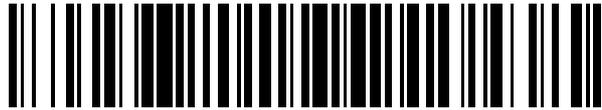


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 528 903**

51 Int. Cl.:

**B27K 5/00** (2006.01)

**F26B 5/04** (2006.01)

**F26B 23/00** (2006.01)

**F26B 21/10** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.06.2012 E 12171954 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.10.2014 EP 2535156**

54 Título: **Aparato que comprende una autoclave de vacío para la modificación de madera de alta temperatura**

30 Prioridad:

**16.06.2011 IT RM20110314**

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

**13.02.2015**

73 Titular/es:

**WDE MASPELL S.R.L. (100.0%)  
Strada di Sabbione, 65/A  
05100 Terni , IT**

72 Inventor/es:

**PAGNOZZI, ERNESTO**

74 Agente/Representante:

**LINAGE GONZÁLEZ, Rafael**

ES 2 528 903 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**

Aparato que comprende una autoclave de vacío para la modificación de madera de alta temperatura

**5 Campo técnico**

La presente descripción se refiere a un aparato para el tratamiento térmico de alta temperatura de la madera en una autoclave de vacío, adecuado para producir la modificación de la estructura de la madera a través de múltiples reacciones físico-químicas de las sustancias que la forman, generadas mediante la exposición de la madera a temperaturas a las que comienza el fenómeno de pirólisis (180 °C-240 °C), evitando en cualquier caso la combustión de la misma.

**Técnica anterior**

15 El documento WO 2008/079000 A1 es un documento de patente que describe un ejemplo de aparato de la técnica anterior y un método para la modificación de madera de alta temperatura.

En este párrafo se describe el estado actual de la técnica. A este respecto, merece la pena señalar que los procesos de tratamiento térmico de la madera que se utilizan actualmente en la industria consisten sustancialmente en la secuencia de las tres etapas siguientes:

1. precalentamiento de la madera, previamente secada hasta valores de humedad cercanos a cero, dentro de una celda hasta que la temperatura de la misma llegue a la temperatura a la que comienza la pirólisis, de aproximadamente 180-230 °C, con medidas para evitar la combustión de la misma;

2. tratamiento térmico propiamente dicho, que consiste en el mantenimiento de la madera a la temperatura preestablecida durante un período predeterminado, evitando siempre y en cualquier caso la combustión de la misma.

30 3. refrigeración de la madera hasta llevarla a temperaturas en cualquier caso por debajo de 100 °C, con el fin de posteriormente poder exponer el material de madera al ambiente externo sin peligros de combustión y/o problemas de choque térmico.

En la actualidad, se conocen tres tecnologías para obtener madera tratada térmicamente, que se describen en el presente documento a continuación, al tiempo que se señalan las características de los mismos.

1) Tratamiento térmico a presión atmosférica en celdas con calentamiento por vapor sobrecalentado (método finlandés)

40 La pila, compuesta por la madera previamente dispuesta en listones y secada en otros dispositivos, se carga dentro de una celda que está aislada adecuadamente y es impermeable al vapor, similar a una celda de secado de madera convencional, provista de ventiladores internos para generar la circulación del fluido de calentamiento a través de la pila, en el presente caso, vapor sobrecalentado a una temperatura de 150-230 °C, suministrado por un generador de vapor externo y mantenido rigurosamente, por razones obvias de seguridad, a presión atmosférica, por medio de un conducto y/o chimenea de seguridad abierto a la atmósfera, con el que celda tiene que estar provisto necesariamente para evitar sobrepresiones internas peligrosas.

La madera está protegida frente a la activación de la combustión dado que se calienta hasta la temperatura de tratamiento térmico de 180-230 °C en un ambiente que es inerte, ya que el aire inicialmente existente en el mismo (por lo tanto, el oxígeno contenido en el mismo) ha sido sustituido por vapor sobrecalentado.

Por lo tanto, las dos primeros etapas, es decir, precalentamiento y tratamiento, se llevan a cabo con el mismo método usando una circulación de vapor sobrecalentado.

55 El tercer etapa, es decir, refrigeración, se lleva a cabo mediante la interrupción de la entrada de vapor sobrecalentado y la inyección de agua desmineralizada en la celda por medio de pulverizadores especiales que permiten «atomizar» el chorro de agua, el cual, al convertirse instantáneamente en vapor, sustrae calor de la celda de tratamiento, en una proporción de aproximadamente 540 kcal por litro de agua evaporada, llevando a cabo así la refrigeración de la madera contenida en la misma; el vapor generado de esta manera se descarga a la atmósfera a través de la «chimenea» mencionada anteriormente.

Por supuesto, existen algunas variantes en el método para producir el vapor de calentamiento, que se omiten en este documento por motivos de brevedad, pero que de cualquier manera siempre tienen su origen en el uso de vapor sobrecalentado como medio de calentamiento e inertización de la celda.

Los límites de esta técnica consisten en los siguientes puntos:

◆ secado: la madera que se desea tratar se ha de secar previamente en otro dispositivo con el fin de reducir los valores de humedad, después se debe enfriar y finalmente introducirse en la celda de tratamiento para ser calentada de nuevo, lo que acarrea una gran pérdida de tiempo, mano de obra y, sobre todo, energía térmica;

5 ◆ calentamiento: existe la necesidad de instalar un generador de vapor equipado con todas las medidas de seguridad que se requieren para el uso del mismo;

◆ inertización: se lleva a cabo por medio de una inyección de vapor sobrecalentado;

10 ◆ refrigeración: con el fin de reducir la temperatura de la madera desde 230 °C hasta 100 °C, es necesario sustraer energía térmica, igual a aproximadamente 45.000 kcal/m<sup>3</sup>, lo que corresponde a un consumo de agua desmineralizada de 70-80 litros por m<sup>3</sup> de madera tratada, y la consiguiente producción de aproximadamente 150 m<sup>3</sup> de vapor por m<sup>3</sup> de madera tratada;

15 ◆ contaminación: el vapor de agua que sale de la chimenea de la celda actúa inevitablemente como un vehículo para un conjunto significativo de gases y productos químicos volátiles resultantes de la conversión química de la madera (resinas, hemicelulosas, celulosa, etc.). Por consiguiente, es importante saber que una cámara de tratamiento térmico con una capacidad 10 m<sup>3</sup> de madera produce 1.500 m<sup>3</sup> de vapor potencialmente contaminante por ciclo de tratamiento;

20 ◆ seguridad: resultará evidente que, en el caso de falta de suministro eléctrico debido a un fallo externa y/o interna de la maquinaria, es necesario mantener de alguna manera la temperatura interna en cierta medida, con el fin de evitar que el vapor de calentamiento condense dentro la celda, disminuyendo así drásticamente su volumen y aspirando aire del entorno externo a través de la chimenea de seguridad, con lo que la masa de madera podría entrar inmediatamente en combustión.

## 2) Tratamiento térmico a presión atmosférica en una celda saturada con gas inerte (nitrógeno)

30 El proceso es similar al anterior, excepto por la variación de que el interior de la celda se satura con nitrógeno, el cual, al ser un gas inerte, impide la activación de la combustión del material de madera.

Los límites de esta técnica consisten en los siguientes puntos:

35 ◆ secado: véase el caso anterior;

◆ calentamiento: el sistema está dotado de un fluido interno de aceite diatérmico y/o intercambiadores de calor eléctricos, así como con ventiladores para la circulación de nitrógeno a través de la pila de madera;

40 ◆ inertización: se lleva a cabo por medio de una inyección de nitrógeno, de manera que el sistema tiene que estar equipado con un generador de nitrógeno y/o un depósito de almacenamiento de tamaño adecuado, ya que el consumo de gas es significativo; además, el sistema tiene que estar provisto de un costoso analizador de la concentración de oxígeno con el fin de garantizar que su concentración sea siempre inferior a los umbrales peligrosos.

45 ◆ refrigeración: véase el caso anterior;

◆ contaminación: véase el caso anterior;

50 ◆ seguridad: la falta ocasional de tensión es más fácil de gestionar que en el método anterior; sin embargo, se ha de prestar atención especial a la monitorización constante de la concentración de oxígeno dentro de la celda, con el fin de evitar riesgos de combustión. Además, es absolutamente necesario prever una eliminación precisa y segura del nitrógeno de inertización presente en la celda al final del proceso, con el objetivo de evitar, al abrir la misma, el peligro de asfixia debido a la inhalación de nitrógeno por parte del personal.

## 3) Tratamiento con vapor sobrecalentado en autoclave presurizada

Tal proceso difiere completamente de los dos procesos anteriores, y consiste en la alimentación de la madera a una autoclave con un aislamiento adecuado y apto para resistir una presión interna de hasta 19 bares.

60 El calentamiento se lleva a cabo mediante la inyección directa de vapor sobrecalentado en la autoclave y, por lo tanto, no prevé la inclusión de dispositivos de ventilación y/o intercambiadores internos.

El proceso tiene lugar de acuerdo con las siguientes etapas:

65

1. precalentamiento: después de llevar a cabo un vacío previo con una presión residual de 200 mbar, se introduce en la celda vapor sobrecalentado producido por un generador especial, hasta el momento en el que la madera alcanza la temperatura de tratamiento de 180-230 °C;

5 2. tratamiento: la temperatura se mantiene en el valor deseado por medio de una fuente de vapor apropiada;

3. refrigeración: se llevó a cabo con pulverización de agua, como en los métodos anteriores, y termina con un vacío final, seguido de una alimentación de aire exterior.

10 Los límites de esta técnica consisten en los siguientes puntos:

◆ secado: véanse los casos anteriores;

15 ◆ calentamiento: existe la necesidad de instalar un generador de vapor equipado con todas las medidas de seguridad que se requieren para el uso del mismo;

◆ inertización: se lleva a cabo con una inyección de vapor sobrecalentado;

20 ◆ refrigeración: véanse los casos anteriores;

◆ contaminación: véanse los casos anteriores;

25 ◆ seguridad: la celda, dado que es una autoclave presurizada, se ha de someter a las inspecciones periódicas previstas por las leyes vigentes.

### Breve descripción de la invención

El aparato de tratamiento térmico que es el objeto de la presente solicitud de patente tiene como objetivo superar las limitaciones e inconvenientes de la refrigeración del sistema de la técnica anterior descrita anteriormente.

30 Otras características y ventajas de la invención resultarán más evidentes mediante la siguiente descripción detallada, proporcionada meramente a título de ejemplo no limitativo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

35 - las figuras 1a-1c muestran esquemáticamente vistas en sección de una primera realización de un aparato para el tratamiento térmico de la madera;

40 - las figuras 2a-2c muestran esquemáticamente vistas en sección de una segunda realización de un aparato para el tratamiento térmico de la madera;

- las figuras 3a-3c muestran esquemáticamente vistas en sección de una tercera realización de un aparato para el tratamiento térmico de la madera;

45 - la figura 4 muestra una vista en perspectiva del aparato de la figura 1.

### Descripción detallada

El aparato de tratamiento térmico que se describirá a continuación en el presente documento se refiere a un ejemplo no limitativo en el que el tratamiento térmico de la madera con el fin de evitar la combustión de la misma se lleva a cabo eliminando totalmente el oxígeno contenido en la celda, reduciendo en primer lugar la cantidad inicial gracias al vacío parcial creado en la celda que reduce extremadamente el contenido de aire, dado que se lleva hasta una presión absoluta de 70-350 mBar, y, posteriormente, consumiendo totalmente la pequeña cantidad residual, mediante la inducción de una microcombustión dirigida de una parte infinitesimal de la masa de madera sometida al tratamiento. Este fenómeno es definido por el autor como «autoinertización de la madera», ya que es la propia madera la que genera su propia inertización, a costa de una parte insignificante de su materia.

Tales reacciones termoquímicas inducen las siguientes modificaciones macroscópicas en las características de la madera:

60 1) COLOR: cambio (oscurecimiento) y homogeneización del color a través de todo el espesor de la madera, la intensidad de los cuales se pueden controlar mediante los ajustes apropiados de los parámetros de proceso, es decir, temperatura, presión, y tiempo de exposición;

65 2) DURABILIDAD: mejora de su durabilidad, en el sentido de que la madera tratada se vuelve más resistente a los ataques de hongos y otros microorganismos xilófagos; por lo tanto, las especies «de madera blanda» con

calificación durabilidad de clase 5, tales como las coníferas (tales como el abeto, el pino y el alerce), muy abundantes y con bajo valor económico, pueden llegar a alcanzar la clase 1, que es típica de las «maderas duras», conocidas por ser muy duraderas (como el roble, el castaño y la teca), cuyo valor económico puede ser de 3 a 10 veces superior al de las coníferas;

5 3) HIGROSCOPICIDAD: reducción de su higroscopicidad, es decir, de su capacidad de captar o absorber la humedad del ambiente circundante, por lo que es casi insensible a las variaciones climáticas (temperatura y humedad del aire);

10 4) ESTABILIDAD DIMENSIONAL: como consecuencia de la disminución de la higroscopicidad, la madera adquiere una alta estabilidad dimensional frente a las variaciones de la humedad ambiental, lo que se traduce en una mejora de la calidad de los productos acabados (muebles, suelos de madera, accesorios, instrumentos musicales, etc.) que se vuelven prácticamente insensibles a las variaciones climáticas;

15 5) CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS: se ha detectado un empeoramiento del 10-15 % de algunas características mecánicas (tracción, compresión, cizallamiento y resistencia), pero una mejora importante de su dureza; en otros términos, la madera tratada térmicamente se vuelve algo más frágil, pero más dura. Este fenómeno, que podría ser parcialmente limitante en términos de la aplicación en vigas estructurales para el sector de la construcción, resulta absolutamente ventajoso en otras aplicaciones, ya que el aumento de la dureza facilita no solo algunas de las  
20 operaciones de procesamiento del material de madera, tales como el alisado y la pintura, sino que permite la obtención de artículos manufacturados que son más resistentes a los rasguños accidentales, algo que es un resultado fundamental para la calidad final de los productos terminados, tales como material para suelo, muebles y marcos para ventanas y puertas, etc.

25 Es necesario señalar que la madera, incluso antes de ser sometida a las temperaturas de tratamiento térmico, se debe sin embargo secar hasta valores finales de humedad cercanos a cero, con el fin de evitar que el agua residual contenida en las paredes celulares del material de madera, al ser llevado a temperaturas de entre 180 y 230 °C, genere presiones como para producir un colapso del mismo, lo que se traduciría en daños irreparables.

30 Aunque el ejemplo descrito a continuación en el presente documento se refiere a un aparato que es capaz de llevar a cabo el tratamiento térmico mencionado anteriormente, hay que tener en cuenta que es posible aplicar las explicaciones en relación con el sistema de refrigeración a aparatos que llevan a cabo diferentes tipos de tratamiento térmico.

35 El aparato específico descrito a continuación en este documento, además de los inconvenientes de los sistemas de refrigeración de la técnica anterior, también permite superar todas, o la mayoría, de las otras implicaciones negativas de los procesos actualmente existentes, manteniendo al mismo tiempo una calidad muy superior del producto final, y más precisamente:

40 - secado: llevado a cabo en una celda impermeable, diseñado preferentemente de manera que se lleve a cabo la doble función de secador de vacío y dispositivo de tratamiento térmico, con el fin de evitar la transposición de la pila de madera de una máquina a otra, con gran ahorro de tiempo, mano de obra y, lo más importante de todo, energía térmica.

45 - calentamiento: llevado a cabo en un vacío parcial a través de circulación forzada de una cantidad reducida de aire (circuito cerrado) a través de la pila de madera e intercambiadores de calor especiales que utilizan cualquier fuente de energía térmica (electricidad, aceite diatérmico, agua sobrecalentada) sin necesidad de ninguna inyección de vapor y/o nitrógeno y/u otro gas.

50 - inertización: de acuerdo con un proceso de «AUTOINERTIZACIÓN» de la madera, y por consiguiente si necesidad de ninguna inyección de vapor y/o nitrógeno y/u otro gas para hacer que el interior de la celda sea inerte.

Con el fin de entender la dinámica del fenómeno de autoinertización, en primer lugar hay que considerar que el interior de la celda de autoclave (aislada y perfectamente impermeable) es un sistema prácticamente adiabático, es  
55 decir, que no permite los intercambios de energía con el exterior.

Esto significa que, una vez que la madera se ha cargado en la célula, el sistema parece estar completamente aislado y solo contiene los siguientes elementos: la madera que se ha de someter a tratamiento térmico y el aire que  
60 llena el volumen libre interno restante.

65 Cuando la madera alcanza la temperatura de pirólisis (180 °C-230 °C) a una presión de 70-350 mbar, la atmósfera interna de la celda está formada por una cantidad de aire muy reducida, como se ha visto, por el efecto combinado del vacío y la temperatura, pero que sin embargo tiene un contenido de oxígeno que, si bien ahora es muy bajo, todavía podría inducir una activación de la combustión de la madera.

Por consiguiente, con el fin de evaluar la amplitud y, por lo tanto, el peligro potencial del fenómeno de combustión

anteriormente mencionado, es deseable conocer la cantidad de masa de madera que podría ser inducida a arder por el oxígeno existente en el aire residual contenido dentro de la celda de autoclave, una vez que se haya alcanzado el punto de tratamiento.

- 5 Debido a causas constructivas de geometría, mecánica y aerodinámica, cualesquiera que sean las dimensiones internas de la celda de autoclave, la relación entre el volumen libre de aire interno y el volumen neto de la madera cargada es de aproximadamente 3:1 = 3. Esto significa que por cada m<sup>3</sup> de madera realmente cargada, está disponible una cantidad de oxígeno aproximadamente igual a la contenida en 3 m<sup>3</sup> de aire a una temperatura ambiente de 25 °C y a una presión atmosférica de 1013 mbar.

- 10 La física explica que la densidad del aire varía cuando la temperatura y la presión varían, y, en particular, disminuye cuando aumenta la temperatura y disminuye la presión. En la siguiente tabla 1 se exponen algunos valores significativos para la presente explicación:

15 TABLA 1: Coef. de reducción de la densidad del aire

Estado de la celda	Temperatura °C	Presión mBar	Densidad del aire kg/m <sup>3</sup>	Coef. de reducción de la densidad del aire %
Estado inicial «normal»	25 °C	1013 mBar	1,185 mg/m <sup>3</sup>	
1 <sup>er</sup> punto de tratamiento	180 °C	350 mBar	0,269 kg/m <sup>3</sup>	- 77 %
2 <sup>o</sup> punto de tratamiento	180 °C	200 mBar	0,154 kg/m <sup>3</sup>	- 87 %
3 <sup>er</sup> punto de tratamiento	180 °C	70 mBar	0,054 kg/m <sup>3</sup>	- 95 %

De la tabla se deduce que la reducción de la densidad del aire durante el proceso es drástica y oscila entre el 77 % y el 95 % en comparación con la densidad a temperatura y presión normales.

- 20 Aplicando esta observación a la relación de volumen de aire interno al volumen de madera cargada (que era inicialmente de 3:1 = 3), es como si la cantidad de aire disponible se redujera en un valor igual al coeficiente de reducción de la densidad, es decir, de acuerdo con la tabla 2:

TABLA 2: relación de volumen de aire interno al volumen de madera cargada.

Estado de la celda	Temperatura °C	Presión mBar	Coef. de reducción de la densidad %	Relación m <sup>3</sup> aire/m <sup>3</sup> madera
Estado inicial «normal»	25 °C	1013 mBar	0 %	3
1 <sup>er</sup> punto de tratamiento	180 °C	350 mBar	- 77 %	0,69
2 <sup>o</sup> punto de tratamiento	180 °C	200 mBar	- 87 %	0,39
3 <sup>er</sup> punto de tratamiento	180 °C	70 mBar	- 95 %	0,15

- 25 A partir del análisis de los diferentes valores de la relación de volumen de aire/volumen de madera en varios puntos operativos, se observa que mediante el aumento de la temperatura y la reducción de la presión, la cantidad de aire disponible se reduce drásticamente, junto con la cantidad de oxígeno disponible para una posible combustión.

- 30 La química explica que la cantidad de oxígeno necesaria para generar la combustión de 1 kg de masa de madera en condiciones estándar (es decir, presión atmosférica y una temperatura de 25 °C) es aproximadamente igual a la contenida en 5 m<sup>3</sup> de aire, a partir de lo cual se puede obtener fácilmente la cantidad de masa de madera «quemable» por m<sup>3</sup> de madera cargada dentro de la celda de autoclave dependiendo de los parámetros de temperatura y presión utilizados durante el tratamiento:

35 TABLA 3: cantidad de madera combustible

Estado de la celda	Temperatura °C	Presión mBar	Relación m <sup>3</sup> aire/m <sup>3</sup> madera	Cantidad de madera combustible kg/m <sup>3</sup>
Estado inicial «normal»	25 °C	1013 mBar	3	0,6 kg/m <sup>3</sup>
1 <sup>er</sup> punto de tratamiento	180 °C	350 mBar	0,69	0,138 kg/m <sup>3</sup>
2 <sup>o</sup> punto de tratamiento	180 °C	200 mBar	0,39	0,06 kg/m <sup>3</sup>
3 <sup>er</sup> punto de tratamiento	180 °C	70 mBar	0,15	0,03 kg/m <sup>3</sup>

Teniendo en cuenta que la densidad relativa de la madera seca varía, para las especies europeas, entre 400-650 kg/m<sup>3</sup>, es evidente que la cantidad de masa de madera posiblemente sacrificada en el fenómeno de la combustión debido al oxígeno residual es infinitesimal, y se puede calcular como se indica a continuación:

5 TABLA 4: madera de abeto blanco (400 kg/m<sup>3</sup>): % masa perdida por combustión.

Estado de la celda	Temperatura °C	Presión mBar	Cantidad de madera combustible kg/m <sup>3</sup>	% masa perdida por combustión
Estado inicial «normal»	25 °C	1013 mBar	0,6 kg/m <sup>3</sup>	0,15 %
1 <sup>er</sup> punto de tratamiento	180 °C	350 mBar	0,138 kg/m <sup>3</sup>	0,0345 %
2 <sup>o</sup> punto de tratamiento	180 °C	200 mBar	0,06 kg/m <sup>3</sup>	0,015 %
3 <sup>er</sup> punto de tratamiento	180 °C	70 mBar	0,03 kg/m <sup>3</sup>	0,0075 %

TABLA 5: madera de roble (650 kg/m<sup>3</sup>): % masa perdida por combustión.

Estado de la celda	Temperatura °C	Presión mBar	Cantidad de madera combustible kg/m <sup>3</sup>	% masa perdida por combustión
Estado inicial «normal»	25 °C	1013 mBar	0,6 kg/m <sup>3</sup>	0,09 %
1 <sup>er</sup> punto de tratamiento	180 °C	350 mBar	0,138 kg/m <sup>3</sup>	0,021 %
2 <sup>o</sup> punto de tratamiento	180 °C	200 mBar	0,06 kg/m <sup>3</sup>	0,0092 %
3 <sup>er</sup> punto de tratamiento	180 °C	70 mBar	0,03 kg/m <sup>3</sup>	0,0046 %

10 Con el fin de evaluar los peligros inherentes en la combustión de las pequeñas masas de madera mencionadas anteriormente, es necesario conocer la cantidad de energía térmica liberada por el proceso químico exotérmico durante la combustión de las mismas.

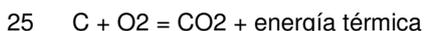
Dado que el valor calorífico de la madera es, como máximo, igual a 4200 kcal/kg, se puede calcular fácilmente la energía térmica liberada por el proceso de combustión:

15 TABLA 6: energía térmica específica liberada por la combustión de la madera durante el proceso.

Estado de la celda	Temperatura °C	Presión mBar	Cantidad de madera combustible kg/m <sup>3</sup>	Energía térmica total kcal/m <sup>3</sup>
Estado inicial «normal»	25 °C	1013 mBar	0,6 kg/m <sup>3</sup>	2520 kcal/m <sup>3</sup>
1 <sup>er</sup> punto de tratamiento	180 °C	350 mBar	0,138 kg/m <sup>3</sup>	580 Kcal/m <sup>3</sup>
2 <sup>o</sup> punto de tratamiento	180 °C	200 mBar	0,06 kg/m <sup>3</sup>	252 Kcal/m <sup>3</sup>
3 <sup>er</sup> punto de tratamiento	180 °C	70 mBar	0,03 kg/m <sup>3</sup>	126 Kcal/m <sup>3</sup>

20 Esta energía, incluso si se liberase instantáneamente, no sería capaz de producir ninguna variación significativa de la temperatura del ambiente interno de la celda y, por lo tanto, no es capaz de originar ningún peligro, ya sea para la estructura mecánica, para la madera o para el personal de control.

En realidad, el oxígeno O<sub>2</sub> no ha «desaparecido», sino que se ha combinado con el carbono C de la madera durante la reacción química exotérmica de la combustión:



convirtiéndose en dióxido de carbono el cual, al ser un gas inerte, evita toda combustión adicional. De esto se deriva la definición inicial, según la cual el proceso descrito es un proceso de «autoinertización» de la madera.

30 Resulta evidente que este porcentaje de madera quemable es absolutamente insignificante, el fenómeno redox que es la base de la combustión de esta pequeña cantidad hace que la atmósfera interna de la celda se totalmente inerte, ya que el pequeño porcentaje de oxígeno todavía presente en el aire residual antes de la combustión, tras combinarse con el carbono contenido en la madera, se convierte en dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, con lo que se elimina totalmente el número de moléculas de oxígeno presentes en la celda, y se consigue que la mezcla final de gases  
35 contenidos en la celda de autoclave sea totalmente inerte.

Vale la pena analizar las diferentes composiciones de la mezcla de gas presentes en el interior de la celda antes de alcanzar la temperatura de pirólisis y durante el proceso de autoinertización de la madera causado por el proceso descrito:

## ES 2 528 903 T3

ANTES: 78 % de nitrógeno; 21 % de oxígeno; 0,9 % de argón; 0,04 % de dióxido de carbono; 0,06 % de otros.

DURANTE: 78 % de nitrógeno; 0,9 % de argón; 21,04 % de dióxido de carbono; 0,06 % de otros.

5 - Refrigeración: a través de un método novedoso y original, por ejemplo, unos intercambiadores de calor permiten transferir el calor de la madera desde el interior de la celda (que se mantiene constantemente en vacío parcial y en un entorno autoinertizado) a la atmósfera externa sin suministro de agua y/u otros gases y sin producción de vapor contaminante.

10 - Contaminación: el aparato no produce ningún tipo de contaminación para el medio ambiente externo, puesto que ningún gas y/o vapor puede escapar de su celda de autoclave, que siempre se encuentra a una presión inferior a la atmosférica. La posible pequeña cantidad de vapor de agua residual y/o gases generados durante el tratamiento térmico son transportados, antes de ser aspirados por la bomba de vacío, a través de un condensador adecuado  
15 que permita reconvertirlos en la fase líquida, lo que facilita una recuperación sencilla de la misma en un depósito especial, con el fin de poder ser desechados posteriormente de acuerdo con las leyes vigentes.

20 - Seguridad: el único peligro real que está presente al calentar la madera a temperaturas superiores a 160 °C es la posible activación de la combustión de la madera ante una entrada accidental de aire en la celda de tratamiento.

Tal evento puede ocurrir debido a causas externas al aparato (interrupción temporal debida a un fallo de la fuente de alimentación) o debido a causas intrínsecas a la propia maquinaria (fallo o mal funcionamiento de un componente de la maquinaria).

25 Los posibles fallos externos e internos, así como un ejemplo de una técnica practicada por el aparato descrito en el presente documento, se analizan a continuación en este documento.

30 De acuerdo con una realización, con el fin de evitar este inconveniente, debido al cual se detendrían todos los órganos y sensores del aparato, se ha dotado al aparato de un sistema de seguridad que comprende los siguientes elementos:

35 ♦ una unidad de continuidad SAI, capaz de intervenir de forma continua ante una falta general de tensión y suministrar energía eléctrica a los dispositivos de control (PLC) y seguridad del aparato descritos a continuación en el presente documento durante un período continuo de al menos 6 horas;

♦ un marcador telefónico que alerta inmediatamente a los administradores (hasta 4 personas) de la falta de tensión producida mediante correo de voz y SMS de alerta;

40 ♦ una bomba de vacío de seguridad, que tiene una capacidad relativamente pequeña, adecuada para mantener el vacío existente en la celda en el valor correcto, evitando que la presión de la celda aumente, lo que garantiza que la concentración de oxígeno se mantenga en valores insignificantes.

45 Teniendo en cuenta que la bomba de vacío de seguridad ciertamente no tiene un funcionamiento continuo, sino que, gracias a la perfecta estanqueidad de la autoclave, tendrá periodos cortos de funcionamiento alternados con periodos de parada largos, la capacidad de suministro de la unidad de continuidad SAI permitirá que el aparato se encuentre en una etapa de espera durante un tiempo incluso superior a 24 horas y, de todos modos, en el caso de una operación continua, durante un período no inferior a 6 horas.

50 Esta solución ofrece la gran ventaja de preservar el material de madera, manteniéndolo en las condiciones actuales, con el fin de permitir que el aparato reinicie automáticamente el ciclo de tratamiento térmico desde el punto de interrupción, sin perder ninguna información sobre el estado actual del aparato y la madera, y con la máxima seguridad.

55 Para superar el problema de un posible fallo de uno de los componentes eléctricos del aparato (motores, válvulas, sensores, etc.), de acuerdo con una forma de realización, cada componente es supervisado por un dispositivo (por ejemplo: protecciones magnetotérmicas, sondas auxiliares, etc.) que alerta inmediatamente al controlador PLC del fallo ocurrido, por lo que el PLC puede tomar las medidas apropiadas:

60 ♦ parada inmediata de todos los componentes;

♦ activación de la unidad de continuidad SAI;

♦ envío de alertas telefónicas a los operadores a través de una línea telefónica;

65 ♦ activación de la bomba de vacío de seguridad para mantener la presión en la celda en el valor deseado.

En este caso, de nuevo, el sistema reacciona de inmediato, asegurando la preservación de la madera y permitiendo a los técnicos que intervengan con el fin de eliminar el problema y reiniciar el sistema.

5 De acuerdo con una forma de realización, en cualquier caso, el aparato puede estar dotado de un sistema de emergencia contra la posibilidad de incendio de la madera contenida en la celda: tal sistema sirve para inertizar el interior de la celda por medio de un aporte de nitrógeno o agua.

10 En el poco probable caso de que se iniciase un incendio dentro de la celda, por una causa tal como, por ejemplo, una pérdida del sellado hermético que hiciese que el aire ambiente entrase en la celda, dando como resultado un aumento de la concentración de oxígeno y, por consiguiente, el inicio de una de combustión, sensores de presión y de temperatura especiales alertan al controlador PLC, que permite activar el proceso de INERTIZACIÓN RÁPIDA, que consiste sustancialmente en las siguientes operaciones:

15 ♦ parada inmediata de todos los componentes;

♦ activación de la unidad de continuidad SAI;

20 ♦ envío de alertas telefónicas a los operadores a través de una línea telefónica;

♦ alimentación de nitrógeno o pulverización de agua en la celda a través de una electroválvula especial, con el fin de saturar el volumen interno de la celda con un gas o un vapor, hasta que la presión interna de la celda sea igual o ligeramente superior a la presión atmosférica, evitando así que el aire ambiente entre en la celda y sofocando, en cualquier caso, la combustión de la madera;

25 ♦ activación del sistema de refrigeración, con el fin de reducir rápidamente la temperatura de la celda hasta valores por debajo de 100 °C, que están muy por debajo de la temperatura de combustión (160 °C).

30 De lo anterior, resultará evidente que el aparato descrito es capaz de implementar un proceso adecuado para llevar a cabo en secuencia y/o por separado los dos procesos físicos:

35 1. secado, preferentemente en vacío, de la madera a temperaturas comprendidas entre 50 °C y 100 °C, dependiendo de si es de madera dura o blanda, con una presión comprendida entre 50 y 350 mbar, por ejemplo, comprendida entre 125 y 250 mbar;

2. tratamiento térmico de la madera en vacío con presiones absolutas comprendidas entre 70 y 350 mbar y con temperaturas que oscilan entre 160 y 240 °C, y que comprende las tres etapas de:

40 - precalentamiento, hasta que se haya alcanzado la temperatura operativa;

- tratamiento térmico propiamente dicho;

45 - refrigeración de la masa de madera por medio de un método novedoso que no prevé el uso de la evaporación de agua para enfriar la madera.

Haciendo referencia a las figuras adjuntas, de acuerdo con una realización, el aparato 100 comprende los siguientes elementos:

50 1) una cámara de tratamiento estanca al vacío (cámara interna de la celda de autoclave 1) adecuada para contener la madera, es decir, la masa de madera 3 que se desea tratar, provista de una puerta estanca al vacío 4 para alimentar y retirar la madera;

2) un carro 2 que soporta la pila de madera que se desea someter al tratamiento;

55 3) un sistema de calentamiento del interior de la celda de autoclave 1, que puede comprender baterías eléctricas 5A, 5B o radiadores con tubos con aletas para un calentamiento por medio de vapor y/o aceite diatérmico, o una camisa de aceite diatérmico externa a la celda de secado;

60 4) un sistema de ventilación que comprende una serie de ventiladores 6A, 6B adecuados para transferir la energía térmica desde el sistema de calentamiento al material de madera a través de la circulación del gas dentro de la celda;

65 5) una unidad de bomba de vacío 13-15, que comprende una bomba de vacío, y un condensador 14 que está interpuesto entre la bomba y la cámara de tratamiento de la celda de autoclave 1, de manera que se condensen los vapores y/o gases que salen de la madera, con el fin de poder almacenar los mismos en un depósito adecuado, de

manera que sea posible eliminar los mismos de acuerdo con los requisitos legales;

6) un sistema de refrigeración de madera, cuya implementación puede variar en función del tipo de método de calentamiento, pero que no utiliza la pulverización de agua en el interior de la celda;

7) un sistema de seguridad y alarma que permite gestionar potenciales situaciones de peligro.

A continuación en el presente documento se describirán tres posibles realizaciones no limitantes del aparato 100:

◆ CONFIGURACIÓN 1: de acuerdo con el ejemplo de las figuras 1a-1b, con calentamiento por resistencia eléctrica directa y refrigeración mediante camisa de aire;

◆ CONFIGURACIÓN 2: de acuerdo con el ejemplo de las figuras 2a-2b, con calentamiento y refrigeración mediante intercambiadores de calor aire-aceite;

◆ CONFIGURACIÓN 3: de acuerdo con el ejemplo de las figuras 3a-3b, con calentamiento por camisa de aceite diatérmico y refrigeración mediante intercambiador de calor aire-aceite.

Tras presentar las tres configuraciones posibles, pasemos a considerar el análisis descriptivo con más detalle de cada aplicación individual:

CONFIGURACIÓN 1: aparato con calentamiento por baterías eléctricas y refrigeración mediante espacio intermedio de aire

Descripción del aparato:

Haciendo referencia a las figuras 1a-1b, en el ejemplo ilustrado el aparato 100 comprende los siguientes elementos:

- una celda de tratamiento estanca al vacío 1 (también denominada «celda de autoclave») que comprende un cilindro 6 preferentemente de acero inoxidable que define una cámara de tratamiento adaptada para alojar la masa de madera;

- un carro de carga 2 en el que está dispuesta la madera pila que se desea tratar termoquímicamente 3, formada por capas de tabloncillos de madera y/o artículos semielaborados separados entre sí por tiras espaciadoras para permitir el paso del fluido de calentamiento;

- una puerta estanca al vacío 4;

- un sistema de calentamiento que comprende baterías de resistencia eléctrica 5A y 5B;

- un sistema de ventilación que comprende, en el ejemplo, dos ventiladores 6A y 6B que permiten, a través de la circulación de aire interno, la transferencia de la energía térmica de las baterías de calentamiento a la madera;

- un cuerpo envolvente, preferentemente de acero 7, concéntrico a la célula de tratamiento 1 y que forma un espacio intermedio 8 con la misma: tal espacio intermedio comunica con la atmósfera inferiormente a través de un orificio 9 que se extiende a través de toda la longitud del espacio intermedio, y superiormente a través del colector de aspiración 10, la válvula de cierre de aire 17 y el ventilador 11;

- una unidad de bomba de vacío, compuesta por el tubo de aspiración 12, el condensador 14, un depósito de recogida y almacenamiento del vapor condensado 15 y la bomba de vacío 13;

- la celda está térmicamente aislada del entorno externo por medio del aislamiento 16.

Se omitirá la descripción del funcionamiento del aparato 100 como un secador de vacío, puesto que ya es conocido, dado que ha sido el objeto de una serie de patentes concedidas en el pasado al Solicitante, y forman parte del saber hacer cedido bajo licencia por el solicitante a una serie de empresas, tanto en Italia como en el extranjero (por ejemplo, la patente de EE. UU. 4,223,451; patente italiana 1187959).

Funcionamiento del aparato de acuerdo con la configuración 1

Después de cargar la pila de madera 3, es decir, la masa de madera que se desea tratar, en el carro especial 2 e introducir el carro en la celda de tratamiento (autoclave) 1 a través de la puerta 4, se cierra herméticamente por medio de dispositivos especiales.

En este punto, se puede iniciar el ciclo de tratamiento propiamente dicho que consiste, como se ha visto en la introducción, en la secuencia de las 3 etapas siguientes:

- ETAPA 1: precalentamiento de la madera
- ETAPA 2: tratamiento térmico propiamente dicho
- ETAPA 3: enfriamiento de la masa de madera

*ETAPA 1: PRECALENTAMIENTO DE LA MADERA*

10 Durante esta etapa, los ventiladores 6A y 6B (de acuerdo con las explicaciones de la patente italiana N° 1187959 del Solicitante en relación con el sistema de ventilación de tipo longitudinal lateral «LO-LA») permiten la circulación del aire en el interior a través de las baterías eléctricas de calentamiento 5A y 5B y la pila de madera, con el fin de transferir la energía térmica producida por ellas a la propia madera (por supuesto, es posible disponer de manera diferente las baterías y los ventiladores, siempre que la circulación de fluido resulte igualmente eficiente).

15 Preferentemente, un sistema de al menos dos sondas de temperatura 18 inmersas en el flujo de aire permite medir las temperaturas aguas arriba y aguas abajo de la pila de madera y, en consecuencia, llevar a cabo el ajuste de las mismas de acuerdo con el programa establecido por el operador.

20 Al mismo tiempo, el sistema de bomba de vacío permite aspirar el aire del interior de la celda 1 hasta que se alcance y se mantenga el valor de presión absoluta deseada. Según resulte necesario, dicho valor puede oscilar entre 70 mbar y la presión atmosférica (1023 mbar) hasta que la temperatura interna de la cámara de tratamiento sea inferior a 180 °C, es decir, la temperatura a la que se podría activar en la madera el inicio de la combustión; posteriormente, el aparato 100 procede a reducir la presión hasta un valor comprendido entre 70 y 350 mbar con el fin de garantizar que, una vez se haya alcanzado la temperatura de comienzo de la pirólisis, la atmósfera interna ya sea extremadamente pobre en oxígeno, por lo que, como se ha visto, la cantidad de material de madera «quemable» debido a fenómenos redox entre el oxígeno residual y el carbono de la madera es infinitesimal y produce el fenómeno deseado de «autoinertización».

30 Una sonda de temperatura 18, situada en un orificio perforado en el medio de un tablón de madera que ha sido seleccionado como muestra, permite medir y ajustar la temperatura de tratamiento termoquímico, comprendida generalmente entre 180 °C y 230 °C, que se puede alcanzar en una serie de etapas sucesivas y/o con una pendiente deseada de acuerdo con el tipo de madera, el grosor de la misma, etc.

35 *ETAPA 2: TRATAMIENTO TERMOQUÍMICO PROPIAMENTE DICHO*

Una vez que se ha evaluado, por medio de una sonda de núcleo de madera especial 18, que la masa de madera haya alcanzado la temperatura de tratamiento deseada, el dispositivo permite mantener constante dicha temperatura durante el período establecido por el operador, cuya duración depende del resultado de los cambios en las características de la madera que se deseen obtener (color, durabilidad, higroscopicidad, etc.), del espesor de la madera, su tipo, etc.

45 En esta etapa están activos los ventiladores y, cuando sea necesario, también las baterías de calentamiento, así como la unidad de bomba de vacío que permite mantener la presión de la celda en el valor operativo, que también varía según sea necesario entre 70 y 350 mbar absolutos.

50 Los vapores y gases posiblemente producidos por la masa de madera durante el tratamiento son aspirados por la bomba de vacío 13, que permite transportarlos, mediante el tubo 12, a través del condensador 14, en donde se enfrían hasta la temperatura de rocío y, seguidamente, se convierten en la fase líquida, que se recoge en el depósito de almacenamiento 15, desde donde pueden ser extraídos al final del ciclo y enviarse, si fuese necesario, a su eliminación de acuerdo con los requisitos legales.

*ETAPA 3: REFRIGERACIÓN DE LA MASA DE MADERA*

55 Tras la finalización de la etapa de tratamiento, la madera se encuentra a una temperatura comprendida entre 180 y 230 °C, con lo que no se puede extraer de la celda antes de haberse enfriado en una atmósfera inerte hasta una temperatura inferior a 80 °C, con el fin de evitar su exposición al aire ambiente cuando todavía se encuentre a una temperatura que resulte peligrosa en términos de una posible combustión, para no someterla a choques térmicos perjudiciales y, por último, para permitir su manipulación sin riesgo de quemaduras para el operador.

60 El método utilizado para enfriar la madera es novedoso y original, y consiste en someter toda la superficie exterior de la celda de autoclave 1 a un flujo forzado de aire ambiente fresco, así como crear, a través de la pared de la propia celda, una gran diferencial de temperatura entre el interior (180 °C-230 °C) y el exterior (25 °C), generando así un flujo de energía térmica correspondiente de acuerdo con las leyes conocidas de la termodinámica, en donde la cantidad de calor transferido al entorno externo es igual a:

$$Q = k S (T_i - T_e)$$

en la que:

5 K = coeficiente de intercambio térmico del acero AISI 304

S = superficie exterior de la celda de autoclave

10 Ti = temperatura interna de la celda = 180-230 °C

Te = temperatura media del aire externo = 25 °C

mediante la cual comprendemos la alta eficiencia de la celda de autoclave si se considera como un intercambiador de calor aire-aire de superficie total.

15 Las operaciones de refrigeración consisten en la apertura del puerto de cierre de aire 17, activando el ventilador 11, el cual, a través del colector superior 10, permite la retirada del aire ambiente fresco desde el orificio inferior 9 y pasarlo al espacio intermedio 8 con una velocidad tal como para generar un flujo turbulento que, al entrar en contacto externamente la pared de la celda de tratamiento 1, produce una rápida refrigeración de la misma, estableciendo de este modo, como se ha visto, un intercambio térmico altamente eficiente entre el interior de la celda (con la totalidad de su contenido de madera) y el aire ambiente, sin contacto directo mutuo: gracias a esta medida termodinámica, la pared de la celda se convierte en un intercambiador de calor gas-aire de superficie total de alta eficacia.

25 Los ventiladores internos 6A y 6B, que producen, como se ha visto, la circulación del aire interno, permiten sustraer el calor almacenado de la madera y enviarlo a la superficie interior de la pared de la celda de tratamiento, por medio de lo cual tienen lugar el intercambio térmico y el transferencia de energía térmica a la corriente de aire fresco que circula en el espacio intermedio 8.

30 Todo esto se lleva a cabo con un respeto absoluto por el medio ambiente, ya que no hay contacto y/o mezcla entre el fluido interno (mezcla de aire, vapores y gases de la madera) y el aire de refrigeración. Por supuesto, durante los meses de invierno, es posible recuperar el aire caliente que sale del ventilador 11 y utilizarlo para calentar los edificios industriales.

35 Una vez que la madera se ha enfriado hasta la temperatura deseada, es posible abrir la puerta impermeable 4 y retirar el carro.

#### CONFIGURACIÓN 2: Aparatos de calentamiento y refrigeración mediante intercambiadores de calor

40 El proceso es sustancialmente igual al descrito anteriormente con referencia a las figuras 1a-1c, con las siguientes variantes tecnológicas (véanse las figuras 2a-2c):

- el calentamiento de la madera se obtiene por medio de radiadores internos 15A y 15B en los que se hace circular aceite diatérmico, calentado mediante un calderín especial 27; en el ejemplo, estos radiadores internos están siempre combinados con los correspondientes ventiladores 6A, 6B;

50 - la refrigeración de la madera se obtiene desviando, a través de la válvula de 3 vías 18, el flujo de aceite diatérmico desde el calderín hasta el radiador de refrigeración externo 20 asociado, en el ejemplo, a un ventilador 6C, así como estableciendo un flujo de térmica energía desde los radiadores 5A y 5B dispuestos en la celda (a alta temperatura) hasta el aire ambiente. En el ejemplo ilustrado, se dispone una bomba 19 para la circulación forzada de aceite diatérmico.

Para el secado y el tratamiento propiamente dicho, se pueden aplicar todas las medidas descritas con referencia a las figuras 1a-1c.

55 CONFIGURACIÓN 3: aparato con calentamiento por camisa de aceite diatérmico y refrigeración mediante intercambiador de calor aire-aceite.

60 El proceso físico es sustancialmente similar al descrito haciendo referencia a 1a-1c, con las variaciones tecnológicas siguientes (véanse las figuras 3a-3c):

65 - el calentamiento se obtiene a través de un espacio intermedio 8 externo a la celda de tratamiento térmico de madera 8, en el que se hace circular, a través de una bomba 19, el aceite diatérmico calentado por un calderín especial 27, de manera que toda la pared celular se convierta en un intercambiador de calor de superficie total, ya que absorbe calor externamente desde el aceite diatérmico y lo transmite internamente al aire de interior de la celda,

aire que se hace circular por los ventiladores 6A y 6B tangencialmente a la misma pared, siendo entonces desviada al pasar a través de la pila de madera 3;

- 5 - la refrigeración se obtiene haciendo circular el aceite diatérmico a través de un intercambiador de calor aire-aceite externo 20 capaz de enfriar el aceite y seguidamente, a través de un intercambio térmico de la superficie interior, la madera contenida en la celda de tratamiento 1.

Para el secado y el tratamiento propiamente dicho, véase lo que ya se ha descrito con referencia a las figuras 1a-1c.

- 10 Por lo tanto, se debe observar que se ha descrito en términos generales un aparato 100 para el tratamiento de modificación termoquímica de madera, en el que tal modificación se obtiene a través de las múltiples reacciones fisicoquímicas de las sustancias que comprenden la estructura de la madera, generadas mediante la exposición de la madera a temperaturas a las que comienza el fenómeno de pirólisis, es decir, comprendidas en el intervalo de entre 180 °C y 240 °C. El aparato 100 comprende una celda de autoclave de vacío 1 y un sistema de refrigeración con intercambio térmico y circulación forzada de fluido que comprende un circuito de circulación 8, 15A, 15B del fluido que comprende una pared de confinamiento térmicamente conductora. Dicha pared tiene una superficie expuesta dentro de la celda de autoclave de vacío 1 y tiene una superficie opuesta en contacto con la circulación forzada del fluido. La circulación de fluido sustrae calor de la atmósfera del interior de la celda de autoclave de vacío 1, en otros términos, la atmósfera de la cámara de tratamiento de la celda de autoclave en la que está contenida la masa de madera, sin entrar directamente en contacto con dicha atmósfera interna.

- 25 De acuerdo con una forma de realización, el aparato 100 está adaptado para llevar a cabo el tratamiento térmico al tiempo que mantiene la presión interna de la celda de autoclave 1 siempre menor que la presión atmosférica, en un intervalo de valores de 70-350 mbar de presión absoluta, consistiendo el tratamiento en las etapas de precalentamiento, calentamiento propiamente dicho y refrigeración de una masa de madera.

- 30 De acuerdo con una forma de realización, el aparato 100, durante el calentamiento de la madera, con el fin de evitar la combustión de la misma, está adaptado para eliminar totalmente el oxígeno contenido en la celda 1, en virtud de medidas especiales que consisten en primero «reducir» la cantidad inicial gracias al vacío parcial creado en la celda que reduce extremadamente el contenido de aire y, posteriormente, en «consumir» totalmente la pequeña cantidad residual, mediante la inducción de una microcombustión dirigida de una parte infinitesimal de la masa de madera sometida al tratamiento. Más particularmente, el aparato 100 está adaptado para producir la inertización de la atmósfera interna de la autoclave 1, gracias al fenómeno redox que es la base de la microcombustión de esta pequeña cantidad de oxígeno aún presente en la cantidad reducida de aire, en la que el oxígeno, tras combinarse con el carbono contenido en la madera, se convierte en dióxido de carbono, con lo que se elimina totalmente el número de moléculas de oxígeno presentes en la celda, y se consigue que la mezcla final de gases contenidos en la celda de autoclave sea totalmente inerte.

- 40 De acuerdo con una realización, la celda 1 está adaptada para llevar a cabo la doble función de un secador de vacío y un dispositivo de tratamiento térmico, con el fin de secar primero la madera en un intervalo de temperatura de 50-100 °C y un intervalo de presión de 50-350 mbar, para evitar dañar la madera, incluso cuando se reduzca su humedad hasta valores próximos a cero y, posteriormente, ser capaz de exponer a las temperaturas «brutales» del tratamiento de modificación termoquímica, en un intervalo de temperatura de 180-240 °C y un intervalo de presión de 70-350 mbar.

- 45 En la realización relacionada con las configuraciones 1 y 3 descritas anteriormente, el aparato comprende un cilindro exterior 7 concéntrico a la celda de autoclave 1, en el que se define un espacio intermedio 8 entre dicho cilindro y dicha autoclave, comprendido en el circuito de circulación de fluido. Es evidente que la pared de confinamiento térmicamente conductora mencionada anteriormente del circuito de circulación de fluido es la pared cilíndrica 6 que define la cámara de tratamiento térmico. Una pared tal está hecha, por ejemplo, de acero inoxidable. En particular, de acuerdo con una realización coherente con la configuración 1, el aparato comprende un ventilador 11 y el fluido es aire aspirado desde la atmósfera exterior y distribuido en el circuito de circulación, y por consiguiente en el espacio intermedio 8, a través del ventilador 11. En tal realización, es posible disponer una válvula de cierre de aire 17 operativamente interpuesto entre el ventilador 11 y el espacio intermedio 8. De nuevo, en tal realización, es posible prever que el espacio intermedio 8 comprenda un orificio inferior 9 para aspirar el aire a través del ventilador 11.

- 60 De acuerdo con una realización coherente con la configuración 3, el fluido es aceite diatérmico contenido en el espacio intermedio 8, y el aparato comprende un intercambiador de calor externo 20 y los conductos de fluido 11A, 11B adecuados para conectar el intercambiador de calor externo 20 al espacio intermedio 8. Es evidente que la pared de confinamiento térmicamente conductora mencionada anteriormente del circuito de circulación es la pared 6 que define la cámara de tratamiento térmico. En tal realización, es posible prever que el aparato comprenda además una bomba 9 para la circulación forzada de aceite en el espacio intermedio 8 y el intercambiador de calor externo 20.

- 65 De acuerdo con una realización coherente con la configuración 2, el fluido es aceite diatérmico y el circuito de circulación comprende un intercambiador de calor interno 15A y un intercambiador de calor externo 20 en

## ES 2 528 903 T3

comunicación para el flujo de fluidos con el intercambiador de calor interno 15A. Es evidente que, en esta realización, la pared de confinamiento térmicamente conductora antes mencionada está representada por las paredes de los conductos del intercambiador de calor interno 15A.

- 5 En todas las realizaciones anteriormente mencionadas, es posible disponer dos ventiladores 6A, 6B dentro de la celda de autoclave y adecuados para ser accionados durante la refrigeración con el fin de transferir el calor de dicha masa de la madera a dicha pared de confinamiento.
- 10 En todas las realizaciones mencionadas anteriormente, es posible disponer un condensador 12 en comunicación para el flujo de fluidos con la celda de autoclave de vacío y adecuado para ser atravesado por los gases y/o vapores producidos durante el tratamiento para ser convertidos por el condensador en la fase líquida. Además, es posible disponer una bomba de vacío 13 y el condensador 12 operativamente interpuesto entre dicha bomba de vacío y dicha celda de autoclave.
- 15 Como resultará evidente a partir de lo que se ha descrito anteriormente, y como se confirmó mediante pruebas in situ, un aparato del tipo descrito anteriormente permite alcanzar plenamente los objetivos previstos.

## REIVINDICACIONES

1. Un aparato (100) para el tratamiento de modificación termoquímica de la madera, en el que dicha modificación se obtiene a través de múltiples reacciones químicas de las sustancias que comprenden la estructura de madera generadas mediante la exposición de la madera a temperaturas a las que comienza el fenómeno de pirólisis, es decir, comprendidas en el intervalo de 180 °C-240 °C, comprendiendo el aparato (100) un celda de autoclave de vacío (1), una puerta estanca al vacío (4), una bomba de vacío (13), un carro (2) para soportar una pila de madera que se ha de someter al tratamiento y un sistema de refrigeración con intercambio térmico y circulación forzada de fluido que comprende un circuito de circulación (8, 15A, 15B) del fluido, comprendiendo dicho circuito de circulación una pared de confinamiento térmicamente conductora que tiene una superficie expuesta dentro de la celda de autoclave de vacío (1) y que tiene una superficie opuesta en contacto con la circulación forzada de fluido, de manera que la circulación de fluido puede sustraer el calor de la atmósfera del interior de la celda de autoclave de vacío (1), evitando así que el fluido entre directamente en contacto con la atmósfera interna, en el que dicho aparato (100) comprende además un condensador (12) en comunicación para el flujo de fluidos con la celda de autoclave de vacío, adecuado para ser atravesado por los gases y/o vapores producidos durante el tratamiento para ser convertidos por el condensador en la fase líquida, en donde el condensador (12) está interpuesto operativamente entre la bomba de vacío (13) y la celda de autoclave de vacío (1).
2. El aparato (100) de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el aparato (100) está adaptado para llevar a cabo el tratamiento térmico al tiempo que mantiene la presión interna de la celda (1) siempre menor que la presión atmosférica, en un intervalo de valores de 70-350 mbar de presión absoluta, consistiendo el tratamiento en las etapas de precalentamiento, calentamiento propiamente dicho y refrigeración de una masa de madera.
3. El aparato (100) de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en donde el aparato (100) durante el calentamiento de la madera, con el fin de evitar la combustión de la misma, está adaptado para eliminar totalmente el oxígeno contenido en la celda 1, en virtud de medidas especiales que consisten en primero «reducir» la cantidad inicial gracias al vacío parcial creado en la celda que reduce extremadamente el contenido de aire y, posteriormente, en «consumir» totalmente la pequeña cantidad residual, mediante la inducción de una microcombustión dirigida de una parte infinitesimal de la masa de madera sometida al tratamiento.
4. El aparato (100) de acuerdo con la reivindicación 2, en donde el aparato (100) está adaptado para producir la inertización de la atmósfera interna de la autoclave (1), gracias al fenómeno redox que es la base de la microcombustión de la pequeña cantidad de oxígeno aún presente en la cantidad reducida de aire, en la que el oxígeno, tras combinarse con el carbono contenido en la madera, se convierte en dióxido de carbono, con lo que se elimina totalmente el número de moléculas de oxígeno presentes en la celda de autoclave, y se consigue que la mezcla final de gases contenidos en la celda de autoclave sea totalmente inerte.
5. El aparato (100) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la celda (1) es adecuada para llevar a cabo la doble función de un secador de vacío y un dispositivo de tratamiento térmico, con el fin de secar primero la madera en un intervalo de temperatura de 50-100 °C y un intervalo de presión de 50-350 mbar, para evitar dañar la madera, incluso cuando se reduzca su humedad hasta valores próximos a cero y, posteriormente, ser capaz de exponer a las temperaturas «brutales» del tratamiento de modificación termoquímica, en un intervalo de temperatura de 180-240 °C y un intervalo de presión de 70-350 mbar.
6. El aparato (100) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende un cilindro exterior (7) concéntrico a la celda de autoclave (1), en el que se define un espacio intermedio (8) entre el cilindro (7) y la celda de autoclave (1), comprendido en dicho circuito de circulación de fluido.
7. El aparato (100) de acuerdo con la reivindicación 6, que comprende un ventilador (11) y en el que dicho fluido es aire aspirado desde la atmósfera exterior y distribuido en el circuito de circulación a través del ventilador (11).
8. El aparato (100) de acuerdo con la reivindicación 7, que comprende una válvula de cierre de aire (17) interpuesta operativamente entre el ventilador (11) y el espacio intermedio (8).
9. El aparato (100) de acuerdo con las reivindicaciones 7 u 8, en el que el espacio intermedio (8) comprende un orificio inferior (9) para aspirar el aire a través del ventilador (11).
10. El aparato (100) de acuerdo con la reivindicación 6, en el que dicho fluido es aceite diatérmico contenido en el espacio intermedio (8), y en donde el aparato comprende un intercambiador de calor externo (20) y conductos de fluido (11A, 11B) adecuados para conectar el intercambiador de calor externo (20) con el espacio intermedio (8).
11. El aparato (100) de acuerdo con la reivindicación 10, que comprende además una bomba (9) para la circulación forzada de dicho aceite en el espacio intermedio (8) y en el intercambiador de calor externo (20).
12. El aparato (100) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que dicho fluido es aceite diatérmico y el circuito de circulación comprende un intercambiador de calor interno (15A) y un intercambiador de

calor externo (20) en comunicación para el flujo de fluidos con el intercambiador de calor interno (15A).

13. El aparato (100) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además dos ventiladores (6A, 6B) dentro de la celda de autoclave y adaptados para ser accionados durante la refrigeración con el fin de transferir el calor de la masa de la madera a la pared de confinamiento.
- 5

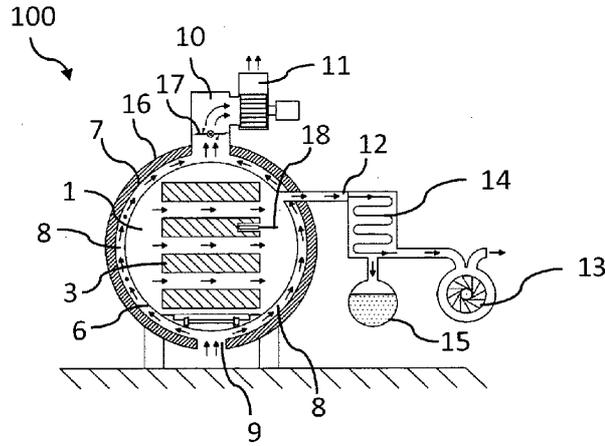


FIG. 1a

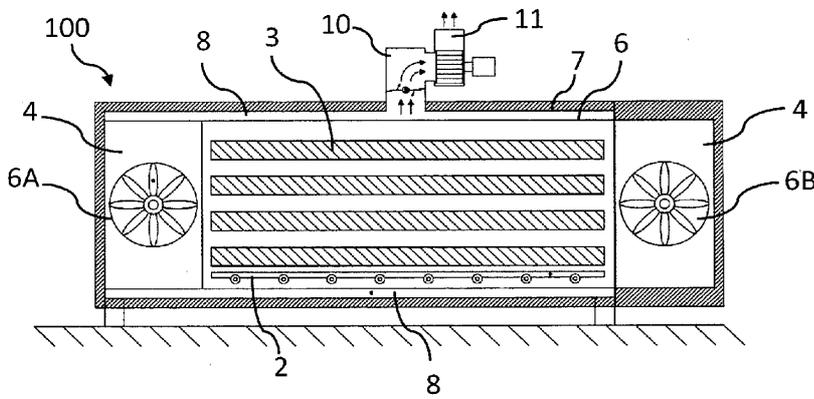


FIG. 1b

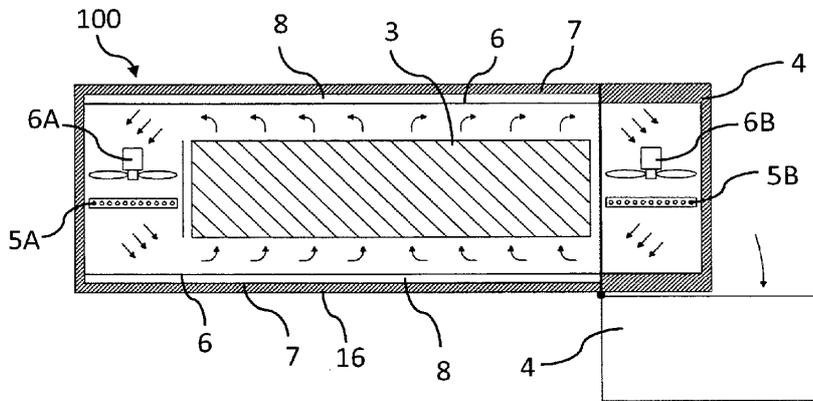


FIG. 1c

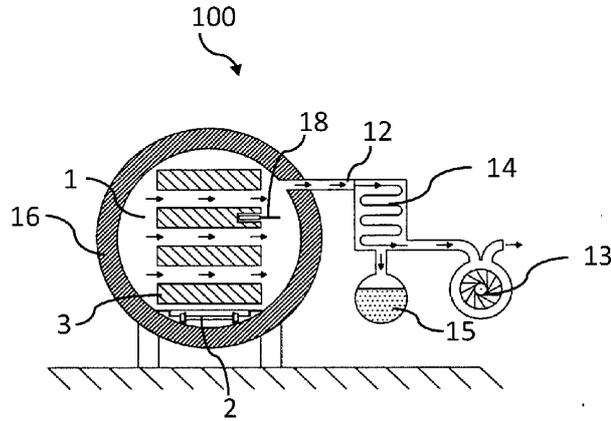


FIG. 2a

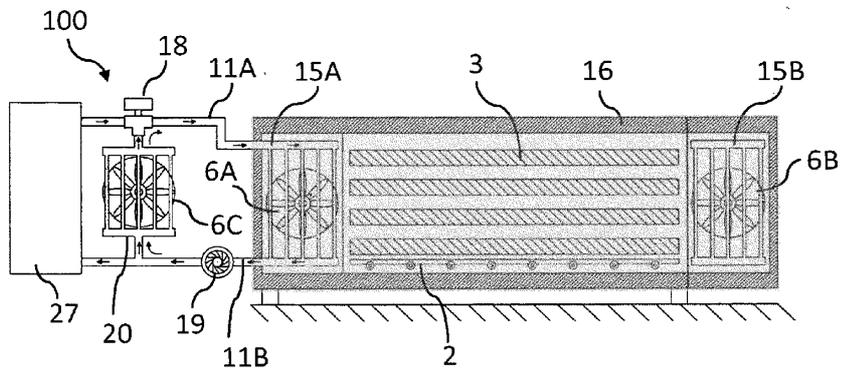


FIG. 2b

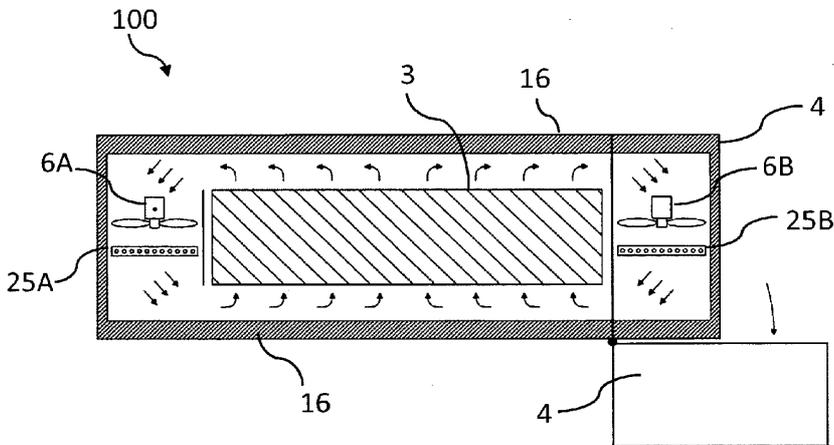


FIG. 2c

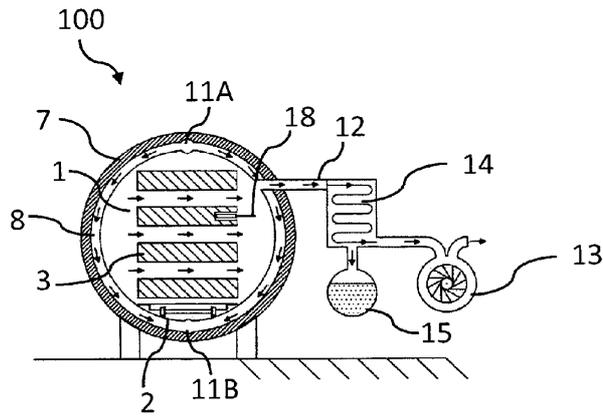


FIG. 3a

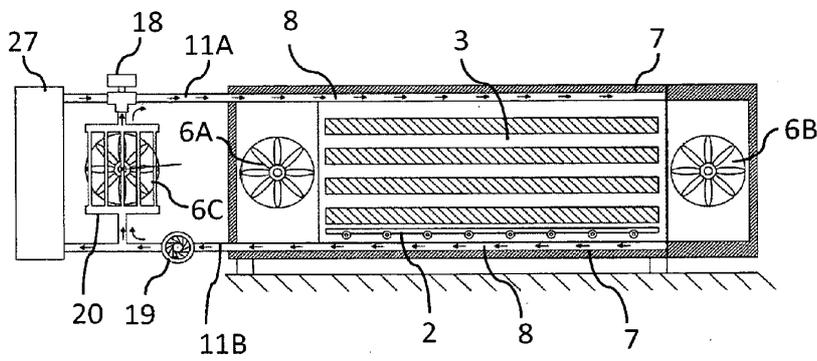


FIG. 3b

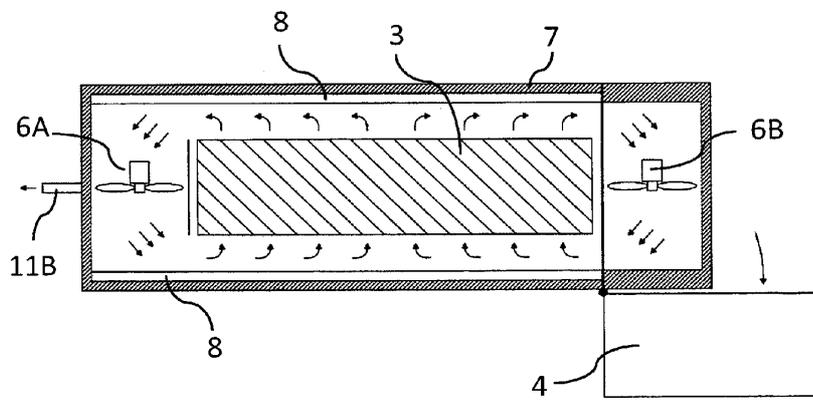


FIG. 3c

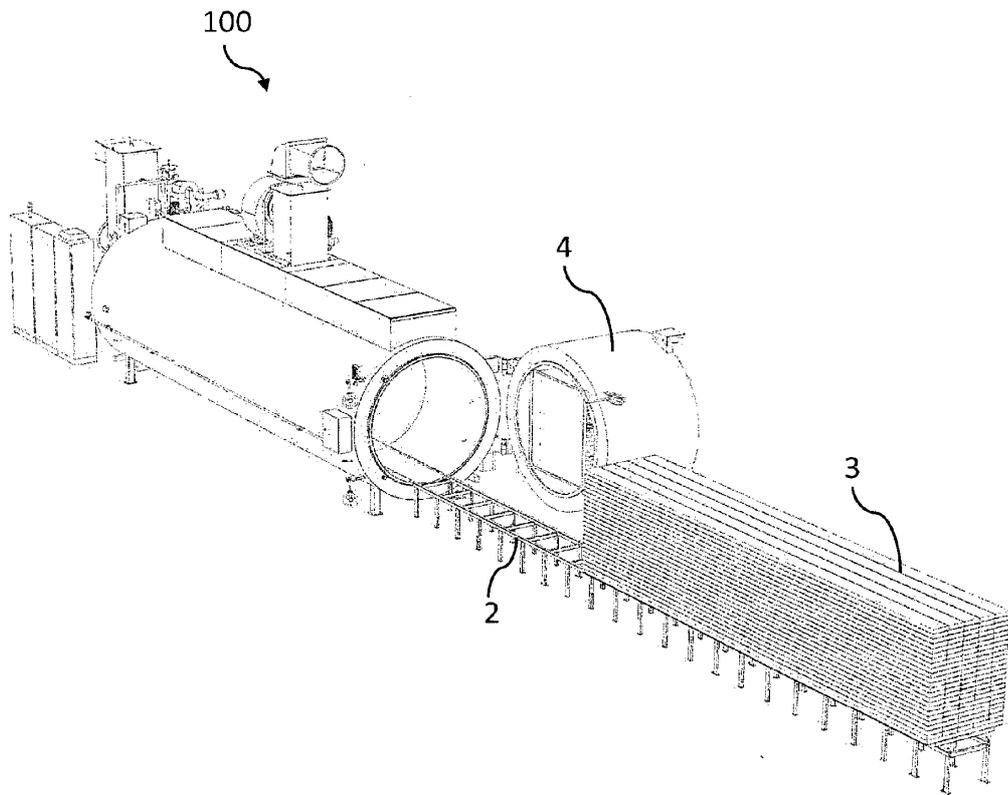


FIG. 4