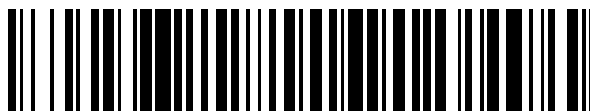


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 714 171**

51 Int. Cl.:

B01D 63/00 (2006.01)
B01D 61/00 (2006.01)
B01D 61/02 (2006.01)
B01D 61/14 (2006.01)
B01D 63/04 (2006.01)
B01D 63/12 (2006.01)
B01D 65/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.06.2006 PCT/IL2006/000728**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **28.12.2006 WO06137068**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.06.2006 E 06745167 (4)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.10.2018 EP 1893325**

54 Título: **Métodos para reposicionar elementos de flujo en una estructura de flujo cónico**

30 Prioridad:

23.06.2005 US 692963 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
27.05.2019

73 Titular/es:

**BEN GURION UNIVERSITY OF THE NEGEV
RESEARCH AND DEVELOPMENT AUTHORITY
(100.0%)
P.O. Box 653
84105 Beer-Sheva, IL**

72 Inventor/es:

GILRON, JACK L.

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 714 171 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

Métodos para reposicionar elementos de flujo en una estructura de flujo cónico

5 Muchas operaciones impulsadas por la presión, como las que se muestran en la Fig. 1A, se describen mediante un proceso como filtración de flujo cruzado o de flujo tangencial en el que una alimentación 11 dirigida hacia un módulo
10 de membranas se hace pasar en paralelo a la superficie de la membrana 14 en la que es dividido en dos corrientes. La primera corriente 12 es el permeado que pasa a través de una barrera 14 tipo membrana selectiva, y la corriente 13 restante a alta presión que sale del módulo 10 por el otro extremo es el concentrado. Una estructura en serie tipo módulo de membranas puede contener dos o más módulos de membranas conectados en serie en donde el concentrado de un módulo forma el flujo de alimentación del siguiente módulo aguas abajo. A medida que
10 más y más fluido se hace pasar a través de los módulos de membranas, el caudal del concentrado 13 se reduce gradualmente.

15 Si el caudal se reduce por debajo de un cierto nivel, entonces la acumulación de solutos rechazados y materia particulada en la superficie de la membrana no puede eliminarse de manera efectiva mediante el flujo tangencial y las fuerzas de cizalla del fluido que fluye en gran parte paralelo a la superficie de la membrana. Esta acumulación puede conducir al ensuciamiento de la membrana. Por ejemplo, la mayoría de los fabricantes de elementos de membrana enrollada en espiral requieren un cierto caudal mínimo para garantizar el funcionamiento correcto de sus elementos de membrana. Por ejemplo, la mayoría de los fabricantes de elementos de membrana enrollada en espiral de 20,32 cm (8 pulgadas) de diámetro requieren un mínimo de ~2,7 m³/h como flujo de salida del concentrado.

20 Si se coloca en serie más de un elemento enrollado en espiral en un recipiente a presión (es decir, un módulo de membranas), este mínimo se aplicará al flujo de salida del último elemento en el recipiente a presión. Al mismo tiempo, los fabricantes designan un caudal máximo para la alimentación dirigida a uno cualquiera de los elementos de membrana, de modo que las fuerzas de cizalla no deban perturbar mecánicamente el módulo. Por ejemplo, un caudal máximo típico es de 17 m³/h para un elemento enrollado en espiral de 20,32 cm (8 pulgadas) de diámetro. Si
25 se requiere una alta tasa de recuperación (es decir, el porcentaje de la corriente de alimentación recuperado como permeado), si entonces se colocan suficientes módulos de membranas en paralelo para evitar que se exceda la velocidad máxima de flujo por módulo de membranas, esto puede dar como resultado que el flujo de concentración fuera de cada módulo esté por debajo del caudal mínimo requerido.

30 Un método común para resolver este dilema es diseñar un sistema cónico de múltiples etapas como se muestra en la Fig. 1B. El sistema cónico mostrado en la Fig. 1B (también referido aquí como estructura de flujo cónico) consiste en una primera etapa I que tiene más módulos 10a en paralelo que en la segunda etapa II, de modo que el concentrado 15 que sale de la etapa I se divide entre un número menor de módulos 10b en la etapa II, de manera que el concentrado final 16 es tal que el flujo que sale de cada uno de los módulos 10b de la segunda etapa II tiene un caudal dentro de las indicaciones de los fabricantes.

35 En ocasiones, se puede usar una bomba de refuerzo (no mostrada) entre etapas para elevar la presión del concentrado 15 de la primera etapa I, de modo que se alimente una corriente más presurizada (15', no mostrada) a la segunda etapa II para superar la presión osmótica promedio más alta en la corriente de alimentación 15 a la segunda etapa, y proporcionar una distribución más equitativa del flujo de permeado (caudal de permeado por unidad de área de membrana) entre los elementos de membrana, 10a y 10b, de las dos etapas. En la tabla 1 se muestra una distribución típica de flujos en un sistema escalonado de flujo cónico.
40

Tabla 1: Descripción de las corrientes de flujo en una cascada cónica típica de dos etapas (cuatro módulos 10a en la primera etapa I y dos módulos 10b en la segunda etapa II, en donde cada módulo contiene seis elementos (14) de membrana enrollada en espiral de 20,32 cm (8 pulgadas) en serie). En este ejemplo, la alimentación 17 es un agua salobre con un contenido de TDS de 3350 mg/L.

Corriente	Alimentación (14)	Etapas I (15) de concentrado	Etapas I de concentrado que usa una bomba entre etapas (15')	Etapas II (16) de concentrado
Caudal total, m ³ /h	38,8	16,4	16,4	7,8
Caudal/módulo primera etapa	9,7	4,1		
Caudal/módulo segunda etapa			8,2	3,9
Presión, bar	6,7	5,3	9,3	8,3

45 El documento WO 2005/053824, cuyo contenido se incorpora a la presente memoria por referencia, describe un método y un sistema para evitar el ensuciamiento por precipitación en un módulo accionado por presión invirtiendo la

dirección de la alimentación suministrada al módulo de membranas. Para evitar la precipitación en el módulo de membranas, la dirección de alimentación se invierte alimentando alternativamente la alimentación a través de la línea de alimentación (11) y a través de la línea de concentrado (13), en donde la conmutación entre dichas líneas se realiza dentro de intervalos de tiempo más pequeños que el tiempo de inducción (τ).

5 El documento WO 2005/040930 se refiere a un dispositivo de desarrollo que comprende: (1) un sistema de circulación de revelador que tiene un baño de revelado donde se realiza el revelado, un depósito de circulación de revelador que contiene un revelador, un medio para suministrar el revelador al depósito de circulación del revelador al baño de revelado, y un medio para retornar el revelador al depósito de circulación del revelador después de que el revelador se haya usado para el revelado en el baño de revelado, (2) un filtro de ultrafiltración para separar el
10 revelador en un filtrado y un líquido concentrado, y (3) un sistema de circulación del filtrado/líquido concentrado que tiene un depósito de líquido concentrado por ultrafiltración que contiene una parte del revelador que se saca del depósito de circulación del revelador, un medio para suministrar el revelador del depósito de líquido concentrado de ultrafiltración al filtro de ultrafiltración, un medio para retornar el líquido concentrado separado por el filtro de ultrafiltración al depósito de líquido concentrado por ultrafiltración, y un medio para retornar el filtrado separado por el
15 filtro de ultrafiltración al sistema de circulación del revelador.

El documento WO 2005/030647 se refiere a un método proporcionado para la producción continua de aguas tratadas utilizando una planta de membranas dispuestas escalonadamente en forma cónica mediante un procedimiento de aislamiento por etapas bajo control lógico de proceso (PLC) y lavado concurrente con operación
20 continua de todas las demás etapas de la planta. Estos son sensores que suministran al PLC los datos requeridos para identificar la ubicación y el grado de ensuciamiento de las etapas; cuando se ensucia una etapa, el PLC ordena el inicio de una secuencia de aperturas y cierres de válvulas automáticas para: a) eliminar la etapa ensuciada del servicio de agua de alimentación, b) enjuagar y lavar la etapa, y c) volver a poner la etapa en servicio. Opcionalmente, una bomba (6) de agua de alimentación produce cantidades variables de permeado del proceso de membrana durante el tratamiento de ensuciamiento.

25 Por lo tanto, existe la necesidad de un método para prevenir eficazmente la precipitación en una estructura cónica de flujo.

Por lo tanto, un objeto de la presente invención es proporcionar un método y un sistema para alternar la dirección de la alimentación pasada por conjuntos de elementos de flujo (por ej., módulos de membranas) en una estructura de flujo cónico.

30 Otro objeto de la presente invención es proporcionar un método y un sistema para recolocar elementos de flujo (por ej., módulos de membranas) en una estructura de flujo cónico.

Es un objeto adicional de la presente invención proporcionar un método y un aparato para evitar la formación de incrustaciones (ensuciamiento) por precipitación en los módulos de membranas de una estructura de flujo cónico.

Sumario de la invención

35 La presente invención proporciona un método que se define mediante la reivindicación independiente 1. Las reivindicaciones dependientes describen realizaciones de la invención.

Específicamente, la presente invención proporciona un método para operar una disposición de flujo cónico impulsada por presión que contiene una pluralidad de módulos de membranas, que comprende colocar dichos
40 módulos de membranas en al menos dos etapas de flujo dispuestas sucesivamente (esta secuencia de etapas de flujo se designa convenientemente por $\{S_i\}$), de modo que el número de módulos de membranas que operan en paralelo en una etapa de flujo dada es mayor que su número en la etapa de flujo consecutiva (el número de módulos de membranas que operan en paralelo dentro de una etapa particular S_i se designa como N_i), hacer pasar una corriente de alimentación a través de una etapa de flujo para generar un permeado y un concentrado, dirigir dicho concentrado a la etapa de flujo consecutiva y hacer pasar dicho concentrado a través de la misma, mientras se
45 reposicionan periódicamente uno o más de los módulos de membranas que pertenecen a dicha etapa de flujo consecutiva con uno o más módulos de membranas que pertenecen a la etapa de flujo anterior, donde la periodicidad de dicho reposicionamiento es tal que la superficie de las membranas dispuestas en dichos módulos de membranas está expuesta a condiciones de supersaturación asociadas con el paso de dicho concentrado durante un período de tiempo que es más corto que el tiempo requerido para que en dicho concentrado precipiten una o más
50 sales y/o minerales poco solubles sobre la superficie de las membranas en dicha etapa de flujo consecutiva bajo dichas condiciones de supersaturación, o antes de que se produzca el depósito de sustancias orgánicas en la primera de dichas dos o más etapas de flujo dispuestas sucesivamente.

La expresión "etapa de flujo", como se usa en este documento, se refiere a un grupo de módulos de membranas que están provistos de una corriente de alimentación común y están conectados en paralelo con la misma, en donde
55 dichos módulos de membranas también descargan a una corriente de concentrado común.

Más preferiblemente, esencialmente de manera concurrente con el reposicionamiento de módulos de membranas en las etapas de flujo ordenadas secuencialmente, como se describió anteriormente, se invierte la dirección del flujo

dentro de al menos una porción de los módulos de membranas recién posicionados. Específicamente, cuando uno o más módulos de membranas se retiran de una etapa de flujo S_{i+1} y se reposicionan en una etapa de flujo S_i , entonces la corriente de alimentación suministrada a la etapa de flujo S_i pasará a través de dichos módulos de membranas recién posicionados en una dirección que es opuesta a la dirección del concentrado que se hizo pasar por dichos uno o más módulos de membranas en la etapa de flujo S_{i+1} . Por lo tanto, el patrón de flujo proporcionado por la presente invención, que implica la reubicación de los módulos de membranas entre etapas sucesivas de flujo, cuya reubicación es preferiblemente acompañada con una inversión de la dirección del flujo en los módulos de membranas recién ubicados, permite que una superficie de membrana que estaba previamente expuesta a un fluido muy concentrado (específicamente, la región de la superficie de la membrana que se encuentra en la vecindad de la salida de la etapa de flujo S_{i+1}), entre en contacto con un fluido menos concentrado en la etapa de flujo S_i .

Mediante la expresión "sal o mineral poco soluble" generalmente se entiende una sal que tiene un producto de solubilidad/constante de disociación menor que 10^{-2} o una solubilidad menor que 300 mg/L para minerales no disociables. Las sales y/o minerales poco solubles particularmente problemáticos, cuya precipitación en el concentrado debe sustancialmente evitarse de acuerdo con la presente invención, se seleccionan del grupo que consiste en carbonato de calcio, sulfato de calcio, sílice, fosfato de calcio, sulfato de bario, sulfato de estroncio y fluoruro de calcio.

La expresión "sustancias orgánicas", tal como se usa en el presente documento, se refiere colectivamente a materiales orgánicos y biológicos que pueden causar bioincrustaciones o incrustaciones orgánicas en procesos de membrana impulsados por presión.

Ventajosamente, el tiempo durante el cual la superficie de las membranas dispuestas en la etapa de flujo consecutiva se expone a condiciones de supersaturación es menor que el tiempo de inducción τ , que es el tiempo requerido para que en la corriente sobresaturada precipiten una o más de las sales y/o minerales poco solubles, como se describe con más detalle a continuación, en donde dicho tiempo de inducción se predetermina experimentalmente, o se estima por separado para cada una de dichas sales y/o minerales poco solubles presentes en la corriente de agua usando la siguiente ecuación:

$$\ln(\tau) = \frac{A}{[\ln(S)]^2} + B$$

donde:

A y B son constantes relacionadas con una sal o mineral poco soluble dado y la membrana utilizada;

y S es la relación entre el producto de actividad real máximo de una sal o mineral poco soluble dado en la disolución próxima al lado de alta presión de la membrana y el producto de solubilidad termodinámico.

En el caso de sustancias orgánicas, en la presente memoria el tiempo de inducción indica el tiempo para que se forme un depósito significativo de las mismas, y más específicamente, un depósito compuesto por una capa compacta de material orgánico o una biopelícula con microorganismos incrustados en sustancias poliméricas extracelulares con un espesor mayor que 2-3 micrómetros o que cubre más que el 10% de la superficie de una muestra de membrana que se está monitoreando.

El método proporcionado por la presente invención se puede llevar a cabo convenientemente por medio de la siguiente disposición de flujo cónico, impulsado por presión, de módulos de membranas, que comprende:

Tres o más conjuntos de módulos de membranas, designándose el número total de conjuntos como "n" (por ej., n puede estar en el intervalo de 3 a 300), en donde cada uno de dichos conjuntos está provisto de uno o más módulos de membranas que están conectados en paralelo a un primer puerto y a un segundo puerto de dicho conjunto;

Una fuente de corriente presurizada;

Un conjunto de válvulas para suministrar corrientes de fluido hacia y desde dichos conjuntos y para determinar, para cada uno de dichos conjuntos, si el primer y segundo puerto de los mismos es un puerto de entrada o un puerto de salida, respectivamente, o viceversa.

Típicamente, cada módulo de membranas (algunas veces indicado en la técnica como carcasa de presión) contiene uno o más elementos de separación (por ej., entre 1 y 8 cuando tales elementos son elementos de separación enrollados en espiral).

De manera más adecuada, en la disposición descrita anteriormente también se incluyen el medio para recoger un permeado recuperado por dicha disposición de flujo cónico impulsado por presión y el medio para descargar el concentrado final rechazado por dicha disposición de flujo cónico impulsado por presión.

En una realización preferida de la invención, el conjunto de válvulas comprende, para cada conjunto de membranas,

una válvula de tres vías conectada al primer puerto de dicho conjunto de membranas a través de un puerto principal de dicha válvula de tres vías, y en donde un segundo puerto de dicha válvula de tres vías está conectado a la fuente de la corriente presurizada, y en donde el tercer puerto de dicha válvula de tres vías está conectado a una línea de descarga principal utilizada para descargar la corriente de concentrado rechazada por el conjunto.

5 Convenientemente, la fuente de corriente presurizada está conectada al segundo puerto de cada una de las válvulas de tres vías a través de una válvula de dos vías correspondiente.

Preferiblemente, el conjunto de válvulas comprende, para cada conjunto de membranas, una válvula de tres vías conectada al segundo puerto de cada conjunto de membranas a través de un puerto principal de dicha válvula de tres vías, en donde los puertos segundo y tercero de dichas válvulas de tres vías están en comunicación fluida con una línea interna de descarga del concentrado. Ventajosamente, los puertos terceros de cada una de las válvulas de tres vías, que están conectados al segundo puerto del conjunto de membranas, están conectados a través de una válvula de dos vías correspondiente a la línea interna de descarga de concentrado.

10

Adicional o alternativamente, el conjunto de válvulas puede comprender una válvula de dos vías cuyo primer puerto está conectado a la línea interna de descarga del concentrado, y cuyo segundo puerto está conectado a la línea de descarga principal.

15

La disposición de flujo cónico puede comprender además una bomba que tiene una entrada conectada a la línea interna de descarga de concentrado, y una salida conectada a los terceros puertos de dichas válvulas de tres vías, a través de las válvulas de dos vías que pueden conectarse entre ellas.

La disposición de flujo cónico se puede hacer funcionar utilizando un controlador o temporizador configurado para proporcionar las señales de control adecuadas de las válvulas de dos y tres vías para organizar una conexión paralela entre grupos de conjuntos de módulos de membranas y una conexión en serie entre dichos grupos en una estructura cónica, en el que dicho controlador o temporizador está configurado para proporcionar dichas señales de control de válvulas para reposicionar periódicamente los conjuntos de módulos de membranas en dicha estructura cónica.

20

El reposicionamiento de los módulos de membranas se ve afectado ventajosamente en intervalos de tiempo más pequeños que el tiempo requerido para que precipiten una o más sales y/o minerales poco solubles en la corriente presurizada cerca del extremo concentrado de la disposición de módulos de membranas, y/o para que se depositen sustancias orgánicas sobre la superficie de las membranas en la corriente presurizada cerca el extremo de alimentación de la disposición de módulos de membranas.

25

De aquí en adelante, para simplificar, un conjunto de módulos de membrana se denomina "bloque" y los distintos bloques se designan con letras mayúsculas (A, B, C ...).

30

Breve descripción de los dibujos

La presente invención se ilustra a modo de ejemplo en los dibujos que se acompañan, en los que referencias similares indican consistentemente elementos similares y en los que:

- 35 - La Fig. 1A ilustra esquemáticamente un módulo de membrana convencional, como se usa comúnmente en los procesos de filtración;
- La Fig. 1B ilustra esquemáticamente una estructura típica de cascada en dos etapas de flujo cónico;
- Las Figs. 3A a 3C ilustran esquemáticamente un sistema de flujo cónico y un método de uso del mismo, en el que puede invertirse la dirección de la alimentación en bloques de módulos de membranas; y
- 40 - Las Figs. 4A a 4F ilustran esquemáticamente otro sistema de flujo cónico y un método de uso del mismo.

Descripción detallada de realizaciones preferidas

En general, la presente invención proporciona un método para reposicionar conjuntos de módulos de flujo (por ej., módulos de membranas) en una estructura de flujo cónico. Más particularmente, la presente invención proporciona métodos para reposicionar bloques de módulos de membranas en un procedimiento de membrana de flujo cónico impulsado por presión, de manera que los bloques de módulos de membranas que reciben el fluido de proceso más concentrado pueden ser reposicionados periódicamente a la posición del fluido de proceso menos concentrado. Ventajosamente, el reposicionamiento de los bloques de módulos de membranas se realiza en intervalos de tiempo más pequeños que el tiempo requerido para el inicio del ensuciamiento por precipitación (es decir, menor que el tiempo de inducción τ), y/o en intervalos de tiempo más pequeños que el tiempo requerido para un ensuciamiento grave por bioincrustaciones o incrustaciones orgánicas causado por la deposición de sustancias orgánicas. A continuación, se proporciona una definición detallada del tiempo de inducción y de los métodos para estimar el mismo, después de la descripción de los dibujos.

45

50

Según una realización preferida, se implanta un sistema de flujo cónico que permite el reposicionamiento de conjuntos de módulos de membranas utilizando al menos seis válvulas de tres vías y seis válvulas de dos vías

accionadas con un temporizador o controlador lógico programable (PLC), o algún otro tipo de medio de control automático. En otra realización preferida, se usa un sistema de flujo cónico aumentado, en el que se usa una válvula de dos vías adicional como una válvula de derivación.

5 En general, la presente invención propone métodos para rotar entre (al menos) tres bloques de módulos de membranas que se colocan repetidamente en la primera (i) y la segunda (ii) etapa, tal que la mayoría de los módulos de membranas están en la etapa (i) y la minoría de los módulos de membranas en la etapa (ii). De esta manera, no se superan los límites máximo y mínimo de los caudales a través de cada módulo de membranas.

10 La dirección del flujo se invierte preferiblemente en conjuntos de módulos de membranas moviéndolos desde la etapa (ii) a la etapa (i). Los medios para implantar estos modos de funcionamiento se obtienen utilizando un sistema de válvulas adecuado, como se muestra en las Figs. 3A-3C y 4A-4F. Aunque en una realización preferida de la invención se usan seis válvulas de tres vías y seis válvulas de dos vías, es desde luego obvio que se pueden usar otras disposiciones de válvulas para efectuar la misma rotación repetida de los conjuntos de módulos de membranas.

15 Las válvulas se pueden accionar mediante un temporizador, un controlador lógico programable (PLC) (no mostrado en las figuras 3A-3C y 4A-4F), o utilizando medios computarizados adecuados que permitan un procedimiento automático para controlar el tiempo y la secuencia de activación de cada una de las válvulas.

20 En una realización preferida de la invención, el número de módulos de membranas en la primera etapa (i) es el doble del número de módulos de membranas en la segunda etapa (ii). Una etapa está representada por un conjunto de módulos de membranas que están conectados en paralelo, de manera que se les suministra una corriente de alimentación común y comparten un canal de descarga común que descarga una corriente de concentrado común. Un bloque de módulos de membranas en el sistema de la presente invención contiene uno o más módulos de membranas conectados en paralelo a un puerto de salida de concentrado común y un puerto de entrada común que suministra una corriente de alimentación presurizada.

25 La presente invención se aplica a estructuras de flujo cónico en general, y específicamente a procesos de membrana impulsados por presión que involucran una disposición cónica escalonada de módulos de membranas, que incluyen, pero no se limitan a, procesos de ósmosis inversa, nanofiltración, ultrafiltración y microfiltración, y es aplicable a, pero no se limita a, geometrías de los elementos de membrana que incluyen elementos de membrana enrollada en espiral, fibra hueca, placa y marco y tubulares.

30 Una realización preferida se muestra en las Figs. 3A a 3C, en donde los módulos de membranas están dispuestos en tres bloques, bloque A, bloque B y bloque C, cada uno de los cuales comprende preferiblemente N/3 módulos de membranas conectados en paralelo. Una válvula de tres vías está conectada en la parte delantera y trasera de cada bloque, en donde dichas válvulas de tres vías se designan usando la siguiente convención: V[Bloque A/B/C][Posición delantera/trasera]. Por consiguiente, las válvulas de tres vías conectadas en los frentes de los bloques A, B y C, son V_{Af}, V_{Bf} y V_{Cf}, respectivamente, y las válvulas conectadas en las partes posteriores de los bloques A, B y C, son V_{Ab}, V_{Bb} y V_{Cb}. Cada válvula tiene una posición hacia abajo (d) y hacia arriba (u) que indica si la rama hacia abajo o hacia arriba de la válvula de tres vías se está comunicando con su puerto principal (m). Éstas se excluyen mutuamente, es decir, cuando la válvula de tres vías está en la posición inferior (d), la rama superior (u) está cerrada y viceversa.

40 Los bloques de módulos de membranas son alimentados por una bomba de presión 27 que suministra una corriente de alimentación 28 a la etapa (i). Desde la etapa (i), la corriente 29 (también denominada en la presente memoria línea de descarga interna del concentrado) se alimenta a través de una bomba de refuerzo 20 (opcional), que aumenta la presión de la corriente 29, proporcionada como la corriente 21 a la etapa (ii). Desde la etapa (ii), la corriente de concentrado sale a través de la línea de concentrado 22 y pasa por cualquier válvula de contrapresión/limitador del flujo 23, lo que genera la presión de la corriente de concentrado 22 antes de que la corriente de concentrado 14 salga del sistema. El flujo de permeado 15 se recoge de cada bloque y se envía a la zona de recogida. Tres válvulas de dos vías V_{1A}, V_{1B} y V_{1C} están conectadas en el punto de entrada de la alimentación a la etapa (i), y tres válvulas de dos vías V_{2A}, V_{2B} y V_{2C} están conectadas en el punto de entrada de la corriente a la etapa (ii). Se puede usar un temporizador, un controlador PLC, o cualquier otro medio de control adecuado (no mostrado), para efectuar el accionamiento secuencial de las diversas válvulas.

50 La conmutación de bloques ilustrada en las Figs. 3A a 3B se efectúa como se muestra en la tabla 2. En las Figs. 3A a 3C, las líneas activas se muestran en negrita y la dirección del flujo con flechas.

55 Los puertos de las válvulas que están abiertos al flujo se muestran con relleno y los puertos de las válvulas que están cerrados al flujo se muestran en blanco (sin relleno). En la tabla 2, τ_A , τ_B y τ_C , se refieren a los tiempos de inducción apropiados para la composición de la corriente de concentrado 22 que sale de los bloques A, B o C, respectivamente. El flujo inverso significa que la corriente de alimentación de alta presión entra en el puerto del bloque que sirvió como puerto de salida del bloque en la primera etapa a) y sale del puerto de bloque que sirvió como puerto de entrada del bloque en la primera etapa a).

Tabla 1. Descripción del estado de la cascada cónica de tres bloques/dos etapas operada con flujo inverso periódico para evitar incrustaciones y ensuciamiento

Etapa	Duración	Etapa (i)	Etapa (ii)	V_{Af}	V_{Ab}	V_{Bf}	V_{Bb}	V_{Cf}	V_{Cb}	V_{iA}	V_{iB}	V_{iC}	V_{2A}	V_{2B}	V_{2C}
a	$0 < t < \tau_C$	A+B	C	Abajo	Abajo	Abajo	Abajo	Abajo	Abajo	Abierta	Abierta	Cerrada	Cerrada	Cerrada	Abierta
b	$0 < t < \tau_B$	A+C	B	Abajo	Abajo	Arriba	Arriba	Arriba	Arriba	Abierta	Cerrada	Abierta	Cerrada	Abierta	Cerrada
c	$0 < t < \tau_A$	B+C	A	Arriba	Arriba	Abajo	Abajo	Arriba	Arriba	Cerrada	Abierta	Abierta	Abierta	Cerrada	Cerrada

Tabla 2. Ejemplo de subetapas que usan la válvula de derivación (AV) para efectuar la rotación de los bloques A-C entre la etapa 1 y la etapa 2 del proceso de membrana de tres bloques cónicos, como se describe en la tabla 2

Subetapas	Derivación (AV)	Etapas de bloques (i)	En: Etapa (ii)	V _{At}	V _{Ab}	V _{Bf}	V _{Bb}	V _{Cf}	V _{Cb}	V _{1A}	V _{1B}	V _{1C}	V _{2A}	V _{2B}	V _{2C}	
i	Cerrada	A+B	C	Abajo	Abajo	Abajo	Abajo	Abajo	Abajo	Abierta	Abierta	Cerrada	Cerrada	Cerrada	Abierta	Tránsito de la etapa a)
ii	Abierta	A+B	C	Abajo	Abajo	Abajo	Abajo	Abajo	Abajo	Abierta	Abierta	Cerrada	Cerrada	Cerrada	Abierta	a la etapa b)
iii	Abierta	A+B	Ninguno	Abajo	Abajo	Abajo	Abajo	Arriba	Arriba	Abierta	Abierta	Cerrada	Cerrada	Abierta	Cerrada	de la tabla 2
iv	Abierta	A+C	Ninguno	Abajo	Abajo	Abajo	Abajo	Arriba	Arriba	Abierta	Cerrada	Abierta	Cerrada	Abierta	Cerrada	
v	Abierta	A+C	B	Abajo	Abajo	Arriba	Arriba	Arriba	Arriba	Abierta	Cerrada	Abierta	Cerrada	Abierta	Cerrada	
vi	Cerrada	A+C	B	Abajo	Abajo	Arriba	Arriba	Arriba	Arriba	Abierta	Cerrada	Abierta	Cerrada	Abierta	Cerrada	
i	Cerrada	A+C	B	Abajo	Abajo	Arriba	Arriba	Arriba	Arriba	Abierta	Cerrada	Abierta	Cerrada	Abierta	Cerrada	Tránsito de la etapa b)
ii	Abierta	A+C	B	Abajo	Abajo	Arriba	Arriba	Arriba	Arriba	Abierta	Cerrada	Abierta	Cerrada	Abierta	Cerrada	a la etapa c)
iii	Abierta	B+C	Ninguno	Abajo	Abajo	Abajo	Abajo	Arriba	Arriba	Abierta	Cerrada	Abierta	Cerrada	Abierta	Cerrada	de la tabla 2
iv	Abierta	B+C	Ninguno	Abajo	Arriba	Abajo	Abajo	Arriba	Arriba	Abierta	Cerrada	Abierta	Cerrada	Abierta	Cerrada	
v	Abierta	B+C	A	Arriba	Arriba	Abajo	Abajo	Arriba	Arriba	Cerrada	Cerrada	Abierta	Abierta	Cerrada	Cerrada	
vi	Cerrada	B+C	A	Arriba	Arriba	Abajo	Abajo	Arriba	Arriba	Cerrada	Cerrada	Abierta	Abierta	Cerrada	Cerrada	
i	Cerrada	B+C	A	Arriba	Arriba	Abajo	Abajo	Arriba	Arriba	Cerrada	Cerrada	Abierta	Abierta	Cerrada	Cerrada	Tránsito de la etapa c)
ii	Abierta	B+C	A	Arriba	Arriba	Abajo	Abajo	Arriba	Arriba	Cerrada	Cerrada	Abierta	Abierta	Cerrada	Abierta	a la etapa a)
iii	Abierta	B+C	Ninguno	Abajo	Abajo	Abajo	Abajo	Arriba	Arriba	Cerrada	Cerrada	Cerrada	Cerrada	Cerrada	Abierta	de la tabla 2
iv	Abierta	A+B	Ninguno	Abajo	Abajo	Abajo	Abajo	Abajo	Arriba	Abierta	Abierta	Cerrada	Cerrada	Cerrada	Abierta	
v	Abierta	A+B	C	Abajo	Abajo	Abajo	Abajo	Abajo	Abajo	Abierta	Abierta	Cerrada	Cerrada	Cerrada	Abierta	
vi	Cerrada	A+B	C	Abajo	Abajo	Abajo	Abajo	Abajo	Abajo	Abierta	Abierta	Cerrada	Cerrada	Cerrada	Abierta	

Se lleva a cabo un ciclo de tres etapas consecutivas, y cada etapa se describe como sigue:

- a) Los bloques A y B están en la etapa (i) y el bloque C está en la etapa (ii) (Fig. 3A).
- b) Los bloques A y C están en la etapa (i) y el bloque B está en la etapa (ii) (Fig. 3B). Los flujos en los bloques B y C están en la dirección inversa a la de la etapa a).
- 5 c) Los bloques B y C están en la etapa (i) y el bloque A está en la etapa (ii) (Fig. 3C). Los flujos a través de los bloques A y C están en la dirección inversa a la de la etapa a).

Como apreciarán los expertos en la técnica, puede efectuarse un reposicionamiento similar de bloques de módulos de membranas utilizando tres etapas por medio de cuatro o más bloques de módulos de membranas y rotándolos entre la primera, la segunda y la tercera etapa mediante un procedimiento y un medio similar al descrito para dos etapas.

En general, el procedimiento de reposicionamiento de acuerdo con el método de la presente invención se obtiene como sigue:

a) El sistema está construido de N módulos de membranas que se dividen en tres bloques de módulos, en donde el número de módulos de membranas en los primeros dos bloques varía ventajosamente entre 0,6N y 0,8N, y el número de módulos de membranas en el bloque varía entre 0,4N y 0,2N, respectivamente. Preferiblemente, cada bloque contiene un número igual de módulos (N/3). Los bloques de módulos de membranas se indicarán de aquí en adelante como bloque A, bloque B y bloque C. En cualquier caso, el bloque A y el bloque B incluyen el mismo número de módulos de membranas en cada bloque. Originalmente, el bloque A y el bloque B están dispuestos en paralelo en la etapa (i) mientras que el bloque C está en la etapa (ii), como se ilustra en la Fig. 3A. Los puertos de entrada de la alimentación presurizada de los módulos de membranas en cada uno de los bloques se combinan en un colector de entrada para ese bloque que tiene un puerto de entrada común. Por lo tanto, en la etapa a) la alimentación presurizada 28 se suministra a los puertos de entrada de los módulos de membranas conectados en paralelo en los bloques A y B, mientras que los módulos de membranas conectados en paralelo en el bloque C reciben el concentrado procedente de los bloques A y B. Similarmente, los puertos de salida de la alimentación presurizada de todos los módulos de membranas dentro de cada bloque se combinan en un colector de salida para ese bloque que tiene un puerto de salida común, tal que las corrientes de concentrado obtenidas de los puertos de salida del módulo de membranas en los bloques A y B se unen y alimentan al bloque C, y la corriente de concentrado obtenida de los módulos de membranas en el bloque C se descarga a través de la línea de descarga 22. Así, cada bloque tiene sus propios puertos de entrada y salida, cada uno de los cuales puede servir alternativamente como entrada de la alimentación y salida del concentrado, respectivamente.

b) Conmutando apropiadamente las válvulas dentro de un período de tiempo menor que el tiempo de inducción más corto, para una sal supersaturada en las condiciones de la etapa (ii) de salida del concentrado al final de la etapa a), la corriente de alimentación original 28 se alimenta al puerto del bloque C que sirvió como puerto de salida en la etapa a) y al puerto de entrada original del bloque A que ahora sirve como etapa (i), como se ilustra en la Fig. 3B. La salida de la etapa (i) se alimenta a continuación al puerto de salida original del bloque B desde la etapa a) y sale a través del puerto de entrada original del bloque B desde la etapa a) que se descarga desde el sistema a través de la línea de descarga 22 después de pasar por cualquier válvula de contrapresión o limitador de flujo 23 que puedan usarse para generar la presión necesaria.

c) Dentro de un intervalo de tiempo menor que el tiempo de inducción más corto para una sal supersaturada en las condiciones de la etapa (ii) de salida del concentrado al final de la etapa b), la corriente de alimentación original 28 se alimenta al puerto de salida original del bloque C desde la etapa a) y al puerto de entrada original del bloque B desde la etapa a) que ahora sirve como etapa (i), como se ilustra en la Fig. 3C. La nueva corriente de salida de la etapa (i) se alimenta ahora al puerto de salida original del bloque A desde la etapa a) que ahora sirve como etapa (ii). La etapa (ii) de salida del concentrado se descarga ahora desde el puerto de entrada original desde la etapa a) del bloque A a la corriente de concentrado y se descarga del sistema a través de la línea de descarga 22 después de pasar cualquier válvula de contrapresión o limitador de flujo 23 que se pueden usar para generar la presión necesaria.

d) Conmutando apropiadamente las válvulas dentro de un intervalo de tiempo menor que el tiempo de inducción más corto para una sal supersaturada en las condiciones de la etapa (ii) de salida del concentrado al final de la etapa c), las disposiciones de flujo se hacen retornar a su estado como se describe en la etapa a) con los bloques A y B que sirven como etapa (i) y el bloque C que sirve como etapa (ii). Este procedimiento cíclico se repite entonces continuamente de los pasos a) - c).

En la solicitud de patente internacional No. PCT/IL04/001110 se han descrito detalladamente varias formas de determinar el tiempo de inducción que no debe excederse durante la operación de cada disposición de flujo, y se tratarán brevemente a continuación.

La velocidad de apertura y cierre de las válvulas que se describe en la tabla 2 puede controlarse para minimizar las ondas de presión (golpe de ariete) que pueden ocurrir durante la conmutación de bloques entre las etapas (i) y (ii).

Una realización adicional de la invención se ilustra esquemáticamente en las Figs. 4A a 4F, en las que se ha agregado una válvula de derivación AV adicional de dos vías con el fin de minimizar cualquier posible efecto de onda de presión que pueda desarrollarse debido a cambios repentinos en las direcciones o velocidades de los flujos se conmutan los bloques de módulos de membranas entre la etapa (i) y la etapa (ii). La válvula de derivación AV se comunica entre las válvulas V2A, V2B y V2C, y la línea de descarga 22, proporcionando de este modo un camino directo entre la descarga de la bomba de refuerzo 20 (o - en ausencia de la bomba de refuerzo - entre el concentrado de la etapa (i) proporcionado a través de la línea 29) y la línea de concentrado 22, permitiendo de este modo un desvío parcial o completo de los bloques que están en la etapa (ii). Los elementos del sistema mostrados en las Figs. 4A a 4F son sustancialmente similares a los del sistema mostrado en las Figs. 3A a 3C, y, por lo tanto, se utilizan referencias similares en estas figuras para designar elementos similares.

En las Figs. 4A a 4F se muestran varios estados de funcionamiento con la válvula de derivación AV, las cuales ilustran la transición entre la etapa a) y la etapa b) como se describió anteriormente en la presente memoria con referencia a las Figs. 3A a 3C. Como en la Fig. 4, las líneas a través de las cuales está fluyendo la alimentación presurizada se muestran en negrita, los puertos de las válvulas que están abiertos al flujo se muestran en negro (relleno) y los puertos de las válvulas que están cerradas al flujo se muestran en blanco (sin relleno). El intervalo de tiempo de cada una de las subetapas ilustradas en las Figs. 4A-4F está típicamente en el intervalo de 2 - 120 s. La tabla 4 resume las subetapas que afectan a la rotación efectiva de los bloques A-C durante las transiciones entre los pasos a) → b), b) → c) y c) → a), utilizando la válvula de derivación AV. Las transiciones en los estados de las diferentes válvulas ejemplificadas en las Figs. 4A-4F se resumen en las subetapas i-vi, respectivamente, de la transición entre las etapas a) a b) en la tabla 3.

La invención descrita anteriormente se puede generalizar a más de tres bloques que operan en dos etapas, de modo que hay tres o más bloques en la etapa (i) y un bloque en la etapa (ii). Para cada bloque adicional en la etapa (i), se deben agregar dos válvulas de tres vías adicionales, y dos válvulas de dos vías adicionales que se usan de la misma manera que se describió previamente en la presente memoria. En este caso, cuatro o más bloques pueden hacerse rotar periódicamente desde una posición en la etapa (i) a la posición correspondiente al bloque de módulos en la etapa (ii). En un proceso de tres etapas, esta invención puede ponerse en práctica en las etapas (ii) y (iii) del modo descrito anteriormente para las etapas (i) y (ii). Una vez que se ha entendido el principio, un experto en la técnica puede aplicar esta invención a disposiciones escalonadas más complejas. Debe observarse que esta invención es aplicable a procesos en los que el producto es la corriente de permeado (15) y también a procesos en los que el producto es la corriente de concentrado (14).

El tiempo requerido para que comiencen a precipitar sales y/o minerales poco solubles en una disolución acuosa supersaturada (en ausencia de cristales semilla u otras superficies de crecimiento de cristales preexistentes apropiadas) y/o sustancias orgánicas para formar un depósito significativo se conoce como "tiempo de inducción".

Lo más preferiblemente, el método de acuerdo con la presente invención comprende la estimación del tiempo de inducción, asociado con la composición del agua a pasar a través de la disposición de flujo cónico y la naturaleza de la superficie de la membrana utilizada en el mismo, para permitir el reposicionamiento de los módulos de membranas y la inversión de flujo esencialmente concurrente a realizar con la periodicidad deseada.

De acuerdo con una realización preferida, el tiempo de inducción se estima experimentalmente, por ejemplo, realizando un experimento preliminar, en el que la corriente de agua correspondiente a la composición final del concentrado se hace pasar por una unidad de membrana pequeña en condiciones de flujo que generan la polarización por concentración que se esperaría en una unidad de gran escala, sin invertir la dirección del flujo. El período de tiempo medido hasta que las sales escasamente solubles de dicha corriente de agua precipitan sobre la superficie de la membrana que se refleja en una caída de la permeabilidad del agua por la membrana, o hasta que se detecta una caída de la concentración en el seno de la disolución de la sal poco soluble, se utiliza subsecuentemente para programar el reposicionamiento periódico de los módulos de membranas y la inversión de flujo que lo acompaña. La ocurrencia de la precipitación de sales escasamente solubles en la superficie de la membrana puede rastrearse convenientemente midiendo los cambios de la permeabilidad del agua por la membrana, L_p , que se mide dividiendo el flujo por la fuerza impulsora de la presión neta (NDP) definida por:

$$L_p = \frac{J_p}{NDP} = \frac{J_p}{\Delta P - \Delta \pi} \quad (5)$$

Donde ΔP y $\Delta \pi$ son la presión transmembrana y la diferencia de presión osmótica entre las disoluciones de alimentación y permeado, respectivamente.

Alternativamente, el tiempo de inducción se estima utilizando la siguiente ecuación:

$$\ln(\tau) = \frac{A}{[\ln(S)]^2} + B$$

en la que:

A y B son constantes relacionadas con la sal, la hidrodinámica y la superficie de la membrana, ya que la nucleación que debe evitarse es la nucleación en la superficie de la membrana. La constante A incluye el efecto de la energía superficial en la superficie de nucleación y el volumen molar de la sal. B incluye el factor de frecuencia para la velocidad de nucleación. Los valores de A y B ya han sido determinados, por ejemplo, para el sulfato de calcio y membranas de poliamida para RO a baja presión (p. ej., D. Hasson et al., "Induction times induced in an RO system by antiscalants delaying CaSO₄ precipitation", *Desalination*, v.157 (2003), p. 193; Alimi, F. et al., *Desalination* v. 157, pp 9-16 (2003); He, S. et al., *J. Colloid and Interface Science*, v. 162 pp. 297-303 (1994)). A y B también se pueden obtener fácilmente experimentalmente como se ilustra en el documento WO 2005/053824.

S es la relación entre el producto de actividad real máximo de una sal escasamente soluble dada en la disolución junto al lado de alimentación de la membrana y el producto de solubilidad termodinámico, o, para un mineral no disociado (por ej., sílice), es la relación de la concentración real máxima del mineral hasta la concentración de saturación de ese mineral para la composición dada. Aumentará con la recuperación de agua producto y la polarización por concentración. Esta relación se puede calcular a partir de los programas de simulación de procesos de desalinización comerciales disponibles en el mercado abierto (como IMS de Hydranautics, Inc., o Rosa de Dow-Filmtec, Inc.), o de forma independiente como se describe en D. Hasson et al., "Inception of CaSO₄ scaling on RO membranes at various water recovery levels", *Desalination*, 139, 73-81 (2001). S también se puede calcular midiendo los datos relacionados con el nivel de concentración de sales/mineral en la corriente de agua, y los datos relacionados con los flujos de permeado y concentrado. Estos datos se pueden obtener utilizando caudalímetros y dispositivos de detección apropiadamente ubicados dentro del sistema, con el fin de proporcionar las señales correspondientes (por ej., conductividad) para calcular S. Típicamente, los tiempos de inducción son superiores a 10 minutos.

Una vez obtenidos y/o determinados experimentalmente los valores de A, B y S, para la sal y el sistema relevantes, se puede estimar fácilmente el tiempo de inducción, τ . El reposicionamiento periódico y la inversión de flujo que lo acompaña se configurarán entonces para que tengan lugar en algún momento menor que el tiempo de inducción τ , por ejemplo, de 0,1 a 0,9 el valor del tiempo de inducción. En el caso de que haya más que una sal poco soluble, la sal con el tiempo de inducción más corto será la utilizada para determinar el período para el reposicionamiento de los módulos de membranas y la inversión de flujo que lo acompaña.

Alternativamente, el tiempo de inducción se puede determinar durante la operación del sistema a través de sensores ubicados apropiadamente para monitorizar el caudal de permeación (caudalímetro o balanza de pesaje) o la concentración de iones que generan incrustaciones (por ej., usando un sensor de calcio o un sensor de conductividad) en función del tiempo, para ver cuándo los indicadores cambian como resultado de la precipitación en el sistema. Los procedimientos específicos para estimar los tiempos de inducción se describen en detalle en el documento WO 2005/053824.

La aparición de ensuciamiento biológico u orgánico se puede determinar con una probeta de ensayo tipo membrana de lámina plana (por ej., área activa de 2 cm por 8 cm) en una celda de flujo de membrana plana, con la misma alimentación y con la misma velocidad tangencial lineal y flujo que se encontraría en la entrada de la cascada cónica donde el potencial de bio-ensuciamiento es el mayor. La formación de una biopelícula se puede monitorizar mediante sensores in situ documentados en la bibliografía (consúltense las siguientes referencias) para determinar tanto el inicio de la formación de depósitos como los cambios en la estructura de los depósitos con el tiempo. En el caso de los sensores ultrasónicos (véanse las referencias de Greenberg A. R. et al.), éstos pueden incluso aplicarse a carcasas de módulos reales.

Más específicamente, el ensuciamiento biológico y orgánico puede controlarse mediante sensores in situ documentados en la bibliografía (por ejemplo, Nivens, O. E., *Journal of Industrial Microbiology*, v. 15 (1995), pp 263-276; Chen, V., Li, H., Fane, A.G. *Journal of Membrane Science* 241 (1), pp. 23-44; Greenberg, A.R., Krantz, W.B. (2003) *Fluid-Particle Separation Journal*, 15 (1), pp. 43-49; Li, J., Sanderson, R.D., Chai, G.Y., Hallbauer, O.K. (2005) *Journal of Colloid and Interface Science*, 284 (1), pp. 228-238; Li, J., Hallbauer, O.K., Sanderson, R.O. *Journal of Membrane Science* 215 (1-2), pp. 33-52) con el fin de determinar tanto el inicio de la formación de depósitos como los cambios en la estructura de los depósitos con el tiempo. En el caso de los sensores ultrasónicos (véanse las referencias de Greenberg A.R. et al.), éstos pueden incluso aplicarse a carcasas de módulos reales.

Por supuesto, los ejemplos y la descripción anteriores han sido proporcionados sólo con fines ilustrativos, y no pretenden limitar la invención de ninguna manera. Como apreciará el experto en la materia, la invención se puede llevar a cabo en una gran variedad de formas, empleando más de una técnica de las descritas anteriormente, todas sin exceder el alcance de la invención determinado por las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método para operar una disposición de flujo cónico impulsado por presión que contiene una pluralidad de módulos de membranas, comprendiendo dicha disposición:

- 5 - n conjuntos de módulos de membranas, en donde n es igual o mayor que tres, en donde cada uno de dichos conjuntos está provisto de uno o más módulos de membranas que están conectados en paralelo a un primer puerto y a;
- un segundo puerto de dicho montaje;
- una fuente de corriente presurizada;
- 10 - un conjunto de válvulas para suministrar corrientes de fluido hacia y desde dichos conjuntos y para determinar, para cada uno de dichos conjuntos, si el primer y segundo puerto de los mismos es un puerto de entrada o un puerto de salida, respectivamente, o viceversa;

15 dicho método comprende posicionar dichos módulos de membranas en al menos dos etapas de flujo dispuestas sucesivamente, tal que el número de módulos de membranas que operan en paralelo en una etapa de flujo dada es mayor que su número en la etapa de flujo consecutiva, hacer pasar una corriente de alimentación a través de una etapa de flujo para generar un permeado y un concentrado, dirigir dicho concentrado a la etapa de flujo consecutiva y hacer pasar dicho concentrado a través de la misma, mientras se reposiciona periódicamente uno o más de los módulos de membranas que pertenecen a dicha etapa de flujo consecutiva con uno o más módulos de membranas que pertenecen a la etapa de flujo anterior,

20 donde la periodicidad de dicho reposicionamiento es tal que la superficie de las membranas dispuestas en dicha etapa de flujo consecutiva está expuesta a condiciones de supersaturación asociadas con el paso de dicho concentrado durante un período de tiempo que es más corto que el tiempo requerido para que en dicho concentrado precipiten una o más sales y/o minerales poco solubles, teniendo dichas sales un producto de solubilidad/constante de disociación menor que 10⁻² o teniendo dichos minerales una solubilidad menor que 300 mg/L, sobre la superficie de las membranas en dicha etapa de flujo consecutiva bajo dichas condiciones de supersaturación, o antes de que se produzca el depósito de sustancias orgánicas en la primera de dichas dos o más etapas de flujo dispuestas sucesivamente,

25 y concurrentemente con el reposicionamiento de módulos de membranas en las etapas de flujo dispuestas secuencialmente, invertir la dirección del flujo dentro de al menos una porción de los módulos de membranas recién posicionados;

30 donde el tiempo durante el cual la superficie de las membranas dispuestas en la etapa de flujo consecutiva está expuesta a condiciones de supersaturación es menor que el tiempo de inducción τ , que es:

A) el tiempo requerido para que en la corriente sobresaturada precipiten una o más de las sales y/o minerales poco solubles,

donde dicho tiempo de inducción τ

- 35 (i) se predetermina experimentalmente;
- (ii) se estima separadamente para cada una de dichas sales y/o minerales poco solubles presentes en la corriente de agua usando la siguiente ecuación:

$$\ln(\tau) = \frac{A}{[\ln(S)]^2} + B$$

donde:

- 40 A y B son constantes relacionadas con una sal o mineral poco soluble dado y la membrana utilizada;
- y S es la relación entre el producto de actividad real máximo de una sal o mineral poco soluble dado en la disolución próxima al lado de alta presión de la membrana y el producto de solubilidad termodinámico; o
- (iii) se determina por medio de uno o más sensores que monitorizan el caudal de permeación o la concentración de iones que generan incrustaciones en función del tiempo durante el funcionamiento del sistema o son capaces de
- 45 indicar precipitación en al menos una de dichas membranas; o

B) En el caso de sustancias orgánicas, el tiempo de inducción τ es el tiempo para que se forme un depósito compuesto por una capa compacta de material orgánico o una biopelícula con microorganismos incrustados en sustancias poliméricas extracelulares con un espesor mayor de 2 micrómetros o que cubre más que el 10% de la

superficie de una muestra de membrana, donde dicho tiempo de inducción τ

(i) se determina con una probeta de ensayo tipo membrana de lámina plana en una celda de flujo de membrana plana, con la misma alimentación que se encontrará en la entrada de la cascada cónica; o

5 (ii) se determina por medio de uno o más sensores capaces de determinar tanto el inicio de la formación de depósitos como cambios en la estructura de los depósitos con el tiempo, en al menos una de dichas membranas.

2. El método según la reivindicación 1, donde el tiempo de inducción τ se predetermina experimentalmente.

3. El método según la reivindicación 1, donde el tiempo de inducción τ se determina separadamente para cada una de dichas sales y/o minerales poco solubles presentes en la corriente de agua usando la siguiente ecuación:

$$\ln(\tau) = \frac{A}{[\ln(S)]^2} + B$$

10 donde:

A y B son constantes relacionadas con una sal o mineral poco soluble dado y la membrana utilizada;

y S es la relación entre el producto de actividad real máximo de una sal o mineral poco soluble dado en la disolución próxima al lado de alta presión de la membrana y el producto de solubilidad termodinámico.

15 4. El método según la reivindicación 1, donde el método es en el caso de sustancias orgánicas y donde los sensores se seleccionan del grupo que consiste en sensores in situ y sensores ultrasónicos.

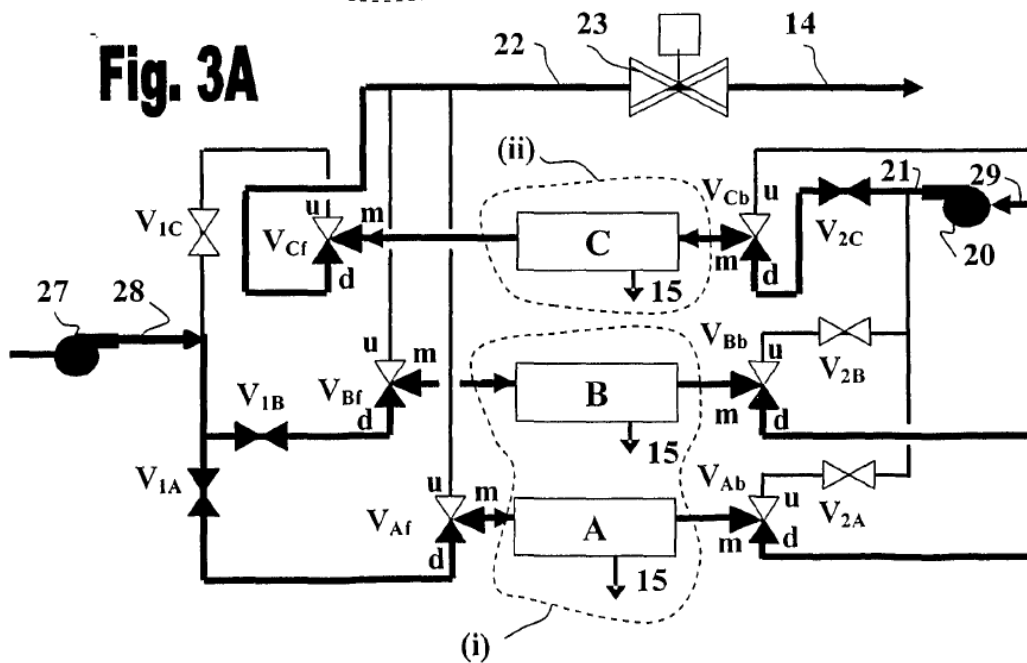
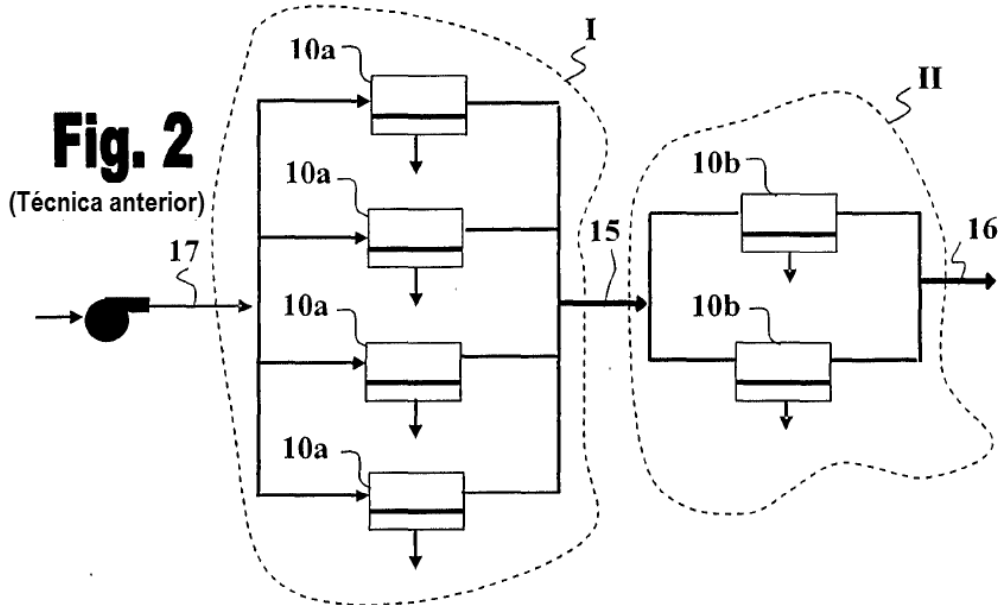
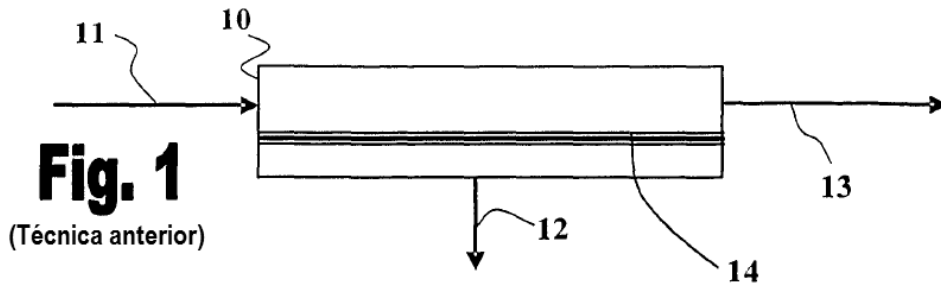


Fig. 3B

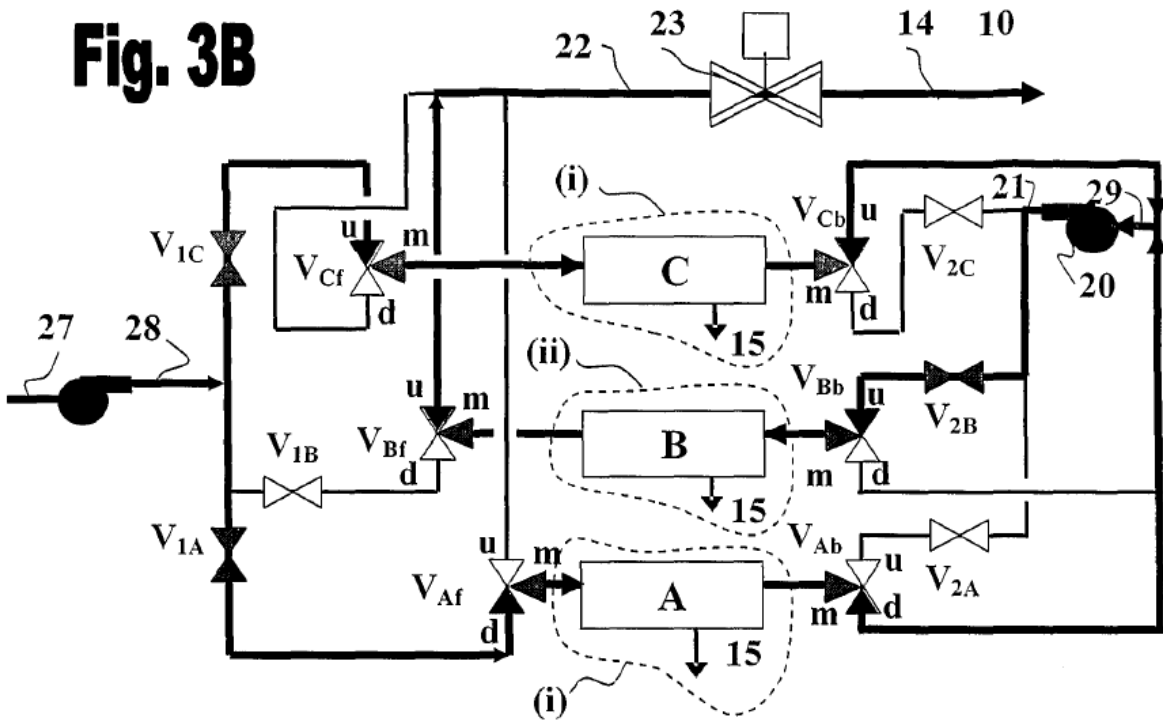


Fig. 3C

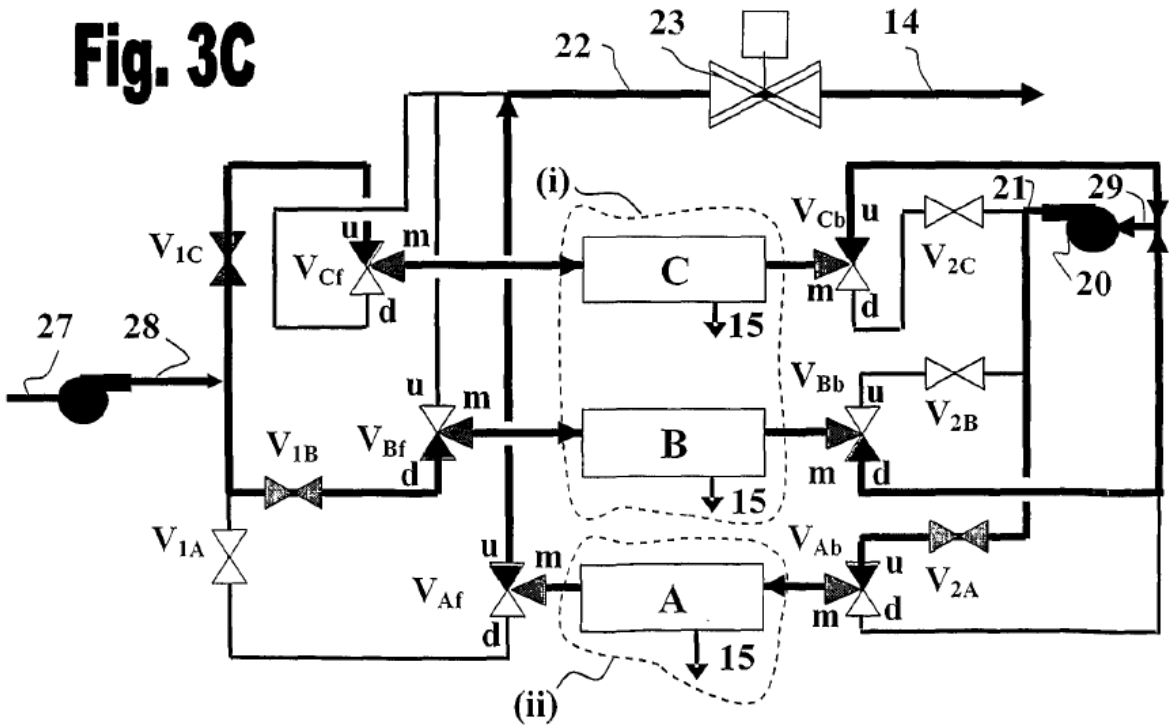


Fig. 4A

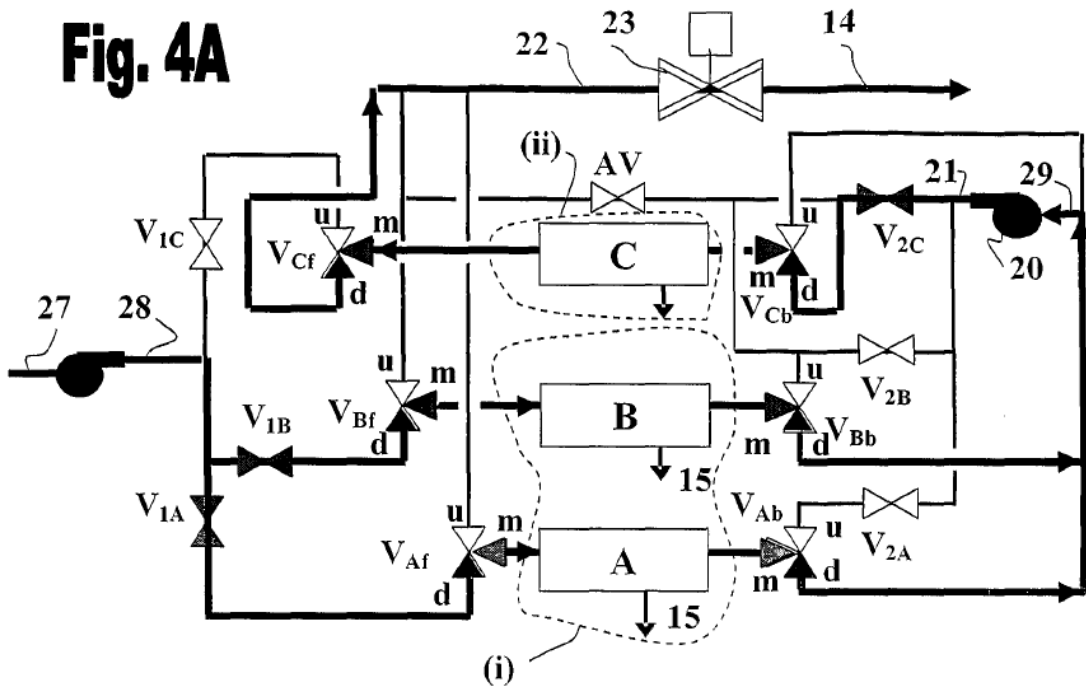


Fig. 4B

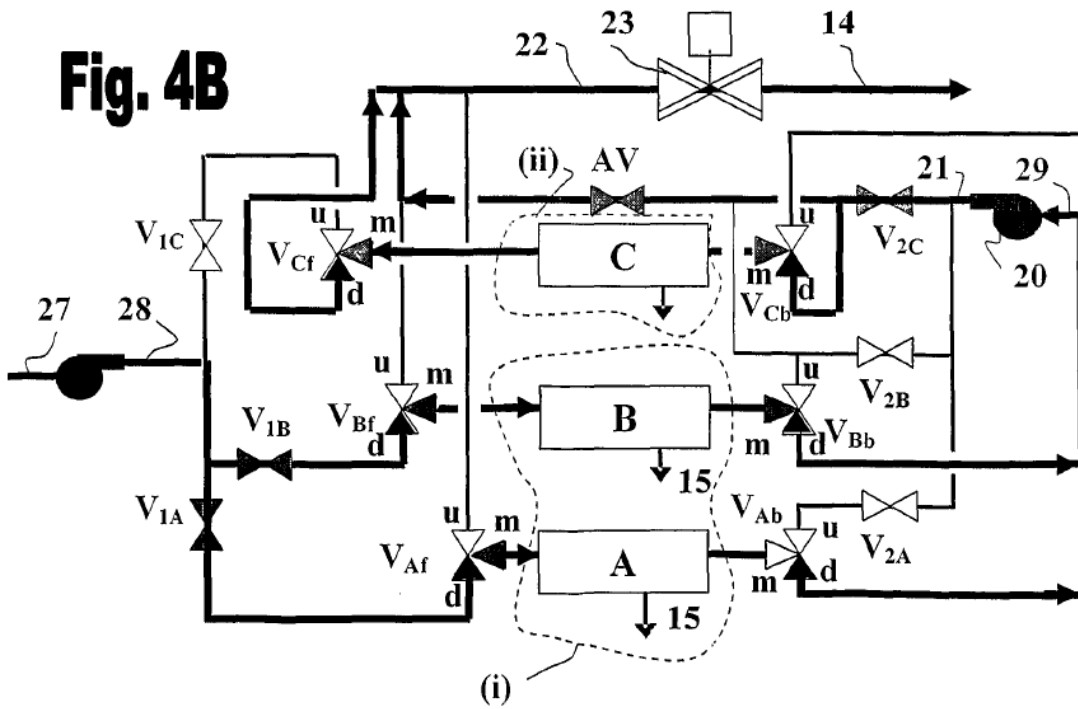


Fig. 4C

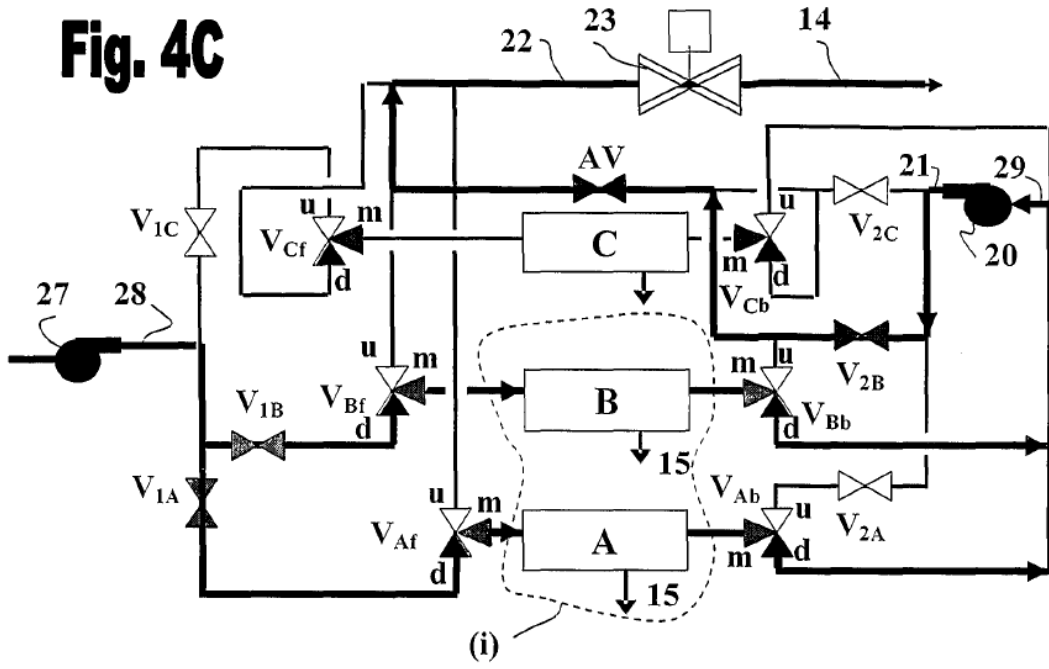


Fig. 4D

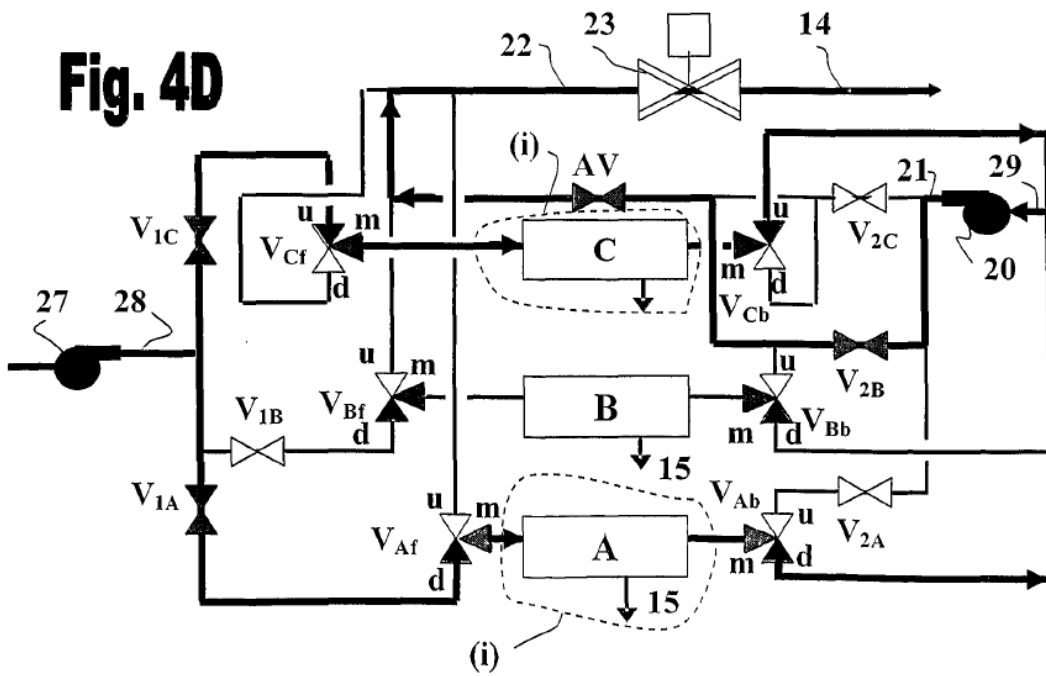


Fig. 4E

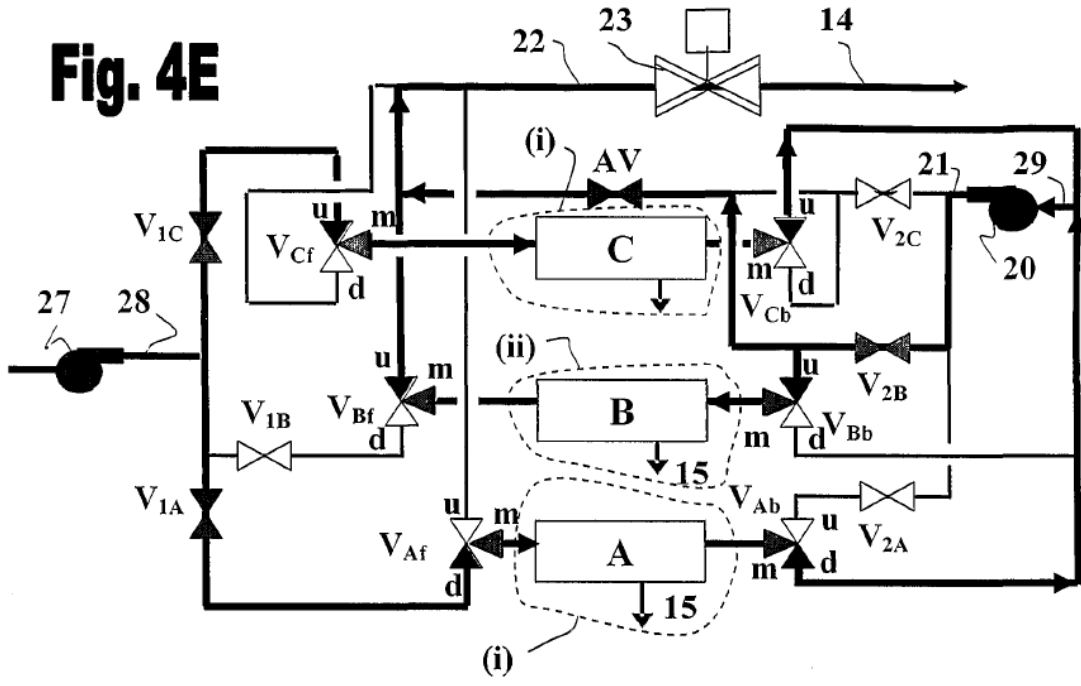


Fig. 4F

