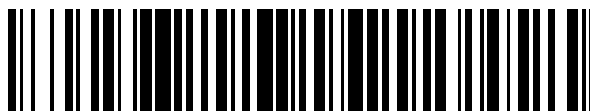


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 477 226**

51 Int. Cl.:

F26B 23/00 (2006.01)

F26B 25/22 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.11.2010 E 10790478 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.04.2014 EP 2504649**

54 Título: **Procedimiento e instalación de secado de materias pastosas, en particular de lodos de plantas de depuración**

30 Prioridad:

23.11.2009 FR 0905607

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

16.07.2014

73 Titular/es:

**DEGRÉMONT (100.0%)
Tour CB21, 16, Place de l'Iris
92040 Paris La Défense, FR**

72 Inventor/es:

PARDO, PIERRE EMMANUEL

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 477 226 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento e instalación de secado de materias pastosas, en particular de lodos de plantas de depuración

La presente invención se refiere a un procedimiento de secado térmico de materias pastosas, en particular de lodos que proceden en particular de plantas de depuración de aguas residuales, con un consumo energético térmico muy bajo.

La presente invención puede ser utilizada para el secado de cualquier sistema pastoso que se desee secar y que pueda, en forma pre-secada, ser formado de cordones parecidos a unos espaguetis.

Se conoce bien la técnica del secado térmico de los lodos que provienen de las plantas de aguas residuales urbanas: existen diferentes tecnologías que permiten obtener un producto final cuya sequedad final es igual o superior al 85%.

El principal reproche del secado térmico es el de la excesiva dependencia energética necesaria para este secado y por lo tanto los costes de explotación que derivan de ello.

Por eso, en algunos procedimientos de secado en tiras, el secado térmico puede, para secar los lodos, recuperar calorías a baja temperatura (50-90°C), calor residual y por lo tanto no utilizado en otro proceso (cogeneración, condensación de turbina, bomba de calor, sistema solar térmico, caldera de biogas, etc.). Sin embargo, este calor residual no es, en general, suficiente para secar totalmente los lodos. Eso da como resultado un consumo energético importante.

Además, estas tecnologías de secado en tiras a baja temperatura no son utilizables para secar lodos que no estén lo suficientemente deshidratados aguas arriba ya que no se puede extender correctamente un tapiz de espaguetis sobre el secador.

En otros procedimientos, el secado térmico recupera el calor del proceso de secado en sí mismo, pero este bucle no está optimizado energéticamente.

Los secadores que existen actualmente tienen una energía necesaria para el secado del lodo de aproximadamente 900-1100 kWh/TAE (Tonelada de Agua Evaporada). Estos secadores pueden ser unos secadores directos, según los cuales el fluido caliente de secado, en general un gas, está directamente en contacto con los lodos a secar, o indirectos, según los cuales el fluido caliente de secado, gas o líquido, transmite su calor a los lodos a través de una pared.

La sequedad de un lodo puede ser definida como la relación de la masa de materias secas (MS) a la masa total de lodo (MS + agua) es decir: $MS/(MS + H_2O)$.

La patente EP 0 781 741 B1 divulga un procedimiento de secado de productos pastosos, en particular de lodos de plantas de depuración, del tipo que comprende:

- una primera fase de secado (secado indirecto) que recibe lodos que tienen una sequedad S_e en la entrada, y proporciona en la salida unos lodos que tienen una sequedad intermedia S_i ;

- una etapa de formación de los lodos en cordones a la salida de la primera etapa,

- y un segunda fase de secado directo de los cordones de lodos con la ayuda de un gas caliente que da, en la salida, un producto que tiene una sequedad final S_f .

Tales procedimientos de secado y sistemas de secadores con pre-evaporación de los lodos pueden obtener unos consumos de 700-800 kWh/TAE. Este consumo energético está optimizado con respecto a los secadores mencionados al principio, ya que una reutilización de una parte de la energía utilizada en la primera fase es inyectada en la segunda fase para el secado de esta última. Sin embargo, según la patente EP 0781 741 B1, a la vista de las condiciones de sequedad en la salida de pre-evaporación (40-60%) y de las condiciones de temperatura utilizadas en el secador (120°C), los bucles energéticos no están optimizados.

La presente invención propone aportar una solución energética al secado de los lodos optimizando el procedimiento y la regulación sobre el consumo energético y adaptándose a la utilización no constante de una energía externa a baja temperatura (50-90°C).

El objetivo de esta invención es así proporcionar un procedimiento de secado de productos pastosos del tipo definido anteriormente, en el que el consumo energético está minimizado.

Según la invención, un procedimiento de secado de las materias pastosas, en particular de lodos de plantas de depuración, que comprende dos fases de secado, a saber:

- una primera fase de secado de tipo indirecto alimentado en fluido caliente, que recibe unos lodos que tienen una sequedad S_e en la entrada, y proporciona a la salida unos lodos que tienen una sequedad intermedia S_i y vapor de agua que está dirigido hacia un condensador (8) para recalentar un bucle de fluido de calentamiento, en particular de agua;

5 - una etapa de formación de los lodos en cordones en la salida de la primera fase,

- y la segunda fase de secado de los cordones de lodos, calentados de manera directa con la ayuda de un gas, él mismo calentado por el bucle de fluido de calentamiento, dando esta segunda fase en la salida un producto que tiene una sequedad final S_f ,

10 está caracterizado por que la sequedad intermedia S_i es controlada en función de la sequedad de entrada medida S_e y de la sequedad de salida S_f deseada, para un consumo mínimo de la energía global utilizada para el secado, siendo el caudal, la presión y/ la temperatura del fluido caliente que alimenta la primera fase de secado, ajustados en consecuencia.

15 Preferentemente, el procedimiento consiste en controlar la sequedad a la salida de la preevaporación, o sequedad intermedia, de tal manera que el calor recuperado de la primera fase de evaporación sea necesario y suficiente para el secado de la segunda fase.

20 Preferentemente, se determina la sequedad intermedia S_i , para un consumo mínimo de la energía global, a partir de la medición de la sequedad de entrada S_e , de la sequedad de salida S_f deseada, y de parámetros que comprenden un coeficiente α específico del condensador, un coeficiente β específico de la segunda fase de secado y, llegado el caso, un calor libre aportado Q_0 . La sequedad intermedia S_i puede ser controlada de tal manera que el calor recuperado de la primera fase a través del condensador sea necesario y suficiente para el secado de la segunda fase.

25 Ventajosamente, se utiliza un bucle de calor a baja temperatura, en particular comprendida entre 30°C y 90°C, para el calentamiento de la segunda fase, que comprende un líquido, en particular agua, puesto en circulación según un circuito cerrado, que atraviesa el condensador para recuperar el calor del vapor condensado, y un intercambiador de calor líquido/gas para calentar el gas de la segunda fase de secado.

El bucle de calor a baja temperatura puede comprender un intercambiador entre el líquido del bucle y una derivación de fluido térmico de la primera fase de secado. El bucle de calor a baja temperatura puede también comprender un intercambiador de calor para calentar el líquido del bucle por recuperación de energía a baja temperatura residual o barata.

30 La invención se refiere también a una instalación para la realización del procedimiento definido anteriormente, que comprende:

- un primer secador alimentado con fluido caliente, que recibe unos lodos que tienen una sequedad S_e en la entrada, y proporciona en la salida unos lodos que tienen una sequedad intermedia S_i , y vapor de agua que está dirigido hacia un condensador para recalentar un fluido de calentamiento para un segundo secador;

35 - un dispositivo de formación de los lodos en cordones a la salida del primer secador,

- y el segundo secador de los cordones de lodos con la ayuda de un gas, en particular aire, calentado al menos en parte por el calor extraído del condensador, por medio del fluido de calentamiento, dando este segundo secador a la salida un producto que tiene una sequedad final S_f ,

40 estando dicha instalación caracterizada por que comprende unos medios para controlar la sequedad intermedia S_i en función de la sequedad de entrada medida S_e y de la sequedad de salida S_f deseada, para un consumo mínimo de la energía global utilizada para el secado, siendo el caudal, la presión y/o la temperatura del fluido caliente que alimenta la primera fase de secado, ajustados en consecuencia.

45 Preferentemente, la instalación comprende un bucle de calor a baja temperatura, en particular comprendida entre 30°C y 90°C, para el calentamiento de la segunda fase, que comprende un líquido, en particular agua, puesto en circulación según un circuito cerrado, que atraviesa el condensador para recuperar el calor del vapor condensado y un intercambiador de calor líquido/gas para calentar el gas de la segunda fase de secado.

50 Ventajosamente, la instalación comprende un ventilador de velocidad regulable, cuya aspiración está relacionada con la salida de vapor y gas del primer secador, y cuyo retroceso está relacionado con el condensador, siendo la velocidad del ventilador controlada para mantener una depresión baja (del orden de algunos mbar) y controlada en el primer secador.

La transferencia de los lodos entre la salida del primer secador y el dispositivo (5) de formación a la entrada del segundo secador puede ser asegurada por un tornillo sin alma regulado en velocidad, que permite asegurar la estanqueidad al gas en la salida del primer secador.

El bucle de baja temperatura para la circulación de líquido de la instalación puede comprender:

* una parte a baja temperatura comprendida entre 30-80°C, preferentemente entre 60-70°C, corriente arriba del condensador,

5 * una parte a temperatura media, comprendida entre 40-90°C, preferentemente entre 70-80°C, a la salida del condensador;

* un intercambiador de calor entre el líquido del bucle y una fuente de energía libre, corriente abajo o corriente arriba del condensador, para recalentar el líquido del bucle mediante una fuente de energía de baja temperatura libre, o de bajo coste, en particular el motor de una cogeneración, una bomba de calor, una caldera de biogas, de madera, unos sistemas solares térmicos, u otras fuentes de energía residual,

10 * en la salida del intercambiador de calor entre el líquido del bucle y la fuente de energía libre, un intercambiador con una derivación del fluido térmico, que permite terminar de recalentar el líquido del bucle a una temperatura regulada, para el segundo secador, comprendida entre 40-90°C, preferentemente entre 80-90°C,

* un intercambiador de calor líquido-gas, en particular agua-aire, que permite calentar, mediante el líquido del bucle, el gas del segundo secador, puesto en movimiento en particular por un ventilador de circulación,

15 * una bomba para la circulación del agua en el bucle.

Ventajosamente, la instalación comprende una regulación que comprende un primer bucle de regulación para asegurar una regulación directa de la sequedad intermedia Si a la salida del primer secador, con un medio de cálculo y de control, en particular un autómatas, que fija un valor de sequedad intermedio Sic a partir de parámetros de funcionamiento.

20 La regulación puede ser prevista para determinar un valor de sequedad intermedio Sic según la fórmula:

$$Sic = (\beta + \alpha * 556) / [(\beta - 89 * \alpha) / Sf + 645 * \alpha / Se + Q_0]$$

en la que;

Se es la sequedad de entrada medida, (%),

Sf es la sequedad final predeterminada, (%)

25 β es el coeficiente específico de la segunda fase de secado (6), en kWh/TAE,

α es un coeficiente específico del condensador (8), (sin dimensión),

y Q_0 es un calor libre eventualmente dado en kWh/TMS.

30 El autómatas puede controlar una válvula de control del caudal, de la presión o de la temperatura del fluido térmico en función de la sequedad intermedia medida, haciéndose este control mediante la regulación de la presión del fluido térmico en el caso de un fluido térmico evaporado o mediante la regulación del caudal o de la temperatura (por mezcla con un retorno frío del fluido térmico) en el caso de un fluido térmico de tipo fluido orgánico.

La instalación puede comprender una regulación que comprende un bucle de regulación que controla la cantidad de calor Q3 proporcionada en el intercambiador entre el fluido térmico y el líquido del bucle a baja temperatura.

35 El bucle de regulación que controla la cantidad de calor Q3 proporcionada en el intercambiador entre el fluido térmico y el líquido del bucle a baja temperatura puede constituir un segundo bucle de regulación. La regulación de la instalación puede ser asegurada únicamente a partir de este segundo bucle, derivando (o pasando) el primer bucle de regulación.

40 El intercambiador de calor entre el fluido térmico y el líquido del bucle a baja temperatura puede tener como valor de control la temperatura del líquido en la salida del intercambiador, permitiendo esta temperatura el funcionamiento eficaz del intercambiador entre el fluido térmico y el gas del segundo secador, y permitiendo asegurar que la necesidad energética del segundo secador se equilibre.

45 La instalación puede comprender un bucle de regulación según la cual se mide el calor Q3 proporcionado al intercambiador por medio de una medición de temperatura y de caudal en la entrada y en la salida del intercambiador y, si el calor Q3 es superior a un punto de consigna determinado cercano a cero pero distinto de cero para tener todavía un intervalo de regulación, la regulación modifica la señal de salida del primer bucle de regulación, de manera que el calor proporcionado al primer secador se adapte.

La regulación de la instalación, a fin de estar en las condiciones óptimas para el intercambiador y el condensador, puede comprender un tercer bucle de regulación que utiliza como consigna la temperatura del bucle de agua a la

- 5 salida del intercambiador. El tercer bucle de regulación está ventajosamente previsto para utilizar una temperatura de consigna que es definida con respecto a un punto de consigna que depende del caudal de lodo medido a nivel de la bomba de alimentación en lodo, y cuando la temperatura en la salida del intercambiador entre el líquido del bucle a baja temperatura y el gas del segundo secador aumenta, la bomba de circulación del bucle disminuye su caudal en un rango aceptable para los componentes.
- La invención prevé utilizar un bucle de calor a baja temperatura para el calentamiento de la segunda fase. Este bucle permite recuperar energía a baja temperatura residual o barata para el calentamiento del segundo secador. En función de la energía recuperada de esta energía residual o barata, se adaptará la sequedad en la salida de la primera fase.
- 10 Las tecnologías de secadores comprenden también frecuentemente una recirculación de los lodos a fin de, o bien no sufrir la fase plástica de los lodos (del 45 al 65% de sequedad) en el interior del secador, o bien preparar el lodo aguas arriba a fin de que sea compatible con la tecnología de secado.
- La invención no utiliza la recirculación de los lodos y permite por lo tanto obtener una explotabilidad del sistema más importante.
- 15 Así, ente las ventajas aportadas por el procedimiento de la invención, frente a las técnicas existentes, se pueden citar:
- * un consumo de energía inferior a cualquier tecnología: de 400 a 600 kWh/TAE en lugar de 1000 o 700-800 kWh/TAE,
 - * una posibilidad de disminuir aún más este consumo mediante la optimización del bucle energético en función de la energía libre residual o barata a temperatura baja o media disponible,
 - * una utilización sobre cualquier tipo de lodos, adaptando la tecnología de espaguetización, es decir formación en cordones, al lodo encontrado,
 - * una no utilización de un procedimiento de recirculación de los lodos.
- 25 La invención consiste, además de las disposiciones expuestas anteriormente, en un cierto número de otras disposiciones que serán explicadas con mayor detalle aquí a continuación con relación a los ejemplos de realización descritos con referencia a los dibujos anexos, pero que no son de ninguna manera limitativos. En estos dibujos:
- La figura 1 es un esquema de una instalación que utiliza el procedimiento de la invención.
- La figura 2 es un esquema de un dispositivo complementario para la instalación, y
- 30 La figura 3 es un diagrama que ilustra la variación de la relación: calor recuperado/calor utilizado en la primera fase de secado expresada en % y expresada en las ordenadas, en función de la temperatura en °C de los incondensables, a la salida de la primera fase de secado, expresada las abscisas.
- Refiriéndose a la figura 1 de los dibujos, se puede observar que una instalación según la invención comprende una alimentación de lodos pastosos que tienen una sequedad generalmente comprendida entre el 16 y el 30%, asegurada por una bomba 1. Los lodos entran de manera estanca en un primer secador 2 de tipo indirecto. Este secador puede ser, por ejemplo, del tipo de capa fina, de discos o de paletas. Sin embargo, se prefiere el secador de discos.
- 35 Este secador indirecto 2 está calentado por un circuito de fluido térmico 3 en el que se controla la temperatura de entrada, la temperatura de salida, el caudal y la presión. Hecho esto, se controla la cantidad de energía Q1 proporcionada al secador 2. El fluido térmico 3 puede ser, por ejemplo, vapor o un fluido orgánico, en particular aceite, cuya temperatura puede ser de 180°C a 210°C a título de ejemplo no limitativo.
- El secador indirecto 2 está también equipado de medios de medición de presión (no representados) regularmente repartidos y de un medio de medición (no representado) del peso del secador. Las estanqueidades de este secador son trabajadas a fin de que las entradas de aire sean mínimas. Además, para una optimización térmica suplementaria, este secador puede ser juiciosamente calorífugo.
- 45 En la salida del secador indirecto 2, los lodos son transportados por un tornillo 4, alojado en un tubo cilíndrico, que permite una reducción de la entrada de aire en el secador, a la salida de este secador. El tornillo 4 está particularmente constituido por un tornillo sin alma. El tornillo puede ser mantenido a temperatura mediante la red de calentamiento de agua.
- En la salida del tornillo, el lodo pasa a un dispositivo 5 de formación en cordones, también denominado espaguetizador, que permite crear, por introducción del lodo en unos orificios calibrados, un tapiz de espaguetis, o cordones, sobre las tiras 6a, 6b de un secador de tiras 6.
- 50

El secador de tiras 6 puede ser de una o varias fases, a fin de optimizar el consumo específico de este secador.

5 Un ventilador 7 permite controlar la presión en el secador 2 a fin de mantener una depresión baja y controlada. Este punto es esencial ya que, por un lado, el secador 2 no debe encontrarse a alta presión para evitar eventuales fugas de olores pero, además, el secador 2 no debe encontrarse en una depresión demasiado alta, para evitar eventuales entradas de aire en el circuito de extracción del ventilador 7, lo que modificaría fuertemente el balance térmico del conjunto.

La estanqueidad del secador 2 está por lo tanto controlada por una perfecta estanqueidad al mismo tiempo de la entrada y también de las trampillas de acceso al secador. La estanqueidad de la salida del secador 2 está asegurada al mismo tiempo:

10 * por la salida de los lodos en la parte baja 2a del secador, parte rellena de lodo,

* por la presencia del tornillo 4 sin alma regulado en velocidad en esta parte baja. Este tornillo 4 permite controlar que la cantidad de lodos en el secador es siempre suficiente para asegurar la estanqueidad. Este tornillo está regulado por el peso del secador 2.

15 * por la puesta en depresión de este tornillo 4 en la salida del tornillo a nivel del espaguetizador 5 por un ventilador dedicado a ello 15.

20 Finalmente, la estanqueidad está asegurada por el cumplimiento controlado de la presión en el secador 2 gracias al ventilador 7. El ventilador 7, unido por un conducto a la parte extrema alta del secador 2, aspira el aire, el vapor de agua y los incondensables para enviarlos, a través de un conducto, hacia un condensador 8. Se controla el caudal de aire a nivel del ventilador 7 sin dejar que el vacío (creado por la condensación del vapor de agua que sale del secador 2 y enviado en el condensador 8) provoque de manera incontrolada la aspiración en el secador.

Los vahos aspirados por el ventilador 7 contienen vapor de agua y una cantidad de incondensables que depende de la cantidad de los lodos y de la estanqueidad, pero en general inferior al 10% en masa, con una estanqueidad bien controlada. Estos incondensables provienen de la vaporización de una parte de compuestos del lodo y de una entrada de aire muy débil.

25 Estos vahos atraviesan después el condensador de agua 8 en el que circula el agua de un bucle térmico a baja temperatura B1, base de la recuperación energética.

El bucle a baja temperatura B1 está constituido de las partes siguientes:

* una parte B1.1 a temperatura baja 30-80°C, preferentemente 60-70°C corriente arriba del condensador 6,

* una parte B1.2 de temperatura media 40-90°C, preferentemente 70-80°C, en la salida del condensador 8;

30 * en la salida del condensador, el agua puede también ser recalentada en un intercambiador 9 por una fuente de energía de baja temperatura "libre" como el motor de una cogeneración, una bomba de calor, una caldera de biogas, de madera, unos sistemas solares térmicos, o cualquier otra fuente de energía residual o barata. Se debe de señalar que en función de las zonas de temperatura consideradas para esta fuente de calor libre, esta puede ser colocada corriente arriba del condensador 8 o corriente abajo.

35 * en la salida del intercambiador 9, un intercambiador 10 con el fluido térmico 3, dirigido por una derivación del conducto de alimentación del fluido 3, permite terminar de recalentar el bucle a una temperatura regulada por el secador de tiras 6, comprendida entre 40-90°C, preferentemente entre 80-90°C.

* este agua calentada permite después calentar por medio de un intercambiador agua-aire 11 el aire de secador de baja temperatura 6 puesto en movimiento por medio del ventilador de circulación 12.

40 * una bomba P2, en particular en la salida del intercambiador 11, para la circulación del agua en el bucle B1.

La aspiración del ventilador 12 está unida por un conducto al volumen interior del secador 6, y el retroceso está unido por un conducto a la entrada de gas para calentar el intercambiador 11. La salida del intercambiador 11 para el gas recalentado está unida al volumen interior del secador 6.

45 Un ventilador de circulación 13, cuya aspiración está unida por un conducto al volumen interior del secador de tiras 6, y cuyo retroceso está unido por un conducto a la entrada de un condensador de agua 14, permite eliminar por medio de este condensador 14 la humedad contenida en el secador 6. El aire que sale del condensador 14 es reenviado por un conducto en el secador de tiras 6.

50 Otra fuente de calor "libre" asimilable a Q0, puede estar constituida por una bomba de calor C1 sobre una parte del circuito del ventilador de circulación 13 (véase la figura 2). La bomba de calor C1 comprende un circuito para un fluido específico que, cuando se llega al estado líquido en un evaporador 16, se vaporiza absorbiendo el calor, y después se comprime en un compresor 18 y vuelve al estado líquido en un condensador 17 transfiriendo el calor, y

- después se descomprime en un descompresor de presión 19, antes de volver al evaporador 16. El aire caliente y húmedo que sale del secador 6 atraviesa el intercambiador de calor constituido por el evaporador 16. El vapor de agua del aire caliente es condensado por medio del evaporador 16 que recupera la energía de condensación. El agua de condensación es evacuada por un conducto 16a. El aire enfriado que sale del evaporador 16, libre del vapor de agua condensado, es después recalentado en el intercambiador de calor del condensador 17, y se reinyecta en el secador. La energía reinyectada en el condensador 17 es asimilable a Q_0 y debe por lo tanto ser tomada en cuenta en el sistema global de funcionamiento de la instalación.
- 5 Ejemplos de funcionamiento
- Caso sin energía libre
- 10 Este es el caso en el que ninguna energía libre, o calor residual, se proporciona al intercambiador 9. Q_0 es entonces nulo.
- Sea un lodo bombeado por la bomba 1 que tiene las características siguientes:
- Sequedad 20%, porcentaje de MV (Mv = materias volátiles): 60%,
temperatura 12°C, caudal 6245 kg/h (kh/hora)
- 15 La potencia energética para secar este lodo en el primer secador 2 hasta una sequedad del 36,5% necesita 2495 kW por parte del fluido térmico 3 y el caudal de vahos a través del ventilador 7 es de 3195 kg/h, incluyendo 290 kg/h de incondensables. La temperatura de estos vahos es de 100°C.
- En la salida del condensador 8, los incondensables y los vahos tienen una temperatura de 80°C, la cantidad de vapor de agua restante es de 164 kg/h y la potencia intercambiada es de 1575 kW.
- 20 Del lado del bucle de agua B1, en la entrada B.1.1 del bucle de agua antes del condensador 8, la temperatura es de 72°C, en la salida del condensador 8, la temperatura del bucle de agua es de 86°C y el caudal de 96,8 toneladas/h.
- Se considera que no se aporta nada de calor por el intercambiador 9.
- El agua del bucle es después calentada a 88,74°C en el intercambiador 10. El consumo energético es de 318 kW.
- 25 El calor proporcionado al circuito de aire del ventilador 12 permite volver a bajar la temperatura del agua del bucle a 72°C proporcionando al circuito de aire una potencia de 1826 kW. Esta potencia calorífica permite evaporar el agua en el secador de tiras 6 hasta una sequedad del 90% con una relación de 872 kWh/TAE.
- La potencia consumida global del sistema es de $2495 + 318 = 2813$ kW para una cantidad de agua evaporada de 4997 kg/h.
- El consumo específico es por lo tanto de 563 kWh/TAE.
- 30 Caso con energía libre
- Es el caso en el que una energía libre, o calor residual, está proporcionada al intercambiador 9, Q_0 es entonces positivo.
- Tomemos el caso de una energía libre, por ejemplo un motor de cogeneración, que permite proporcionar 1000 kW térmicos calentando el agua del bucle térmico a 80°C en el intercambiador 9.
- 35 Para un lodo bombeado por la bomba 1 que tiene las características siguientes: sequedad 20%, porcentaje de MV: 60%, temperatura 12°C, caudal 6245 kg/h, la potencia energética para secar los lodos en la primera fase o en el primer secador 2 a una sequedad del 33% es de 2184 kW.
- Los vahos aspirados por el ventilador 7 representan 2650 kg/h, incluyendo 241 kg/h de incondensables.
- 40 En la salida del condensador 8, los vahos tienen una temperatura de 78°C, la potencia proporcionada al circuito de agua B1 es de 1353 kW, lo que representa una subida de temperatura de 70°C a 78°C de 145,4 toneladas/h.
- El intercambiador 9 del motor de cogeneración permite calentar el agua de 78 a 83,9°C. El intercambiador de calor 10 del fluido 3 permite recalentar el agua de 83,9°C a 84,1°C con un consumo de 44 kW.
- La potencia proporcionada al aire es de 2329 kW y permite secar los lodos al 90% de sequedad con un consumo específico de 900 kWh/TAE.
- 45 El consumo sin energía libre es entonces de $2184 + 44 = 2228$ kW para 4997 kg/h de agua evaporada, es decir un consumo específico de 445 kWh/TAE.

Otras aplicaciones

Este procedimiento de secado a baja temperatura y la instalación correspondiente pueden ser aplicados a cualquier tipo de producto pastoso cuya preparación habrá permitido eliminar las piedras o la excesiva cantidad de fibras y de estopas que pueden impedir la espaguetización.

5 Se pueden citar como productos unas pulpas de biomasa: madera, productos agroalimentarios, productos de transformación animal.

Regulación

10 Se considera ahora la regulación del procedimiento y de la instalación de secado térmico de lodos que provienen en particular de plantas de depuración de aguas residuales, a fin de permitir obtener de un consumo energético térmico muy bajo.

La regulación puede ser utilizada para cualquier procedimiento e instalación de secado de cualquier sistema pastoso que se desee secar y que puede, en una forma presecada, ser puesta en forma de espaguetis.

Se define en primer lugar, desde un punto de vista teórico, las relaciones entre los diversos constituyentes de la instalación.

15 Se considera, con referencia a la figura 3, la reacción del condensador 8 con una variación en la temperatura del bucle de agua B1 y por lo tanto su capacidad de enfriamiento.

20 Considerando 1000 kg/h de vahos que fluyen por el ventilador 7, y considerando que estos vahos lleguen a 100°C y estén constituidos del 10% de incondensables, la cantidad de energía recuperada en el condensador 8, expresada en % del calor utilizado en el secador 2, en función de la temperatura de salida de los incondensables, expresada en las abscisas, está ilustrada en la figura 3.

Si se controla el nivel de incondensables en los vahos que provienen del ventilador 7, que es uno de los principios de la invención, la cantidad de energía es muy poco dependiente del nivel de temperatura de salida de los incondensables, en tanto que no superan los 83°C: rendimiento a 83°C: 70%; rendimiento a 70°C: 74%; rendimiento a 30°C: 78%.

25 Además, tratándose de un condensador vahos/agua, los coeficientes de intercambio son muy buenos y la temperatura de los vahos será sobretodo dependiente de la temperatura de entrada del circuito de agua del bucle de baja temperatura B1.

30 En el rango de temperatura considerado, se puede considerar que el rendimiento expresado por un coeficiente α , es del 72% ($\alpha = 72\% = 0,72$) y bastante constante incluso con una baja variación de temperatura de salida de los incondensables.

La parte siguiente describe las bases matemáticas de la regulación de la presente invención.

Se establece

Se: la sequedad en la entrada del lodo en 1

Si: la sequedad intermedia en la salida del secador 2 y en la entrada del tornillo 4

35 Sf: la sequedad final en la salida del secador de tiras 6.

Se considera 1 tonelada (1000 kg) de materia seca en la entrada de la bomba 1. La cantidad de agua evaporada en la primera fase 2 es de: $(1/S2-1/Si)$.

La cantidad de calor Q1 necesaria para esta evaporación es

* ligeramente dependiente de la composición del lodo. [MS (materias secas), MV (materias volátiles)]

40 * moderadamente dependiente de la sequedad de entrada Se y de la temperatura de entrada del lodo, y

* altamente dependiente de la cantidad de agua a evaporar y por lo tanto del factor: $(1/Se-1/Si)$.

En efecto, además de la evaporación, se trata de efectuar el calentamiento del lodo.

Esta cantidad de calor Q1 puede expresarse con una relativa precisión mediante la fórmula teórica:

$$Q1(Se,Si) = k (1/Se-1/Si)(1+0.16 [Si(1-Se)/(Si-Se)])$$

45 Q1 en kWh

Se y Si en %

siendo k una constante igual a 556 con las unidades anteriores.

En la fórmula teórica, se suprimió la dependencia de la composición del lodo, ya que sólo entra en segundo orden; por ello esta fórmula es válida con una precisión del 5% aproximadamente.

5 El calor necesario al segundo secado 6 es aproximadamente:

$$Q_2(S_f, S_i) = \beta * (1/S_i - 1/S_f)$$

Q2 en kWh

Si y Se en %

β en kWh/TAE

10 El parámetro β corresponde al calor específico de evaporación del agua en el segundo secador 6, en kWh/TAE dependiente de la tecnología de secado de tiras seleccionada y en la que se han integrado las pérdidas térmicas del bucle de calentamiento. Debido a que los lodos entran calientes en el nivel del secador de tiras 6, β tiene por orden de tamaño [600-900] kWh/TAE.

15 El calor recuperable sobre el condensador 8 se define como αQ_1 con $\alpha =$ aproximadamente 0,72 tal como se expuso anteriormente.

El calor libre aportado con el intercambiador 9 es igual a Q0.

El calor a aportar por el fluido térmico 3 al secador de tiras 6 es igual a: $Q_3 = \text{Max} (Q_2 - \alpha Q_1 - Q_0; 0)$

Q3 es el calor aportado por el fluido térmico 3 a través del intercambiador 10.

El calor global aportado es igual

20 $Q_g = Q_1 + Q_3 = Q_1 + Q_2 - \alpha Q_1 - Q_0$, mientras que $Q_2 - \alpha Q_1 - Q_0 > 0$ y Q1 después, cuando $Q_2 - \alpha Q_1 - Q_0 \leq 0$.

Lo que da:

$$Q_g(S_i) = 556 (1-\alpha) * (1/Se - 1/Si) * (1+0,16 [Si(1-Se)/(Si-Se)] * 1,03 + 850 ((1/Si - 1/Sf)) - Q_0 \text{ mientras que } Q_2 - \alpha Q_1 - Q_0 > 0$$

$$\text{y } Q_g(S_i) = 556 (1/Se - 1/Si) * (1+0,16 [Si(1-Se)/(Si-Se)]) \text{ después.}$$

25 El objetivo es minimizar esta función de Si. Esta función es una función decreciente en función de Si mientras que $Q_2 - \alpha Q_1 - Q_0 > 0$ y después una función creciente de Si.

El mínimo de esta función se obtiene cuando la totalidad del calor de la primera fase de secado 2 es necesaria y suficiente para calentar la segunda fase 6. Por lo tanto cuando $Q_2 = \alpha Q_1 + Q_0$

Esta función se resuelve según la ecuación [A] siguiente.

$$[A] \quad S_i = (\beta + \alpha * 556) / [(\beta - 89 * \alpha) / S_f + 645 * \alpha / S_e + Q_0]$$

30 Por lo tanto, conociendo:

β que depende de la tecnología empleada para el secador de tiras 6,

α que es bastante estable en función de la temperatura de salida de los incondensables,

Sf que está fijada

35 Q0 que se fija y que se vuelve a llevar a la cantidad de energía que puede ser proporcionada para 1 tonelada de MS (materias secas).

Se puede determinar la sequedad óptima Si en función de Se.

Aplicación numérica:

$$\beta = 850$$

$$\alpha = 0,72$$

Sf = 90%

Q0 = 0

Se = 20%

Si = 39,1%

5 Descripción de la regulación

10 Según la invención, la minimización del calor consumido en el ámbito de un secado de dos fases se obtiene por recuperación de energía de alta temperatura de la primera fase 2 por condensación del vapor para calentar un bucle térmico B1 de baja temperatura (40-90°C) que permite ella misma calentar la segunda fase 6 de secado. La presente invención permite además tomar en cuenta en la regulación, la colocación de un intercambiador 9 que recupera el calor residual de otra instalación (calor Q0).

Según la invención, la sequedad intermedia Si está controlada en función de la sequedad de entrada medida Se y de la sequedad de salida Sf deseada.

15 El principio de la regulación de la instalación y del procedimiento es por lo tanto fijar, a partir de la medición de sequedad Se y de los parámetros de regulación Sf, β , α y Q0, una consigna de sequedad de salida Si. La medición de la sequedad intermedia Si está asegurada por un sensor de sequedad 20 en la salida del secador 2.

Otras regulaciones completan y aseguran la primera regulación, asegurada por un primer bucle de regulación.

La instalación comprende varios bucles de regulación:

20 El primer bucle de regulación tiene como objetivo la regulación directa de la sequedad intermedia Si, en la salida del secador 2. Un medio de cálculo y de control, en particular un autómata M, está previsto para fijar un valor de sequedad intermedio Sic, en particular a partir de la fórmula [A] dada anteriormente y de valores de parámetros y tamaños proporcionados por diferentes sensores de medición.

25 El autómata M controla una válvula de control 21 del caudal, de la presión o de la temperatura del fluido térmico en función de la sequedad intermedia Si medida por el sensor 20. Este control puede efectuarse por medio de la regulación del caudal del fluido térmico en el caso de un fluido térmico evaporado o por la regulación del caudal o de la temperatura (por mezcla con el retorno frío del fluido térmico) en el caso de un fluido térmico de tipo fluido orgánico.

Al ser los tiempos de reacción de la instalación largos, los controles se harán de acuerdo con estos tiempos de reacción.

30 Un segundo bucle de regulación controla la cantidad de calor Q3 proporcionado en el intercambiador 10 por el fluido térmico 3 con el agua del bucle B1 a baja temperatura. En efecto, se ha indicado anteriormente que el óptimo energético se encontraba cuando esta cantidad de calor Q3 era igual a 0, sin ser negativa.

35 Este intercambiador 10 tiene por consigna de control la temperatura del bucle de agua en la salida del intercambiador 10, medida por un sensor 22 que transmite la información al autómata M. Esta temperatura permite el funcionamiento eficaz del intercambiador 11, y permite asegurar que la necesidad energética del secador a baja temperatura 6 esté bien equilibrada.

Si la temperatura en la salida del intercambiador 10 no es alcanzada, significa que el calor contenido en el intercambiador 11 es superior al proporcionado por el condensador 8, por lo que ya no se encuentra en el óptimo energético.

40 Se mide por lo tanto el calor Q3 proporcionado al intercambiador 10 por medio de una medición de temperatura y de caudal en la entrada del intercambiador 10 por un conjunto 23e de sensores, y en la salida del intercambiador 10 por un conjunto de sensores 23s, estando los sensores unidos al autómata M para transmitir los valores medidos.

Si el calor Q3 es superior a un punto de ajuste (o "set point") determinado próximo a 0 pero no nulo para tener aún un rango de regulación, el segundo bucle de regulación modifica la salida del primer bucle de regulación presentado anteriormente, de manera que el calor proporcionado al primer secador 2 se adapte.

45 Se puede efectuar asimismo la regulación de la instalación y del sistema únicamente a partir del segundo bucle de regulación pasando ("by pass") el primer bucle de regulación.

50 Finalmente, a fin de estar en las condiciones óptimas para el intercambiador 11 y el condensador 8, un tercer bucle de regulación utiliza como consigna la temperatura del bucle de agua en la salida del intercambiador 11, medida por un sensor 24 unido al autómata para transmitir el valor de la temperatura. Esta temperatura está definida con respecto a un punto de ajuste ("set point") que depende del caudal de lodo medido a nivel de la bomba 1.

Si la temperatura a la salida del intercambiador 11 aumenta, la bomba P2 de circulación del bucle disminuye su caudal en un rango aceptable por los aparatos.

5 Este triple bucle es auto-estable. En efecto, si las necesidades de calor en el secador de tiras 6 disminuyen, la temperatura en la salida del intercambiador 11 aumentará, la bomba de circulación disminuirá el caudal en los intercambiadores 11 y 8. En el condensador 8, la diferencia de temperatura ΔT , entre la salida y la entrada del condensador 8 para el agua del bucle B1, aumentará y la temperatura en la entrada del intercambiador 10 aumentará, lo que disminuirá la cantidad de calor necesaria a aportar al intercambiador 10 por el fluido térmico 3, por debajo del valor de consigna.

10 En este caso, el autómatas M enviará una consigna a la válvula 21 del secador 2 para disminuir el caudal de fluido térmico 3 en el secador 2, lo que disminuirá la sequedad intermedia Si y aumentará la necesidad en evaporación sobre el secador de tiras, lo que reequilibrará la temperatura de salida del intercambiador 11.

Además, un punto de ajuste ("set point") de temperatura de salida del intercambiador 11 se definirá con respecto al caudal de la bomba 1, proporcionado al autómatas M por un sensor 25.

15 En efecto si la bomba 1 disminuye su caudal, siendo la sequedad intermedia Si regulada por el primer bucle de regulación, la cantidad absoluta de calor sobre el segundo secador 6 se ve disminuida. El intercambio sobre el intercambiador 11 será por lo tanto disminuido también y si se fija la temperatura de entrada, la temperatura de salida aumentará. Por lo tanto se necesita disminuir el valor de caudal para que el enfriamiento sea más importante.

Debe entenderse, por su puesto, que la presente no está limitada a los ejemplos de realización descritos y/o representados, sino que abarca todas las variantes que entran en el ámbito de las reivindicaciones anexas.

20

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de secado de materias pastosas, en particular de lodos de plantas de depuración, que comprende dos fases de secado, a saber:

5 - una primera fase de secado (2) de tipo indirecto alimentado en fluido caliente, que recibe unos lodos que tienen una sequedad Se en la entrada, y proporciona en la salida unos lodos que tienen una sequedad intermedia Si y vapor de agua que es dirigido hacia un condensador (8) para recalentar un bucle de fluido de calentamiento, en particular agua;

- una etapa (5) de formación de los lodos en cordones en la salida de la primera fase,

10 - y la segunda fase de secado (6) de los cordones de lodos, calentados de manera directa con la ayuda de un gas, él mismo calentado por el bucle de fluido de calentamiento, dando esta segunda fase (6) en la salida un producto que tiene una sequedad final Sf ,

15 caracterizado por que la sequedad intermedia Si está controlada en función de la sequedad de entrada medida Se y de la sequedad de salida Sf deseada, para un consumo mínimo de la energía global utilizada para el secado, siendo el caudal, la presión y/o la temperatura del fluido caliente (3) que alimenta la primera fase de secado (2), ajustados en consecuencia.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que se determina la sequedad intermedia Si , para un consumo mínimo de la energía global, a partir de la medición de la sequedad de entrada Se , de la sequedad de salida Sf deseada, y de parámetros que comprenden un coeficiente α específico del condensador (8), un coeficiente β específico de la segunda fase de secado (6) y, llegado el caso, un calor libre aportado Q_0 .

20 3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado por que la sequedad intermedia Si está controlada de tal manera que el calor recuperado de la primera fase a través del condensador (8) sea el necesario y suficiente para el secado de la segunda fase (6).

25 4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que se utiliza un bucle (B1) de calor a baja temperatura, en particular comprendida entre 30°C y 90°C, para el calentamiento de la segunda fase (6), que comprende un líquido, en particular agua, puesto en circulación según un circuito cerrado, que atraviesa el condensador (8) para recuperar en él el calor del vapor condensado, y un intercambiador de calor líquido/gas (11) para calentar el gas de la segunda fase de secado (6).

30 5. Procedimiento según la reivindicación 4, caracterizado por que el bucle del calor a baja temperatura (B1) comprende un intercambiador (10) entre el líquido del bucle (B1) y una derivación de fluido térmico (3) de la primera fase de secado (2).

6. Procedimiento según la reivindicación 4 ó 5, caracterizado por que el bucle de calor a baja temperatura (B1) comprende un intercambiador de calor (9) para calentar el líquido del bucle por recuperación de energía a baja temperatura residual o barata.

35 7. Instalación para la realización de un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende:

- un primer secador (2) alimentado en fluido caliente, que recibe unos lodos que tienen una sequedad Se en la entrada, y proporciona en la salida, unos lodos que tienen una sequedad intermedia Si , y vapor de agua que está dirigido hacia un condensador (8) para recalentar un fluido de calentamiento para un segundo secador (6);

- un dispositivo (5) de formación de los lodos en cordones a la salida del primer secador (2),

40 - y el segundo secador (6) de los cordones de lodos con la ayuda de un gas, en particular aire, calentado al menos en parte por el calor extraído del condensador (8), por medio del fluido de calentamiento, dando este segundo secador (6) en la salida un producto que tiene una sequedad final Sf ,

45 estando dicha instalación caracterizada por que comprende unos medios (M, 21) para controlar la sequedad intermedia Si en función de la sequedad de entrada medida Se y de la sequedad de salida Sf deseada, para un consumo mínimo de la energía global utilizada para el secado, siendo el caudal, la presión y/o la temperatura del fluido caliente (3) que alimenta la primera fase de secado (2) ajustados en consecuencia.

50 8. Instalación según la reivindicación 7, caracterizada por que comprende un bucle (B1) de calor a baja temperatura, en particular comprendida entre 30°C y 90°C, para el calentamiento de la segunda fase (6), que comprende un líquido, en particular agua, puesto en circulación según un circuito cerrado, que atraviesa el condensador (8) para recuperar en él el calor del vapor condensado, y un intercambiador de calor líquido/gas (11) para calentar el gas de la segunda fase de secado (6).

9. Instalación según la reivindicación 7 u 8, caracterizada por que comprende un ventilador (7) de velocidad regulable, cuya aspiración está conectada a la salida de vapor y gas del primer secador (2) y cuyo retroceso está unido al condensador (8), siendo la velocidad del ventilador controlada para mantener una depresión baja (de algunos mbar) y controlada en el primer secador (2).

5 10. Instalación según una de las reivindicaciones 7 a 9, caracterizada por que la transferencia de los lodos entre la salida del primer secador (2) y el dispositivo (5) de formación en la entrada del segundo secador (6) está asegurado por un tornillo sin alma (4) regulado en velocidad, que permite asegurar la estanqueidad al gas en la salida del primer secador (2).

10 11. Instalación según la reivindicación 8, caracterizada por que el bucle de baja temperatura (B1) para la circulación de líquido comprende:

* una parte (B1.1) a temperatura baja comprendida entre 30-80°C, preferentemente entre 60-70°C corriente arriba del condensador (8),

* una parte (B1.2) de temperatura media comprendida entre 40-90°C, preferentemente entre 70-80°C, en la salida del condensador (8);

15 * un intercambiador de calor (9) entre el líquido del bucle (B1) y una fuente de energía libre, corriente abajo o corriente arriba del condensador (8), para calentar el líquido del bucle (B1) mediante una fuente de energía de baja temperatura libre o de bajo coste, en particular el motor de una cogeneración, una bomba de calor, una caldera de biogas, de madera, unos sistemas solares térmicos, o cualquier otra fuente de energía residual,

20 * en la salida del intercambiador (9), entre el líquido del bucle (B1) y la fuente de energía libre, un intercambiador (10) con una derivación del fluido térmico (3), que permita terminar de recalentar el líquido del bucle (B1) a una temperatura regulada, por el segundo secador (6), comprendida entre 40-90°C, preferentemente entre 80-90°C,

* un intercambiador de calor (11) líquido-gas, en particular agua-aire, que permite calentar, mediante el líquido del bucle (B1), el gas del segundo secador (6), puesto en movimiento en particular por un ventilador de circulación 12,

* una bomba (P2), para la circulación del agua en el bucle (B1).

25 12. Instalación según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 11, caracterizada por que comprende una regulación que comprende un primer bucle de regulación para asegurar una regulación directa de la sequedad intermedia Si en la salida del primer secador (2), con un medio de cálculo y de control, en particular un autómatas (M), que fija una consigna de sequedad intermedia Sic a partir de parámetros de funcionamiento.

30 13. Instalación según la reivindicación 12, caracterizada por que la regulación está prevista para determinar una consigna de sequedad intermedia Sic (%) según la fórmula:

$$Sic = (\beta + \alpha * 556) / [(\beta - 89 * \alpha) / Sf + 645 * \alpha / Se + Q_0]$$

en la que;

Se es la sequedad de entrada medida, (%),

Sf es la sequedad final predeterminada, (%)

35 β es el coeficiente específico de la segunda fase de secado (6), en kWh/TAE,

α es un coeficiente específico del condensador (8),

y Q_0 es un calor libre eventualmente dado en kWh/TMS.

40 14. Instalación según la reivindicación 12 ó 13, caracterizada por que el autómatas (M) controla una válvula (21) de control del caudal, de la presión o de la temperatura del fluido térmico (3) en función de la sequedad intermedia medida, haciéndose este control mediante la regulación de la presión del fluido térmico en el caso de un fluido térmico evaporado o mediante la regulación del caudal o de la temperatura (por mezcla con un retorno frío del fluido térmico) en el caso de un fluido térmico de tipo fluido orgánico.

45 15. Instalación según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 11, caracterizada por que comprende una regulación que comprende un bucle de regulación que controla la cantidad de calor (Q3) proporcionada en el intercambiador (10) entre el fluido térmico y el líquido del bucle (B1) a baja temperatura.

16. Instalación según el conjunto de la reivindicación 15 y una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, caracterizada por que el bucle de regulación que controla la cantidad proporcionada en el intercambiador (10) entre el fluido térmico y el líquido del bucle (B1) a baja temperatura constituye un segundo bucle de regulación, pudiendo

la regulación ser asegurada únicamente a partir de este segundo bucle, pasando (o "by pass") el primer bucle de regulación.

- 5 17. Instalación según la reivindicación 15 ó 16, caracterizada por que el intercambiador de calor (10) entre el fluido térmico y el líquido del bucle (B1) a baja temperatura tiene como consigna de control la temperatura del líquido del bucle (B1) en la salida del intercambiador (10), permitiendo esta temperatura el funcionamiento eficaz del intercambiador (11) entre el fluido térmico y el gas del segundo secador (6), y permitiendo asegurar que la necesidad energética del segundo secador (6) esté equilibrada.
- 10 18. Instalación según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 17, caracterizada por que comprende un bucle de regulación según el cual se mide el calor (Q3) proporcionado al intercambiador (10) por medio de una medición de temperatura y de caudal en la entrada y en la salida del intercambiador (10) y, si el calor (Q3) es superior a un punto de consigna determinado próximo a cero, pero no nulo para tener aún un rango de regulación, la regulación modifica la señal de salida del primer bucle de regulación, de manera que el calor proporcionado el primer secador (2) se adapte.
- 15 19. Instalación según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 18, caracterizada por que la regulación, a fin de estar en las condiciones óptimas para el intercambiador (11) y el condensador (8), comprende un tercer bucle de regulación que utiliza como consigna la temperatura del bucle de agua de salida del intercambiador (11).
- 20 20. Instalación según la reivindicación 19, caracterizada por que el tercer bucle de regulación está previsto para utilizar una temperatura de consigna que está definida con respecto a un punto de consigna que depende del caudal de lodo medido a nivel de la bomba (1) de alimentación en lodo y cuando la temperatura en la salida del intercambiador (11) entre el líquido del bucle (B1) a baja temperatura y el gas del segundo secador (6) aumenta, la bomba de circulación (P2) del bucle (B1) disminuye su caudal en un rango aceptable por los componentes.

FIG.1

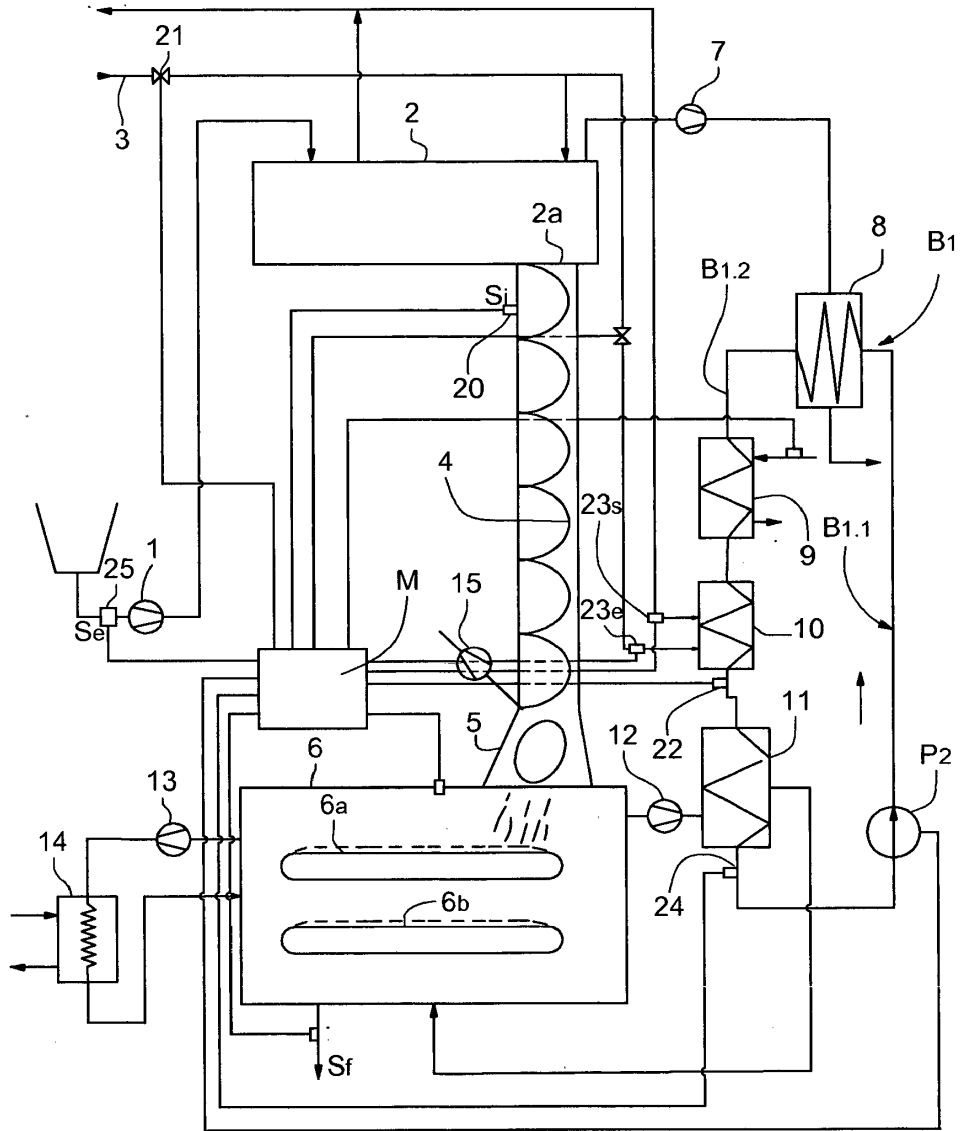


FIG.2

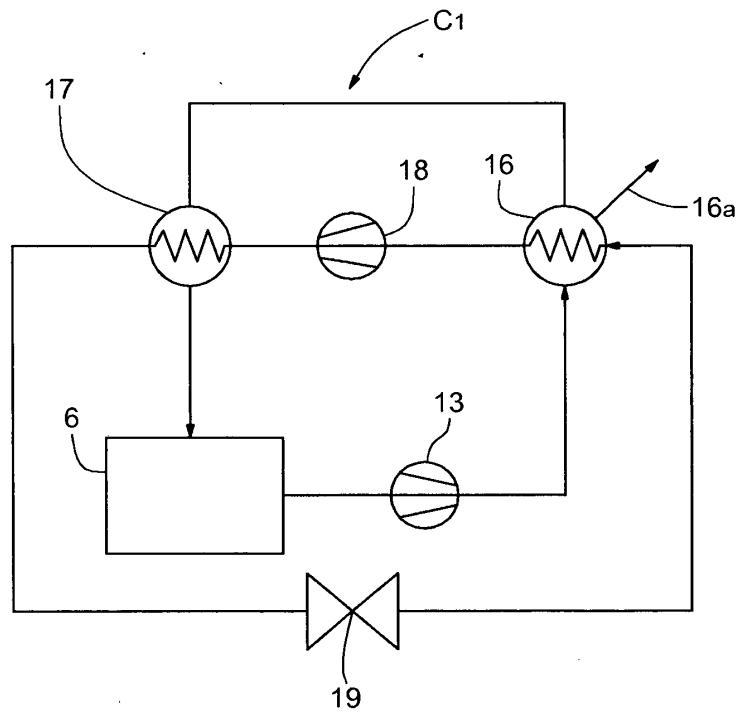


FIG.3

