

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 388 882**

51 Int. Cl.:
B01D 61/36 (2006.01)
B01D 63/00 (2006.01)
C02F 1/44 (2006.01)
C02F 1/04 (2006.01)
B01D 63/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07834654 .1**
96 Fecha de presentación: **31.10.2007**
97 Número de publicación de la solicitud: **2094376**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **02.09.2009**

54 Título: **Método de destilación por membrana para la purificación de un líquido**

30 Prioridad:
31.10.2006 EP 06076956

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
19.10.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
19.10.2012

73 Titular/es:
**NEDERLANDSE ORGANISATIE VOOR
TOEGEPAST-NATUURWETENSCHAPPELIJK
ONDERZOEK TNO
SCHOEMAKERSTRAAT 97
2628 VK DELFT, NL**

72 Inventor/es:
**HANEMAAIJER, Jan, Hendrik;
JANSEN, Albert, Edward;
VAN MEDEVOORT, Jolanda;
DE JONG, Hans;
VAN SONSBEEK, Eric;
KOELE, Engelbert Peter Jurrie Jan y
ASSINK, Jan Willem**

74 Agente/Representante:
Durán Moya, Carlos

ES 2 388 882 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

Método de destilación por membrana para la purificación de un líquido

5 La presente invención se refiere a un método para la purificación de un líquido mediante destilación por membrana, en particular para la producción de agua desalinizada del agua del mar o agua salobre o agua de un proceso, y a un aparato para llevar a cabo dicho método.

10 La destilación por membrana se diferencia de técnicas de destilación conocidas, tales como la destilación flash con múltiples etapas, la destilación con múltiples efectos y la compresión de vapor en que se utiliza una membrana porosa no selectiva. Esta membrana forma una separación entre la corriente de fracción retenida caliente vaporizante y el producto condensado, la corriente de destilado. Como consecuencia de una elección adecuada del material (normalmente polipropileno, polietileno, fluoruro de polivinilideno o politetrafluoroeteno), los poros (diámetro entre 0,0001 y 0,005 mm, normalmente entre 0,0001 y 0,0005 mm) no están mojados por el líquido; sólo el vapor
15 pasa a través de la membrana.

La destilación por membrana se describió por primera vez en el documento US 3.334.186. El objetivo era mejorar la eficacia de la desalinización del agua del mar mediante la utilización de una membrana hidrofóbica porosa rellena de aire. El método referido en este documento se denominó destilación por membrana de contacto directo: una corriente caliente de agua del mar y una corriente del destilado frío están ambas en contacto directo con la membrana.
20

Se generó un sustancial interés en la destilación por membrana a mitad de los años 80 cuando se dispuso de una nueva generación de membranas hidrofóbicas altamente porosas. Sin embargo, la investigación demostró que la destilación por membrana no es menos cara que las técnicas competitivas y, por lo tanto, no había una aplicación comercial.
25

Se puede hacer una distinción entre cuatro tipos de destilación por membrana:

- 30
1. Destilación por membrana de contacto directo (DCMD), en la que tanto la corriente caliente vaporizante como la corriente condensada fría (corriente de destilado) están en contacto directo con la membrana.
 2. Destilación por membrana con espacio de aire (AGMD), en la que la superficie del condensador está separada de la membrana por un espacio de aire.
 - 35 3. Destilación por membrana con gas de barrido (SGMD), en la que el destilado se extrae en forma de vapor mediante un gas inerte.
 4. Destilación por membrana al vacío (VMD), en la que el destilado se extrae en forma de vapor mediante vacío.

Hasta ahora la destilación por membrana de contacto directo ha atraído la mayor atención.
40

En este aspecto, se puede hacer referencia, por ejemplo, al documento US 4.545.862, el cual da a conocer módulos planos y enrollados en espiral (con membranas planas). Dichos módulos se analizaron para la desalinización del agua salada. Para estos análisis, la corriente de destilado se separó de la corriente del agua del mar alimentada en contracorriente a la corriente de fracción retenida vaporizante y, de este modo, la corriente del agua del mar absorbía de manera eficaz el calor de condensación. En este documento de patente se describe un ejemplo en el que se consigue una velocidad de flujo de 2,21 litros por m² de área superficial total de membrana por hora con una diferencia de temperatura ΔT entre la corriente de fracción retenida caliente y el agua del mar de 4°C, dando lugar a un consumo de energía de sólo 212 kilojulios por kg de destilado producido. A partir de estos datos, se puede calcular que el flujo específico asciende a $1,30 \cdot 10^{-10}$ m³/m²·s·Pa, a una velocidad promedio relativamente elevada en el canal de la corriente de fracción retenida de 0,09 m/s. El flujo específico se define como la velocidad de flujo del destilado por área superficial de membrana unitaria, por diferencia de presión de vapor de agua unitaria entre el volumen de la corriente de fracción retenida y la corriente de alimentación.
45
50

Además de la utilización de membranas planas, son conocidas las ventajas de las membranas de fibras huecas para la destilación por membrana de contacto directo. Como resultado del empaquetamiento compacto de fibras de membrana, se puede obtener un área superficial de hasta 500 m² por m³, lo que posibilita unos costes de equipamiento inferiores. Además, se ha propuesto (véase K. Schneider, T.J. van Gassel, Membrandestillation, Chem. Ing. Tech. 56 (1984) 514-521) el acoplamiento de un módulo de destilación por membrana de contacto directo con un módulo intercambiador de calor en un ciclo y, de este modo, recuperar el calor de condensación.
55
60 Además, se sugiere introducir una presión de aire reducida en el interior de los poros de DCMD mediante desgasificación del líquido de alimentación y la extracción por bombeo de la corriente de destilado bajo una presión subatmosférica, cuyas mediciones mostraron ser el doble de la velocidad de flujo del destilado. Se observó que para la desalinización del agua del mar se obtiene una velocidad de flujo del destilado de aproximadamente 5 litros por m²

por hora para una ΔT de 20°C (diferencia de 5 kPa en la presión de vapor) y un consumo específico de energía por encima de 1.000 kJ por kg de agua.

Desde 1984 ha habido un progreso poco apreciable en el estado de la técnica en relación a DCMD.

La destilación por membrana con espacio de aire se describió por primera vez en 1971 en el documento GB 1 225 254 A. Además de utilizar un espacio de aire, ya se propone el flujo a contracorriente de la alimentación y la corriente de fracción retenida (y, de este modo, la recuperación del calor latente). Además, la AGMD se describió en 1982 en el documento DE 3.123.409 (Siemens). Esta solicitud se refiere a la utilización de un espacio (con un grosor de 3 mm), relleno de aire, u opcionalmente, un gas más ligero, tal como hidrógeno, entre una membrana porosa plana y una superficie de condensación fría. El objetivo era reducir el transporte de calor perceptible mediante la conducción a través de la membrana. Se estableció experimentalmente que el transporte de calor mediante conducción era aproximadamente igual al transporte mediante evaporación. Además, se propuso alimentar al agua de mar entrante en contracorriente con la corriente de vaporización y, de este modo, recuperar calor. También se reivindicó la utilización de energía solar como fuente de calor. Se describió un caso teórico en el que se consiguió una velocidad de flujo de destilado de 3,36 kg por m² por hora con una diferencia de temperatura ΔT de 5°C, con una recuperación de aproximadamente el 4,9 % y un consumo de energía de más de 850 kJ por kilogramo de agua producida.

La solicitud de patente europea 0164326 da a conocer la utilización de un espacio de aire con destilación por membrana, construyéndose las diversas características en forma de tubos concéntricos. Una variante de ésta en la que se utilizaron paquetes de membranas planas se da a conocer en el artículo "Design and field tests of a new membrane distillation desalination process" ("Diseño y pruebas de campo de un nuevo proceso de desalinización por destilación por membrana") (Desalination 56 (1985), págs. 345-354). Es sorprendente que en este documento se abandona el principio de flujo a contracorriente del agua del mar y la corriente de fracción retenida, como resultado de lo cual no es posible la recuperación del calor de evaporación. Por tanto, no se proporcionan tampoco los valores del consumo de energía. El documento WO8607585 A (1986) se basa en datos del mismo modelo que se utilizaron para el trabajo anterior, pero deduce a partir de éstos que es necesario un grosor del espacio de aire de 0,2 a 1,0 mm a efectos de conseguir tanto una velocidad de flujo elevada como una pérdida baja de calor perceptible (el objetivo es 300 - 800 kJ/kg de agua). No se tienen en cuenta en el modelo los cambios de temperatura en las paredes caliente y fría y el interior de las mismas, como resultado de lo cual se representa un panorama demasiado optimista.

En el documento US 4.879.041, se da a conocer una destilación por membrana con espacio de aire específicamente para la preparación de agua ultrapura para la industria de los semiconductores. En este documento, se investigó el efecto del grosor del espacio de aire, cuando se utilizaban láminas de membranas planas, sobre el transporte de la masa y el transporte del calor en la región entre 3 y 10 mm. Se concluyó a partir de estas investigaciones que el transporte se determina mediante la difusión a grosores inferiores a 5 mm y mediante la convección libre a grosores de más de 5 mm. Los rendimientos medidos fueron moderados: velocidades máximas del flujo de destilado de 3,6 kg por m² por hora para una diferencia de presión de vapor de aproximadamente 20 kPa. En este documento, de nuevo no se recupera el calor de condensación y, por lo tanto, tampoco es sorprendente que algunos años más tarde hubiera un regreso a la evaporación convencional con múltiples etapas sin membranas.

En base a esta bibliografía, se concluyó en el documento EP 1 185 356 que la elección por un sistema con espacio de aire no es obvia cuando un consumo bajo de energía es un requerimiento importante. Sin embargo, la bibliografía reciente da a conocer que un espacio de aire con o sin vacío es necesario para disminuir el flujo de calor sensible de la corriente de fracción retenida hacia la corriente de destilado y/o de alimentación, a efectos de obtener un consumo bajo de energía (C.M. Guyt, Influence of membrane properties and air gap on the performance of a membrane distillation module ("Influencia de las propiedades de la membrana y el espacio de aire en el rendimiento de un módulo de destilación por membrana"), Thesis University of Twente, 2003; K.W. Lawson, D.R.Lloyd, Membrane distillation, Review, J. Membrane Science 124 (1997) 1-25).

Sin embargo, el objetivo de la presente invención es conseguir un avance en el rendimiento (flujo específico o velocidad de flujo de destilado por área de membrana unitaria por fuerza impulsora unitaria) de la destilación por membrana de contacto directo y, de este modo, reducir de manera apreciable tanto los costes como el consumo de energía de dicho sistema de destilación por membrana.

De manera sorprendente, se ha encontrado ahora que esto se puede establecer mediante un método en el que, contrario al estado de la técnica, se mantiene un régimen especial de presión del líquido en el interior del módulo de destilación por membrana.

Por consiguiente, la presente invención se refiere a un método para la purificación de un líquido mediante destilación por membrana, que comprende:

- pasar una corriente vaporizante calentada de un líquido (corriente de fracción retenida) a través de un canal de fracción retenida a lo largo de una membrana porosa hidrofóbica, mediante lo cual el vapor del líquido fluye a través de los poros de la membrana a la otra cara de dicha membrana, y
- 5 - condensar dicho vapor en la otra cara de dicha membrana para producir una corriente de destilado en un canal de destilado, cuya corriente de destilado se crea pasando el calor de condensación (calor latente) hacia una superficie del condensador, formando dicha superficie de condensador una separación no porosa entre una corriente de alimentación del líquido a purificar y dicha corriente de destilado; cuya corriente de alimentación se pasa a través de un canal de alimentación en contracorriente con la corriente de fracción retenida, en cuyo canal de alimentación se dispone un material espaciador mediante el cual, como mínimo, una parte del calor latente se transfiere a través de
- 10 la superficie del condensador a la corriente de alimentación, y mediante el cual se aplica una diferencia de presión positiva del líquido entre la corriente de la fracción retenida y la corriente de alimentación en los puntos correspondientes del canal de la fracción retenida y el canal de alimentación, como mínimo, sobre una parte de cada uno del canal de la fracción retenida y el canal de alimentación.
- 15 Según la presente invención, se puede establecer un rendimiento superior. En este aspecto, se observa que se puede establecer un flujo específico superior a $1,5 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$, que es de forma habitual aproximadamente el 50% superior a los flujos obtenidos en condiciones de proceso similares en procesos conocidos. El flujo específico se define como la velocidad de flujo de destilado por área superficial de membrana unitaria, por diferencia de presión de vapor de agua unitaria entre el volumen de las corrientes de fracción retenida y de alimentación.
- 20 Preferentemente, la diferencia de presión positiva de líquido entre la corriente de la fracción retenida y la corriente de alimentación en los puntos correspondientes del canal de la fracción retenida y el canal de alimentación se aplica, como mínimo, sobre el 50% de la longitud total de cada uno del canal de la fracción retenida y el canal de alimentación, y más preferentemente, como mínimo, sobre el 75% de la longitud total de cada uno del canal de la fracción retenida y el canal de alimentación.
- 25 Según la presente invención, se obtienen resultados particulares atractivos cuando la membrana porosa presenta un grosor en el intervalo de 50 a 1000 μm . Preferentemente, la membrana porosa presenta un grosor en el intervalo de 100 a 600 μm , más preferentemente en el intervalo de 125 a 500 μm , y de la forma más preferente en el intervalo de 150 a 400 μm .
- 30 Los canales de la fracción retenida están delimitadas por membranas porosas hidrofóbicas (porosidad superior al 70% y, preferentemente, superior al 80% y un tamaño de poro inferior a 2,0 μm , preferentemente entre 0,01 y 0,5 μm). Se entenderá que las membranas porosas hidrofóbicas no son mojables por un líquido. Por lo tanto, sólo un vapor, no líquidos, puede pasar a través de dichas membranas. Las membranas en cuestión pueden ser membranas disponibles comercialmente fabricadas de materiales, tales como PTFE, PVDF, PP y PE y similares. Las membranas porosas a utilizar, según la presente invención, se pueden laminar con otros materiales (por ejemplo, materiales no tejidos de PP, PET, etc), los cuales protegen las membranas contra la abrasión y/o proporcionan soporte mecánico. También se pueden utilizar las denominadas membranas asimétricas de microfiltración y ultrafiltración fabricadas de
- 35 materiales, tales como politer sulfona, polisulfona, poliácridonitrilo, poliamidas, etc. En este contexto, es preferente hacer que la superficie de estas membranas sea completa o parcialmente de forma adicional hidrofóbica, por ejemplo, mediante un recubrimiento u otra modificación de la superficie. En la realización más sencilla, los canales de fracción retenida consisten en sobres de membrana plana o fibras huecas o membranas capilares colocadas en paralelo. La fracción retenida fluye a través del interior de los sobres o el lumen de estas fibras/capilares. Cuando se utilizan membranas asimétricas, la capa activa de la membrana, con los poros más estrechos, está en la cara de la fracción retenida. Los canales de la fracción retenida también pueden estar formados por membranas de placa planas o láminas de membranas, de manera opcional en una configuración enrollada en espiral.
- 40 Los canales de alimentación, a través de los cuales fluye la corriente de alimentación, están asimismo preferentemente formados por sobres planos o fibras huecas/capilares fabricados de material hidrofílico o hidrofóbico, colocados en paralelo. Las paredes de estos canales son ahora no porosas, es decir son no permeables al vapor o son escasamente permeables al vapor. Habitualmente, dichas paredes presentan un grosor habitualmente entre 10-2000 μm , preferentemente entre 20 y 200 μm , en formato de lámina o fibra/capilar. Pueden estar fabricadas de materiales poliméricos (PP, PE, PET, nylons /PA, etc.; con o sin materiales de carga a efectos de mejorar, por ejemplo, la conductividad térmica), de metales (acero, Al, etc.), o de laminados de estos materiales, etc. Además, al material del condensador se le puede conferir una forma, tal que el área efectiva resultante para la transferencia de calor es superior al área de membrana, por ejemplo, por nervaduras, pliegues u otras ondulaciones, mediante la utilización de una serie de fibras/capilares, etc.
- 45 50 55 60 Según la presente invención, se dispone un material espaciador en el canal de alimentación. Preferentemente, el canal de alimentación completo está relleno con el material espaciador. De manera adecuada, en el canal de la fracción retenida también se dispone un material espaciador. Preferentemente, el canal de alimentación completo

- está relleno con el material espaciador. Además, si se desea, en el interior del canal de destilado se puede proveer también un material espaciador. En los canales respectivos, se puede aplicar el mismo tipo de material espaciador o diferentes tipos de material espaciador. De manera adecuada, tanto en el canal de alimentación como en el canal de la fracción retenida se aplica un tipo similar de material espaciador. Los materiales espaciadores pueden consistir de manera adecuada en redes, tejidos técnicos y similares, fabricados de filamentos tejidos o no tejidos en varias formas, de polímeros del tipo PP, PE, EVA, etc. Entre las formas adecuadas se incluyen cuadrados, rectángulos, rombos, ondas, etc., simétricos; también se pueden utilizar formas asimétricas y filamentos. Una forma preferente de material espaciador es una configuración de rombo no tejido.
- La descarga de la corriente de destilado puede tener lugar a través del material hidrofílico o poroso (tal como un tejido o varillas) que se ha aplicado en el interior del canal de destilado. También es posible mantener vacíos los canales de destilado de otro material que no sea la propia agua producida y descargar la corriente de destilado mediante presión (construida durante la producción del destilado) o mediante gravedad o mediante succión.
- El método, según la presente invención, se puede implementar en una serie de realizaciones. De manera adecuada, se pueden utilizar láminas o placas de membrana plana, de manera opcional en una configuración enrollada en espiral, o estructuras de tipo placa que consisten en múltiples canales de tipo capilar, para limitar los canales de flujo para la corriente de la fracción retenida. Además de esto, también se pueden utilizar grupos de fibras huecas o capilares. Lo mismo se aplica para los canales de alimentación en los que la alimentación a purificar fluye en contracorriente con la corriente de la fracción retenida, y para los canales de destilado, a través de los cuales el condensado (destilado) fluye a favor de corriente o en contracorriente o en flujo cruzado, etc. con la corriente de la fracción retenida.
- Estas realizaciones se construyen normalmente de varios sobres paralelos o grupos de capilares/fibras huecas, unidos mediante técnicas de unión adecuadas (resinas que utilizan resinas epoxi, poliuretanos, etc; pegamentos que utilizan, por ejemplo, polisiloxano, poliuretano, etc., como formulaciones de uno o dos o más componentes; materiales fundidos en caliente; técnicas de soldadura por calor o ultrasonidos; y todas las otras técnicas conocidas para los expertos en uniones.
- En una primera realización del método, según la presente invención, la corriente de alimentación a calentar fluye en contracorriente prácticamente ideal con respecto a la corriente de la fracción retenida vaporizante y la corriente de destilado condensado fluye a favor de corriente con la corriente de la fracción retenida y/o en contracorriente con respecto a la corriente de alimentación, mediante lo cual se entiende que se recupera el calor sensible de la corriente de destilado en la corriente de alimentación.
- Con respecto a esta realización, cabe indicar que el documento US 4.545.862 da a conocer un método en el que se aplica tanto un módulo plano como (preferentemente) un módulo enrollado en espiral, utilizando membranas hidrofóbicas planas y membranas delgadas de PTFE. El método se analizó para la desalinización del agua de mar. Para estas pruebas, la corriente de destilado se separó de la corriente de agua de mar alimentada en contracorriente con respecto a la corriente de la fracción retenida vaporizante y la corriente de agua de mar, absorbiendo así de manera efectiva el calor de condensación. Después de analizar las dos opciones de descarga de la corriente de destilado, es decir, ambas desde la cara fría del módulo (entrada de alimentación, salida de fracción retenida) y desde la cara caliente del módulo (salida de la alimentación, entrada de la fracción retenida), se encontró sorprendentemente que el rendimiento (flujo) del módulo se incrementó de manera considerable cuando se aplicaba la primera opción. Esto se atribuyó a un efecto de "ordeño" debido a la deformación local del material de la membrana en una dirección normal a la superficie de la lámina del condensador, la cual es más rígida que el material de membrana extremadamente flexible y maleable, y así presiona a este último de manera parcial en el material espaciador (redes) que forma el canal de la fracción retenida; y a la aplicación de un flujo a favor de corriente de las corrientes de la fracción retenida y de destilado, "forzando" a que el destilado fluya hacia fuera. Además, en el documento US 4.545.862, la recuperación del calor latente se consigue mediante el flujo a contracorriente de las corrientes de alimentación y de la fracción retenida. Habitualmente, la alimentación se bombea en el canal de alimentación bajo presión más elevada que la presión de la corriente de la fracción retenida vaporizante que entra en el canal de la fracción retenida.
- Sin embargo, la presente invención difiere esencialmente del método conocido mencionado anteriormente en que se utiliza una diferencia de presión positiva del líquido entre la corriente de la fracción retenida y la corriente de alimentación en los puntos correspondientes de cada uno del canal de la fracción retenida y el canal de alimentación, como mínimo, sobre parte de cada uno de los canales de la fracción retenida y de alimentación. Al hacer esto, la membrana quedará presionada contra la superficie del condensador no permeable, o cuando se aplica contra un material de descarga del destilado colocado entre la superficie del condensador y la membrana. La pared del condensador, a su vez, quedará presionada contra el material espaciador colocado en el interior del canal de alimentación. Cabe indicar que en el documento US 4.545.862 esta configuración no es posible tal como se muestra

en las figuras 1A, 1B y 3, y se describe en la columna 6, línea 52 - línea 63 y la columna 8, línea 13 - línea 24 y línea 42 - línea 68, porque:

- No existe material espaciador presente en el canal de alimentación 30.
- El material de la lámina del condensador 12 relativamente rígido presiona contra el material espaciador 54 en el canal de la fracción retenida 20.
- Las fuerzas que actúan en la dirección normal a la superficie del condensador, como resultado de la diferencia de presión entre la alimentación y la fracción retenida, son siempre desde la alimentación hacia la fracción retenida; sólo en ese caso es posible obtener el "efecto de ordeño" descrito.
- Esto significa esencialmente que la diferencia de presión del líquido entre el canal de la fracción retenida y el canal de alimentación es siempre negativa.

En la presente invención el canal de alimentación contiene un material espaciador, el material de la lámina del condensador se presiona contra este material mediante la diferencia de presión positiva del líquido ente el canal de la fracción retenida y el canal de alimentación, y por esto, esencialmente no es posible obtener un "efecto de ordeño" tal como se ha dado a conocer en el documento US 4.545.862. Además, cabe indicar que el proceso, según la presente invención, no se puede llevar a cabo utilizando la configuración tal como se ha descrito en el documento US 4.545.862.

En otra realización del método, según la presente invención, en el interior del canal de la fracción retenida se dispone un canal adicional a través del cual pasa un fluido, mediante lo cual se aplica una diferencia de presión positiva del líquido entre la corriente de la fracción retenida y la corriente de fluido. Preferentemente, dicha corriente de fluido pasa a través del canal adicional en dirección a favor de corriente con dicha corriente de la fracción retenida, y la corriente de fluido comprende preferentemente una corriente de calor residual (calor sobrante o calor derivado de líquidos calientes, etc.). Preferentemente, el canal adicional comprende paredes no permeables, a través de las cuales un fluido caliente puede bombearse de manera adecuada a favor de corriente con dicha corriente de la fracción retenida, a una presión de fluido igual o de forma preferente ligeramente superior a la de dicha corriente de la fracción retenida, induciendo una presión adicional, y de este modo, ventajosa, sobre los canales de alimentación/destilado/fracción retenida.

Esta realización presenta la ventaja de que se realiza una utilización completa del calor residual y que la fuerza impulsora hacia la cara de entrada de la corriente de alimentación se mantiene mediante una aumento de la diferencia de temperatura. Los módulos adecuados para esto pueden ser de una construcción adicional compacta y económica.

En una realización adicional del método, según la presente invención, la corriente de destilado se descarga en la cara caliente del canal de destilado, por tanto en flujo a contracorriente con la corriente de la fracción retenida. Esta variante presenta la ventaja de que se produce una corriente de destilado caliente, sacando el calor sensible de la corriente de alimentación que ahora fluye a favor de corriente con la corriente de destilado, mediante lo cual la corriente de alimentación puede captar más calor latente, por tanto más vapor puede condensarse, produciendo más destilado.

En otra realización atractiva del método, según la presente invención, la corriente de destilado se descarga en la cara caliente del canal de destilado. De este modo, la corriente de destilado se descarga en flujo a contracorriente con la corriente de la fracción retenida. De manera adecuada, y con o sin calor adicional, dicha corriente de destilado se puede introducir en el canal adicional que está dispuesto en el canal de la fracción retenida tal como se ha descrito más arriba en el presente documento. Esta realización presenta las ventajas de que se produce más destilado a un flujo determinado de la corriente de alimentación, y que el calor sensible extraído de la corriente de alimentación se transfiere a favor de corriente a la corriente de la fracción retenida, reduciendo de este modo la cantidad de calor que debe introducirse para la formación de vapor, dando lugar a una reducción muy atractiva en el consumo de energía en el método.

La presente invención es particularmente adecuada para la desalinización del agua del mar. Las tecnologías existentes para esto, tales como destilación flash con múltiples etapas y la ósmosis inversa, se han optimizado hasta prácticamente el grado máximo y debido al consumo de energía demasiado elevado y al nivel de inversión por producto unitario demasiado elevado, son demasiado caras en comparación con las técnicas de producción por purificación en la orilla. Mediante la utilización de la presente invención se consiguen resultados espectaculares con respecto a una velocidad de flujo elevada, una pérdida de calor baja, un consumo de energía muy bajo, una recuperación de agua elevada, una calidad de agua buena y un gran avance en los costes de producción del agua. El método es adecuado para utilizarse a una temperatura relativamente baja (calor de grado bajo, calor residual, colectores solares de calor, etc.). Se anticipa una mejora sustancial en la eficiencia de la energía, especialmente en el caso de una aplicación a escala pequeña.

La presente invención también se refiere a un aparato adecuado para utilizar en el método, según la presente invención, cuyo aparato comprende un segmento que comprende un canal de alimentación en el que se dispone un material espaciador, un canal de destilado y un canal de fracción retenida, mediante lo cual el segmento tiene una primera cámara de distribución para suministrar un líquido de alimentación, una segunda cámara de distribución localizada frente a la primera cámara de distribución para descargar el líquido de alimentación, una tercera cámara de distribución para suministrar la corriente de fracción retenida y una cuarta cámara de distribución frente a la tercera cámara de distribución para descargar la corriente de la fracción retenida, mediante lo cual el segmento está provisto con una primera bomba para bombear la presión de la corriente de alimentación en el segmento y una segunda bomba que está dispuesta corriente abajo de la segunda cámara de distribución o corriente abajo del intercambiador de calor para bombear hacia fuera la corriente de la fracción retenida bajo una presión más elevada (en relación a la presión en el interior de los canales de alimentación) en el intercambiador de calor y/o la cámara de distribución de los canales de la fracción retenida, la pared entre el canal de alimentación y el canal de destilado comprende una superficie de condensador en forma de una membrana no porosa, y la pared entre el canal de la fracción retenida y el canal de destilado comprende una membrana porosa.

Preferentemente, la membrana porosa presenta un grosor en el intervalo de 100 a 600 μm , más preferentemente en el intervalo de 125 a 500 μm , y de la forma más preferente en el intervalo de 150 a 400 μm .

En una realización muy atractiva de la presente invención, el aparato comprende un número de segmentos (módulos), tal como se ha descrito anteriormente en el presente documento, que están conectados en paralelo entre sí. En este caso, se dispone de manera adecuada una primera bomba corriente arriba de la serie de segmentos conectados, mientras que una o más bombas adicionales se disponen de manera adecuada corriente abajo de la serie de segmentos o entre los respectivos segmentos que están conectados entre sí. Se entenderá que se pueden aplicar una o más bombas entre los segmentos respectivos que están conectados en paralelo entre sí, a efectos de controlar de manera más precisa las presiones en el interior de los canales de la fracción retenida frente a la presión en el interior de los canales de alimentación.

En una realización muy atractiva, en el interior del canal de la fracción retenida se dispone un canal adicional a través del cual pasa un fluido, mediante lo cual la presión del líquido de la corriente del fluido es igual o superior a la presión del líquido de la corriente de la fracción retenida. Preferentemente, dicha corriente de fluido pasa a través del canal adicional en dirección a favor de corriente con dicha corriente de la fracción retenida, y la corriente de fluido comprende preferentemente una corriente de calor residual. Preferentemente, el canal adicional comprende paredes no permeables, a través de las cuales se puede bombear un fluido caliente a favor de corriente con dicha corriente de la fracción retenida, a una presión de fluido igual o de forma preferente ligeramente superior a la de dicha corriente de la fracción retenida, induciendo una presión adicional, y de este modo ventajosa, en los canales de membrana/destilado/condensador.

En otra realización atractiva, desde una o ambas caras de los segmentos (módulos) a utilizar, se puede aplicar una presión que es igual o superior a la presión del fluido de la corriente de la fracción retenida. De este modo, se puede inducir de manera ventajosa una presión adicional sobre los canales de membrana/destilado/condensador. Dicha presión adicional se puede establecer utilizando un medio en una o ambas caras del segmento o segmentos a utilizar, de cuyo medio se puede incrementar el volumen mediante la introducción en dicho medio de un fluido adecuado (por ejemplo, un aceite, agua, aire u otro gas). De este modo, se puede obtener una estructura de tipo globo en una o ambas caras del segmento o segmentos, cuya estructura presurizada provoca la presión adicional sobre los canales de membrana/destilado/condensador. Se entenderá que dichos medios estarán fabricados normalmente de un material flexible.

A continuación, se describirá la presente invención con más detalle en base a las figuras 1-5 en las que se muestran varias realizaciones atractivas de la presente invención.

En la figura 1, se representa, según la presente invención, una serie de canales colocados en paralelo y materiales denominados "módulo". El módulo se divide en una cara fría C y una cara caliente H. Se bombea una corriente de alimentación -1- relativamente fría con la bomba de alimentación -1P- en los canales de alimentación paralelos -2-, en la cara fría C. Estos canales de alimentación están contruidos por las paredes -3- no porosas y un material espaciador -4-. En estos canales de alimentación -2-, la corriente de alimentación se calienta captando calor de los canales de destilado -5- más calientes en la otra cara de las paredes -3-. De este modo, de manera gradual, la corriente de alimentación se vuelve más caliente y deja el módulo como la corriente -6- en la cara caliente H con la ayuda de la bomba -6P-. Esta bomba asegura mediante succión que la presión en los canales de alimentación -2- es relativamente baja; habitualmente entre 0,1 y 3,0 bar (presión absoluta). La corriente de alimentación -6- relativamente caliente se bombea en un dispositivo de intercambio de calor -7-, en el cual se calienta adicionalmente mediante una entrada de calor externa -15- (el calor utilizado puede ser calor residual, calor solar, vapor de agua, material sólido caliente, etc.) y deja el dispositivo como la corriente de la fracción retenida -8- relativamente caliente. La corriente -8- entra en el módulo en la cara caliente H y fluye a través de los canales de la fracción retenida -9-

colocados en paralelo en un flujo más o menos en contracorriente con la corriente -1-. Los canales de la fracción retenida -9- están contruidos por las membranas -10- permeables al vapor y el material espaciador -11-. En estos canales de la fracción retenida, la corriente de la fracción retenida -8- se enfría de manera gradual debido a la evaporación del vapor de agua y cierta conducción del calor a través de las membranas -11- a los canales de destilado -5-, en los que el vapor de agua se condensa formando un destilado líquido -13- puro. Los canales de destilado están delimitados por una membrana -10- en una cara y una pared de condensador -3- no porosa en la otra cara. En el interior de los canales -5-, se puede colocar un material espaciador -12-. Sin embargo, esto no es estrictamente necesario en todas las aplicaciones de la presente invención. El calor liberado en los canales de destilado -5- se transfiere mayoritariamente a través de las paredes -3- en la corriente de alimentación -1-, fluyendo en los canales de alimentación -2-. El destilado líquido deja el módulo preferentemente en la cara fría C, mediante lo cual se recupera también calor sensible de la corriente -13- y se transfiere a la corriente -1-. Sin embargo, también se puede descargar en ambas caras C y H del módulo. Esta descarga puede tener lugar mediante gravedad, bombeo y/o mediante la presión creada en el interior de los canales -5- como resultado del agua producida. La corriente de la fracción retenida relativamente fría y concentrada deja el módulo en la cara fría C como la corriente -14-. Para una gran parte del módulo, en especial la cara caliente H, la presión absoluta del líquido en interior de los canales de la fracción retenida -9- es superior a la de los correspondientes canales de alimentación -2-. Las presiones absolutas del líquido habituales en los canales de la fracción retenida varían entre 1,0 y 4,0 bar.

En la figura 2, se muestra una segunda realización de la presente invención. Esta realización difiere de la mostrada en la figura 1 por la introducción de un cuarto tipo de canales -17- en el interior de los canales de la fracción retenida -9-. En el interior de estos canales -17-, la presión del líquido es preferentemente igual o superior a la presión en el interior de la parte correspondiente del canal -9-. Ésta se puede establecer mediante la introducción de un fluido -16- (líquido o gas o dispersión, etc.) en el interior de estos canales -17-. Preferentemente, el fluido -16- presenta una temperatura igual o superior a la de la corriente de la fracción retenida -8- que fluye a favor de corriente a través de los canales -9-, pasando de este modo el calor a la corriente -8-. Los canales -17- están contruidos por dos paredes -20- no porosas conductoras del calor, fabricadas de un material similar (pero no necesariamente el mismo) que las paredes -3-, y un material espaciador -18-.

Las figuras 3 y 4 muestran una tercera realización de la presente invención, respectivamente sin y con un cuarto canal, que difieren de las realizaciones mostradas en las figuras 1 y 2 en que la corriente del destilado -13- se descarga de manera exclusiva en la cara caliente H del módulo.

En la figura 5, se muestra una cuarta realización de la presente invención, que difiere de las figuras 2 y 4 en que el fluido que se bombea en el cuarto canal -17- es la propia corriente de destilado -13-, la cual se descarga en la cara caliente H del módulo según la tercera realización descrita anteriormente. Dicho fluido (corriente de destilado -13-) se calienta de manera adicional preferentemente en un dispositivo intercambiador de calor -21-, utilizando una entrada de calor -22- (ambos pueden ser los mismos que en el dispositivo -7-, respectivamente, una entrada de calor -15-), y posteriormente se bombea como la corriente de destilado -23- calentada (utilizando si es necesario la bomba -23P-) en los canales -17-. Al hacerlo así la mayoría del calor de la corriente -23- se transfiere a los canales de la fracción retenida -9- y el destilado enfriado deja el módulo en la cara fría C como la corriente -24-.

Ejemplos

Ejemplo 1

Se construyó un módulo de destilación por membrana utilizando 6 láminas de PET de 75 μm de grosor, 0,50 m de ancho, 1,50 m de longitud y un material espaciador de polipropileno de 2 mm de grosor para formar 3 sobres de condensadores y, por tanto, 3 canales de alimentación. Además, se utilizaron 4 láminas de PTFE poroso expandido (porosidad del 80%, grosor de 120 μm) de tamaño similar para formar 2 sobres de membrana, en cuyos sobres se colocaron 2 canales adicionales de calor residual (los "canales adicionales" -17- de la figura 2) utilizando 4 láminas adicionales de PET y 2 materiales espaciadores de PP de 0,8 mm de grosor. Utilizando en cada sobre de membrana 2 materiales espaciadores de PP de 1,6 mm de grosor, se obtuvo un módulo que tenía (figura 2): cuatro canales de fracción retenida -9- alrededor de dos "canales adicionales" -17-, cuatro canales de destilado -5-, y tres canales de alimentación -2-.

El área superficial total de la membrana del módulo obtenido de este modo fue de 3,0 m².

Se llevó a cabo una experimento de destilación por membrana con agua del mar artificial con este módulo a una temperatura promedio en los canales de fracción retenida de 55°C, y una velocidad de flujo promedio en los canales de fracción retenida de aproximadamente 0,04 m/s. Utilizando la configuración de presión de la técnica anterior (es decir, en la que la presión en el canal de alimentación es superior a la presión en el canal de la fracción retenida, contraria a la configuración según la presente invención), se midieron las siguientes presiones absolutas: P-alimentación 1 = 1,56 bar, P-alimentación 6 = 1,50 bar, P-fracción retenida 8 = 1,42 bar y P-fracción retenida 14 =

1,08 bar. Se midió un flujo específico de $1,15 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$. Utilizando una configuración de presiones, según la presente invención, se midieron las siguientes presiones absolutas: P-alimentación 1 = 0,99 bar, P-alimentación 6 = 0,62 bar, P-fracción retenida 8 = 1,54 bar, y P-fracción retenida 14 = 1,12 bar. Se midió un flujo específico de $1,70 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$; ésta era casi el 50% más elevada que la obtenida según el proceso de la técnica anterior.

5

Ejemplo 2

Se utilizaron el mismo módulo y las mismas condiciones de proceso que se aplicaron en el ejemplo 1, sólo se incrementó el flujo de alimentación para obtener una velocidad de flujo promedio en los canales de fracción retenida de 0,06 m/s.

10

Utilizando una configuración de presiones de la técnica anterior (véase anteriormente en el presente documento), se midieron las siguientes presiones absolutas: P-alimentación 1 = 2,35 bar, P-alimentación 6 = 2,25 bar, P-fracción retenida 8 = 2,05 bar, y P-fracción retenida 14 = 1,14 bar. Se midió un flujo específico de $1,25 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$. Utilizando una configuración de presiones, según la presente invención, se midieron las siguientes presiones absolutas: P-alimentación 1 = 1,11 bar, P-alimentación 6 = 0,73 bar, P-fracción retenida 8 = 1,35 bar y P-fracción retenida 14 = 1,14 bar. Se midió un flujo específico de $1,75 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$; ésta era casi el 40% más elevada que la obtenida mediante el proceso de la técnica anterior.

15

20

Ejemplo 3

Se utilizaron el mismo módulo y las mismas condiciones de proceso que se aplicaron en el ejemplo 2 con la misma velocidad de flujo promedio en los canales de la fracción retenida de 0,06 m/s. De este modo, la presión en los "canales adicionales" se incrementó hasta un valor igual o superior al de los canales de la fracción retenida.

25

Utilizando la configuración de presiones de la técnica anterior (véase anteriormente en el presente documento), se midieron las siguientes presiones absolutas: P-alimentación 1 = 1,93 bar, P-alimentación 6 = 1,83 bar, P-fracción retenida 8 = 1,70 bar, y P-fracción retenida 14 = 1,12 bar. Se midió un flujo específico de $1,25 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$. Utilizando una configuración de presiones, según la presente invención, se midieron las siguientes presiones absolutas: P-alimentación 1 = 0,88 bar, P-alimentación 6 = 0,49 bar, P-fracción retenida 8 = 1,40 bar y P-fracción retenida 14 = 1,13 bar. Las presiones en el cuarto canal eran de 1,47 bar corriente arriba (véase la línea 23) y de 1,38 bar corriente abajo (véase la línea 24). Se midió un flujo específico de $1,90 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$; ésta no era inferior al 60% más elevada cuando se comparaba con el resultado obtenido según el proceso de la técnica anterior.

30

35

A partir de los resultados anteriores, será evidente para un experto en la materia que se establece una mejora considerable, según la presente invención, cuando se compara con el proceso de la técnica anterior.

REIVINDICACIONES

1. Método para la purificación de un líquido mediante destilación por membrana, que comprende:

- 5 - pasar una corriente de fracción retenida líquida vaporizante calentada a través de un canal de fracción retenida (9) a lo largo de una membrana porosa hidrofóbica, mediante lo cual el vapor del líquido fluye a través de los poros de la membrana (10) a la otra cara de dicha membrana, y
- 10 - condensar dicho vapor en la otra cara de dicha membrana para producir una corriente de destilado en un canal de destilado (5), cuyo destilado se crea pasando el calor de condensación (calor latente) hacia una superficie de condensador (3), formando dicha superficie de condensador una separación no porosa entre una corriente de alimentación del líquido a purificar y dicha corriente de destilado, cuya corriente de alimentación se pasa a través de un canal de alimentación (2) en contracorriente con la corriente de fracción retenida y cuyo canal de alimentación está conectado corriente abajo de manera hidráulica con la corriente de fracción retenida, en cuyo canal de alimentación se dispone un material espaciador (4), mediante el cual, como mínimo, una parte del calor latente se transfiere a través de la superficie del condensador a la corriente de alimentación, y mediante el cual se aplica una diferencia de presión positiva del líquido entre la corriente de la fracción retenida y la corriente de alimentación en los puntos correspondientes del canal de la fracción retenida y el canal de alimentación, como mínimo, sobre una parte de cada uno del canal de la fracción retenida y el canal de alimentación.
- 15
- 20 2. Método, según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la diferencia de presión positiva del líquido se aplica entre la corriente de la fracción retenida y la corriente de alimentación en los puntos correspondientes del canal de la fracción retenida y el canal de alimentación, como mínimo, sobre el 50% de la longitud total de cada uno del canal de la fracción retenida y el canal de alimentación.
- 25 3. Método, según la reivindicación 2, **caracterizado porque** la diferencia de presión positiva del líquido se aplica entre la corriente de la fracción retenida y la corriente de alimentación en los puntos correspondientes del canal de la fracción retenida y el canal de alimentación, como mínimo, sobre el 75% de la longitud total de cada uno del canal de la fracción retenida y el canal de alimentación.
- 30 4. Método, según cualquiera de las reivindicaciones 1-3, **caracterizado porque** la membrana porosa presenta un grosor entre 100 y 600 μm .
5. Método, según la reivindicación 4, **caracterizado porque** la membrana porosa presenta un grosor entre 125 y 500 μm .
- 35 6. Método, según la reivindicación 5, **caracterizado porque** la membrana porosa presenta un grosor entre 200 y 400 μm .
7. Método, según cualquiera de las reivindicaciones 1-6, **caracterizado porque** en el canal de la fracción retenida se aplica un canal adicional (17) a través del cual fluye una corriente de fluido a la corriente de la fracción retenida, mediante lo cual la presión del líquido de la corriente del fluido es igual o superior a la presión del líquido de la corriente de la fracción retenida.
- 40
- 45 8. Método, según la reivindicación 7, **caracterizado porque** la corriente de fluido fluye a través del canal adicional a favor de corriente con la corriente de la fracción retenida, y la corriente de fluido calienta la corriente de la fracción retenida.
9. Método, según la reivindicación 8, **caracterizado porque** la corriente de la fracción retenida se calienta mediante el calor residual, siendo dicho calor residual calor sobrante o calor derivado de líquidos calientes.
- 50 10. Método, según cualquiera de las reivindicaciones 1-9, **caracterizado porque** la corriente de destilado se descarga en la cara caliente del canal de destilado, fluyendo a favor de corriente con la corriente de alimentación.
- 55 11. Método, según cualquiera de las reivindicaciones 1-10, **caracterizado porque** la corriente de destilado se descarga bajo una presión más elevada que la presión atmosférica.
12. Método, según cualquiera de las reivindicaciones 7-11, **caracterizado porque** la corriente de destilado se descarga en la cara caliente del canal de destilado, se añade calor a la corriente de destilado descargado y la corriente de destilado calentada obtenida de este modo se pasa a través del canal adicional aplicado en el canal de la fracción retenida.
- 60
13. Aparato adecuado para utilizar en el método, según cualquiera de las reivindicaciones 1-6, 10 y 11, cuyo aparato comprende un segmento que comprende un canal de alimentación (2) en el que se dispone un material espaciador

- (4), un canal de destilado (5) y un canal de fracción retenida (9), mediante lo cual el segmento tiene una primera cámara de distribución para suministrar un líquido de alimentación, una segunda cámara de distribución localizada frente a la primera cámara de distribución para descargar el líquido de alimentación, una tercera cámara de distribución para suministrar la corriente de la fracción retenida y una cuarta cámara de distribución frente a la
- 5 tercera cámara de distribución para la descarga de la corriente de la fracción retenida, mediante lo cual el segmento se dispone con una primera bomba (1P) para bombear la presión de la corriente de la alimentación en el segmento y una segunda bomba (6P) que está provista corriente abajo de la segunda cámara de distribución para bombear la corriente de la fracción retenida bajo presión en el canal de la fracción retenida, la pared entre el canal de alimentación y el canal de destilado comprende una superficie de condensador (3) en forma de una membrana no
- 10 porosa, y la pared entre el canal de la fracción retenida y el canal de destilado comprende una membrana porosa (10).
14. Aparato, según la reivindicación 13, **caracterizado porque** la membrana porosa presenta un grosor en el intervalo entre 100 y 600 μm .
- 15 15. Aparato, según la reivindicación 14, **caracterizado porque** la membrana porosa presenta un grosor en el intervalo entre 125 y 500 μm .
16. Aparato, según la reivindicación 13, **caracterizado porque** la membrana porosa presenta un grosor en el
- 20 intervalo entre 200 y 400 μm .
17. Aparato, según cualquiera de las reivindicaciones 13-16, **caracterizado porque** el aparato comprende un número de segmentos, según las reivindicaciones 13-16, que están conectados en paralelo entre sí.
- 25 18. Aparato, según la reivindicación 17, **caracterizado porque** un primer medio de presión está provisto corriente arriba de la serie de segmentos conectados y una o más bombas adicionales están provistas corriente abajo de la serie de segmentos conectados o entre los segmentos respectivos que están conectados en paralelo entre sí.
- 30 19. Aparato, según cualquiera de las reivindicaciones 13-18, **caracterizado porque** en el interior del canal de la fracción retenida se dispone un canal adicional (17) para permitir que la corriente de fluido entre en contacto por transferencia de calor con la corriente de la fracción retenida.
- 35 20. Aparato, según cualquiera de las reivindicaciones 13-19, **caracterizado porque** una o ambas caras del segmento o segmentos comprenden un medio del que se puede incrementar el volumen mediante la introducción en dicho medio de un fluido adecuado, mediante lo cual en la operación el volumen incrementado de dicho medio provoca una presión adicional sobre los canales de membrana/destilado/condensador.

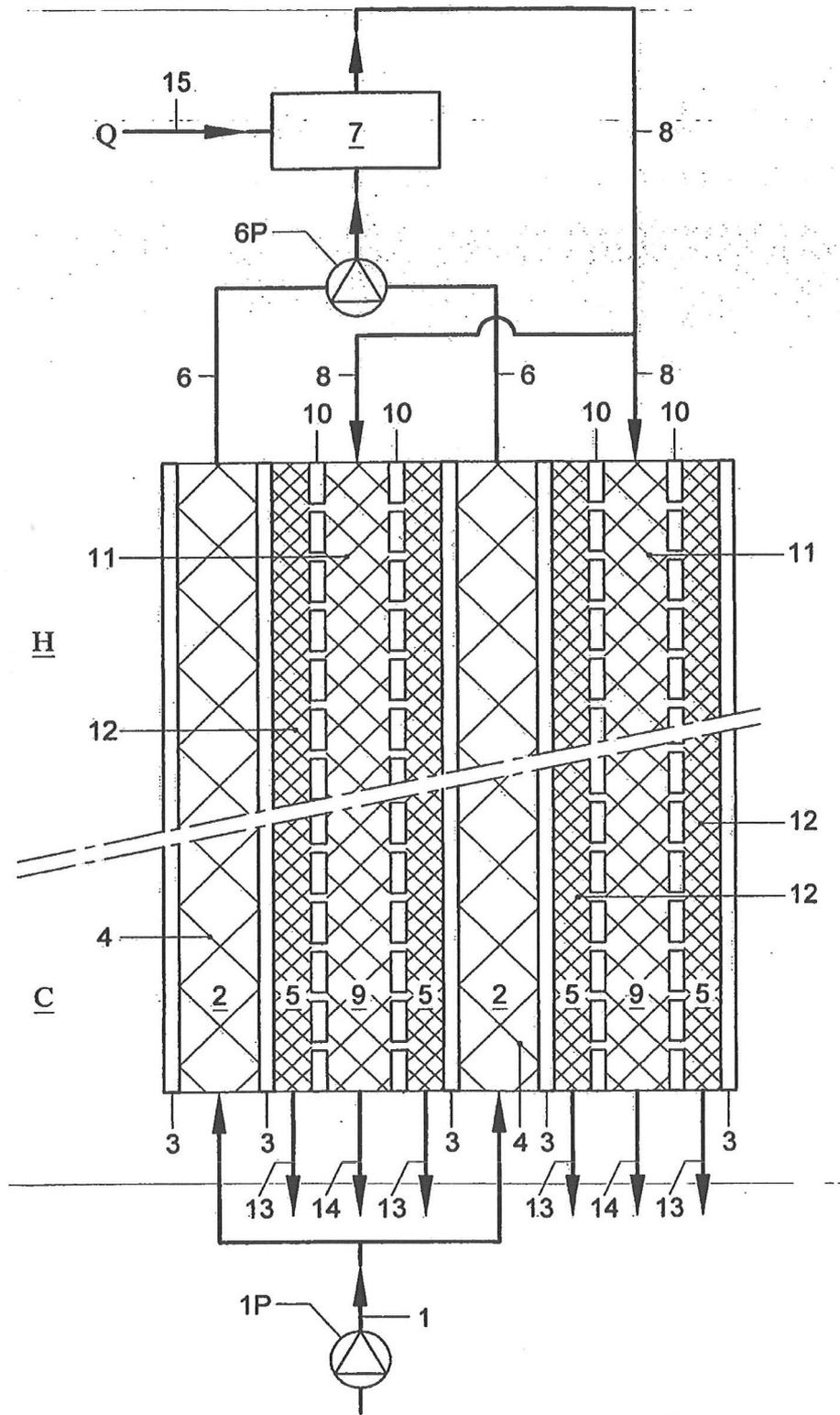


Fig. 1

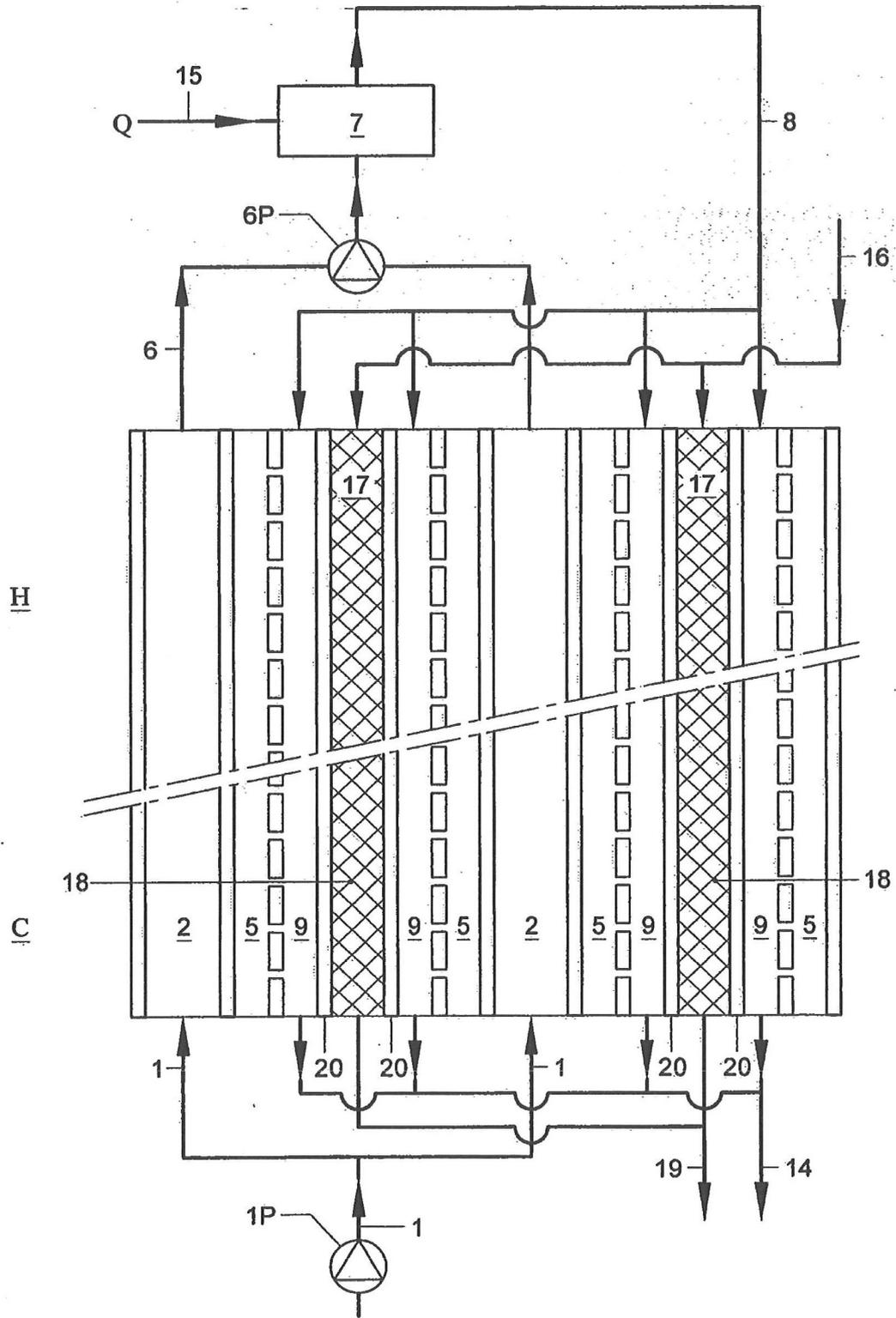


Fig. 2

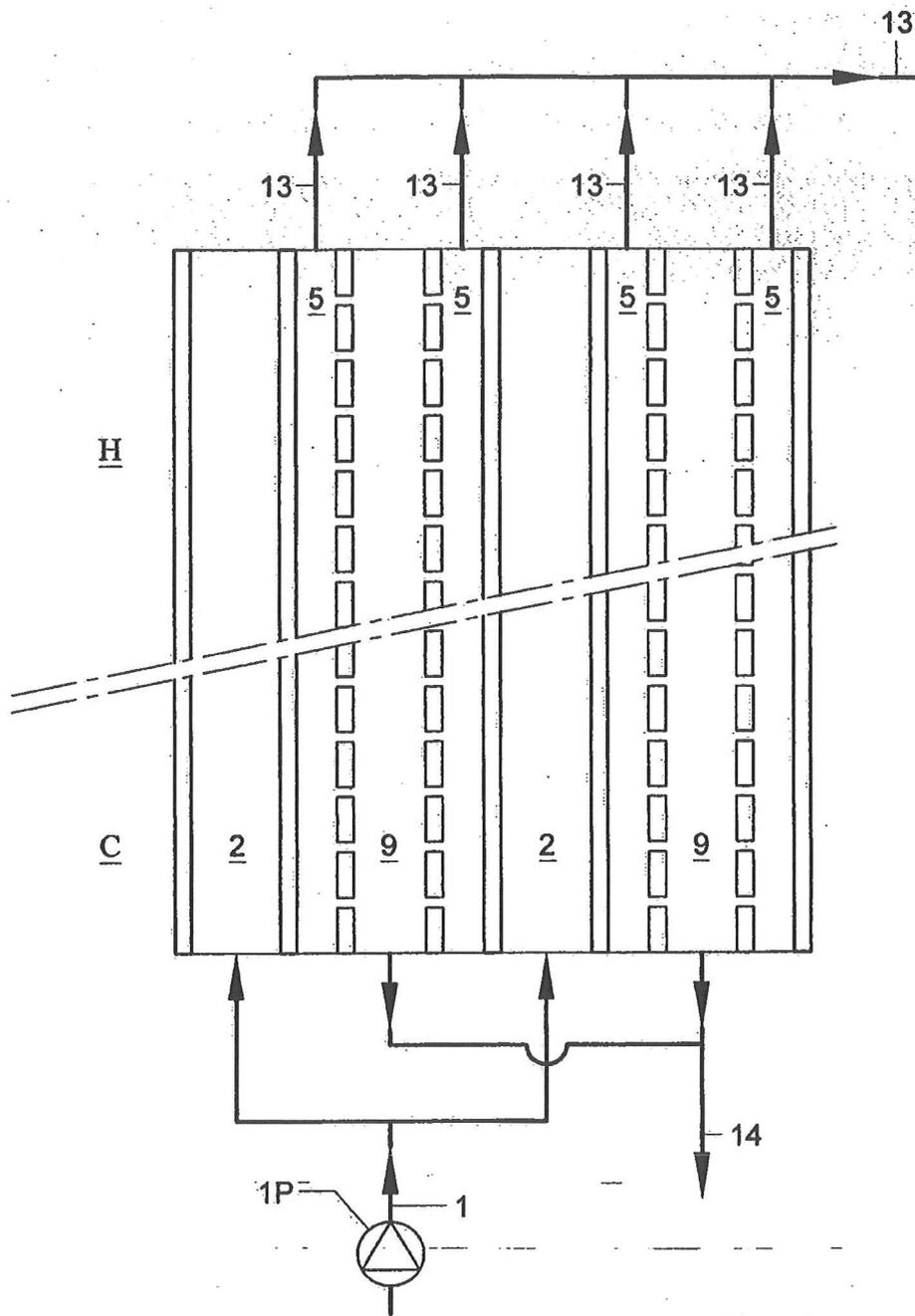


Fig. 3

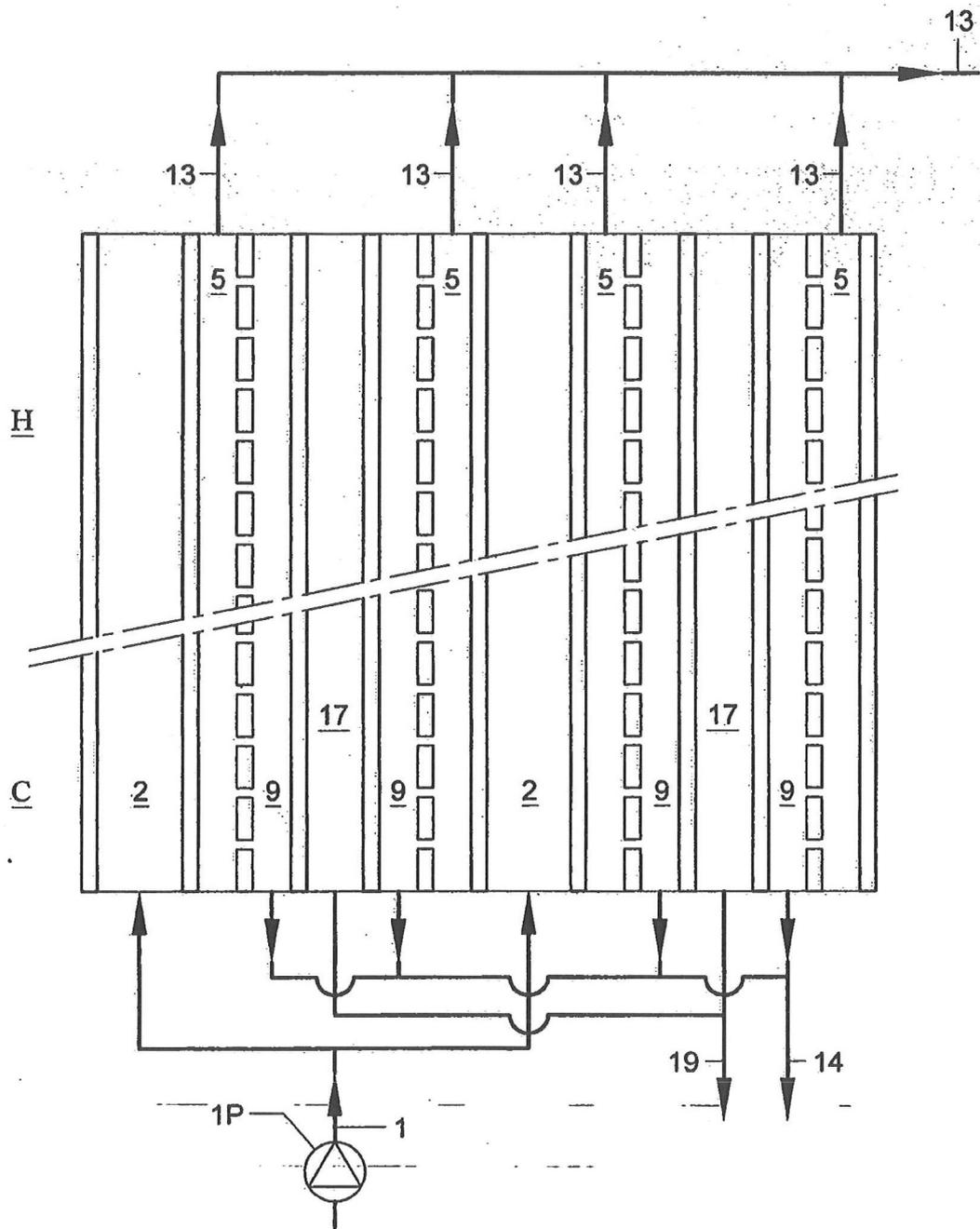


Fig. 4

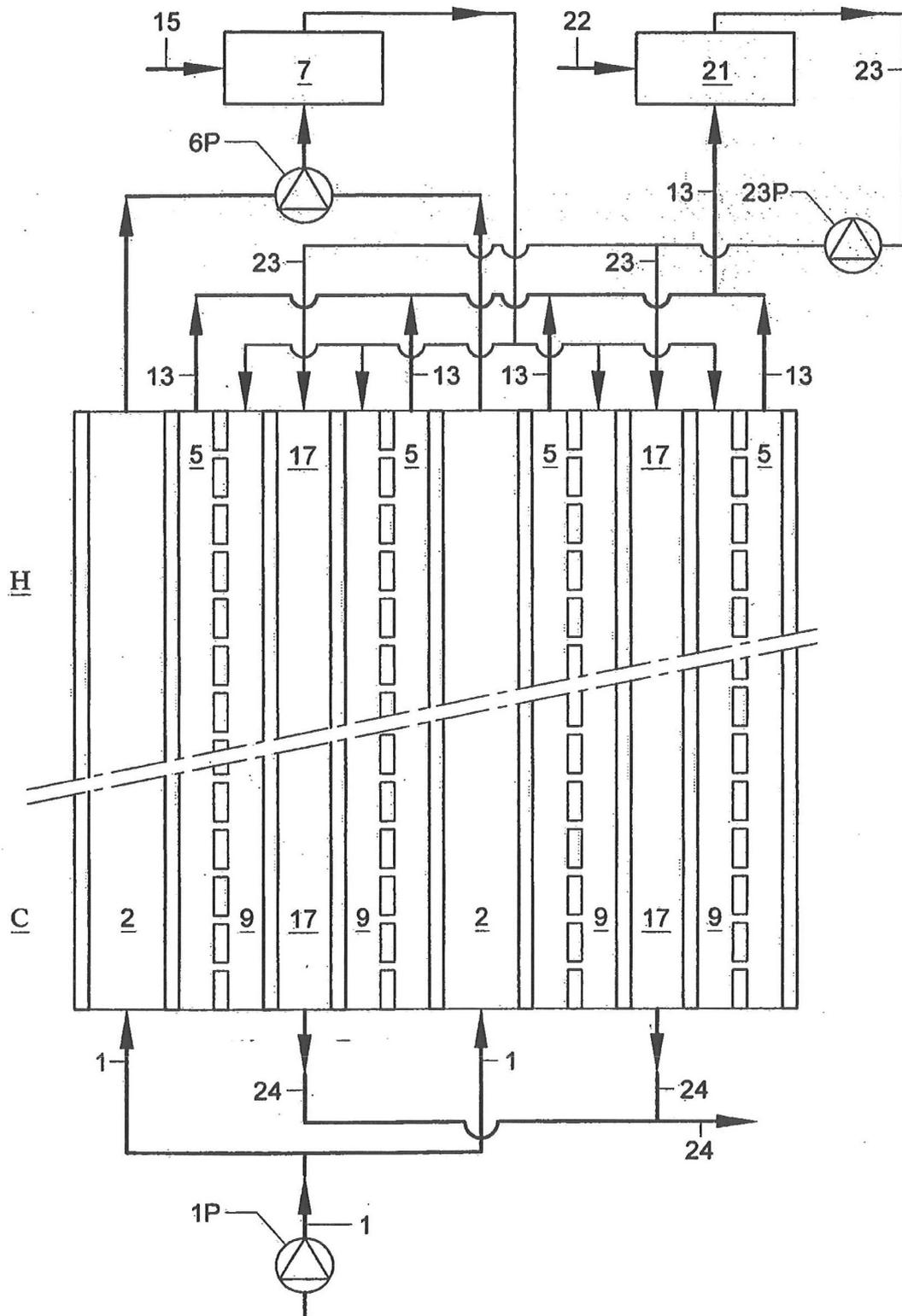


Fig. 5