

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 761 330**

51 Int. Cl.:

**B01D 61/36** (2006.01)

**B01D 63/00** (2006.01)

**F28B 1/00** (2006.01)

**F28D 21/00** (2006.01)

**C02F 1/44** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.03.2012 PCT/AU2012/000215**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.09.2012 WO12116409**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.03.2012 E 12752470 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.10.2019 EP 2680955**

54 Título: **Sistema de intercambio de calor**

30 Prioridad:

**03.03.2011 AU 2011900759**

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

**19.05.2020**

73 Titular/es:

**VICTORIA UNIVERSITY (100.0%)  
St Albans Campus, PO Box 14428  
Melbourne, Victoria 8001, AU**

72 Inventor/es:

**DUKE, MIKEL, COLIN y  
HAUSMANN, ANGELA**

74 Agente/Representante:

**FÚSTER OLAGUIBEL, Gustavo Nicolás**

ES 2 761 330 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**

Sistema de intercambio de calor

**5 Campo de la invención**

La presente invención se refiere de manera general a un sistema de intercambio de calor y, más particularmente, a un aparato y sistema de intercambiador de calor de destilación por membrana. La invención es aplicable particularmente para su uso en aplicaciones de tratamiento de agua y a continuación en el presente documento será conveniente divulgar la invención en relación con esa aplicación a modo de ejemplo. Sin embargo, debe apreciarse que la invención no se limita a esa aplicación y puede usarse en cualquier sistema de proceso, tren de proceso o planta que incluya etapas de proceso tanto de intercambio de calor como de tratamiento de fluido.

**Antecedentes de la invención**

Se pretende que la siguiente discusión de los antecedentes de la invención facilite una comprensión de la invención. Sin embargo, debe apreciarse que la discusión no es un reconocimiento o admisión de que nada del material al que se hace referencia se publicara, conociera o formara parte del conocimiento común general en la fecha de prioridad de la solicitud.

La tecnología de intercambio de calor forma una parte extendida de muchos procesos químicos e industriales. Generalmente las corrientes de proceso necesitan un ajuste de calor para cumplir los requisitos para un proceso unitario, transporte, descarga o similares. El uso de las diferentes temperaturas de corrientes de proceso dentro de procesos industriales que usan, por ejemplo, metodología de análisis de pellizco, puede ayudar a minimizar el consumo de energía de procesos químicos. En muchos casos, el calor en exceso procedente de una o más corrientes de proceso puede transferirse a una corriente de proceso más fría a través de un intercambiador de calor.

También pueden requerirse agua de proceso purificada y/u otros líquidos en un gran número de procesos químicos e industriales. Puede producirse agua purificada usando varias operaciones unitarias, tales como destilación, osmosis, filtración por membrana o similares. Todos estos procesos requieren una cantidad significativa de energía para funcionar.

Un proceso que puede usarse para producir agua de proceso purificada es la destilación por membrana. La destilación por membrana es un método de separación en el que se usa una membrana porosa para separar una fase de vapor de una alimentación de líquido de vaporización caliente (o retenido) en un lado de la membrana y alimentar ese vapor a un fluido permeado de condensación fría, o en algunos casos a una superficie fría, en el otro lado. Se establece una diferencia de temperatura de presión de vapor a través de los lados de la membrana para crear una diferencia de presión de vapor entre los lados de membrana que es la fuerza motriz para la difusión. La diferencia de temperatura a través de la membrana puede crear convenientemente la diferencia de presión de vapor, pero también puede extraerse vapor de la membrana mediante otros medios. La separación se logra usando la volatilidad relativa de diversos componentes en el fluido de vaporización permitiendo que el vapor procedente de componentes en el fluido de vaporización de volatilidad superior pase a través de los poros de membrana mediante un mecanismo de convección o difusión. En el caso de membranas con poros más pequeños, la membrana también puede actuar selectivamente mediante separación basada en tamizado molecular y/o adsorción. Esto se denomina más habitualmente pervaporación. En cualquier caso, el vapor penetra a través de la membrana porosa y se condensa en la superficie o fluido más frío en el lado de permeado de condensación o en una unidad de condensador montada de manera externa. Por tanto, el vapor condensado se retira del retenido y por tanto resulta beneficioso en cuanto a su efecto para separar el vapor del retenido. Un ejemplo de tal beneficio es la desalinización de agua salada.

Hay cuatro tipos amplios de sistemas de destilación por membrana:

1. Destilación por membrana con contacto directo (DCMD), en la que tanto la corriente de vaporización de vaporización caliente como la corriente de condensación fría (corriente de destilado) están en contacto directo con la membrana.

2. Destilación por membrana con hueco de aire (AGMD), en la que una superficie de condensador que está en contacto con la corriente de condensación está separada de la membrana por un hueco de aire.

3. Destilación por membrana con gas de barrido (SGMD), en la que la porción vaporizada de la corriente de vaporización se retira en forma de vapor mediante un gas inerte.

4. Destilación por membrana a vacío (VMD), en la que la porción vaporizada de la corriente de vaporización se retira en forma de vapor mediante vacío.

Cada uno de estos sistemas de destilación por membrana requiere un sumidero y fuente de calor externos para

calentar el fluido de vaporización y enfriar el fluido de condensación. El fluido de vaporización se calienta normalmente usando fuentes residuales o derivadas de combustible (combustión). El fluido de condensación se enfría normalmente usando una ventilación de enfriamiento, tal como un enfriador por aire de convección.

- 5 La optimización energética de sistemas de destilación por membrana se ha concentrado generalmente en el uso de fuentes de calor económicas o residuales, por ejemplo calor de proceso residual y solar, para calentar y vaporizar la alimentación líquida de estos sistemas.

10 Por ejemplo, la publicación de patente japonesa JP62057611A describe un sistema de destilación por membrana con hueco de aire para desalinizar agua de mar usando calor residual de motor diésel procedente de un fluido de enfriamiento de ese motor. Este sistema de desalinización comprende dos placas de transferencia de calor de condensación no permeables proporcionadas en el exterior de dos membranas permeables, que forman un paso de condensado líquido entre las mismas, y dos placas de transferencia de calor de calentamiento no permeables ubicadas entre ambas membranas permeables, que forman un paso de fluido de fuente de calor entre las mismas.

15 Además, un paso de líquido de partida está formado entre la placa de transferencia de calor de calentamiento y la membrana permeable. Se hace pasar fluido de enfriamiento a partir de un motor diésel a través del paso de fluido de fuente de calor como fluido de fuente de calor. Se alimenta agua de mar al interior de un paso de líquido de enfriamiento para enfriar la placa de transferencia de calor y se envía el agua de mar calentada resultante al paso de líquido de partida para su destilación a través del sistema de destilación por membrana. Se obtiene eficiencia energética en este sistema captando calor perdido a partir del proceso de destilación por membrana en el agua de mar entrante antes de alimentarse al interior de la membrana de destilación por membrana.

20

25 La publicación de patente estadounidense US2010/0072135A1 describe una destilación por membrana en la que se crea un destilado haciendo pasar el calor de condensación (calor latente) hacia una superficie de condensador que está en contacto con la corriente de alimentación del sistema de destilación por membrana, permitiendo transferir al menos parte del calor latente a esa corriente de alimentación. De nuevo, se obtiene eficiencia energética en este sistema captando calor perdido a partir del proceso de destilación por membrana en la corriente de alimentación entrante antes de alimentarse a la membrana de destilación por membrana.

30 Además, el artículo "Membrane distillation and applications for water purification in thermal cogeneration plants" de Alaa Kullab y Andrew Martin, Separation and Purification Technology 76 (2011) 231-237 ("Kullab y Martin"), describe un proceso de destilación por membrana (MD) de tipo de cogeneración que usa calor residual producido a partir de un primer proceso industrial (suministro de calefacción urbana) para suministrar calor a un proceso industrial no relacionado (agua municipal, usada como agua de enfriamiento para el proceso de MD). La unidad de prueba produce de 1 a 2 m<sup>3</sup>/día de agua purificada. En este caso, la unidad de MD está usándose en una configuración de cogeneración, en la que calor residual procedente de un primer proceso industrial es útil en otra parte en otro proceso industrial. Por tanto, no se logra una eficiencia energética de proceso interno en cada proceso industrial individual.

35

40 Ninguno de estos sistemas de membrana anteriores ayuda a la optimización térmica de corrientes de proceso dentro de un proceso químico próximo y relacionado en esa planta, y más particularmente usa recirculación de calor interno para una planta o proceso industrial. La optimización energética de los sistemas se centra en la eficiencia energética del proceso de destilación por membrana de manera aislada con respecto al proceso químico global del que forma parte ese sistema de destilación por membrana.

45

Por tanto, sería deseable proporcionar un sistema de destilación por membrana que pueda proporcionar unos medios energéticamente más eficientes de calentar y enfriar las corrientes de proceso de un proceso químico o industrial ubicado de manera conjunta en una planta industrial, y más particularmente calentar y enfriar las corrientes de proceso usando recirculación de calor interno para una planta.

50

El documento US 4 476 024 describe una estructura de membrana compuesta para su uso en un aparato de destilación.

55 El documento WO 2005/089914 describe un método para destilar disoluciones, en particular para producir agua fresca a partir de agua de mar o agua salobre.

El documento US 2009/000939 describe un proceso de destilación por membrana en el que un líquido que va a concentrarse se separa a partir de un espacio de vapor mediante una pared de membrana o membrana permeable al vapor y estanca al líquido o agua.

60

El documento US 3 406 096 describe un aparato para destilación a presión hidrostática con membrana permeable al vapor.

65 El documento US 3 477 917 describe una destilación de efecto múltiple con membranas microporosas y recirculación de destilado.

**Sumario de la invención**

Un primer aspecto de la presente invención proporciona un intercambiador de calor según la reivindicación 1.

5 La presente solicitud de patente también describe un aparato de destilación por membrana que incluye una corriente de vaporización que comprende una mezcla de componentes, una corriente de condensación y una membrana ubicada entre la corriente de vaporización y la corriente de condensación. La corriente de vaporización y la corriente de condensación están en comunicación de fluido a través de la membrana. La membrana facilita la transferencia de al menos un componente volatilizado de la corriente de vaporización al interior de la corriente de condensación. El sistema también incluye una corriente de proceso caliente. También se proporciona una primera zona de transferencia de calor entre la corriente de proceso caliente y la corriente de vaporización. En uso, la primera zona de transferencia de calor facilita la transferencia de una cantidad de energía calorífica desde la corriente de proceso caliente hasta la corriente de vaporización para calentar la corriente de vaporización. El sistema también incluye una corriente de proceso fría. Las corrientes de proceso caliente y fría pueden formar parte de, o estar conectadas por conexión de fluido a, un proceso industrial ubicado de manera conjunta o generalmente próximo, y en algunos casos parte del mismo proceso industrial ubicado de manera conjunta o generalmente próximo. Más preferiblemente, las corrientes de proceso caliente y fría son corrientes de proceso internas de una planta o proceso industrial que se usan para recircular calor interno para ese proceso o planta. Se proporciona una segunda zona de transferencia de calor entre la corriente de condensación y la corriente de proceso fría. En uso, la segunda zona de transferencia de calor facilita la transferencia de una cantidad de energía calorífica desde la corriente de condensación hasta la corriente de proceso fría para producir una corriente de proceso fría calentada. Además, la corriente de proceso caliente y la corriente de proceso fría están separadas en cuanto a conexión de fluido de la corriente de vaporización y la corriente de condensación.

25 La presente invención resulta de la constatación de que pueden acoplarse procesos de destilación por membrana con funcionalidad de intercambio de calor para proporcionar un beneficio de ahorro de energía doble para un proceso químico/industrial. El sistema y aparato de la presente invención forman un intercambiador de calor que transfiere energía desde la corriente de proceso caliente hasta la corriente de proceso fría de un proceso industrial ubicado de manera conjunta o generalmente próximo, y más preferiblemente calentando y enfriando las corrientes de proceso caliente y fría usando recirculación de calor interno para una planta. El sistema y aparato también usan energía en corrientes de proceso calientes de un proceso industrial ubicado de manera conjunta o generalmente próximo para calentar el fluido de vaporización de un aparato de destilación por membrana. La energía transferida entre estas corrientes puede ser significativa en comparación con el calor expulsado a partir de los procesos (calor residual), que puede convertirse en una fuente de energía sustancial para la destilación por membrana.

35 En una realización preferida, el sistema y aparato usan energía en corrientes de proceso calientes de un único proceso o planta industrial para calentar el fluido de vaporización de un aparato de destilación por membrana, preferiblemente corrientes de proceso caliente y fría usando recirculación de calor interno para una planta. Con respecto a esto, el proceso de la presente solicitud puede usarse en procesos y plantas industriales en los que no es posible la cogeneración. La presente invención puede instalarse entre cualquier corriente de proceso de valor calorífico diferente, en la que resulta evidente que este calor tiene valor dentro del proceso en contraposición a necesitar simplemente deshacerse del mismo hacia un sumidero que afecta poco al funcionamiento de la planta o el proceso. La aplicabilidad de la presente invención abarca muchas más industrias que tan sólo plantas simplemente "térmicas", tal como queda cubierto por ejemplo por la disposición de MD comentada en Kullab y Martin.

45 Esto es una vista diferente de las consideraciones de eficiencia energética convencionales para destilación por membrana que se centra en que la destilación por membrana que obtiene calor a partir de fuentes residuales o a partir de combustibles sometidos a combustión reduzca, y en algunas formas evite sustancialmente, el uso de calor adicional en las operaciones globales de la planta y por tanto pueda reducir la carga de energía global en ese proceso y planta.

50 La presente invención también aumenta el beneficio de tratamiento de fluido interno dentro de un proceso industrial. Pueden tratarse corrientes de proceso dentro de un proceso industrial ubicado de manera conjunta o generalmente próximo usando destilación por membrana para mejorar su valor en aplicaciones tales como reutilización de agua o refinamiento de producto.

55 Debe entenderse que corriente de proceso caliente se refiere a una corriente de proceso que tiene un diferencial de temperatura con respecto a la corriente de vaporización y la corriente de condensación, en la que la corriente de proceso caliente está a una temperatura superior a la corriente de vaporización y la corriente de condensación. De manera similar, la corriente de proceso fría se refiere a una corriente de proceso que tiene un diferencial de temperatura con respecto a la corriente de vaporización y la corriente de condensación, en la que la corriente de proceso fría está a una temperatura inferior a la corriente de vaporización y la corriente de condensación. En estas realizaciones que tienen una corriente caliente y una corriente fría, debe entenderse que la corriente caliente está a una temperatura superior a la corriente fría. Las temperaturas exactas y el diferencial de temperatura dependen de la temperatura de vaporización deseable para la corriente de vaporización y la temperatura de condensación de la corriente de condensación. Por tanto, debe apreciarse que un gran número de diferenciales de temperatura son

posibles dentro del alcance de la presente invención.

El sistema y aparato de la presente invención actúan como un intercambiador de calor y calientan una corriente de proceso fría usando energía procedente de la corriente de proceso caliente. El aparato de destilación por membrana aprovecha trabajo a medida que transfiere de manera interna energía desde la corriente de proceso caliente (fuente de calor) hasta la corriente de proceso fría (sumidero de calor). En uso, puede transferirse una cantidad de energía calorífica desde la corriente de proceso caliente hasta la corriente de proceso fría para calentar la corriente de proceso fría. Esta cantidad de energía calorífica se transfiere preferiblemente a través de la primera zona de transferencia de calor, a través de la membrana y a través de la segunda zona de transferencia de calor. Debe apreciarse que la membrana transfiere calor latente y sensible desde la corriente de vaporización hasta la corriente de condensación.

Esta forma del sistema de destilación por membrana puede considerarse de manera conceptual como un intercambiador de calor que incluye un aparato de destilación por membrana en el que están ubicadas la corriente de vaporización, la corriente de condensación y la membrana. La corriente de proceso caliente y la corriente de proceso fría forman los dos flujos de proceso que fluyen al interior del intercambiador de calor a través del cual se transfiere calor latente y sensible.

La presente invención puede incorporar cualquier sistema o aparato de destilación por membrana convencional incluyendo (pero sin limitarse a) destilación por membrana con contacto directo (DCMD), destilación por membrana con hueco de aire (AGMD), destilación por membrana con gas de barrido (SGMD) o destilación por membrana a vacío (VMD). Todos estos sistemas requieren un sumidero y fuente de calor.

La membrana en el sistema y aparato de la presente invención actúa como barrera física entre las corrientes de vaporización y de condensación que sólo permite el transporte de vapor desde la corriente de vaporización caliente hasta la corriente de condensación enfriada. Preferiblemente, la membrana es sustancialmente hidrófoba, y más preferiblemente no humectante y microporosa. Las membranas adecuadas incluyen membranas basadas en etileno-clorotrifluoroetileno (Halar), politetrafluoroetileno (PTFE), polipropileno (PP), polietileno (PE) o poli(fluoruro de vinilideno) (PVDF). Las membranas pueden tener cualquier configuración adecuada incluyendo membranas de fibras huecas, lámina, tubular, placa, tipos de estera o similares. El sistema también se extiende a membranas inorgánicas (incluyendo cerámicas), así como las membranas inorgánicas y poliméricas con una capacidad selectiva (es decir membranas de pervaporación).

El sistema de intercambiador de calor y el aparato de destilación por membrana también pueden incluir un sistema de recuperación de calor que facilita la transferencia de una cantidad de energía calorífica desde la corriente de proceso fría calentada hasta la corriente de vaporización. En algunas realizaciones, el sistema de recuperación de calor es un precalentador que precede a la primera zona de transferencia de calor.

La primera zona de transferencia de calor y/o la segunda zona de transferencia de calor pueden comprender un intercambiador de calor. Son posibles diversos intercambiadores de calor, incluyendo, pero sin limitarse a, un intercambiador de calor de carcasa y tubos, intercambiador de calor de placas, intercambiador de calor adiabático, intercambiador de calor de placas, intercambiador de calor de aletas, intercambiador de calor de placas de almohadilla, intercambiadores de calor de fluido, unidades de recuperación de calor residual, intercambiador de calor de superficie rascada dinámica, intercambiadores de calor de cambio de fase, intercambiadores de calor de contacto directo, bobinas de aire de HVAC o intercambiadores de calor en espiral. En formas preferidas, al menos una o cada una de la primera zona de transferencia de calor o la segunda zona de transferencia de calor comprende un intercambiador de calor de placas.

Las zonas de transferencia de calor primera y segunda pueden estar alojadas en un aparato o recipiente de proceso independiente con respecto a un recipiente de proceso que incluye la membrana. Por ejemplo, las zonas de transferencia de calor primera y segunda pueden estar alojadas en un intercambiador de calor independiente. En otras realizaciones, las zonas de transferencia de calor primera y segunda pueden estar alojadas en el mismo aparato o recipiente de proceso que incluye la membrana. Preferiblemente, la primera zona de transferencia de calor está ubicada generalmente próxima a la membrana. De manera similar, preferiblemente la segunda zona de transferencia de calor está ubicada generalmente próxima a la membrana. Normalmente cada una de las zonas de transferencia de calor primera y segunda estará ubicada de manera conjunta con la membrana en un recipiente de proceso. En estas realizaciones, se transfiere calor entre la corriente de proceso caliente y la corriente de vaporización y/o entre la corriente de condensación y la corriente de proceso fría de manera sustancialmente simultánea cuando la corriente de vaporización y la corriente de condensación entran en contacto con la membrana.

El sistema de intercambiador de calor y el aparato de destilación por membrana de la presente invención usan preferiblemente fuentes de calor residual en un proceso ubicado de manera conjunta o generalmente próximo (en contraposición a fuentes valiosas) para calentar la corriente de vaporización para impulsar la separación de los componentes en la corriente de vaporización. Por ejemplo, en una realización la corriente de proceso caliente y/o la corriente de proceso fría son corrientes de proceso de una planta de procesamiento de productos lácteos. Por ejemplo, la corriente de proceso caliente puede ser una corriente de proceso de suero de leche. Además, la

corriente de vaporización puede ser una corriente de agua, una corriente de agua residual que se trata, y en algunos casos se purifica sustancialmente, cuando el componente de agua vaporizado de esa corriente de agua residual pasa a través de la membrana. En algunas realizaciones, la corriente de vaporización puede ser una corriente de agua o líquido que experimenta concentración mediante la vaporización de un componente.

5 La corriente de proceso caliente y la corriente de proceso fría son preferiblemente corrientes de proceso que se enfrían y se calientan, respectivamente, en el proceso ubicado de manera conjunta o generalmente próximo. La temperatura deseada de cada una de estas corrientes se usará normalmente en un intercambiador de calor para obtener la temperatura deseada. El sistema de membrana de la presente invención puede usarse en este  
10 intercambiador de calor para proporcionar beneficios de tratamiento de fluido adicionales para fluidos de proceso, por ejemplo agua de proceso, en ese proceso. Preferiblemente, la corriente de proceso caliente y las corrientes de proceso frías del sistema de intercambiador de calor están separadas en cuanto a conexión de fluido de la corriente de vaporización y la corriente de condensación.

15 El aparato de destilación por membrana de la presente invención se construye preferiblemente como un módulo.

### Breve descripción de los dibujos

Ahora se describirá la presente invención con referencia a las figuras de los dibujos adjuntos, que ilustran realizaciones particulares preferidas de la presente invención, en las que:

La figura 1 es una representación esquemática amplia de un sistema de intercambiador de calor según una realización de la presente invención.

25 La figura 2 es un diagrama de flujo de proceso que ilustra un sistema de intercambiador de calor según una realización de la presente invención que incluye un sistema de destilación por membrana con contacto directo.

La figura 3 muestra la configuración general de un sistema de destilación por membrana con contacto directo modificado que incluye un sistema de intercambio de calor directo según una realización de la presente invención.

30 La figura 4 muestra un intercambiador de calor de destilación por membrana (MDHX) de prototipo construido según una realización de la presente invención.

La figura 5 proporciona datos experimentales a partir del módulo de sistema de intercambio de calor de destilación por membrana (MDHX) de prototipo mostrado en la figura 4 en comparación con datos experimentales a partir de un sistema de destilación por membrana convencional.

La figura 6 muestra un sistema de MD convencional (técnica anterior) en modo de contacto directo.

40 La figura 7 muestra la configuración general de un sistema de intercambio de calor de destilación por membrana según una realización de la presente invención en una configuración de proceso para reducir los requisitos de electricidad de bombeo.

### Descripción detallada

45 Las figuras 1 a 3 ilustran un nuevo sistema 10 de proceso, denominado a continuación en el presente documento intercambiador de calor de destilación por membrana (MDHX) que funciona como intercambiador de calor en la industria de procesamiento, y usa el intercambio de calor para tratar una corriente de proceso independiente (corriente 12 de vaporización en las figuras 1 a 3) para mejorar el valor de esa corriente para otros usos. Por  
50 ejemplo, esa corriente 12 puede ser una corriente de agua de proceso que se purifica para su reutilización o desarrollo de producto o puede ser una corriente de proceso que se purifica o se concentra para su reutilización o desarrollo de producto.

Tal como se muestra mejor en la figura 1, el intercambiador 10 de calor de destilación por membrana incluye una corriente 14 de proceso caliente conectada por conexión de fluido a un proceso industrial (no mostrado), una corriente 16 de proceso fría conectada por conexión de fluido a un proceso industrial (no mostrado), preferiblemente el mismo proceso industrial que la corriente 14 de proceso caliente, y un sistema 18 de destilación por membrana. El sistema 18 de destilación por membrana incluye una corriente 12 de vaporización, en este caso agua de proceso usada, una corriente 20 de condensación que comprende agua purificada, una corriente 22 de rechazo que  
60 comprende agua contaminada concentrada, y una membrana (no mostrada en la figura 1, pero componente 30 en las figuras 2 y 3) ubicada entre la corriente 12 de vaporización, la corriente 22 de rechazo y la corriente 20 de condensación. La corriente 14 de proceso caliente y la corriente 16 de proceso fría están separadas en cuanto a conexión de fluido de la corriente 12 de vaporización y la corriente 20 de condensación.

65 La corriente 12 de vaporización y la corriente 22 de rechazo están ubicadas en un lado de la membrana 30 y la corriente 20 de condensación está en el otro lado de la membrana. La corriente 12 de vaporización y la corriente 20

de condensación están en comunicación de fluido a través de la membrana 30. La membrana 30 facilita la transferencia de agua volatilizada de la corriente 12 de vaporización al interior de la corriente 20 de condensación, purificando así ese agua. El agua restante en la corriente 12 de vaporización que no se evapora en el sistema 18 de destilación por membrana y se transporta a través de la membrana 30 sale del sistema 18 de destilación por membrana mediante la corriente 22 de rechazo como un producto de agua contaminada concentrada.

Debe apreciarse que el intercambiador 10 de calor de destilación por membrana también puede concentrar una corriente 12 de vaporización, por ejemplo una corriente de producto tal como producir un concentrado de proteína de alto valor. En esta realización, la corriente 22 de rechazo comprenderá el producto de alto valor concentrado.

El intercambiador 10 de calor de destilación por membrana también incluye una primera zona 24 de transferencia de calor entre la corriente 14 de proceso caliente y la corriente 12 de vaporización. En uso, la primera zona 24 de transferencia de calor facilita la transferencia de una cantidad de energía calorífica desde la corriente 14 de proceso caliente hasta la corriente 12 de vaporización para calentar la corriente 12 de vaporización hasta una temperatura en la que la presión parcial de agua volatilizada es suficiente en la corriente 12 de vaporización como para pasar a través de la membrana. El intercambiador 10 de calor de destilación por membrana también incluye una segunda zona 26 de transferencia de calor entre la corriente 20 de condensación y la corriente 16 de proceso fría. En uso, la segunda zona 26 de transferencia de calor facilita la transferencia de una cantidad de energía calorífica desde la corriente 20 de condensación hasta la corriente 16 de proceso fría. Esto enfría la corriente 20 de condensación, que se calienta mediante transferencia de calor latente y sensible a partir de la corriente 12 de vaporización a través de la membrana 30, y también calienta la corriente 16 de proceso fría.

La corriente 14 de proceso caliente y la corriente 16 de proceso fría comprenden preferiblemente corrientes de proceso que se enfrían y se calientan, respectivamente, en el proceso industrial ubicado de manera conjunta o generalmente próximo. En realizaciones alternativas (no ilustradas), la corriente 16 de proceso fría puede sustituirse por una corriente de refrigerante u otro sumidero de calor sin alejarse del alcance de la presente invención. No obstante, debe apreciarse que se obtendrá un uso óptimo de energía para un proceso industrial usando una corriente 16 de proceso fría a partir de ese proceso industrial.

La membrana 30 usada en el sistema 18 de destilación por membrana es una membrana no humectante y microporosa. Pueden usarse una o más membranas para realizar la función de separación descrita anteriormente. Las membranas 30 adecuadas incluyen membranas basadas en etileno-clorotrifluoroetileno (Halar), politetrafluoroetileno (PTFE), polipropileno (PP), polietileno (PE) o poli(fluoruro de vinilideno) (PVDF). La membrana o las membranas 30 pueden tener cualquier configuración adecuada incluyendo membranas de fibras huecas, lámina, tubular, placa, tipos de estera o similares.

La primera zona 24 de transferencia de calor y la segunda zona 26 de transferencia de calor están configuradas para transferir calor entre las corrientes 12, 14, 16, 20 de proceso respectivas. En algunas realizaciones, por ejemplo tal como se muestra en la figura 2, cada una de la primera zona 24 de transferencia de calor y la segunda zona 26 de transferencia de calor es un intercambiador de calor. Son posibles diversos intercambiadores de calor, tales como intercambiadores de calor de carcasa y tubos, intercambiadores de calor de placas o similares.

La figura 2 muestra una forma del intercambiador 10A de calor de destilación por membrana según la presente invención que incluye un módulo 18 de aparato de destilación por membrana independiente en el que están alojadas la corriente 12 de vaporización, la corriente 20 de condensación, la corriente 22 de rechazo y la membrana 30. La corriente 14 (entrada), 14A (salida) de proceso caliente y la corriente 16 (salida), 16A (entrada) de proceso fría están conectadas a la corriente 12 de vaporización y las corrientes 20 de condensación de ese módulo 18 a través de intercambiadores 24, 26 de calor individuales. Se alimenta una corriente 12A de alimentación, tal como agua que va a purificarse o similar, al interior del sistema y se descarga una corriente 20A de agua tratada.

Este sistema 10A de destilación por membrana también incluye un sistema de recuperación de calor en forma de un precalentador 32 (mostrado dividido en dos componentes a cada lado del módulo de membrana) que facilita la transferencia de cantidad de energía calorífica desde la corriente 20 de proceso fría calentada hasta la corriente 12 de vaporización a través de la trayectoria 36 de calor.

El intercambiador 26 de calor incluye un sumidero de calor que comprende normalmente la corriente de proceso fría que fluye a través del intercambiador 26 de calor (a través de la corriente 16A de entrada y sale como corriente 16 calentada) pero en algunas realizaciones puede incluir una fuente de sumidero de calor adicional.

El módulo 18 de membrana para el sistema 10A de MDHX mostrado en la figura 2 puede ser cualquiera de los módulos de destilación por membrana convencionales actualmente disponibles en el mercado. La presente invención puede incorporar cualquier sistema o aparato de destilación por membrana convencional incluyendo (pero sin limitarse a) destilación por membrana con contacto directo (DCMD), destilación por membrana con hueco de aire (AGMD), destilación por membrana con gas de barrido (SGMD) o destilación por membrana a vacío (VMD).

La figura 3 muestra una realización adicional del sistema 10B de destilación por membrana según la presente

invención en la que el diseño del sistema de destilación por membrana convencional se ha modificado para aumentar la eficiencia de transferencia de calor del intercambiador 10B de calor de destilación por membrana. En este caso, las zonas 24 y 26 de transferencia de calor primera y segunda están próximas y paralelas a la membrana 30 ubicándose cada una de estas zonas 24, 26 de transferencia de calor de manera conjunta con la membrana en el módulo. Se transfiere calor entre la corriente 14 de proceso caliente y la corriente 12 de vaporización y entre la corriente 20 de condensación y la corriente 16 de proceso fría cuando la corriente 12 de vaporización y la corriente 20 de condensación entran en contacto con la membrana 30. Debe apreciarse que las diversas corrientes de proceso pueden fluir en una configuración a contracorriente, corriente paralela o de flujo transversal para lograr esta transferencia de calor.

Sin desear limitarse a ninguna teoría, el solicitante considera que el rendimiento de un proceso de destilación por membrana depende sustancialmente de la distribución de calor sobre el área de superficie de toda la membrana. En los diseños de módulo de destilación por membrana convencionales, se añade calor a la corriente de vaporización antes de entrar en el módulo. Por tanto, el efecto de destilación por membrana (evaporación en el lado caliente, condensación en el lado frío y conducción de calor sensible) dentro del módulo tiene un perfil de temperatura decreciente a lo largo de la longitud de la membrana y una eficiencia reducida. Esto se debe a que la temperatura de ciclo caliente disminuye mientras pasa a lo largo de la membrana, asimismo la temperatura de lado frío aumenta. El resultado es una reducción en la fuerza motriz a través de la membrana. Tal como se muestra en el sistema 10B de destilación por membrana ilustrado en la figura 3, añadir el calor directamente a la corriente 12 de vaporización dentro del módulo 10B adyacente a la membrana 30, y asimismo extraer calor a partir de la corriente 20 de condensación dentro del módulo 10B adyacente a la membrana 30, puede reducir este problema de una manera que se reduce o se elimina sustancialmente la disminución de temperatura a lo largo de la membrana en la corriente 12 de vaporización y la corriente 20 de condensación, aumentando así la fuerza motriz de área total de la membrana.

El sistema 10B de destilación por membrana en la figura 3 incluye una configuración de DCMD. Debe entenderse que esta modificación se aplicará igualmente en configuraciones de AGMD y puede incorporarse en configuraciones de SGMD y VMD. Debe apreciarse que los diseños de SGMD y VMD necesitarán albergar una unidad de condensación necesaria para estos sistemas.

## Ejemplos

### Ejemplo 1 – Integración de proceso de productos lácteos

En un proceso de productos lácteos, de manera rutinaria se enfría suero de leche desde 45°C hasta aproximadamente 30°C mediante un intercambiador de calor acoplado a la corriente de leche entrante que calienta esta corriente hasta desde 6°C hasta aproximadamente 27°C. En este ejemplo, el calor transferido es de aproximadamente 2300 kW.

El calor transferido en esta operación puede hacerse pasar a través de un sistema de MDHX según la presente invención. Suponiendo una demanda de energía de destilación por membrana (MD) de 100 kWh por m<sup>3</sup> de agua recuperada, el ejemplo de producto lácteo que transfiere 2300 kW de calor equivale a una capacidad de recuperación de agua mediante un sistema de MDHX según la presente invención de 23 m<sup>3</sup>/hora. En la misma planta, esta capacidad de tratamiento es suficiente para tratar toda el agua requerida para procedimientos de limpieza existentes. Alternativamente, esta energía también puede usarse para propósitos de concentración en lugar de, o además de, para recuperar agua.

### Ejemplo 2 - Resultados a escala de banco

Se construyó un prototipo de módulo MDHX y se ilustra en la figura 4. En la figura 4 se indican los orificios de intercambio de calor (HE) calientes (Caliente<sub>entrada</sub> y Caliente<sub>salida</sub>) y puertos de destilación por membrana (MD) de alimentación (Alimentación<sub>entrada</sub> y Alimentación<sub>salida</sub>). Debe apreciarse que los orificios de intercambio de calor frío y de permeado de destilación por membrana están ubicados en un lado del módulo que no es visible en la figura 4. Hay un total de ocho orificios en este MDHX de prototipo.

Se estableció un experimento usando el MDHX de prototipo mostrado en la figura 4. En el experimento, se hizo funcionar el MDHX de prototipo como módulo de destilación por membrana normal, sin el uso de la sección de intercambio de calor y los orificios de intercambio de calor. Después se usaron las mismas condiciones haciendo funcionar el MDHX de prototipo con la sección de intercambio de calor en funcionamiento. La velocidad de flujo alimentada a los lados de alimentación y de permeado de MD se hizo variar para una configuración tanto de MD normal como de MDHX.

La figura 5 proporciona datos experimentales a partir de un módulo de MDHX de prototipo en comparación con un sistema de destilación por membrana convencional. El rendimiento se expresa como recuperación de un único pase relacionada con velocidades de flujo de canal de MD.

En la figura 5 se muestra el efecto con respecto al flujo, expresado en cuanto a la recuperación de un único pase (o la razón del flujo de permeado con respecto al flujo de alimentación). Se mantuvieron las condiciones de canal de HX a 55°C en el lado caliente (Caliente<sub>entrada</sub> y Caliente<sub>salida</sub>), 5°C en el lado frío (Frío<sub>entrada</sub> y Frío<sub>salida</sub>) y se mantuvo el flujo a 800 ml/min (velocidad lineal de 0,13 m/s). En este caso, para este MDHX de prototipo, velocidades de flujo superiores a 200 ml/min proporcionan un rendimiento similar al sistema sólo de MD, pero a medida que disminuye la velocidad de flujo, hay un gran aumento en la recuperación de un único pase (de al menos 7 veces medido de manera experimental) porque la temperatura perdida en el canal caliente de MD se recarga mediante el canal caliente de HX. Asimismo, se extrae el calor a partir del lado de permeado de MD mediante el canal frío de HX garantizando una disminución de temperatura eficaz (es decir, fuerza motriz) a través de la membrana a bajos flujos de alimentación. La ventaja de una recuperación de un único pase aumentada equivale a una recirculación menor para lograr una recuperación completa (es decir, múltiples pases reducidos) lo cual conduce a menos requisito de bombeo, y por tanto menos electricidad para la misma cantidad de agua tratada.

La figura 5 también muestra que las condiciones de temperatura en los canales marcados en los diagramas insertados de canal de MD. En modo de MD normal, la corriente de Alimentación<sub>entrada</sub> a 45°C disminuye hasta 39°C (Alimentación<sub>salida</sub>). Esta disminución se debe a la transferencia de calor sensible a partir de la conducción así como la transferencia de calor latente a partir de flujo de membrana. Este calor se transfiere a la corriente de permeado de MD haciendo que aumente hasta 33°C desde 10°C. Hay una mejora mediante el sistema de MDHX en los mismos perfiles de temperatura en los que la corriente de alimentación de MD ahora sólo disminuye hasta 39°C, y asimismo la corriente de permeado de MD sólo aumenta hasta 24°C. Esto se debe a que los lados caliente y frío de HX añaden y extraen calor a partir de los lados de alimentación y permeado de MD, respectivamente. Por tanto, para la misma velocidad de flujo, hay una fuerza motriz mayor a través de la membrana, conduciendo a un flujo superior y por tanto una recuperación de un único pase superior.

### Ejemplo 3 - Reducción de la energía eléctrica requerida

Se hizo funcionar un sistema de destilación por membrana (MD) convencional mostrado en la figura 6 en comparación con un sistema de intercambio de calor (HXMD) de destilación por membrana según la presente invención mostrado en la figura 7.

En el funcionamiento del sistema de MD mostrado en la figura 6, una disolución de partida que va a tratarse mediante MD entra en la "alimentación 100 de MD", después entra en un bucle 102 de recirculación caliente bombeado mediante una bomba "P01". La disolución en el ciclo 102 se calienta mediante un intercambiador de calor "HX01" en el que se añade energía calorífica mediante  $Q_{EXTHX,entrada}$  104, en este caso una fuente de calor externa, tal como una bobina de calentamiento. Después la disolución pasa al interior del módulo 110 de MD en el que se retira algo de permeado tratado a partir del ciclo 102 mediante la membrana 112 en un único pase tras lo cual después sale del módulo 110. Se extrae una porción de retenido a partir de la corriente 106 de salida de módulo al interior de una corriente 108 de rechazo, mientras que la mayor parte restante vuelve a la entrada de P01 a través de la corriente 109 de recirculación. El permeado que se trató mediante la membrana está ahora en el bucle 120 de permeado más frío en el que se extrae mediante la bomba P02 a través de la corriente 122 de salida, después fluye al intercambiador de calor HX02 que enfría el bucle según el calor extraído  $Q_{EXTHX,salida}$  124. Una porción de permeado limpio se retira de la corriente 126, en la corriente 128 de descarga que se convierte en agua de producto, mientras que el resto se devuelve al módulo 110 mediante la corriente 129 de alimentación para continuar el bucle 120 de permeado.

Normalmente se encuentra que, debido a restricciones termodinámicas, un único pase en un módulo de MD normal puede tomar no más del ~2% del flujo que entra en el módulo (figura 6). Esto es altamente desfavorable para un proceso de desalinización típico que tiene como objetivo recuperar del 50% al 90% (y más) del agua alimentada al sistema. Con el fin de lograr esto mediante MD, debe recircularse el agua más de 30 veces para lograr una recuperación práctica de agua de alimentación. Esto conduce a bombas P01 y P02 suficientemente grandes que consumen electricidad, anulando por tanto la posibilidad de MD como proceso de bajo consumo de energía.

El solicitante ha encontrado que un módulo de HXMD según la presente invención puede establecerse para reducir los requisitos de bombeo, tal como se muestra en la figura 7.

Esta configuración tiene la misma configuración general que el sistema de MD en la figura 6 con la inclusión de una fuente 130 de alimentación de calentamiento y fuente 132 de alimentación de enfriamiento no conectadas por conexión de fluido conectadas directamente al módulo 110A de HXMD. Debe observarse que a características en la figura 7 similares al módulo de MD en la figura 6 se les ha dado el mismo número de referencia más una referencia "A". La inclusión de fuente 130 de alimentación de calentamiento y fuente 132 de alimentación de enfriamiento no conectadas por conexión de fluido transfiere el trabajo de calentamiento de HX01A y HX02A a los fluidos de calentamiento/enfriamiento externos. Resulta viable que HX01A y HX02A se retiren completamente.

Usando los datos experimentales de la figura 5 en la que se logró una recuperación de un único pase del 14%, los resultados en la tabla 1 demuestran que puede lograrse una reducción del 86% en la electricidad requerida para las bombas P01A y P02A para el sistema de HXMD mostrado en la figura 7 en comparación con un sistema de MD

convencional mostrado en la figura 6. La suposición clave en este ejemplo es el uso de un flujo idéntico tanto para MD como para HXMD para garantizar que se compara el mismo proceso global. Se supuso que la bomba funciona contra los intercambiadores de calor y canales de módulo hasta una caída de presión de 20 kPa, lo cual es típico en la experiencia del solicitante con módulos de MD. Se supuso que ambas bombas circulan a la misma velocidad.

5

Tabla 1: parámetros de entrada y resultados de rendimiento de sistemas de MD y HXMD

Parámetro	Unidades	MD	HXMD
Flujo	ml/min	2,8	2,8
Velocidad de alimentación	ml/min	140	20
Presión de bomba	kPa	20	20
Eficiencia de bomba	%	80	80
Potencia de árbol de bomba	mW	56	8,1
Electricidad de bomba total	mW	113	16
Requisito eléctrico específico	kWh/m <sup>3</sup>	0,67	0,096
Reducción de electricidad	%	----	86

10 En la tabla 1 se observa, que el requisito eléctrico específico de MD es inferior (0,67 kWh/m<sup>3</sup>), pero todavía relativamente alto en comparación con plantas de desalinización del estado de la técnica que usan aproximadamente 3 kWh de electricidad por cada metro cúbico de agua fresca producida (es decir, 3 kWh/m<sup>3</sup>). HXMD mejora el requisito eléctrico específico de MD convencional hasta <0,1 kWh/m<sup>3</sup>. Este ejemplo por sí solo demuestra unos medios viables para HXMD para aprovechar calor, por ejemplo a partir de fuentes industriales residuales o en intercambio de calor de proceso convencional, para producir un agua de proceso tratada con un requisito de electricidad mínimo. Un requisito eléctrico reducido significa, por ejemplo, menos emisiones de gases con efecto invernadero asociadas con la producción de electricidad.

15

20 Cuando se usan los términos “comprender”, “comprende”, “comprendido” o “que comprende” en esta memoria descriptiva (incluyendo las reivindicaciones), debe interpretarse que especifican la presencia de las características, números enteros, etapas o componentes mencionados, pero que no excluyen la presencia de una o más de otras característica, número entero, etapa, componente o grupo de los mismos.

20

**REIVINDICACIONES**

1. Intercambiador (10A, 10B) de calor configurado de tal manera que una cantidad de energía calorífica se transfiere desde una corriente (14) de proceso caliente hasta una corriente (16) de proceso fría para calentar la corriente (16) de proceso fría, incluyendo el intercambiador (10A, 10B) de calor:
  - una corriente (14) de proceso caliente conectada por conexión de fluido a un proceso industrial;
  - una corriente (16) de proceso fría conectada por conexión de fluido a un proceso industrial; y
  - un sistema (18) de destilación por membrana que incluye:
    - una corriente (12) de vaporización que comprende una mezcla de componentes;
    - una corriente (20) de condensación;
    - una membrana (30) ubicada entre la corriente (12) de vaporización y la corriente (20) de condensación, estando la corriente (12) de vaporización y la corriente (20) de condensación en comunicación de fluido a través de la membrana (30), facilitando la membrana (30) la transferencia de al menos un componente volatilizadado de la corriente (12) de vaporización al interior de la corriente (20) de condensación;
  - en el que el intercambiador (10A, 10B) de calor comprende además:
    - una primera zona (24) de transferencia de calor entre la corriente (14) de proceso caliente y la corriente (12) de vaporización que, en uso, facilita la transferencia de una cantidad de energía calorífica desde la corriente (14) de proceso caliente hasta la corriente (12) de vaporización para calentar la corriente (12) de vaporización, estando la primera zona (24) de transferencia de calor generalmente próxima a la membrana (30) de tal manera que, en uso, se transfiere calor entre la corriente (14) de proceso caliente y la corriente (12) de vaporización cuando la corriente (12) de vaporización entra en contacto con la membrana (30); y
    - una segunda zona (26) de transferencia de calor entre la corriente (20) de condensación y la corriente (16) de proceso fría que, en uso, facilita la transferencia de una cantidad de energía calorífica desde la corriente (20) de condensación hasta la corriente (16) de proceso fría, estando la segunda zona (26) de transferencia de calor generalmente próxima a la membrana (30) de tal manera que, en uso, se transfiere calor entre la corriente (20) de condensación y la corriente (16) de proceso fría cuando la corriente (20) de condensación entra en contacto con la membrana (30),
    - las zonas (24 y 26) de transferencia de calor primera y segunda están próximas y paralelas a la membrana (30) ubicándose cada una de estas zonas (24, 26) de transferencia de calor de manera conjunta con la membrana (30) en el intercambiador (10A, 10B) de calor,
    - la corriente (14) de proceso caliente y la corriente (16) de proceso fría están separadas en cuanto a conexión de fluido de la corriente (12) de vaporización y la corriente (20) de condensación,
    - caracterizado porque las corrientes (14, 16) de proceso caliente y fría son corrientes de proceso internas de una planta o proceso industrial que se usan para recircular calor interno para ese proceso o planta.
2. Intercambiador (10A, 10B) de calor según la reivindicación 1, en el que el sistema (18) de destilación por membrana incluye al menos uno de un sistema de destilación por membrana con contacto directo (DCMD), destilación por membrana con hueco de aire (AGMD), destilación por membrana con gas de barrido (SGMD) o destilación por membrana a vacío (VMD).
3. Intercambiador (10A, 10B) de calor según cualquier reivindicación anterior, que incluye además un sistema (26, 32, 36) de recuperación de calor que facilita la transferencia de una cantidad de energía calorífica desde la corriente (16) de proceso fría calentada por una cantidad de energía calorífica procedente de la corriente (20) de condensación, hasta la corriente (12) de vaporización, preferiblemente que comprende un precalentador.
4. Intercambiador (10A, 10B) de calor según cualquier reivindicación anterior, en el que al menos una de la primera zona (24) de transferencia de calor o la segunda zona (26) de transferencia de calor comprende un intercambiador de calor, preferiblemente un intercambiador de calor de placas.
5. Intercambiador (10A, 10B) de calor según cualquier reivindicación anterior, en el que la membrana (30) es una membrana microporosa no humectante.
6. Intercambiador (10A, 10B) de calor según cualquier reivindicación anterior, en el que la corriente (14) de

## ES 2 761 330 T3

proceso caliente y la corriente (16) de proceso fría son corrientes de proceso que se enfrían y se calientan, respectivamente, en un proceso industrial ubicado de manera conjunta o generalmente próximo.

- 5 7. Intercambiador (10A, 10B) de calor según cualquier reivindicación anterior, en el que la corriente (14) de proceso caliente es una fuente de calor residual en un proceso industrial ubicado de manera conjunta o generalmente próximo.
- 10 8. Intercambiador (10A, 10B) de calor según cualquier reivindicación anterior, en el que al menos una de la corriente (14) de proceso caliente o la corriente (16) de proceso fría es una corriente de proceso de una planta de procesamiento de productos lácteos.
9. Intercambiador (10A, 10B) de calor según la reivindicación 8, en el que la corriente (14) de proceso caliente comprende una corriente de proceso de suero de leche.
- 15 10. Intercambiador (10A, 10B) de calor según cualquier reivindicación anterior, en el que la corriente (12) de vaporización comprende una corriente de agua residual que se trata cuando pasa a través de la membrana (30).

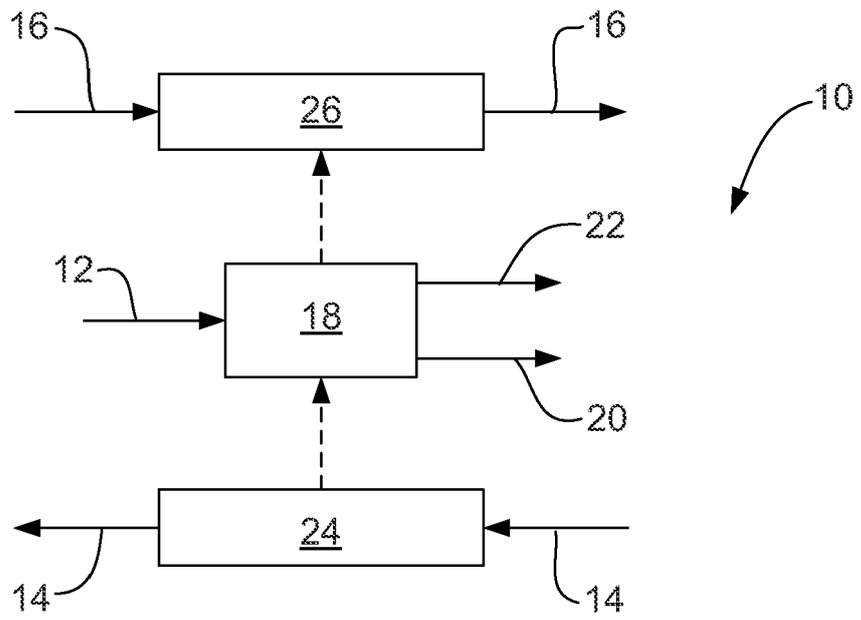


FIG 1

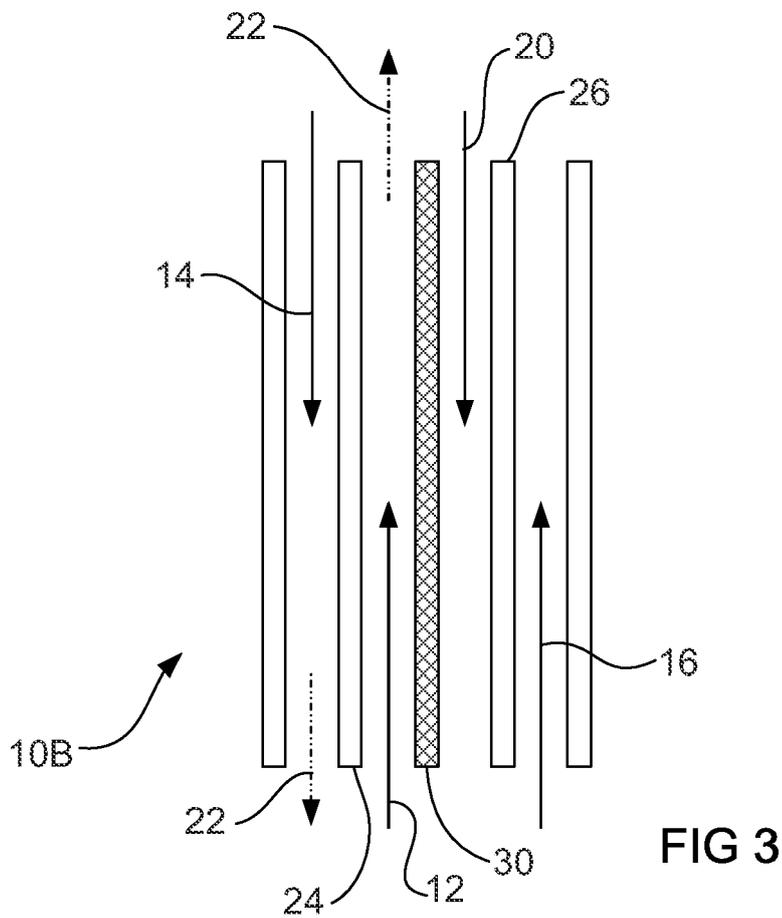
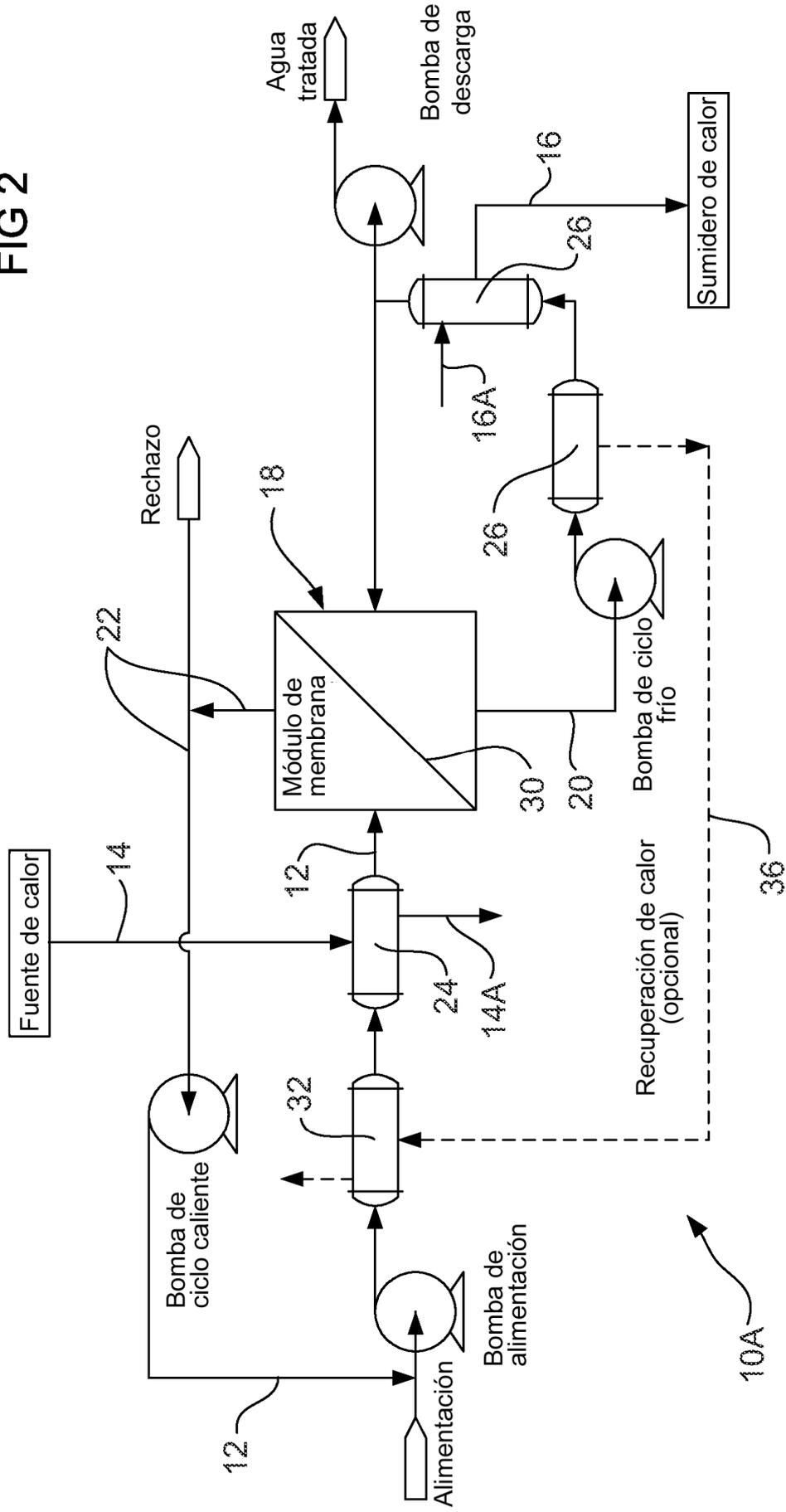
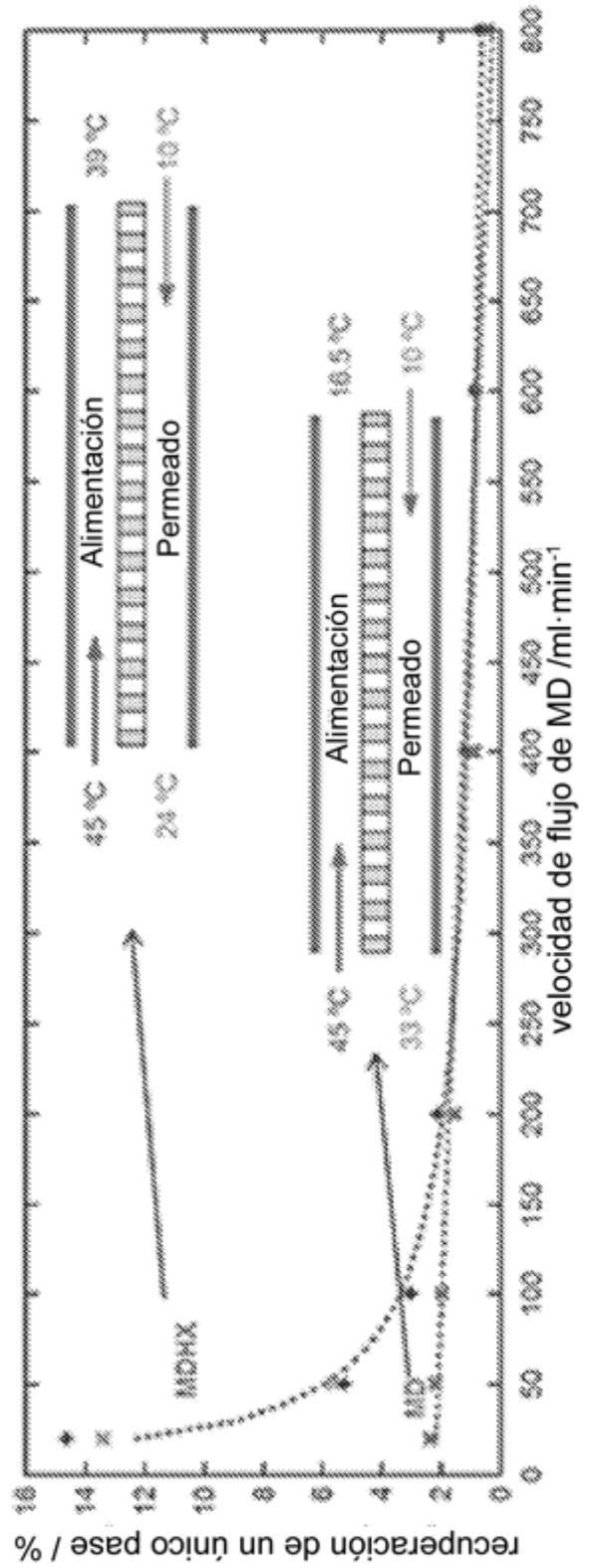
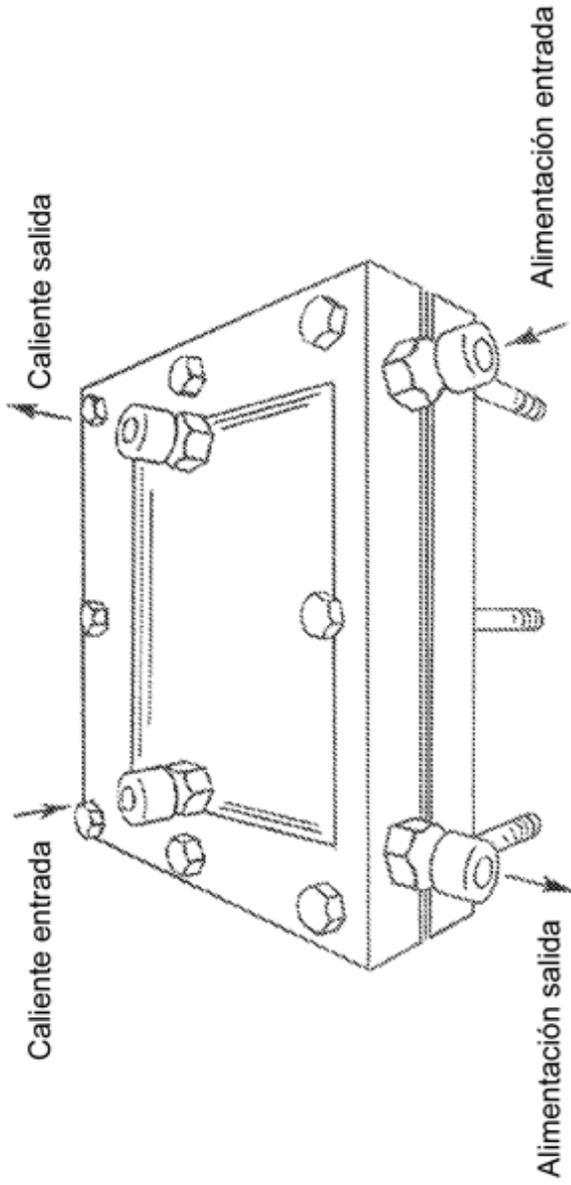


FIG 3

FIG 2





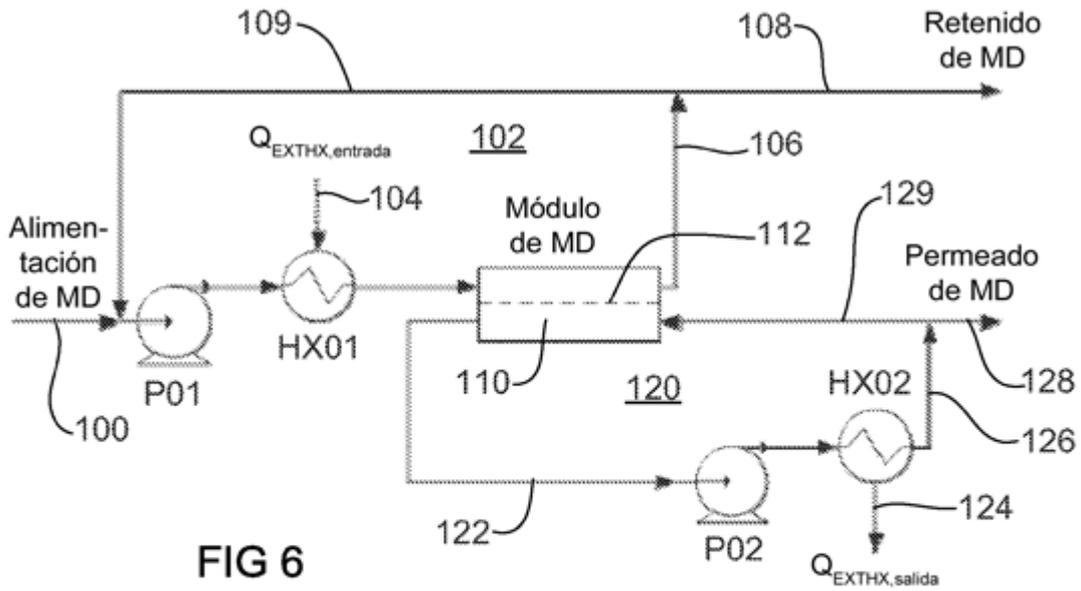


FIG 6

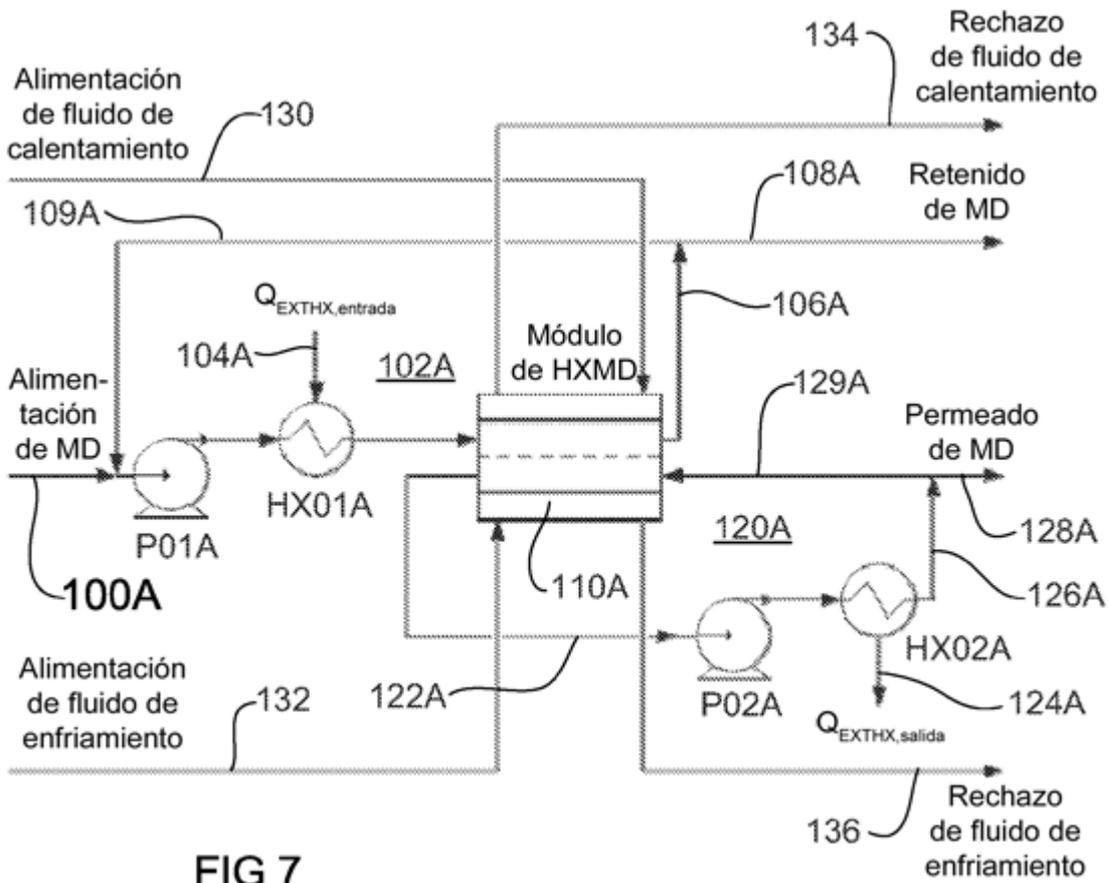


FIG 7