270 (132)	251 (122)
3	0.018" LGS	246 (119)	237 (114)	267 (132)	255 (124)
4	0.018" LGS	251 (122)	242 (117)	261 (127)	256 (124)
5	0.015" LGS	245 (118)	236 (113)	263 (128)	250 (121)
6	0.015" LGS	251 (122)	243 (117)	314 (157)	273 (134)
7	0.015" LGS	253 (123)	241 (116)	357 (181)	277 (136)
8	0.015" LGS	248 (120)	235 (113)	283 (139)	259 (126)
9	0.015" LGS	252 (122)	243 (117)	297 (147)	266 (130)
10	0.015" LGS	244 (118)	236 (113)	263 (128)	254 (123)
11	0.015" LGS	246 (119)	237 (114)	261 (127)	253 (123)
12	0.015" LGS	246 (119)	232 (111)	264 (129)	251 (122)
13	0.015" LGS	246 (119)	237 (114)	262 (128)	252 (122)
14	0.015" LGS	243 (117)	234 (112)	259 (126)	250 (121)
15	0.015" LGS	254 (123)	243 (117)	273 (134)	260 (127)
16	0.015" LGS	252 (122)	241 (116)	267 (131)	257 (125)
17	0.015" LGS	245 (118)	238 (114)	260 (127)	252 (122)
18	0.032" SS	251 (122)	230 (110)	261 (127)	242 (117)
19	#2 DGF	235 (113)	222 (106)	257 (125)	235 (113)
20	#2 DGF	226 (108)	212 (100)	238 (114)	224 (107)
21	0.015" LGS	248 (120)	234 (112)	258 (126)	250 (121)
22	0.032" SS	230 (110)	215 (102)	253 (123)	226 (108)
Notas:	LGS – Acero de calibre ligero WS – Montante de madera SS – Montante de acero DGF – Montante de madera de abeto de Douglas				

FIG. 29B

TABLA XI (CONTINUACIÓN):
Datos del ensayo de resistencia al fuego de los especímenes de las muestras a las que se hace referencia en la Tabla VII y el Ejemplo 4E

Serie de Muestras	Temp. Máx. a los 60 min, sensor único sin exponer °F (°C)	Temp. media a los 60 min, media de los sensores, sin exponer °F (°C)	Tiempo al finalizar, sensor único, lado sin exponer (min' seg'')	Temp. Máx. al finalizar, sensor único, sin exponer, °F (°C)	Temp. Máx. al finalizar, media de los sensores, sin exponer, °F (°C)
1	398 (203)	322 (161)	60'00''	398 (203)	322 (161)
2	443 (228)	308 (153)	60'00''	549 (287)	364 (184)
3	406 (208)	305 (152)	60'00''	547 (286)	388 (198)
4	375 (191)	298 (148)	60'00''	470 (243)	347 (175)
5	354 (179)	285 (141)	60'00''	451 (233)	337 (169)
6	468 (58'00'') (242)	336 (58'00'') (169)	60'00''	468 (242)	336 (169)
7	499 (58'00'') (259)	338 (58'00'') (170)	60'00''	499 (259)	338 (170)
8	423 (59'00'') (217)	326 (59'00'') (163)	60'00''	423 (217)	326 (163)
9	508 (264)	373 (189)	60'00''	508 (264)	373 (189)
10	420 (216)	330 (166)	60'00''	420 (216)	330 (166)
11	405 (207)	318 (159)	60'00''	405 (207)	318 (159)
12	394 (201)	307 (153)	60'00''	440 (227)	333 (167)
13	395 (202)	306 (152)	60'00''	452 (233)	344 (173)
14	351 (177)	292 (144)	60'00''	481 (249)	363 (184)
15	465 (241)	358 (181)	60'00''	465 (241)	360 (182)
16	435 (224)	336 (169)	60'00''	481 (249)	363 (184)
17	391 (199)	327 (164)	60'00''	499 (259)	403 (206)
18	307 (153)	274 (134)	60'00''	433 (223)	338 (170)
19	261 (127)	243 (117)	60'00''	265 (129)	248 (120)
20	245 (118)	235 (113)	60'00''	252 (122)	245 (118)
21	361 (183)	292 (144)	60'00''	452 (233)	346 (174)
22	363 (184)	259 (126)	60'00''	417 (214)	278 (137)

Notas:

- Muestra 1 – Se observó durante la producción que pudo haber problemas de hidratación del estuco del núcleo.
- Muestras 6, 7 y 9 – El ensayo terminó antes de los 60 minutos, y se indica el tiempo de finalización.
- Muestras 7 a 10 – Se observó durante la producción que los paneles pudieron haberse secado demasiado.
- Muestras 8 y 15 – Se observó que la fuente de yeso contenía mayores niveles de impurezas que la(s) fuente(s) de yeso del resto de ejemplos.
- Muestra 21 – Paneles de yeso comerciales marca Sheetrock® de Tipo X.
- Muestra 22 – Paneles de yeso comerciales de 5/8" (1,6 cm) de espesor marca Securock® acristalados

FIG. 29C

TABLA XII:
Datos de los ensayos de resistencia a la extracción de clavos de los especímenes de las Muestras a las que se hace referencia en la Tabla VII y el Ejemplo 5

Serie de Muestras	Peso medio aprox. del panel	Densidad del panel media aprox.	Resistencia aprox. a la extracción de clavos
	lb/msf (kg/m ²)	pcf (kg/m ³)	lb-f (N)
1	1850 (9.035)	35.16 (563.21)	73.6 (327.4)
2	1883 (9.196)	36.59 (586.12)	92.1 (409.7)
3	1863 (9.099)	36.90 (591.08)	96.3 (428.4)
4	1867 (9.118)	36.97 (592.20)	96.3 (428.4)
5	1856 (9.064)	36.90 (591.08)	96.3 (428.4)
6	1791 (8.747)	35.48 (568.33)	87.2 (387.9)
7	1862 (9.094)	36.16 (579.23)	106.6 (474.2)
8	1919 (9.372)	37.35 (598.29)	106.6 (474.2)
9	1911 (9.333)	37.35 (598.29)	106.6 (474.2)
10	1845 (9.011)	35.17 (563.37)	86.2 (3383.4)
11	1871 (9.138)	36.16 (579.23)	106.7 (474.6)
12	1922 (9.387)	36.98 (592.36)	106.7 (474.6)
13	1854 (9.055)	36.81 (589.64)	102.2 (454.6)
14	1903 (9.294)	38.01 (608.86)	107.5 (478.2)
15	1853 (9.050)	38.01 (608.86)	104.5 (464.8)
16	1919 (9.372)	37.69 (603.74)	104.5 (464.8)
17	1891 (9.235)	37.86 (606.46)	106.5 (473.7)
18	1889 (9.226)	37.86 (606.46)	106.5 (473.7)
19	1890 (9.230)	37.86 (606.46)	106.5 (473.7)
20	1879 (9.177)	37.12 (594.61)	96.3 (428.4)
23	1863 (9.099)	36.2 (579.87)	90.0 (400.3)
24	1806 (8.820)	35.0 (560.65)	83.1 (369.6)
25	1725 (8.425)	33.2 (531.81)	74.8 (332.7)
26	2252 (10.998)	43.1 (690.40)	100.3 (446.2)

Notas:
Muestra 26 – paneles de yeso de Tipo X marca Sheetrock® comerciales de 5/8" (1,6 cm)
Mismo espesor de papel utilizado, resistencia a la extracción de clavos proporcional a la densidad elevada a la tercera potencia con r (cuadrado) +0,94

FIG. 30

TABLA XIII:
Datos de los ensayos de resistencia a la flexión de los especímenes de las Series
de Muestras 17, 18 y 19
Resistencia a la flexión – Carga máxima
Lb-f (N)

Espécimen	XD FU	XD FD	Media	MD FU	MD FD	Media
1	208.4 (927.0)	259.9 (1156.1)	234.2 (1041.8)	81.0 (360.3)	90.6 (403.0)	85.8 (381.7)
2	196.0 (871.9)	250.6 (1114.7)	223.3 (993.3)	77.9 (346.5)	87.4 (388.8)	82.7 (367.9)
3	208.3 (926.6)	251.8 (1120.1)	230.1 (1023.5)	83.3 (370.5)	87.7 (390.1)	85.5 (380.3)
4	199.7 (888.3)	253.9 (1129.4)	226.8 (1008.9)	79.0 (351.4)	86.2 (383.4)	82.6 (367.4)
5	202.0 (898.5)	258.2 (1148.5)	230.1 (1023.5)	79.1 (351.9)	82.8 (368.3)	81.0 (360.3)
6	203.4 (904.8)	254.1 (1130.3)	228.8 (1017.8)	75.5 (335.8)	89.9 (399.9)	82.7 (367.9)
7	187.1 (832.3)	245.1 (1090.3)	216.1 (961.3)	73.3 (326.1)	88.4 (393.2)	80.9 (359.9)
8	190.4 (846.9)	243.1 (1081.4)	216.8 (964.4)	64.1 (285.1)	79.3 (352.7)	71.7 (318.9)
9	193.9 (862.5)	258.4 (1149.4)	226.2 (1006.2)	67.0 (298.0)	76.0 (338.1)	71.5 (318.0)
10	193.3 (859.8)	241.5 (1074.2)	217.4 (967.0)	67.8 (301.6)	79.7 (354.5)	73.8 (328.3)
11	189.4 (842.5)	253.4 (1127.2)	221.4 (984.8)	69.1 (307.4)	82.2 (365.6)	75.7 (336.7)
12	182.3 (810.9)	242.1 (1076.9)	212.2 (943.9)	62.4 (277.6)	77.6 (345.2)	70.0 (311.4)
Media total			223.6 (994.6)			78.6 (349.6)

Notas:

XD: dirección transversal o perpendicular
 MD: sentido longitudinal o paralelo
 FU: boca arriba
 FD: boca abajo

Especificación ASTM C 1396 / C 1396M-06 para la resistencia a la flexión para un panel de yeso de 5/8" (1,6 cm) de espesor – perpendicular (XD) 147 lb-f, paralelo (MD) 46 lb-f.

FIG. 31

TABLA XIV:
Datos de los ensayos de dureza de los bordes, extremos y núcleos de los especímenes de las Series de Muestras 17, 18 y 19

**Dureza de los bordes, extremos y núcleos
Lb-f (N)**

Especímen	Muestra	Medición			Media
		1	2	3	
1	Borde cod.	38.3 (170.4)	27.7 (123.2)	59.5 (264.7)	41.82 (186.0)
	Borde NC	57.7 (256.7)	54.4 (242.0)	54.9 (244.2)	55.67 (247.6)
	Núcleo	20.1 (89.4)	18.7 (83.2)	15.0 (66.7)	21.38 (95.1)
	Extremo	23.7 (105.4)	17.9 (79.6)	22.6 (100.5)	17.91 (79.7)
2	Borde cod.	68.3 (303.8)	42.6 (189.5)	65.6 (291.8)	58.84 (261.7)
	Borde NC	59.2 (263.3)	58.2 (258.9)	62.7 (278.9)	60.93 (267.0)
	Núcleo	21.3 (94.8)	19.5 (86.7)	22.1 (98.3)	21.74 (96.7)
	Extremo	21.3 (94.8)	21.9 (97.4)	22.0 (97.9)	20.96 (93.2)
3	Borde cod.	28.1 (125.0)	31.1 (138.3)	28.5 (126.8)	29.23 (130.0)
	Borde NC	34.1 (151.7)	41.9 (186.3)	45.8 (203.7)	40.57 (180.5)
	Núcleo	18.0 (80.1)	19.8 (88.1)	24.4 (108.5)	20.87 (92.8)
	Extremo	21.6 (96.1)	21.6 (96.1)	19.4 (86.3)	20.74 (92.3)
4	Borde cod.	39.2 (174.4)	38.8 (172.6)	25.3 (112.5)	34.41 (153.1)
	Borde NC	42.4 (188.6)	45.5 (202.4)	38.7 (172.2)	42.22 (187.8)
	Núcleo	19.2 (85.4)	24.2 (107.7)	25.1 (111.7)	23.03 (102.4)
	Extremo	26.5 (117.9)	19.7 (87.6)	22.9 (101.9)	22.80 (101.4)
5	Borde cod.	52.4 (233.1)	42.5 (189.1)	45.2 (201.1)	46.70 (207.7)
	Borde NC	36.1 (160.6)	43.6 (193.9)	47.2 (210.0)	42.30 (188.2)
	Núcleo	20.5 (91.2)	22.9 (101.9)	22.6 (100.5)	26.34 (117.2)
	Extremo	31.7 (141.0)	25.1 (111.7)	22.3 (99.2)	22.02 (98.0)
6	Borde cod.	53.9 (239.8)	42.7 (189.9)	52.2 (232.2)	49.61 (220.7)
	Borde NC	22.7 (101.0)	25.2 (112.1)	57.7 (256.7)	35.19 (156.5)
	Núcleo	15.3 (68.1)	18.0 (80.1)	18.5 (82.3)	17.30 (77.0)
	Extremo	21.1 (93.9)	18.8 (83.6)	20.2 (89.9)	20.02 (89.1)

FIG. 32A

TABLA XIV (CONTINUACIÓN):					
Datos de los ensayos de dureza de los bordes, extremos y núcleos de los especímenes de las Series de Muestras 17, 18 y 19					
Dureza de los bordes, extremos y núcleos					
Lb-f (N)					
Espécimen	Muestra	Medición			Media
		1	2	3	
7	Borde cod.	39.2 (174.4)	43.7 (194.4)	35.2 (156.6)	39.34 (175.0)
	Borde NC	48.5 (215.7)	53.2 (236.7)	57.6 (256.2)	53.08 (236.1)
	Núcleo	16.8 (74.7)	21.6 (96.1)	17.4 (77.4)	18.62 (82.8)
	Extremo	19.4 (86.3)	19.7 (87.6)	20.8 (192.5)	19.92 (88.6)
8	Borde cod.	41.8 (185.9)	46.8 (208.2)	44.7 (198.8)	44.40 (197.5)
	Borde NC	44.4 (197.5)	42.7 (189.9)	44.3 (197.1)	43.80 (194.8)
	Núcleo	18.6 (82.7)	21.0 (93.4)	17.1 (76.1)	18.88 (84.0)
	Extremo	21.7 (96.5)	20.1 (89.4)	17.1 (76.1)	19.64 (87.4)
9	Borde cod.	21.1 (93.9)	39.6 (176.2)	48.5 (215.7)	36.39 (161.9)
	Borde NC	39.8 (177.0)	48.5 (215.7)	48.2 (214.4)	45.48 (202.3)
	Núcleo	19.9 (88.5)	20.5 (91.2)	21.1 (93.9)	20.50 (91.2)
	Extremo	19.7 (87.6)	18.1 (80.5)	22.5 (100.1)	20.09 (89.4)
10	Borde cod.	47.2 (210.0)	35.4 (157.5)	39.1 (173.9)	40.58 (180.5)
	Borde NC	42.4 (188.6)	44.8 (199.3)	50.5 (224.6)	45.88 (204.1)
	Núcleo	16.7 (74.3)	18.3 (81.4)	16.0 (71.2)	17.01 (75.7)
	Extremo	22.5 (100.1)	20.7 (92.1)	19.8 (88.1)	20.99 (93.4)
12	Borde cod.	39.8 (177.0)	43.7 (194.4)	38.4 (170.8)	40.61 (180.6)
	Borde NC	48.2 (214.4)	37.1 (165.0)	36.2 (161.0)	40.48 (180.1)
	Núcleo	21.0 (93.4)	20.4 (90.7)	25.4 (113.0)	22.25 (99.0)
	Extremo	22.1 (98.3)	18.9 (84.1)	22.7 (101.0)	21.23 (94.4)
13	Borde cod.	22.9 (101.9)	38.5 (171.3)	40.8 (181.5)	34.02 (151.3)
	Borde NC	53.6 (238.4)	36.6 (162.8)	24.1 (107.2)	38.06 (169.3)
	Núcleo	19.2 (85.4)	18.0 (80.1)	22.3 (99.2)	19.83 (88.2)
	Extremo	21.7 (96.5)	21.2 (94.3)	20.2 (89.9)	20.99 (93.4)

FIG. 32B

TABLA XIV (CONTINUACIÓN):
Datos de los ensayos de dureza de los bordes, extremos y núcleos de los especímenes de las Series de Muestras 17, 18 y 19

Dureza de los bordes, extremos y núcleos
Lb-f (N)

Especímen	Muestra	Medición			Media
		1	2	3	
Media total	Borde cod.				41.33 (183.8)
	Borde NC				45.23 (201.2)
	Núcleo				20.64 (91.8)
	Extremo				20.61 (91.7)
Notas:					
Borde cod.: borde del panel de yeso que incluye un código impreso en la cara trasera (es decir, un borde)					
Borde NC: borde del panel de yeso sin el código impreso en la cara trasera (es decir, el otro borde)					
Especificación ASTM C 1396 / C 1396M-06 para la dureza de los bordes, extremos y núcleo para un panel de yeso – 11 lb-f (49 N)					

FIG. 32C

TABLA XV:
Datos del ensayo de pérdida de transmisión del sonido de los Ejemplos de paneles de yeso creados conforme a los principios de la presente exposición y paneles de yeso a prueba de fuego comerciales de Tipo X

# Ensayo	Procedimiento UL Estructura D	Aislamiento	Paneles	STC
1	U419	No	Inv.	38
2	U419	Yes	Inv.	43
3	U305	No	Inv.	33
4	U305	Yes	Inv.	35

Notas:

WS – montante de madera , construcción de ensamblaje de 2 pulgadas por 4 pulgadas (5,08 cm por 10,16 cm), a 16" (40,64 cm) del centro
 SS – montante de acero, construcción de ensamblaje de 3 pulgadas por 5/8 pulgadas (7,62 cm por 1,6 cm aprox.), galvanizado, de calibre 25, a 24" (60,96 cm) del centro
 Aislamiento – fibra de vidrio R-11 de 3,5 pulgadas (8,89 cm)
 Inv. – paneles según la invención con densidad y peso reducidos

FIG. 33

TABLA XVI: Evaluación de laboratorio de paneles tratados con almidón/siloxano					
Ingredientes de la formulación	Formulación lb/msf (g/m ²)	Formulación del cubo (basado en el peso del estuco)			
		Uso del siloxano (12 lb/msf) (58,59 g/m ²) (%)	Uso del siloxano (10 lb/msf) (48,82 g/m ²) (%)	Uso del siloxano (8 lb/msf) (39,06 g/m ²) (%)	Uso del siloxano (6 lb/msf) (29,29 g/m ²) (%)
Densidad del cubo a aproximadamente 36,5 lb/pie cúbico (584,8 kg/m³)					
Siloxano	0	1.06	0.88	0.70	0.53
MgO	0	0.22	0.22	0.22	0.22
Ceniza volante	0	0.86	0.72	0.57	0.43
Estuco	1395 (6811.0)	100.00	100.00	100.00	100.00
Agua	1527 (7455.4)	110.00	110.00	110.00	110.00
HRA	25 (122.1)	1.80	1.80	1.80	1.80
Jabón	0.215 (1.1)	0.02	0.02	0.02	0.02
Almidón de maíz pregelatinizado	30 (146.5)	2.15	2.15	2.15	2.15
Dispersante	2.5 (12.2)	0.18	0.18	0.18	0.18
Trimetafosfato de sodio (solución al 10 %)	14 (68.4)	1.00	1.00	1.00	1.00
Fibra de vidrio	7.5 (36.6)	0.53	0.53	0.53	0.53
Vermiculita de Grado #4	100 (488.2)	7.2	7.2	7.2	7.2
Adsorción de agua del cubo fraguado de laboratorio (%)	n/a	2.85	2.64	3.37	6.80

FIG. 34A

TABLA XVI (CONTINUACIÓN):					
Evaluación de laboratorio de paneles tratados con almidón/siloxano					
Ingredientes de la formulación	Formulación lb/msf (g/m ²)	Formulación del cubo (basado en el peso del estuco)			
		Uso del siloxano (12 lb/msf) (58,59 g/m ²) (%)	Uso del siloxano (10 lb/msf) (48,82 g/m ²) (%)	Uso del siloxano (8 lb/msf) (39,06 g/m ²) (%)	Uso del siloxano (6 lb/msf) (29,29 g/m ²) (%)
Densidad del cubo a aproximadamente 30 lb/pie cúbico (480,7 kg/m³)					
Siloxano	0	1.06	0.88	0.70	0.53
MgO	0	0.22	0.22	0.22	0.22
Ceniza volante	0	0.86	0.72	0.57	0.43
Estuco	1395 (6811.0)	100.00	100.00	100.00	100.00
Agua	1927 (9408.4)	138	138	138	138
HRA	25 (122.1)	1.80	1.80	1.80	1.80
Jabón	0.45 (2.2)	0.03	0.03	0.03	0.03
Almidón de maíz pregelatinizado	30 (146.5)	2.15	2.15	2.15	2.15
Dispersante	2.5 (12.2)	0.18	0.18	0.18	0.18
Trimetafosfato de sodio (solución al 10 %)	14 (68.4)	1.00	1.00	1.00	1.00
Fibra de vidrio	7.5 (36.6)	0.53	0.53	0.53	0.53
Vermiculita de Grado #4	100 (488.2)	7.2	7.2	7.2	7.2
Adsorción de agua del cubo fraguado de laboratorio (%)	n/a	3.40	3.77	3.72	7.26

FIG. 34B

TABLA XVII:
Ensayo de la Contracción a Altas Temperaturas y Expansión Térmica de los especímenes de las muestras de laboratorio a las que se hace referencia en el Ejemplo 11A

Serie de Muestras	Densidad media aprox. del panel (pcf) (kg/m ³)	Tipo de vermiculita	Vermiculita de alta exp. (% en peso de estuco)	Contracción por calor a altas temperaturas(S) (% medio)	Expansión del Espesor (TE) (% medio)	Proporción de TE a S
1	33.9 (543.6)	Palabora micrón	4%	3.9%	-3.3	-0.85
2	34.5 (552.3)	Palabora micrón	6%	3.8%	2.6	0.67
3	34.6 (554.8)	Palabora micrón	8%	2.4%	9.1	3.85
4	35.2 (564.1)	Palabora micrón	10%	2.4%	13.0	5.33
5	34.0 (545.2)	Palabora superfina	4%	3.9%	2.6	0.66
6	34.4 (552.0)	Palabora superfina	6%	2.4%	15.5	6.49
7	34.6 (554.8)	Palabora superfina	8%	1.6%	28.3	17.99
8	35.1 (562.9)	Palabora superfina	10%	1.5%	23.4	15.73

FIG. 35

TABLA XVIII:
Índice de aislamiento térmico a altas temperaturas de los especímenes de las muestras de laboratorio a las que se hace referencia en el Ejemplo 10

Serie de Muestras	Peso medio aprox. del panel lb/msf (kg/m ²)	Densidad media aprox. del panel pcf (kg/m ³)	Tipo de vermiculita	Vermiculita de alta exp. (% en peso del estuco)	Índice de aislamiento térmico medio (T) mins. de 100 °F a 400 °F	Proporción del TI medio (mins.) a densidad media del panel mins./pcf (mins./kg/m ³)
1	1753 (8.559)	33.9 (543.6)	Palabora micrón	4%	24.63	0.73 (0.05)
2	1781 (8.696)	34.5 (552.3)	Palabora micrón	6%	24.75	0.72 (0.04)
3	1789 (8.735)	34.6 (554.8)	Palabora micrón	8%	24.75	0.71 (0.04)
4	1819 (8.881)	35.2 (564.1)	Palabora micrón	10%	24.38	0.69 (0.04)
5	1758 (8.583)	34.0 (545.2)	Palabora superfina	4%	24.75	0.73 (0.05)
6	1780 (8.691)	34.4 (552.0)	Palabora superfina	6%	24.88	0.72 (0.05)
7	1789 (8.735)	34.6 (554.8)	Palabora superfina	8%	25.25	0.73 (0.05)
8	1815 (8.862)	35.1 (562.9)	Palabora superfina	10%	25.75	0.73 (0.05)

FIG. 36

Tabla XIX:
Formulaciones para muestras de laboratorio con cantidades variables de vermiculita

Muestra	Estuco (g)	Vermiculita (g)	HRA (g)	Almidón (g)	Vidrio (g)	Agua (mls)
4 % Vermiculita	1000	40	11	15	6	2000
6 % Vermiculita	1000	60	11	15	6	2000
8 % Vermiculita	1000	80	11	15	6	2000
10 % Vermiculita	1000	100	11	15	6	2000
Notas:						
Los grados sudafricanos de vermiculita se corresponden con la vermiculita de Grado 4 según el sistema de clasificación estadounidense.						

FIG. 37

TABLA XXa:
Ensayo del Índice de Aislamiento Térmico a Altas Temperaturas de los Esp ecimenes de las Muestras de Laboratorio a las que se hace referencia en el Ejemplo 11A

Muestra	Densidad media aproximada del panel (pcf) (kg/m ³)	Vermiculita de alta expansión aproximada (% en peso de estuco)	Estuco (lbs/MSF) (kg/m ²)	ATH aprox. (% en peso de estuco)	ATH (lbs/MSF) (g/m ²)	Índice de Aislamiento Térmico (TI) medio (mins. de 40 °C a 200 °C)	Dif. estuco (lbs/MSF) (g/m ²)	Cambio TI
1	29.8 (477.5)	0%	1250 (6.11)	0%	0	22.6	0	0
2	30.5 (488.7)	0%	1230 (6.01)	4%	49 (239.3)	23.5	-20 (-97.7)	0.9

FIG. 38A

TABLA XXb:
Ensayo del Índice de Aislamiento Térmico a Altas Temperaturas de los Especímenes de las Muestras de Laboratorio a las que se hace referencia en el Ejemplo 1 1A

Muestra	Densidad media aproximada del panel (pcf) (kg/m ³)	Vermiculita de alta expansión aproximada (% en peso de estuco)	Estuco (lbs/MSF) (kg/m ²)	ATH aprox. (% en peso de estuco)	ATH (lbs/MSF) (g/m ²)	Índice de Aislamiento Térmico (TI) medio (mins. de 40 °C a 200 °C)	Dif. estuco (lbs/MSF) (g/m ²)	Cambio TI
3	30.8 (493.5)	7%	1225 (5.98)	0%	0	23	0	0
4	31.6 (506.3)	7%	1230 (6.01)	2%	25 (122.1)	24.6	5 (24.4)	1.6
5	31.4 (503.1)	7%	1200 (5.86)	4%	48 (234.4)	24.3	-25 (-122.1)	1.3
6	31.6 (506.3)	7%	1200 (5.86)	5%	60 (293.0)	24.9	-25 (-122.1)	1.9
7	31.9 (511.1)	7%	1210 (5.91)	7%	85 (415.1)	25.5	-15 (-73.3)	2.5
8	32.9 (527.2)	7%	1210 (5.91)	10%	121 (590.9)	26.3	-15 (-73.3)	3.3
9	30.5 (488.7)	7%	1150 (5.62)	4%	46 (224.7)	23.9	-75 (-366.3)	0.9

FIG. 38B

TABLA XXC:
Ensayo de la Expansión Térmica y Contracción a Altas Temperaturas de los Especímenes de las Muestras de Laboratorio a las que se hace referencia en el Ejemplo 11B

Muestra	Densidad media aproximada del panel (pcf) (kg/m ³)	Vermiculita de alta expansión aproximada (% en peso de estuco)	ATH aprox. (% en peso de estuco)	Contracción a Altas Temperaturas (S) (% medio)	Expansión del Espesor a Altas Temperaturas (TE) (% medio)
1	29.8 (477.5)	0%	0%	18.8	-23.6
2	30.5 (488.7)	0%	4%	9.2	-11.5
3	30.8 (493.5)	7%	0%	7.0	6.5
4	31.6 (506.3)	7%	2%	7.3	12.6
5	31.4 (503.1)	7%	4%	5.5	12.7
6	31.6 (506.3)	7%	5%	6.0	11.0
7	31.9 (511.1)	7%	7%	4.5	13.9
8	32.9 (527.2)	7%	10%	5.0	17.9
9	30.5 (488.7)	7%	4%	6.3	5.0

FIG. 38C

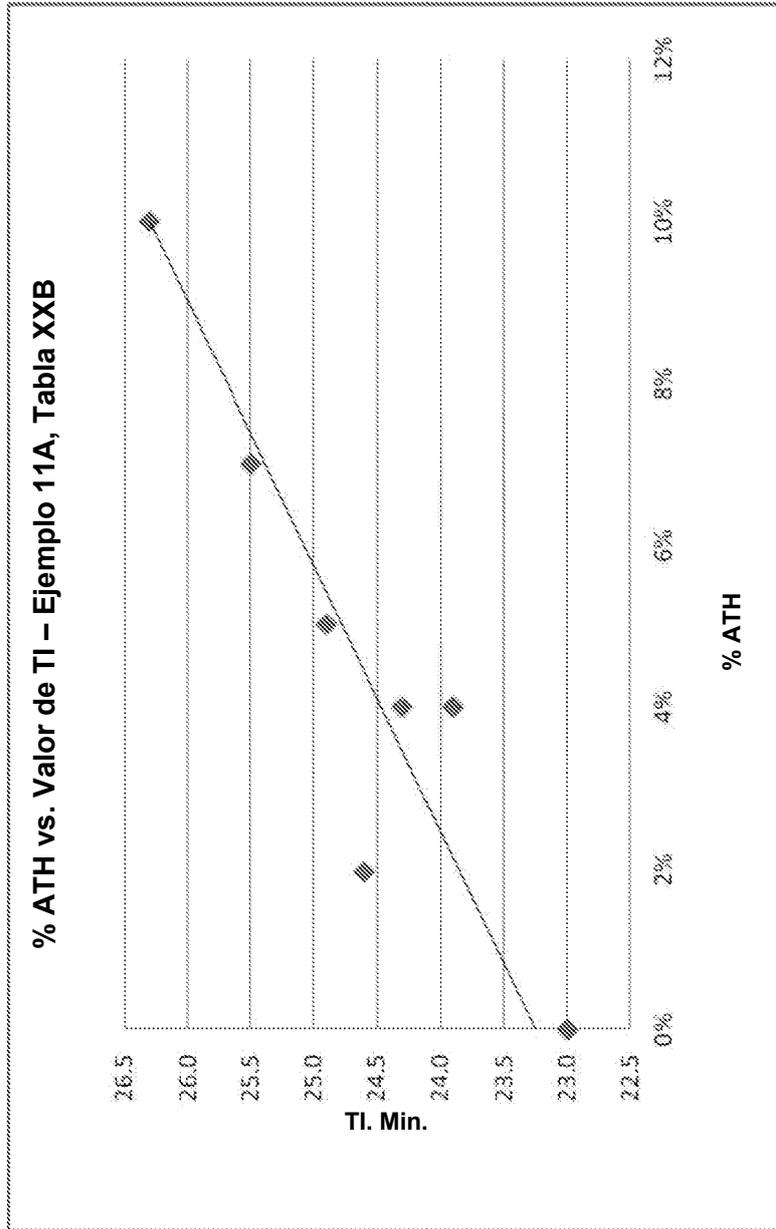


FIG. 39

TABLA XXIIb:
Ensayo del Índice de Aislamiento Térmico a Altas Temperaturas de los Especímenes de las Muestras de Laboratorio a las que se hace referencia en el Ejemplo 11B

Muestra	Densidad media aproximada del panel (pcf) (kg/m ³)	Vermiculita de alta expansión aproximada (% en peso de estuco)	Estuco (lbs/MSF) (kg/m ²)	ATH aprox. (% en peso de estuco)	ATH (lbs/MSF) (g/m ²)	Índice de Aislamiento Térmico (TI) medio (mins. de 40 °C a 200 °C)	Dif. estuco (lbs/MSF) (g/m ²)	Cambio TI
10	36.6 (586.4)	7%	1450 (7.08)	0%	0	26.3	0	0
11	36.7 (588.0)	7%	1450 (7.08)	2%	29.0 (141.6)	26.4	0	0.1
12	37.5 (600.9)	7%	1450 (7.08)	4%	58.0 (283.3)	27.6	0	1.3
13	38.3 (613.7)	7%	1450 (7.08)	7%	101.5 (495.7)	27.5	0	1.2
14	38.9 (623.3)	7%	1450 (7.08)	7%	101.5 (495.7)	27.8	0	1.5

FIG. 40A

TABLA XXIIb:
Ensayo del Índice de Aislamiento Térmico a Altas Temperaturas de los Especímenes de las Muestras de Laboratorio a las que se hace referencia en el Ejemplo 11B

Muestra	Densidad media aproximada del panel (pcf) (kg/m ³)	Vermiculita de alta expansión aproximada (% en peso de estuco)	Estuco (lbs/MSF) (kg/m ²)	ATH aprox. (% en peso de estuco)	ATH (lbs/MSF) (g/m ²)	Índice de Aislamiento Térmico (TI) medio (mins. de 40 °C a 200 °C)	Dif. estuco (lbs/MSF) (g/m ²)	Cambio TI
15	33.0 (528.8)	7%	1350 (6.59)	7%	94.5 (461.5)	25.9	0	0
16	35.2 (564.0)	7%	1250 (6.11)	7%	87.5 (427.3)	24.6	-100 (-488.4)	-1.3
17	32.4 (519.1)	7%	1250 (6.11)	4%	35.2 (171.9)	22.9	-100 (-488.4)	-3

FIG. 40B

TABLA XXIC:
Ensayo de la Expansión Térmica y Contracción a Altas Temperaturas de los Especímenes de las Muestras de Laboratorio a las que se hace referencia en el Ejemplo 11B

Muestra	Densidad media aproximada del panel (pcf) (kg/m ³)	Vermiculita de alta expansión aproximada (% en peso de estuco)	ATH aprox. (% en peso de estuco)	Contracción a Altas Temperaturas (S) (% medio)	Expansión del Espesor a Altas Temperaturas (TE) (% medio)
10	36.6 (586.4)	7%	0%	0.3	16.4
11	36.7 (588.0)	7%	2%	1.0	14.5
12	37.5 (600.9)	7%	4%	0.1	18.8
13	38.3 (613.7)	7%	7%	0.75	13.9
14	38.9 (623.3)	7%	7%	1.2	17.4
15	33.0 (528.8)	7%	7%	2.0	14.0
16	35.2 (564.0)	7%	7%	1.2	17.4
17	32.4 (519.1)	7%	4%	1.49	16.27

FIG. 40C

TABLA XXIIa:
Ensayo del Índice de Aislamiento Térmico a Altas Temperaturas de los Especímenes de las Muestras de Laboratorio a las que se hace referencia en el Ejemplo 11C

Muestra	Densidad media aproximada del panel (pcf) (kg/m ³)	Vermiculita de alta expansión aproximada (% en peso de estuco)	Estuco (lbs/MSF) (kg/m ²)	ATH aprox. (% en peso de estuco)	ATH (lbs/MSF) (g/m ²)	Índice de Aislamiento Térmico (TI) medio (mins. de 40 °C a 200 °C)	Dif. estuco (lbs/MSF) (g/m ²)	Cambio TI
18	35.6 (570.4)	10.0%	1450 (7.08)	0%	0	22.5	0	0.0
19	36.2 (580.0)	10.3%	1450 (7.08)	3%	25 (122.1)	23.5	0	1.0
20	37.0 (592.9)	10.0%	1480 (7.23)	3%	25 (122.1)	23.4	30 (146.5)	0.9

FIG. 41A

TABLA XXIIb:
Ensayos de la Expansión Térmica y Contracción a Altas Temperaturas de los Especímenes de las Muestras de Laboratorio a las que se hace referencia en el Ejemplo 11C

Muestra	Densidad media aproximada del panel (pcf) (kg/m ³)	Vermiculita de alta expansión aproximada (% en peso de estuco)	ATH aprox. (% en peso de estuco)	Contracción a altas temperaturas (S) (% medio)	Expansión en espesor (TE) (% medio)
18	35.6 (570.4)	10.0%	0%	0.8	51.2
19	36.2 (580.0)	10.3%	3%	+2.8*	35.9
20	37.0 (592.9)	10.0%	3%	1.6	71.3

*El signo positivo (+) indica que la muestra se expandió cuando se midió la Contracción a Altas Temperaturas (S).

FIG. 41B