(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 423 306**

(51) Int. CI.:

F26B 7/00 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.11.2008 E 08871924 (0)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.05.2013 EP 2212637**

(54) Título: **Procedimiento de deshidratación mecánica térmicamente asistida**

(30) Prioridad:

12.11.2007 FR 0707911

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
19.09.2013

(73) Titular/es:

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES MINES D'ALBI-CARMAUX (100.0%)
Rte. de Teillet, Campus Jarlard
81013 Albi CT Cedex 09, FR

(72) Inventor/es:

FERNANDEZ, MARIA AURORA;
AUDUC, BERNARD;
ARLABOSSE, PATRICIA y
MAHMOUD, AKRAMA

(74) Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de deshidratación mecánica térmicamente asistida

La presente invención se refiere a un procedimiento de deshidratación mecánica térmicamente asistida con el objetivo de realizar la separación sólido/líquido de un producto que contiene por una parte una fase líquida y por otra parte una fase sólida.

La separación de una fase continua (líquida) y una fase dispersa (sólida) inicialmente mezcladas se puede hacer de varias maneras: decantación, centrifugación, filtración, compresión, separación magnética,.... Una de las técnicas de deshidratación mecánica aplicadas convencionalmente en la industria es el acoplamiento en serie de una filtración a presión constante y de una compresión mecánica.

La filtración se aplica a suspensiones, concentradas o diluidas, de partículas gruesas que presentan eventualmente una distribución granulométrica escalonada similar a las suspensiones coloidales. La separación se realiza con ayuda de un medio filtrante permeable esencialmente en la fase líquida de la mezcla a separar. El líquido separado se denomina filtrado, efluente, o incluso permeado.

En el caso de una filtración sobre soporte, una suspensión a filtrar se alimenta a caudal constante o, con mayor frecuencia, a presión de alimentación constante en una cámara cerrada por un soporte poroso (medio filtrante). Bajo el efecto de la presión aplicada, la suspensión migra hacia el medio filtrante, sobre el que se depositan las partículas sólidas y forman una torta de filtración, mientras que el filtrado se recupera bajo el soporte poroso. Al igual que en otros procesos de separación, la separación de fases nunca es completa: la torta presenta una humedad residual y el filtrado a menudo contiene algunos sólidos. Cuando las tortas de filtración que se forman son compresibles, la separación puede ser procesada por compresión. El aumento de la presión reduce el volumen de la torta al expulsar el exceso de líquido contenido en los poros, lo que conduce a una disminución de la humedad residual de la torta. Para sólidos húmedos divididos, sólo se lleva a cabo la fase de compresión.

Para las suspensiones, la separación sólido/líquido comienza normalmente con una etapa de espesamiento del producto seguida de una etapa de deshidratación mecánica durante lal cual el líquido contenido en el producto se separa en forma líquida sin aporte de calor. Durante esta operación, la cantidad de líquido, generalmente agua, se puede reducir de 95 a 70% en peso. Estas cifras varían según los productos deshidratados y se proporcionan aquí únicamente a título meramente informativo. El rendimiento de la separación mecánica es sin embargo bastante mediocre para las suspensiones coloidales o los productos pastosos, tales como lodos de aguas residuales. La principal ventaja de estas operaciones es su bajo consumo energético. Para un espesamiento por gravedad, un consumo comprendido entre 0,001 y 0,01 kWh es necesario por metro cúbico de agua eliminado. En una operación de deshidratación mecánica, el consumo de energía es del orden de 1 a 10 kW por metro cúbico de agua eliminada.

Cuando es necesaria una reducción mayor del contenido de agua, puede utilizarse el secado térmico, que consiste en evaporar o vaporizar el agua contenida en el producto húmedo. El costo energético de esta operación es aquí del orden de 1.000 kWh por metro cúbico de agua extraída. El coste de esta operación es a menudo prohibitivo, especialmente cuando la operación se realiza en subproductos o residuos. Además, el contenido de humedad final de los productos secos es generalmente menor que 5%, aunque un contenido tan bajo el agua no sea siempre indispensable para la recuperación de los residuos.

Se sabe realizar un aporte de calor en una deshidratación mecánica. Se habla entonces de deshidratación mecánica térmicamente asistida. El par presión/calor puede considerarse diferentes maneras: por una parte según el modo de aporte de este calor (conducción, convección...) y por otra parte según el momento en que se aporta (antes etapa de filtración, durante la compresión a lo largo de la deshidratación).

Muy a menudo, las presiones utilizadas son relativamente elevadas y los aportes de calor son tales que permiten una vaporización de la fase líquida.

En el documento US 4380496 se da a conocer un procedimiento de deshidratación mecánica térmicamente asistida que comprende las características del preámbulo de la reivindicación 1.

Estos diversos procedimientos presentan todos el inconveniente de tener un rendimiento energético relativamente mediocre. Además, a veces se nota una adherencia del material en las paredes calientes de la prensa.

La presente invención tiene entonces por objeto proporcionar un procedimiento de deshidratación mecánica térmicamente asistida con un balance de energía optimizado. Preferiblemente, este procedimiento permitirá evitar los problemas de adherencia encontrados en determinados procedimientos de la técnica anterior.

A este efecto, la presente invención propone un procedimiento de deshidratación mecánica térmicamente asistida en el que un producto que va a deshidratarse se introduce en un dispositivo de filtración y/o de compresión y en el que se realiza un aporte de calor.

Según la presente invención, este procedimiento comprende una primera etapa a una primera presión inferior a 7 bares durante la cual el producto que ha de deshidratarse se calienta a una temperatura inferior a la temperatura de evaporación del líquido que ha de eliminarse y el líquido que ha de eliminarse se recupera poco a poco, teniendo esta primera etapa una duración comprendida entre 5 minutos y varias horas.

Se propone aquí realizar un primer tratamiento (compresión y/o filtración) a presión poco elevada y a baja temperatura durante un largo tiempo. Este enfoque original permite una buena separación de la fase líquida fuera del producto a deshidratar reduciendo al mínimo el consumo de energía para realizar la deshidratación correspondiente. El líquido que se elimina que se elimina poco a poco, no se calienta innecesariamente, lo que permite limitar el consumo de energía durante la realización del proceso.

Según una realización preferida del procedimiento según la presente invención, la primera presión está comprendida entre 1,5 y 4 bares, preferentemente alrededor de 3 bares para la mayoría de los productos para los que se ha probado el procedimiento.

Una realización de la presente invención prevé que el dispositivo de filtración y/o compresión comprende una cámara que presenta una pared una de cuyas partes al menos se calienta, y el producto que se ha de deshidratar se calienta por conducción a partir de la parte calentada de pared. La parte de la pared de la cámara que se calienta puede ser fija o móvil. Si la presión es producida por un pistón, bandejas u otros elementos, se puede prever los medios que permiten ejercer una presión sobre el producto que ha de deshidratarse se calientan. La calefacción se puede realizar por cualquier medio: resistencia eléctrica, fluido refrigerante, radiación, etc..

Para aumentar la cantidad de líquido separado del producto que ha de deshidratarse, el procedimiento según la invención prevé que la primera etapa a baja presión viene seguida por una segunda etapa a una segunda presión, siendo esta segunda presión superior a la primera presión e inferior a 30 bares. Se realiza así una separación complementaria que permite aumentar el rendimiento del proceso. Con algunos productos, como por ejemplo la bentonita, este aumento de rendimiento es sensible, pero se ha observado con algunos otros productos que la segunda etapa a presión más elevada no permitía extraer más que relativamente poco líquido. En esta segunda etapa, la temperatura permanece preferentemente por debajo de la temperatura de vaporización del líquido a extraer. Una variante preferida prevé que en la segunda etapa la parte calentada de la pared se mantiene a una temperatura sustancialmente constante, correspondiendo esta temperatura a la temperatura de dicha parte calentada de la pared en el dispositivo de filtración y/o de compresión al final de la primera etapa.

En un procedimiento según la invención en el que el dispositivo que se ha de deshidratar está colocado en una cámara cuya parte de la pared se calienta, a continuación, en la segunda etapa de dicho procedimiento, la porción calentada de la pared permanece preferentemente a temperatura sensiblemente constante, correspondiendo esta temperatura a la temperatura de dicha parte calentada de la pared del dispositivo de filtración y/o de compresión al final de la primera etapa de compresión. Cuando el líquido que ha de eliminarse contiene en su mayor parte agua, la parte calentada de la pared se lleva a una temperatura comprendida por ejemplo entre 40ºC y 90ºC en la primera etapa.

El procedimiento según la invención también puede comprender, antes de la primera etapa, una etapa de deshidratación a temperatura ambiente, sin aporte de calor, a una presión correspondiente a la primera presión.

El procedimiento de la invención permite obtener rendimientos superiores con menor consumo de energía cuando se aplica por ejemplo al pretratamiento de una biomasa húmeda, excepto la madera. La biomasa húmeda tratada aquí puede ser, por ejemplo, cereales, plantas forrajeras, plantas leguminosas, plantas con fibras, plantas oleaginosas, plantas con colorantes, ... Entre estas plantas, se pueden así citar por ejemplo, a modo de ejemplos no limitativos la alfalfa, el césped, la soja y la hierba. Cuando el procedimiento según la invención se aplica a un pretratamiento de biomasa húmeda, esta biomasa húmeda después de la deshidratación mecánica térmicamente asistida, por ejemplo, puede por ejemplo someterse a una etapa final de secado térmico en un secador, estando entonces el secador convenientemente provisto de un intercambiador de calor a la salida, y la energía de los vapores recuperados en el intercambiador de calor utilizándose al menos parcialmente para realizar un calentamiento en las etapas anteriores del proceso. De esta manera, es posible optimizar el balance de energía de toda la cadena de tratamiento de la biomasa aplicada en el proceso.

Un procedimiento según la invención también se puede aplicar, por ejemplo, a la deshidratación de los residuos líquidos o pastosos, excluidos los lodos residuales urbanos y los lodos del agua potable. Se pueden tratar aquí lodos industriales tales como por ejemplo lodos de papelera o incluso un residuo tal como la bentonita de sodio usada.

Un procedimiento según la invención está asimismo bien adaptado a la extracción de jugo verde a partir de una biomasa húmeda, excepto la madera. Se trata aquí por ejemplo, de extraer un jugo rico en proteínas de una planta tal como la alfalfa. El líquido evacuado durante deshidratación se recupera a continuación y no se desperdicia. Para favorecer en este procedimiento la calidad del jugo verde obtenido de la deshidratación mecánica térmicamente asistida, la temperatura de la pared calentada permanece preferiblemente a menos de 60ºC. Preferentemente, la temperatura de la pared calentada es del orden de 50ºC (± 2ºC).

Los detalles y ventajas de la presente invención resultarán más evidentes a partir de la siguiente descripción, con referencia a los dibujos esquemáticos adjuntos en los que:

La figura 1 representa, en perspectiva con un corte parcial, una celda de filtración/compresión utilizada para la aplicación de un procedimiento según la invención,

la figura 2 ilustra la influencia de la temperatura cuando el procedimiento según la invención se utiliza con bentonita,

la figura 3 muestra la influencia de la presión en el procedimiento según la invención con bentonita,

la figura 4 muestra la influencia de la temperatura con el procedimiento de la invención para la alfalfa,

la figura 5 muestra la influencia de la temperatura en un procedimiento según la invención aplicado a un lodo de papelera,

la figura 6 muestra la influencia de la presión en el proceso según la invención aplicado a un lodo de papelera,

la figura 7 ilustra la cinética de la producción de jugo verde en una deshidratación mecánica según la presente invención, y

la figura 8 ilustra esquemáticamente un procedimiento de deshidratación mediante la aplicación de una deshidratación mecánica y un secado térmico.

La figura 1 representa una celda de filtración/compresión que se puede utilizar para la realización de un procedimiento según la invención. Esta célula comprende por una parte un cilindro 2 destinado a recibir un producto a deshidratar y por otra parte un pistón 4 adaptado al cilindro 2, de manera que pueda deslizarse en el mismo. El cilindro 2 es, por ejemplo, de politetrafluoroetileno, conocido bajo la marca Teflón, que es un material aislante térmico. En cuanto al pistón 4 puede ser por ejemplo de cobre. Las resistencias eléctricas 6 están integradas en el pistón 4 a fin de poder calentarlo.

Una carcasa exterior 8, por ejemplo de acero, garantiza la resistencia mecánica del conjunto.

Al fondo del cilindro 2 hay un medio filtrante 10 que comprende por una parte un filtro de microfibras de vidrio depositado sobre una rejilla hecha, por ejemplo, de un material de la marca Teflón. Se observa bajo el medio filtrante la presencia de un colector 12 de líquido. Una salida 14 está prevista para la descarga del líquido recogido en el colector 12.

Una celda de filtración/compresión celular tal como la representada en la figura 1 está destinada a insertarse en una prensa hidráulica (no representada), por ejemplo, una prensa hidráulica de marca Carver.

Para la realización del proceso, el producto a deshidratar se vierte en el cilindro 2 de la celda de filtración/compresión. El pistón 4 se introduce a continuación en el cilindro 2 y comprime el producto a deshidratar. El pistón 4 ejerce entonces una presión constante en el producto a deshidratar que se encuentra en el cilindro 2. Un filtrado fluye a través del medio filtrante 10 hacia el colector 12 y se descarga por la salida 14.

El procedimiento de deshidratación mecánica térmicamente asistida según a invención comprende dos fases principales:

- una primera fase de deshidratación a una primera presión P1 durante la que el pistón se calienta para estar a una temperatura T, y

- una segunda fase de deshidratación a mayor presión P2> P1. La temperatura T del pistón sigue siendo aquí idéntica a su temperatura al final de la primera fase.

La primera fase se puede subdividir en dos subfases: en primer lugar una primera subfase en la que el producto a deshidratar está a presión a temperatura ambiente y una segunda subfase en la que el pistón sube de temperatura hasta que alcanza la temperatura T.

El procedimiento según la invención se ha aplicado a modo de ejemplos no limitativos a la bentonita, a la alfalfa y lodos de papelera. Para la bentonita, y la alfalfa, la presión P1 se ha seleccionado a 3 bares, mientras que para los lodos de papelera, la presión P1 es 1,78 bares. Estos valores corresponden a una realización preferida y se dan aquí a título ilustrativo y no restrictivo.

La presión P2 durante la segunda fase se elige mayor que la presión P1 permaneciendo, sin embargo, inferior a 30 bares.

Las figuras 2 y 3 muestran los resultados obtenidos con bentonita. Este material mineral se utiliza en el campo de la ingeniería civil para fijar suelos y taludes durante los trabajos. Se trata de una arcilla que ha experimentado un

tratamiento para darle propiedades plásticas especiales. Al final de la construcción, la bentonita se recupera y se reutiliza en la medida en que sus propiedades reológicas no se alteran. Al final del ciclo, se almacena el producto. Se observa que la bentonita así almacenada contiene aproximadamente 90% de agua. Por lo tanto es interesante deshidratar esta bentonita, por una parte para limitar su masa durante su transporte y por otra parte para limitar su volumen.

La figura 2 ilustra el porcentaje másico de agua eliminada durante la primera fase, en función de la temperatura del pistón 4. La duración de esta fase se fija aquí en 3 horas. Al igual que los demás valores numéricos indicados, este valor se da a título ilustrativo y no restrictivo. Con dicha duración, un gradiente de temperatura se establece en el producto a deshidratar que se encuentra en la celda de filtración/compresión. El calentamiento del producto a deshidratar se lleva a cabo aquí por conducción. Al colocar resistencias calentadoras en las paredes del cilindro 2, se podría conseguir un aumento de la temperatura del producto a deshidratar más rápido y así disminuir la duración de la fase 1. Pueden considerarse otros modos de calentamiento. Se puede así principalmente prever el calentar el producto antes de introducirlo en la celda de filtración/compresión. Esta solución no es la preferida, ya que requiere calentar el agua (u otro líquido), que se elimina a continuación - caliente - cuando se presuriza el producto a deshidratar en la celda de filtración/compresión.

El porcentaje másico de agua eliminada se calcula de la manera siguiente: se trata de la relación entre la masa de agua separada durante una fase del proceso y la masa total de agua en el material. Esta relación es siempre inferior a 1 y se expresa en porcentaje en las figuras.

La figura 2 representa el porcentaje másico de agua eliminada al cabo de 3 horas para diferentes temperaturas del pistón 4. La temperatura T del pistón varía aquí entre 21ºC y 90ºC. Se constata que la cantidad de agua eliminada aumenta con la temperatura del pistón. Para temperaturas del orden de 80 a 90ºC, se observa que el 70% del agua contenida en la bentonita se elimina. Según las necesidades del usuario, esta reducción de masa de la bentonita puede ser suficiente.

En el caso de la figura representada en la figura 3, se ha elegido fijar la temperatura del pistón a 80ºC. Como resulta de la figura 2, el 70% del agua se elimina durante la primera fase. Este valor se recupera en la figura 3. Esta figura muestra qué cantidad de agua se puede eliminar todavía durante la segunda fase en función de la presión aplicada al producto a deshidratar durante esta segunda fase. La duración de esta segunda fase es aquí 2 horas.

A la izquierda de la figura 3, se ha elegido P2 = 7 bares, mientras que la parte derecha de esta figura, se ha elegido P2 = 26 bares. Se señala aquí que la segunda fase permite retirar una cantidad bastante importante de agua (alrededor del 25% del agua inicialmente contenida en el producto). Se señala asimismo que a 26 bares casi toda el agua contenida en la bentonita se elimina. Por lo tanto, es inútil *a priori* tratar de aumentar la presión P2.

La presente invención también se puede realizar con la alfalfa. Entre las prácticas que implican una conservación del forraje de alfalfa, la deshidratación industrial es una alternativa al ensilaje y a la deshidratación en campo. La deshidratación permite conservar mejor las calidades originales del forraje. Este proceso de transformación está muy desarrollado en Francia, que se ha convertido en uno de los principales productores de forraje deshidratado en Europa. La producción de alfalfa deshidratada es actualmente del orden de 12 a 15 toneladas de materia seca por hectárea y por año. Sin embargo, el coste actual de la energía penaliza mucho este modo de tratamiento.

La deshidratación de alfalfa realiza actualmente por procesos denominados "en vía seca", es decir, realizando exclusivamente un secado térmico y que conduce a la recuperación de la torta en la alimentación animal, o bien procesos, denominados "en vía húmeda". Estos últimos realizando una etapa previa de deshidratación mediante prensa de tornillo. Estos procesos "en vía húmeda" permiten separar una fase acuosa (jugo verde), que es rica en proteínas y pigmentos naturales. Dichos procesos permiten obtener por lo tanto por una parte la torta para la alimentación animal y por otra parte recuperar el jugo verde en alimentación animal o humana.

El procedimiento según la invención permite aumentar el rendimiento de la separación.

Para la aplicación del procedimiento a la alfalfa, la duración de la primera capa se ha fijado en 4 horas. El de la segunda fase se ha fijado en 2 horas.

En los dibujos, sólo están representados los resultados de la separación al final de la fase 1. Se ha señalado que la fase acuosa (jugo verde) se elimina principalmente durante la primera fase del proceso y que sólo pequeñas cantidades de agua (jugo verde) se eliminan durante la segunda fase del proceso. Para la alfalfa, el impacto de la temperatura es preponderante como se muestra principalmente en la figura 4. Se señala así que, para una temperatura de 80ºC, es posible extraer 80% del agua contenida en la alfalfa.

La sequedad es un parámetro utilizado para indicar el porcentaje másico de materia seca en un producto. La sequedad de un producto es pues la relación entre la masa seca contenida en el producto y la masa total del producto. Una vez más, se trata de una relación inferior a 1 que se expresa en porcentaje. La sequedad también se puede considerar como la relación entre la masa seca del producto en la suma de la masa seca y de la masa de agua de este producto.

Es interesante ahora comparar el procedimiento según la invención con un procedimiento utilizado convencionalmente para deshidratar la alfalfa "en vía húmeda".

Se supone que la alfalfa presenta un 20% de sequedad inicial. Procesos convencionales de prensado permiten obtener una sequedad del 32,5%. Después del secado en un secador térmico, la sequedad final es de alrededor del 87%.

Con el proceso de deshidratación de la invención, es posible aumentar la sequedad intermedia de la alfalfa, antes de su introducción en un secador térmico. Los resultados obtenidos en laboratorio muestran que se puede obtener una sequedad intermedia del 62,5% utilizando un proceso de deshidratación mecánica térmicamente asistida según la invención. Esto permite por una parte separar una cantidad de líquido (jugo verde) mucho más importante, y por otra parte limitar la energía necesaria para alcanzar el objetivo de 87% de sequedad en un secador térmico.

En efecto, si se razona sobre la base de una tonelada de alfalfa deshidratada por hora, con los datos indicados anteriormente, según un procedimiento de la técnica anterior, la cantidad de líquido (jugo verde) separado por vía mecánica (para llegar a la sequedad intermedia de 32,5%) se eleva a 380 kg/h y la cantidad de agua evaporada en el secador térmico para llegar una sequedad final del 87% es de 390 kg/h.

Utilizando el procedimiento según la invención, a partir de una sequedad inicial de 20% para llegar a una sequedad final del 87%, pasando por una sequedad intermedia de 62,5%, la cantidad de líquido (jugo verde) producido es de 680 kg/h y la cantidad de agua evaporada en el secador térmico es de 90 kg/h.

Este ejemplo numérico (realista) ilustra los beneficios que se pueden obtener para la deshidratación de la alfalfa. El aumento de peso en jugo verde es de más del 75%, mientras que la cantidad de agua que ha de evaporarse se divide aproximadamente por cuatro.

La figura 7 muestra la influencia de la temperatura de calentamiento sobre la cinética de extracción de jugo verde de alfalfa. El proceso realizado para la obtención de las dos curvas de la figura 7 incluye las etapas siguientes:

- deshidratación a baja presión y a temperatura ambiente,

- deshidratación a baja presión y calentamiento del pistón, y

- aumento de la presión y mantenimiento constante de la temperatura del pistón (en relación con la etapa anterior).

Los experimentos han demostrado que para obtener un jugo verde rico en proteínas así como un buen rendimiento, la temperatura de la pared calentada fue preferentemente del orden de 50ºC.

La figura 8 ilustra una cadena de deshidratación de la torta de alfalfa. Dos etapas se representan aquí: una primera etapa de deshidratación mecánica y una etapa de secado térmico. Antes de la primera etapa, la sequedad de la alfalfa es $S_{inicial}$, entre las dos etapas es $S_{intemedia}$ y después de la segunda etapa, es S_{final}.

Se considera que la energía suministrada durante la primera etapa es X_1, expresada en kWh por tonelada de agua separada y la energía suministrada durante la segunda etapa es X_2, expresado en kWh por tonelada de agua separada.

La cadena convencional, según la técnica anterior a la presente invención, comprende:

- una separación mecánica, para la que es habitual considerar que el consumo energético de un filtro prensa está comprendido entre 1 y 10 kWh por tonelada de agua separada, es decir que X_1 está comprendido entre 1 y 10. Un consumo de 10 kWh/t de agua separada se ha reducido aquí (es decir, $X_1 = 10$).

- un secado térmico realizado habitualmente en un secador de tipo horno rotativo. El fluido refrigerante entra en el horno a una temperatura de 700-800ºC y vuelve a salir con una temperatura superior a 100ºC. El consumo energético de este tipo de instalación se estima en aproximadamente 800 kWh/t de agua evaporada, o sea $X_2 = 800$. Se sabe aquí utilizar por ejemplo un presecador a baja temperatura, que utiliza aire nuevo a 70ºC precalentado en un intercambiador aire/agua gracias a la condensación de los vapores que salen del horno rotativo. Dicho presecador se ha desarrollado para reducir el consumo energético asociado a la separación térmica. El consumo global del presecador y del horno rotativo es entonces de aproximadamente 580 kWh/t de agua evaporada ($X_2 = 580$), debiendo reducirse a 400ºC la temperatura de entrada del fluido refrigerante en el horno rotativo.

Suponiendo un caudal de alfalfa de una tonelada por hora, una sequedad $S_{inicial}$ de la planta del 20%, una sequedad después de la deshidratación mecánica $S_{intermedia}$ de 32,5% y una sequedad final S_{final} después de secado térmico del 87% , la potencia consumida en la cadena convencional se eleva a 312,25 kW parav la cadena que incluye el horno rotativo y la 227,44 kW para la cadena que incluye el presecador aguas arriba del horno rotativo. Estos resultados en la cadena global también se pueden expresar en términos de consumo específico, lo que da 405,45 kWh/t de agua para la cadena que incluye el horno rotativo y 295,33 kWh/t para la cadena que incluye el presecador aguas arriba del horno rotativo.

En una cadena según la presente invención, el filtro prensa se sustituye por un dispositivo que lleva a cabo un proceso de deshidratación térmicamente asistida como se describe, por ejemplo, anteriormente. El consumo energético asociado a esta separación mecánica térmicamente asistida se ha determinado gracias al piloto de laboratorio descrito anteriormente. Los valores se muestran en la tabla siguiente para diferentes temperaturas de la pared del pistón.

Tabla 1 Consumo energético del proceso de deshidratación asistida

Temperatura de pared (ºC)	Consumo energético (kWh/t de jugo separado)
50	121,08
70	150,83

Los valores de esta tabla están probablemente un poco sobrevalorados.

Con una base de cálculo idéntica, a saber, un caudal de alfalfa de una tonelada por hora, una sequedad inicial $S_{inicial}$ de la planta del 20% y una sequedad final de S_{final} después de secado térmico del 87%, se obtienen los consumos siguientes en la cadena según la presente invención que incluye únicamente el horno rotativo:

Tabla 2 Consumo energético de la cadena alternativa que incluye una deshidratación mecánica térmicamente asistida y secado en horno rotativo

Temperatura de pared (ºC)	Sequedad intermedia $S_{intermedia}$ (%)	Potencia consumida (kW)	Consumo específico (kWh/t)	Ganancia relativa con relación a la cadena convencional
50	50,72	204,86	266	34,39
70	56,86	195,24	253,5	37,47

Cabe señalar aquí que recuperando la energía contenida en los vapores que salen del horno rotativo, mediante un intercambiador de calor, se puede reducir aún más el consumo de energía de toda la cadena.

Los mismos cálculos efectuados para la cadena según la invención incorporando el presecador aguas arriba del horno rotativo conducen a:

Tabla 3 Consumo energético de la cadena alternativa que incorpora una deshidratación mecánica térmicamente asistida y presecado a baja temperatura aguas arriba del horno rotativo

Temperatura de pared (ºC)	Sequedad intermedia (%)	Potencia consumida (kW)	Consumo específico (kWh/t)	Ganancia relativa con relación a la cadena convencional
50	50,72	168,7	219	25,83
70	56,86	168,4	218,7	25,94

En esta configuración, la energía contenida en los vapores que salen del horno rotativo ya se ha valorizado. Las figuras 5 y 6 se refieren los resultados obtenidos con lodos de papelera utilizando el procedimiento según la invención. Estas cifras corresponden a las figuras 2 y 3 descritas en la aplicación de la bentonita. La duración de la primera fase es aquí de 30 minutos mientras que la segunda fase dura 15 minutos.

La figura 5 muestra que, para los lodos de papelera, la influencia de la temperatura es relativamente baja para la primera fase. En efecto, mientras que a 25ºC, el porcentaje másico de agua eliminada es del orden de 66%, no hay más que alrededor del 67,5% a 80ºC.

La segunda fase es aquí interesante, ya que permite eliminar del orden de 15 a 20% más de agua. Cabe señalar aquí

que cuanto mayor es la presión, mayor es también la cantidad de agua separada. En la figura 6, se observa una variación de algunos porcentajes para el paso de una presión P2 de 7,3 bares a 10,7 bares.

Como es evidente a partir de la descripción anterior, el interés del procedimiento de deshidratación mecánica térmicamente asistida según la invención se demuestra por la deshidratación de la bentonita y de las plantas forrajeras, tales como la alfalfa. Pueden considerarse las aplicaciones en el campo agroalimentario. El procedimiento descrito anteriormente se puede utilizar para las plantas, especialmente plantas leñosas, leguminosas herbáceas, tomates, remolachas, etc .. Los subproductos agrícolas o los desperdicios verdes, también se puede tratar con un procedimiento según la invención.

En el sector minero, pueden ser tratados otros materiales además de la bentonita. Se puede aplicar así el procedimiento según la invención con la baritina, la fluorita o con diversos minerales arcillosos.

En general, la presente invención se puede aplicar a cualquier tipo de biomasa, pero excluyendo de la siguiente definición la madera y los lodos residuales así como los lodos de agua potable.

Se entiende por biomasa:

- la madera, en forma de leños, granulados y astillas;
- los subproductos de la madera que recubren el conjunto de desechos producidos por la explotación forestal (ramas, cortezas, serrines...), por los aserraderos (serrines, astillas...), por las industrias de transformación de la madera (ebanisterías, fabricantes de muebles, parquets) y por los fabricantes de paneles así como los embalajes tales como los palets;
- los subproductos de la industria tales como los lodos resultantes de la pasta de papel (licor negro) y desechos de industrias agroalimentarias (orujo de la uva y del café, pulpas y pepitas de la uva, etc.);
- productos resultantes de la agricultura tradicional (cereales, oleaginosas), residuos como la paja, el bagazo (residuos leñosos de la caña de azúcar) y las nuevas plantaciones con vocación energética, tales como monte bajo de ciclo corto (sauces, caña chinesca , etc.).
- los residuos orgánicos tales como los residuos urbanos incluidos los lodos de depuración de aguas residuales, las basuras domésticas y desechos de la agricultura, tales como los efluentes agrícolas. En la técnica anterior, se han desarrollado numerosos equipos para intensificar los procesos de deshidratación convencionales. Sin embargo, en la práctica, los procesos desarrollados responden en conjunto a una problemática diferente de la de la presente invención, ya que se trata fundamentalmente de procesos de secado. La mayoría de los procedimientos conocidos se basan en la tecnología del filtro prensa. Esta tecnología facilita la instalación de un dispositivo de calentamiento. En efecto, un filtro prensa comprende bandejas huecas que permiten la circulación de un fluido refrigerante. No obstante, estar separadas las bandejas del filtro prensa, la circulación del fluido refrigerante en cada una de las bandejas hace la instalación complicada. Además, las condiciones de utilización están destinadas a secar por contacto la torta después de haberla deshidratado mecánicamente. Problemas de adherencia (cocción) de la torta de filtración aparecen corrientemente en los platos calientes e impiden, o retardan, el vaciado del filtro prensa. Para bajar entonces la temperatura de funcionamiento, debe realizarse un vacío parcial. El principal inconveniente de esta tecnología de la técnica anterior reside en su operación por lotes. Una tecnología que aplica un filtro de bandas ha sido puesta a punto en el marco del secado por impulsos por los papeleros que dominan bien esta técnica para la fabricación de papel. El aporte de calor es más difícil de aplicar debido pues la rotación de los rodillos hace complicada la circulación de fluidos refrigerantes para calentarles. Una alternativa consiste, sin embargo, en realizar un calentamiento por inducción. Otro inconveniente se refiere a la compacidad del proceso puesto que el producto se coloca en capa delgada de menos de 1 mm de espesor.

En contraste, la presente invención, en esta realización preferida, se basa en dos etapas de separación térmicamente asistidas: una primera etapa, de filtración o de compresión según el material deshidratado, a baja presión (del orden de 3 bares en una realización preferida) seguido de una etapa de separación a una presión superior, permaneciendo constante la temperatura del pistón.

En dicho proceso según la invención, la primera etapa permite separar a menor coste una gran cantidad de líquido. Durante la segunda fase de separación, se puede esperar una ganancia significativa de sequedad, según los productos deshidratados, incluso a baja presión (del orden de de 7 bares). Por otra parte, la separación es más rápida que a temperatura ambiente.

Para pasar a un proceso en continuo, habida cuenta de las presiones a aplicar, la tecnología de prensa de tornillo se puede utilizar en la presente invención. Como ya se ha mencionado anteriormente, es posible calentar no sólamente las piezas que ejercen una presión, sino asimismo las demás paredes en contacto con el producto a deshidratar. Este calentamiento se puede realizar con ayuda de resistencias eléctricas, pero también utilizando un fluido refrigerante (aceite térmico, agua caliente, vapor, aire caliente, vapores efluentes de un secador...).

La presente invención no se limita a las realizaciones descritas anteriormente a modo de ejemplos no limitativos y a las variantes mencionadas. Se refiere asimismo a otras variantes y aplicaciones al alcance de los expertos en la materia en el marco de las reivindicaciones siguientes.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de deshidratación mecánica térmicamente asistida en el que un producto que ha de deshidratarse se introduce en un dispositivo de filtración y/o de compresión, en el que se realiza un aporte de calor, y que comprende una primera etapa a una primera presión inferior a 7 bares durante la cual el producto que ha de deshidratarse se calienta a una temperatura inferior a la temperatura de evaporación del líquido que ha de eliminarse y el líquido que ha de eliminarse se recupera poco a poco,

caracterizado porque esta primera etapa tiene una duración comprendida entre 5 minutos y varias horas, y porque a esta primera etapa a una primera presión sigue una segunda etapa a una segunda presión, siendo superior esta segunda presión a la primera presión e inferior a 30 bares.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque la primera presión está comprendida entre 1,5 bares y 4 bares.

3. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 ó 2, caracterizado porque el dispositivo de filtración y/o compresión comprende una cámara (2,4) que tiene una pared cuya parte al menos está calentada, y porque el producto a deshidratar se calienta por conducción desde la parte calentada de la pared.

4. Procedimiento según las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque la segunda etapa se realiza a temperatura inferior a la temperatura de evaporación del líquido a extraer.

5. Procedimiento según las reivindicaciones 3 y 4, caracterizado porque en la segunda etapa la parte calentada de la pared permanece a una temperatura sensiblemente constante, correspondiendo esta temperatura de dicha parte calentada de la pared en el dispositivo de filtración y/o compresión al fin de la primera etapa de compresión.

6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 3 o 5, caracterizado porque el líquido a eliminar contiene en su mayor parte agua, y porque la parte calentada de la pared se lleva a una temperatura comprendida entre 40ºC y 90ºC en la primera etapa.

7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque antes de la primera etapa comprende una etapa de deshidratación a temperatura ambiente, sin aporte de calor, a una presión correspondiente a la primera presión y durante la cual el líquido a eliminar se recupera poco a poco.

8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque en el pretratamiento se aplica una biomasa húmeda, excepto madera.

9. Procedimiento según la reivindicación 8, caracterizado porque la biomasa húmeda experimenta una etapa final de secado térmico en el secador, porque el secador está provisto de un intercambiador de calor a la salida, y porque la energía de los vapores recuperados en el intercambiador de calor se utiliza al menos parcialmente para realizar un calentamiento durante las etapas anteriores del procedimiento.

10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque se aplica a la deshidratación de desechos líquidos o pastosos, con excepción de los lodos residuales urbanos y de los lodos de agua potable.

11. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque se aplica a la extracción del jugo verde a partir de una biomasa húmeda, con excepción de la madera.

12. Procedimiento según la reivindicación 11, caracterizado porque la temperatura de la pared calentada permanece inferior a 60ºC.

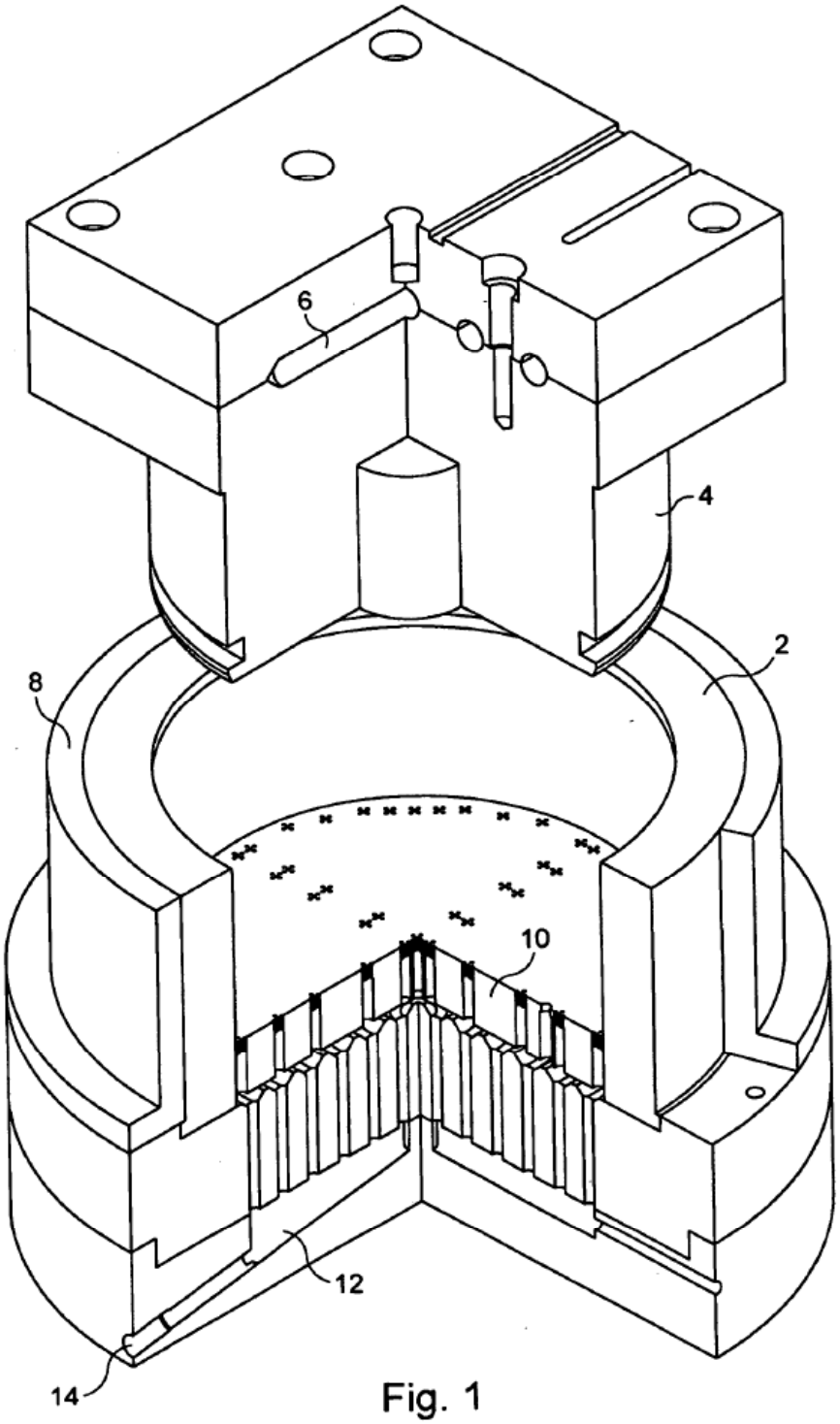


Fig. 1

Fig. 2

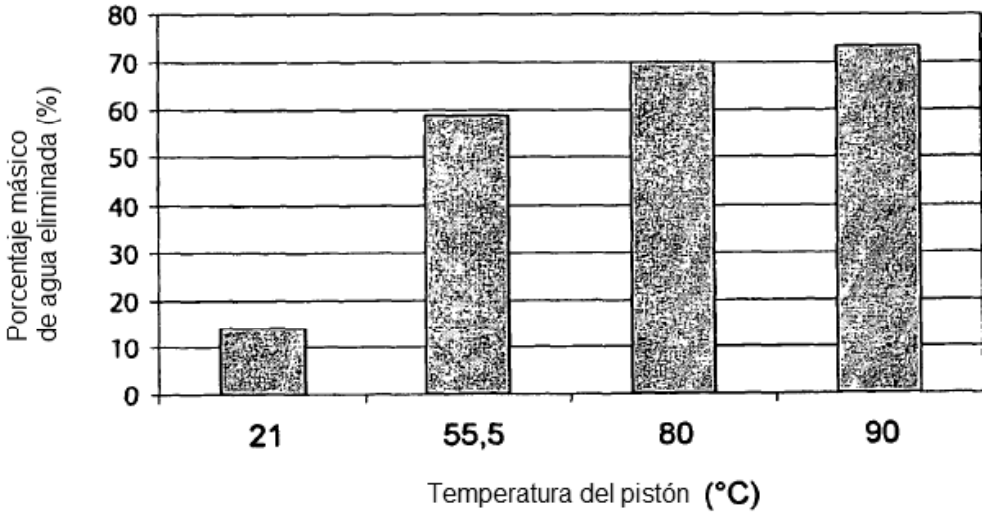

Porcentaje másico de agua eliminada (%)
80
70
60
50
40
30
20
10
0
21
55,5
80
90
Temperatura del pistón (°C)

Fig. 3

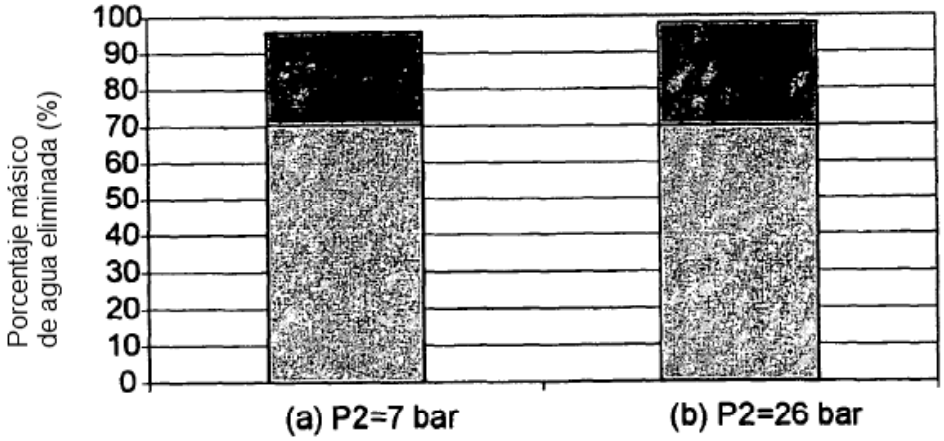

Porcentaje másico de agua eliminada (%)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
(a) P2=7 bar
(b) P2=26 bar

Fig. 4

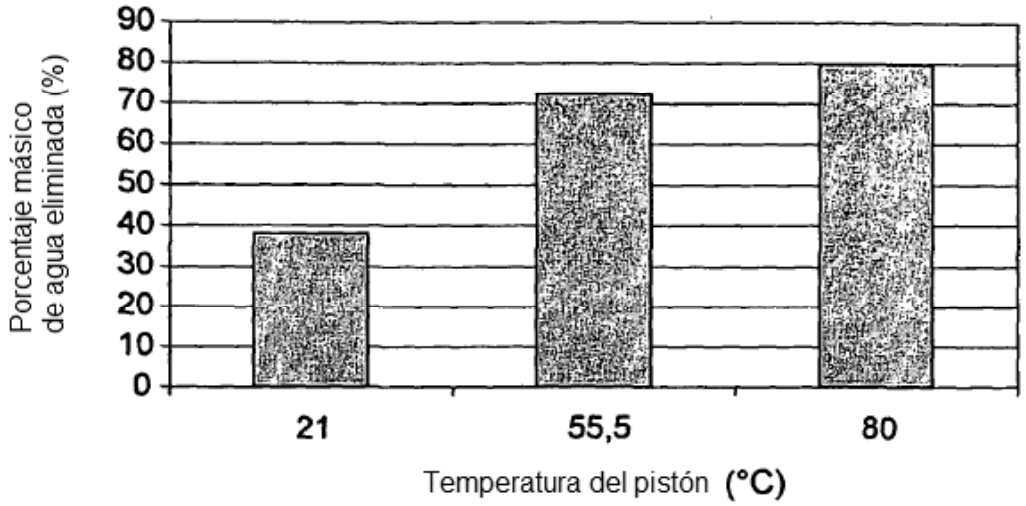

Porcentaje másico de agua eliminada (%)
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
21
55,5
80
Temperatura del pistón (°C)

Fig. 5

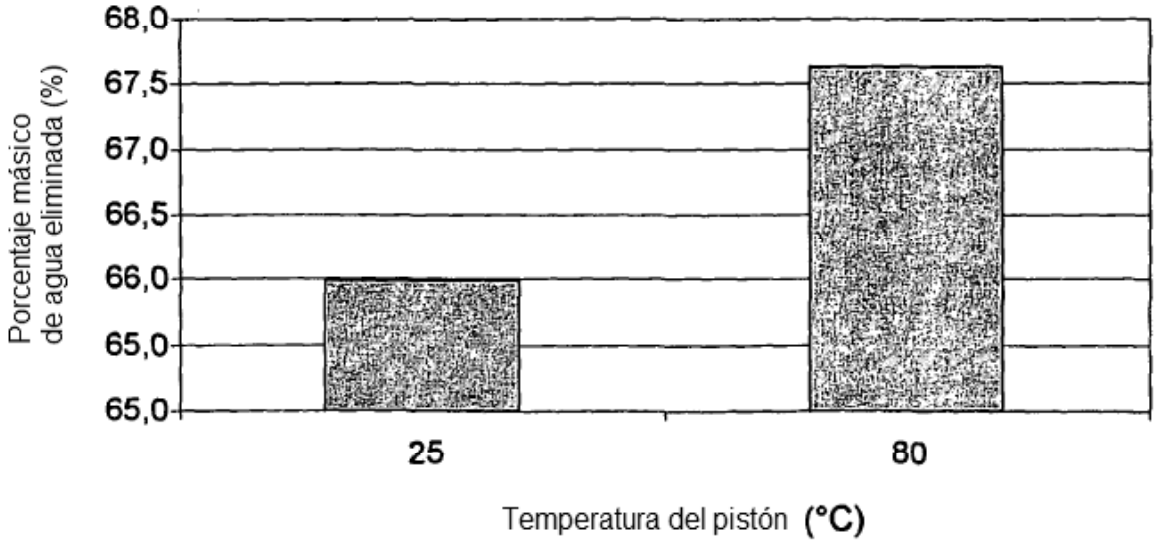
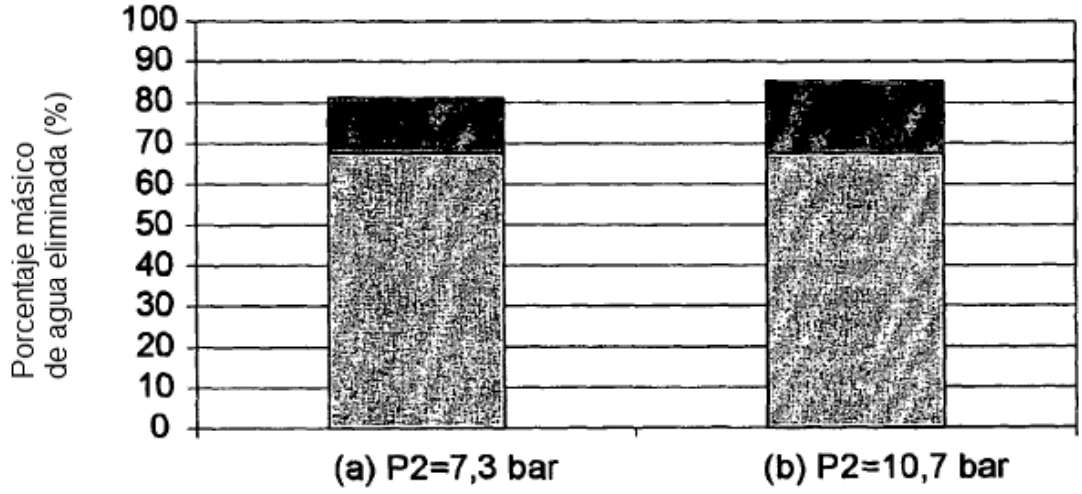

Porcentaje másico de agua eliminada (%)
68,0
67,5
67,0
66,5
66,0
65,0
65,0
25
80
Temperatura del pistón (°C)

Fig. 6


Porcentaje másico de agua eliminada (%)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
(a) P2=7,3 bar
(b) P2=10,7 bar

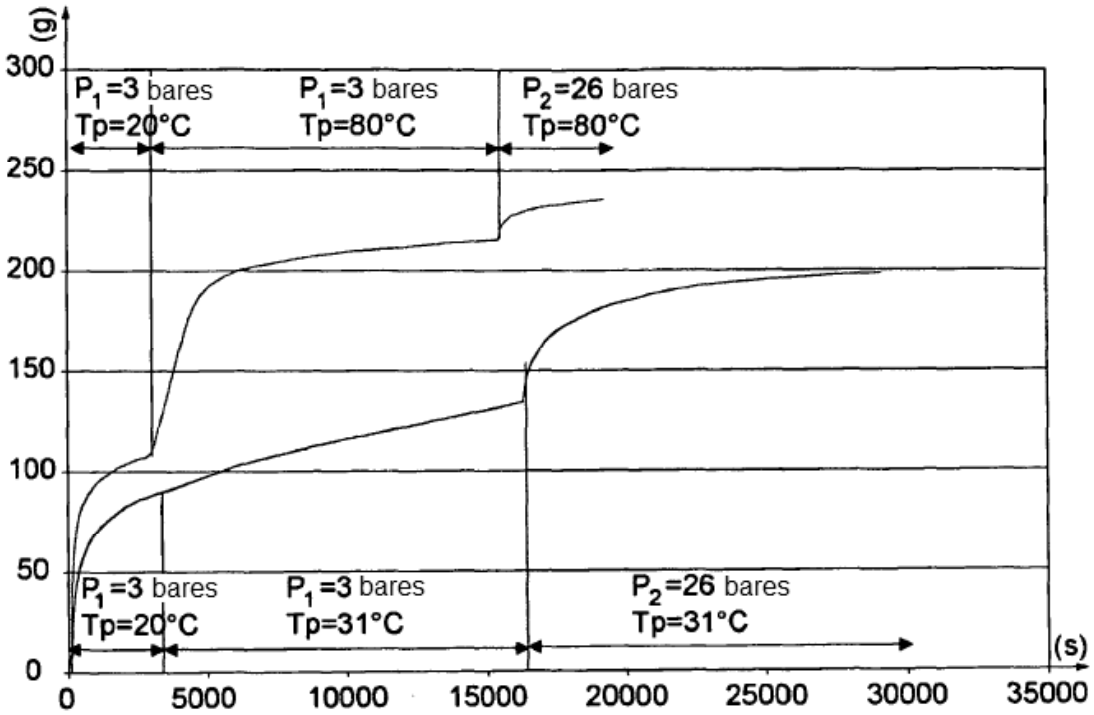

(g)
300
250
200
150
100
50
0
P1=3 bares
Tp=20°C
P1=3 bares
Tp=80°C
P2=26 bares
Tp=80°C
P1=3 bares
Tp=20°C
P1=3 bares
Tp=31°C
P2=26 bares
Tp=31°C
(s)
0
5000
10000
15000
20000
25000
30000
35000

Fig. 7

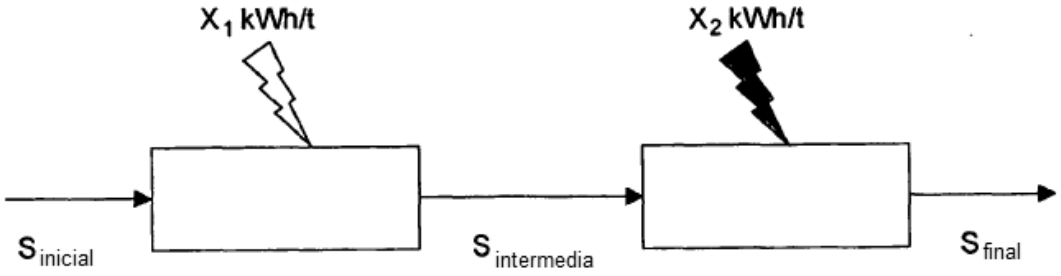

X1 kWh/t
X2 kWh/t
S inicial
S intermedia
S final

Fig. 8