

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 963 162**

51 Int. Cl.:

B01D 61/02 (2006.01)

B01D 61/06 (2006.01)

B01D 61/08 (2006.01)

B01D 61/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.09.2018** **PCT/US2018/052576**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.03.2019** **WO19060876**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.09.2018** **E 18811958 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.09.2023** **EP 3687669**

54 Título: **Procedimiento y sistema de funcionamiento de un proceso de separación de recuperación elevada**

30 Prioridad:

25.09.2017 US 201762562694 P

21.09.2018 US 201816138291

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

25.03.2024

73 Titular/es:

**FLUID EQUIPMENT DEVELOPMENT COMPANY,
LLC (100.0%)**

**800 Ternes Drive
Monroe, Michigan 48162, US**

72 Inventor/es:

OKLEJAS, ELI, JR.

74 Agente/Representante:

DURAN-CORRETJER, S.L.P

ES 2 963 162 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y sistema de funcionamiento de un proceso de separación de recuperación elevada

5 SOLICITUD RELACIONADA

Esta solicitud reivindica la prioridad de la Patente de utilidad US16/138,291, registrada el 21 de septiembre de 2018 y reivindica asimismo los beneficios de la solicitud provisional n.º 62/562,694, registrada el 25 de septiembre de 2017.

10 SECTOR TÉCNICO

La presente invención se refiere, en general, a sistemas de separación de fluidos y, más concretamente, a un procedimiento y un sistema para la utilización de un dispositivo de recuperación de múltiples energías para múltiples etapas de separación de fluidos.

ESTADO DE LA TÉCNICA ANTERIOR

Lo que se expone en esta sección meramente proporciona información de antecedentes relacionados con la presente invención, y puede no ser constitutivo del estado de la técnica anterior.

Los sistemas de ósmosis inversa utilizan normalmente una o varias cubiertas para la membrana que tienen una o más membranas en su interior que son utilizadas para extraer un fluido esencialmente puro de una solución. Las membranas de desalinización por ósmosis inversa reciben un fluido de alimentación de aguas salobres o marinas y extraen agua dulce de las mismas. El agua dulce es extraída o separada cuando la presión del fluido de alimentación supera la presión osmótica del fluido, lo que permite que el permeado o fluido producto atraviese la membrana semipermeable de ósmosis inversa. El fluido que queda en el lado de entrada de la membrana resulta de una concentración en sal más elevada debido a que el agua dulce que circula a través de la membrana no incluye la sal. El agua que pasa a través de la membrana es denominada permeado. La presión requerida para producir agua dulce es proporcional a la concentración de los sólidos totales disueltos (TDS) en esta solución de alimentación en el interior de la cubierta de ósmosis inversa. En el caso del agua del mar habitual, la concentración es de aproximadamente 35.000 partes por millón (ppm) y la presión osmótica correspondiente es de aproximadamente 450 libras por pulgada cuadrada (psi), equivalente a 3.102 kPa. En el caso de un fluido de alimentación de 70.000 ppm, la presión osmótica aproximadamente se duplica hasta las 900 psi (aproximadamente 6.205 kPa). Un sistema habitual de ósmosis inversa para agua marina utiliza una serie de membranas que recuperan hasta aproximadamente un 45% de agua dulce y generan aproximadamente un 55% de salmuera concentrada a partir del volumen original de agua marina. La presión neta de accionamiento (NDP) es igual a la presión de alimentación menos la presión osmótica. La presión neta de accionamiento es la energía de presión disponible para impulsar un fluido puro a través de la membrana.

Haciendo referencia a continuación a la figura 1A, un sistema 10 de ósmosis inversa según el estado de la técnica anterior incluye una disposición de membrana 12 que genera un caudal de permeado a través de una tubería de permeación 14 y un caudal de salmuera a través de una tubería de salmuera 16 procedente del caudal de alimentación de una tubería de alimentación 18. El caudal de alimentación procede de una fuente 19 que habitualmente incluye agua salobre o agua del mar. Una bomba de alimentación 20 acoplada a un motor 22 presuriza el caudal de alimentación 18 a la presión requerida, y dicho caudal de alimentación 18 entra en la disposición de membrana 12 a la presión requerida.

La disposición de membrana 12 incluye una cubierta de la membrana o un recipiente a presión 24 y una membrana 26. La parte del caudal de alimentación 18 que fluye a través de la membrana 26 antes de salir de la disposición de membrana 12 forma el caudal de permeado 14 que sale a través de la tubería de permeado 14. La parte del caudal de alimentación 18 que no fluye a través de la membrana 26 antes de salir de la disposición de membrana 12 forma el caudal de salmuera que sale por la tubería de salmuera 16.

El caudal de permeado 14 es un flujo de fluido purificado a baja presión que es recogido en un depósito 28 o es enviado por tubería al lugar deseado. El caudal de salmuera 16 es un caudal a una presión más elevada que contiene materiales disueltos bloqueados por medio de la membrana 26. La presión del caudal de salmuera 16 es solo ligeramente inferior a la del caudal de alimentación 18. Una válvula de control 30 puede ser utilizada para regular el flujo a su través y la presión en la disposición 12 de membrana. El caudal de salmuera 16 puede fluir a través de la válvula de control 30 y hacia un desagüe o un depósito 32.

Haciendo referencia a continuación a la figura 1B, la membrana 26 de la figura 1A está formada habitualmente de una pluralidad de elementos 40. Los elementos 40 están normalmente formados en una forma cilíndrica mediante el enrollado de una pluralidad de láminas y separadores juntos. En este ejemplo, una primera lámina 42 y una segunda lámina 44 están pegadas entre sí en tres lados estando el cuarto lado

en comunicación adherido con el tubo central de recogida 46 que comunica el permeado al punto deseado como se indica por medio de la flecha 48. La salmuera, que también puede ser denominada como rechazo 50, no entra en el tubo de recogida 46. Las láminas y los separadores están pegados entre las láminas 42 y 44 de la membrana para permitir que la lámina 44 permanezca ligeramente separada y permita que el permeado fluya al tubo de recogida 46. Se utiliza una segunda lámina separadora 54 para mantener las láminas de las membranas ligeramente separadas y permitir el flujo axial a través del elemento y permitir que la salmuera o rechazo 50 fluya a su través.

Haciendo referencia a continuación a la figura 1C, una tubería de entrada 60 comunica fluidicamente el fluido con el recipiente a presión 24. Un distribuidor 62 del flujo distribuye fluido a los elementos de la ósmosis inversa 40A a 40E en vez de alrededor de dichos elementos 40A a 40E. El distribuidor de fluido 62 reparte el flujo de fluido radialmente a través de la superficie del elemento 40A. La junta 64 permite que el fluido del distribuidor 62 no rodee el primer elemento 40A. El flujo continúa secuencialmente a través de los elementos 40A a 40E. Los tubos de recogida del permeado 46A, 46B, 46C, 46D y 46E reciben el permeado de cada uno de los elementos 40A a 40E respectivos. Los conectores 66A a 66D unen los sucesivos tubos de recogida 46A a 46E. Un dispositivo antitelescópico 68 puede ser utilizado para mantener la posición de los elementos 40A a 40E con respecto al distribuidor de flujo 62. En la mayor parte de aplicaciones se utilizan entre tres y ocho elementos. En este ejemplo son utilizados cinco de ellos. Se utiliza una tubería 70 de salida de la salmuera para extraer la salmuera del recipiente a presión 24. El tubo de recogida de salida del permeado fluye en la dirección indicada mediante la flecha 48.

A medida que la alimentación avanza de elemento en elemento, la cantidad de sólidos totales disueltos aumenta hasta que la salmuera sale por el tubo 70. La presión osmótica viene determinada principalmente por la concentración de sólidos totales disueltos. Cada elemento sucesivo tiene una concentración mayor y por consiguiente una presión osmótica más elevada y una presión neta de accionamiento (NDP) menor que el elemento precedente. En consecuencia, cada elemento sucesivo tiene una menor producción de permeado que el elemento precedente. Una presión mínima neta de accionamiento (NDP) para el agua del mar en un sistema de RO (ósmosis inversa) es de unas 100 psi (689,5 kPa). La presión inicial de alimentación debe ser sustancialmente más elevada que la presión osmótica inicial para garantizar una presión neta de accionamiento (NDP) disponible suficiente hacia el final de la disposición. Una presión habitual puede ser de unas 800 psi (5516 kPa) mientras que la presión osmótica es de unas 450 psi (3103 kPa), lo que proporciona una presión neta de accionamiento (NDP) de 350 psi (2413 kPa) para el primer elemento. Al final de la disposición la presión osmótica puede ser de 700 psi (4826 kPa), lo que reduce la presión neta de accionamiento a 100 psi (689,5 kPa). Una presión inicial neta de accionamiento elevada es un desperdicio debido a que la presión es mucho más elevada de lo necesario para una velocidad óptima de producción de permeado. En una situación ideal, la presión de alimentación aumentaría gradualmente para compensar el incremento de presión osmótica con el resultado de una presión neta de accionamiento constante en toda la disposición.

Otra cuestión con los sistemas de ósmosis inversa es la polarización. La polarización es la formación de una capa límite estancada adyacente a la superficie de la membrana en donde la concentración de salinidad y de suciedad se hace muy elevada. La polarización se produce cuando la velocidad del flujo a través de los elementos de la membrana se reduce a un valor determinado. La polarización habitualmente resulta grave cuando la velocidad del flujo desciende por debajo del cincuenta por ciento con respecto a la velocidad del flujo de entrada en el primer elemento. La cantidad habitual de permeado que puede ser recuperado es de aproximadamente el cincuenta por ciento o menor y puede ser de un margen típico entre el treinta y ocho y el cuarenta y cinco por ciento.

Haciendo referencia a continuación a la figura 2A, una manera en la que se consigue una recuperación del permeado más elevada es utilizando un primer conjunto de recipientes a presión 210A, 210B que alimentan un segundo conjunto de recipientes a presión 210C. En este ejemplo, se muestran dos recipientes a presión en una primera etapa 212 y se muestra un recipiente a presión único en una segunda etapa 214. Este tipo de configuración se denomina como disposición 2:1. El fluido de alimentación entra en un colector de alimentación 220 que lo distribuye entre los recipientes a presión 210A y 210B. La salmuera sale de los recipientes a presión 210A y 210B a través de un colector de salmuera 224 hacia el recipiente a presión 210C en la segunda etapa 214. El permeado sale de los recipientes a presión 210A y 210B a través de un colector de permeado 228. El colector de permeado 228 está asimismo en comunicación con el permeado generado en el recipiente a presión 210C. La salmuera más concentrada es extraída del recipiente a presión 210C a través de una tubería de salmuera 230. Por supuesto, son conocidos otros tipos de configuraciones de disposición, tales como los 3:2 y 4:3. En el caso de sistemas de tres etapas se han utilizado configuraciones 6:4:2. Los sistemas de dos etapas tienen una recuperación de permeado de aproximadamente el cincuenta por ciento al setenta y cinco por ciento. Los sistemas de tres etapas pueden también recuperar hasta aproximadamente el ochenta y cinco por ciento del permeado.

Un segundo ejemplo de un sistema de dos etapas se muestra en la figura 2B. En este ejemplo, se utiliza una bomba de refuerzo 240 entre las dos etapas. Esto es, la bomba de refuerzo 240 está en comunicación con el

colector de salmuera 224 y refuerza la presión en el colector de salmuera 224 hasta la presión deseada para compensar las pérdidas en la presión neta de accionamiento que se producen en el interior de los recipientes a presión 210A y 210B de la primera etapa 212. Los dispositivos de recuperación de energía tales como los turbocompresores son conocidos por ser utilizados en los sistemas de ósmosis inversa, para recuperar la energía hidráulica de un caudal de salmuera que sale de la última etapa y refuerza la presión de otro caudal, tal como el caudal de alimentación.

En la figura 3A, un recipiente a presión 310 tiene un caudal de salmuera 312 que es enviado a un turbocompresor 314 que tiene una parte de bombeo 316 y una parte de turbina 318. La parte de turbina 318 recibe el caudal de salmuera a alta presión 312 que a su vez es utilizado para accionar la bomba 316 que recibe fluido de alimentación de una bomba de alta presión 320. La bomba de alta presión 320 es accionada por un motor 322. La turbina 318 puede estar también conectada a un motor 330 a través de un eje común 332. El motor 330 es accionado por medio de un dispositivo de frecuencia variable 334. Durante el funcionamiento, el fluido de alimentación es presurizado a un nivel intermedio por medio de la bomba de alta presión 320. La presión final del fluido de alimentación se consigue mediante la parte de bombeo 316 del turbocompresor 314. La parte de bombeo 316 proporciona el fluido de alimentación al recipiente a presión 310 a través de una tubería de alimentación 340. El permeado sale del recipiente a presión a través de la tubería de permeado 342.

Un accionamiento de frecuencia variable 324 es utilizado para accionar la bomba 320. No obstante, si en la turbina 318 están dispuestos un motor 330 y un accionamiento de frecuencia variable 334, el accionamiento de frecuencia variable 324 no es necesario. En algunos casos, el motor 330 puede actuar como un generador si la parte de turbina 318 produce más energía de la necesaria para la sección de bombeo 314 para generar el refuerzo de alimentación deseado. El fluido que ha sido despresurizado en la parte de turbina 318 es recibido en un desagüe 349.

Un sistema de ósmosis inversa que tiene una primera etapa 350 y una segunda etapa 352 se muestra en la figura 3B. La primera etapa 350 se muestra con un primer recipiente a presión 353 mientras que la segunda etapa se muestra con un segundo recipiente a presión 354. El permeado de cada etapa 350, 352 es recogido en un colector de permeado 356. Un colector de salmuera 358 está en comunicación con un turbocompresor 360 que tiene una parte de bombeo 362 y una parte de turbina 364. La parte de turbina 364 recibe el fluido de salmuera a presión del colector 358 de salmuera y hace girar la parte de bombeo 362 para presurizar el fluido de salmuera del interior del colector de salmuera 366 que sale del primer recipiente a presión 353. Un motor 370 y un accionamiento 372 de frecuencia variable también pueden ser utilizados en esta configuración. El motor 370 se utiliza para ajustar la velocidad del motor de la parte de turbina 364, que a su vez aumenta la velocidad y la salida a presión de la parte de bombeo 362. De este modo, el motor 370 puede ser utilizado para aumentar o reducir el refuerzo de la parte de bombeo 362.

Haciendo referencia a continuación a la figura 4A, en ella se muestra un turbocompresor 410 que tiene una parte de bombeo 412 y una parte de turbina 414. La turbina incluye una tobera principal 416 y una tobera auxiliar 418 que está controlada por medio de una válvula auxiliar 420. Una válvula de derivación 422 está situada al exterior del turbocompresor 410 y puede ser utilizada para controlar la cantidad de fluido que se deriva de la parte de turbina 414. La totalidad o casi la totalidad del fluido dirigido hacia el turbocompresor 410 se puede comunicar con la válvula de derivación 422. Una válvula de contrapresión 424 está en comunicación fluida con la salida de la parte de turbina 414 y/o con la válvula 422. La válvula de contrapresión 424 se utiliza para crear una contrapresión en la parte de turbina 414. El flujo a través de la tubería 430 se regula por medio de la válvula de derivación 422. El controlador 426 controla el funcionamiento de la válvula auxiliar 420 a través de la línea de control 432A. El funcionamiento de la válvula de derivación se realiza a través de la línea de control 432B y el control de la válvula de contrapresión 424 a través de la línea de control 432C. Habitualmente, un operador del sistema cambia las regulaciones para abrir y cerrar las válvulas de la manera deseada.

Haciendo referencia a continuación a la figura 4B, el diferencial de la turbina con respecto al flujo 450 de la turbina tiene la válvula auxiliar 420 en posición cerrada. La línea 452 muestra la presión diferencial con la válvula auxiliar abierta en un intervalo de flujo de la turbina. La curva 454 muestra el refuerzo de presión de alimentación estimado con la tobera auxiliar en la posición totalmente abierta. La curva 456 muestra el refuerzo de alimentación con la tobera auxiliar totalmente cerrada. El gráfico muestra las áreas 460, 462, 464 y 466. El área 460 está totalmente dentro del intervalo de la tobera auxiliar y tiene la válvula de derivación 422 completamente cerrada, y la válvula de contrapresión 424 totalmente abierta. El área 462 se extiende a la zona en la que la turbina no puede crear una resistencia suficiente al flujo para conseguir la ΔP deseada en el intervalo de flujo indicado. Por consiguiente, la válvula de contrapresión 424 debe estar parcialmente cerrada. El área 464 se extiende a la zona de derivación que muestra que la turbina no puede derivar la totalidad del flujo. Por lo tanto, es necesario que la válvula de derivación 422 y la turbina gestionen el exceso de flujo. En el área 466 una parte está en la zona de contrapresión y una parte en la zona de derivación. Por consiguiente, la válvula de derivación 422 y la válvula de contrapresión 424 son accionadas

de manera adecuada. Esto es, las áreas 462, 464, 466 son manipuladas por las válvulas 422 y 424, de modo que la turbina funciona entre las curvas 450 y 452.

Haciendo referencia a continuación a la figura 5A, en ella se muestra un dispositivo de recuperación de energía 510 que tiene una tobera principal de entrada 512 que recibe un caudal de salmuera. La tobera de entrada 512 comunica el fluido de entrada, tal como el caudal de salmuera, a una voluta 514. Un canal auxiliar 520 es utilizado para enviar fluido a través de una tobera auxiliar 522. El vástago 524 de la válvula es accionado manualmente para abrir y cerrar la tobera auxiliar 522. Una junta 526 tal como una junta tórica o varias juntas tóricas impiden que la fuga de salmuera hacia la empuñadura 528 y cerca del vástago 524 de la válvula se comunique a la atmósfera. El vástago 524 de la válvula se muestra en la figura 5A en posición cerrada. Según la figura 5B, el vástago 524 de la válvula se ilustra en posición abierta para mostrar el asiento 530 de la válvula contra el cual queda sellado el vástago 524 de la válvula. Cuando se requiere un flujo adicional de la turbina o una presión diferencial reducida a través de la turbina, el vástago 524 de la válvula puede ser extraído para crear una trayectoria del flujo desde la entrada de la turbina hasta la voluta a través del paso o de la tobera auxiliar 522.

La publicación de la Patente US 2013/277310 da a conocer un sistema de ósmosis inversa que incluye disposiciones de membrana primera y segunda, conectadas en serie, para generar unos primeros caudales de permeado y de salmuera de un caudal de alimentación, y unos segundos caudales de permeado y de salmuera del primer caudal de salmuera. Está dispuesto un dispositivo de refuerzo hidráulico para utilizar energía del segundo caudal de salmuera para incrementar la presión del caudal de alimentación o del primer caudal de salmuera. La totalidad del segundo caudal de salmuera fluye a través del dispositivo de refuerzo hidráulico que puede incluir una tobera de la turbina con área variable para ajustar el refuerzo producido.

La publicación de la Patente US 2014/0238938 da a conocer un sistema para la desalinización de agua salada. El agua salada tratada previamente es presurizada y pasa a través de una primera cámara de ósmosis mediante bombas y dispositivos de intercambio de presión para producir un caudal de agua potable y una solución a alta presión que es utilizada para ayudar a accionar los dispositivos de intercambio de presión. Se proporciona a un primer dispositivo de intercambio de presión la totalidad del caudal de la solución de alta presión desde la primera cámara de ósmosis. Se proporciona a un segundo dispositivo de intercambio de presión la totalidad del caudal de una solución de alta presión diluida de la segunda cámara de ósmosis.

La publicación de la Patente US 2007/181473 da a conocer un sistema de ósmosis inversa para la desalinización de agua del mar. El sistema incluye una turbina que está accionada por el concentrado de un módulo de membrana y acciona una bomba de refuerzo utilizada para reforzar la presión del agua alimentada desde una bomba de alta presión. Una parte del concentrado puede ser desviada a una segunda turbina colocada en paralelo a la turbina y que ayuda a accionar la bomba de alta presión. Ambas turbinas reducen la presión del concentrado a la presión ambiental de modo que el caudal de concentrado puede ser devuelto directamente al depósito.

CARACTERÍSTICAS

La presente invención da a conocer un sistema de ósmosis inversa que incluye una bomba que puede ser accionada para presurizar un caudal de alimentación, una primera disposición de membrana configurada para recibir el caudal de alimentación y generar un primer caudal de permeado y un primer caudal de salmuera a partir del caudal de alimentación. El sistema de ósmosis inversa incluye, además, una segunda disposición de membrana configurada para recibir el primer caudal de salmuera y generar un segundo caudal de permeado y un segundo caudal de salmuera, a partir del primer caudal de salmuera. Un primer turbocompresor comprende una primera turbina configurada para recibir el segundo caudal de salmuera y para utilizar la primera energía del segundo caudal de salmuera para aumentar selectivamente la primera presión del primer caudal de salmuera. La primera turbina incluye una primera cubierta del turbocompresor con un primer paso de derivación asociado a una primera válvula de derivación, una primera tobera principal que comunica una primera parte de la primera porción del segundo caudal de salmuera a una primera voluta y una primera tobera auxiliar que comprende una primera válvula auxiliar que comunica selectivamente una segunda parte de la primera porción del segundo caudal de salmuera a la primera voluta. Una segunda parte del segundo caudal de salmuera se comunica a través de la primera válvula de derivación, y la primera parte y la segunda parte se combinan para modificar el segundo caudal de salmuera. Un segundo turbocompresor comprende una segunda turbina configurada para recibir el segundo caudal de salmuera después del primer turbocompresor y para utilizar la segunda energía del segundo caudal de salmuera para incrementar la segunda presión del caudal de alimentación. La segunda turbina incluye una segunda cubierta de turbocompresor que comprende un segundo paso de derivación asociado con una segunda válvula de derivación, una segunda tobera principal que comunica la primera parte de la tercera porción del segundo caudal de salmuera con una segunda voluta y una segunda tobera auxiliar que comprende una segunda válvula auxiliar que comunica selectivamente una segunda parte de la tercera porción del segundo caudal de salmuera con la segunda voluta. Una cuarta parte del segundo caudal de salmuera se comunica a través de

la segunda válvula de derivación. Un primer caudalímetro está configurado para generar una primera señal de flujo correspondiente a un primer flujo del primer caudal de permeado. Un segundo caudalímetro está configurado para generar una segunda señal de flujo correspondiente a un segundo flujo del segundo caudal de permeado. Un tercer caudalímetro está configurado para generar una tercera señal de flujo correspondiente a un tercer flujo del segundo caudal de permeado. Un motor está acoplado al primer turbocompresor o al segundo turbocompresor y puede funcionar para utilizar energía de un suministro de potencia para accionar el primer turbocompresor o el segundo turbocompresor. Un controlador está en comunicación con el primer caudalímetro, el segundo caudalímetro y el tercer caudalímetro. El controlador está configurado para controlar la primera válvula auxiliar, la primera válvula de derivación, la segunda válvula auxiliar y la segunda válvula de derivación en respuesta a la primera señal de flujo, a la segunda señal de flujo y a la tercera señal de flujo.

En otro aspecto de la invención, el procedimiento de funcionamiento de un sistema de ósmosis inversa incluye dirigir un caudal de alimentación a una primera disposición de membrana para dividir el caudal de alimentación en un primer caudal de permeado y un primer caudal de salmuera, dirigiendo el primer caudal de salmuera a una segunda disposición de membrana para dividir el primer caudal de salmuera en un segundo caudal de permeado y un segundo caudal de salmuera, determinando una primera señal de flujo correspondiente a un primer flujo en el primer caudal de permeado, determinando una segunda señal de flujo correspondiente a un segundo flujo en el segundo caudal de permeado, determinando una tercera señal de flujo correspondiente a un tercer flujo en el segundo caudal de salmuera, recibiendo el segundo caudal de salmuera en una primera turbina de un primer turbocompresor, comprendiendo dicha primera turbina una primera cubierta de turbocompresor que comprende un primer paso de derivación asociado con una primera válvula de derivación, una primera tobera principal y una primera tobera auxiliar; comunicando una primera parte de una primera porción del segundo caudal de salmuera a una primera voluta a través de la primera tobera principal; comunicando selectivamente una segunda parte de la primera porción del segundo caudal de salmuera a una primera voluta a través de una primera válvula auxiliar de la primera tobera auxiliar; comunicando una segunda porción del segundo caudal de salmuera a través de la primera válvula de derivación; combinando la primera parte y la segunda parte para modificar el segundo caudal de salmuera determinando un ajuste de la válvula de la primera tobera auxiliar y un ajuste de una primera válvula de derivación como respuesta a la primera señal de flujo y a la tercera señal de flujo, recibiendo el segundo caudal de salmuera en una segunda turbina de un segundo turbocompresor, comprendiendo dicha segunda turbina la cubierta de un segundo turbocompresor que comprende un segundo paso de derivación asociado con una segunda válvula de derivación, una segunda tobera principal y una segunda tobera auxiliar; comunicándose la primera parte de una tercera porción del segundo caudal de salmuera con una segunda voluta a través de la segunda tobera principal; comunicando selectivamente una segunda parte de la tercera porción del segundo caudal de salmuera a la segunda voluta a través de una segunda válvula auxiliar de la segunda tobera; comunicando una cuarta porción del segundo caudal de salmuera a través de la segunda válvula de derivación; determinando el ajuste de la válvula de una segunda tobera auxiliar y el ajuste de una segunda válvula de derivación en respuesta a la segunda señal de flujo y a la tercera señal de flujo y controlando la salida de par de un motor-generador acoplado al primer turbocompresor o al segundo turbocompresor para ajustar la cantidad en que el primer turbocompresor aumenta la presión del primer caudal de salmuera, o en que el segundo turbocompresor aumenta la presión del caudal de alimentación en respuesta a la primera señal de flujo.

Otras áreas de aplicabilidad se harán evidentes a partir de la descripción facilitada en esta memoria.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La figura 1A es una vista esquemática de un sistema de ósmosis inversa del estado de la técnica anterior.

La figura 1B es una vista, en perspectiva, de una membrana de permeado mostrando en ella las capas del estado de la técnica anterior.

La figura 1C es una vista en corte de un recipiente a presión que tiene una pluralidad de elementos de membrana del estado de la técnica anterior.

La figura 2A es una vista de un diagrama de bloques de una configuración de un recipiente a presión multietapa de múltiples elementos del estado de la técnica anterior.

La figura 2B es una vista esquemática de un recipiente a presión de múltiples elementos según el estado de la técnica anterior.

La figura 3A es una vista esquemática de un sistema de ósmosis inversa con un motor acoplado a un turbocompresor del estado de la técnica anterior.

La figura 3B es una vista esquemática de un sistema de ósmosis inversa según el estado de la técnica anterior.

La figura 4A es una vista esquemática de un turbocompresor que tiene una válvula de derivación y una válvula auxiliar según el estado de la técnica anterior.

La figura 4B es un gráfico de un procedimiento para el funcionamiento de un sistema de ósmosis inversa que muestra el diferencial de la turbina y el refuerzo de la alimentación y el flujo de la turbina.

La figura 5A es una vista, en corte, de un turbocompresor que tiene una tobera auxiliar según el estado de la técnica anterior.

La figura 5B es una vista, en corte, de la turbina mostrada en la figura 5A en una posición abierta del estado de la técnica anterior.

5 La figura 6A es una vista esquemática de un sistema de ósmosis inversa multietapa según la invención anterior.

La figura 6B es una vista esquemática de un sistema de ósmosis inversa multietapa.

La figura 6C es una vista esquemática de un sistema de ósmosis inversa multietapa según un tercer ejemplo de la presente invención.

10 La figura 7A es una vista, en sección transversal, de un canal de derivación del turbocompresor y de un canal auxiliar que tienen el vástago de la válvula en posición cerrada.

La figura 7B es una vista, en sección transversal, del turbocompresor de la figura 7A que tiene el vástago de la válvula en una posición parcialmente abierta.

15 La figura 7C es una vista, en sección transversal, del turbocompresor de las figuras 7A y 7B en una posición completamente abierta.

La figura 8A es una vista, en sección transversal, de un turbocompresor que tiene un control independiente del vástago de una válvula de derivación y de una tobera auxiliar.

La figura 8B es una vista, en sección transversal, del turbocompresor de la figura 8A que tiene el vástago de la válvula del canal de derivación en posición abierta.

20 La figura 9A es una vista de diagrama de bloques de un sistema de ósmosis inversa que tiene múltiples etapas según la presente invención.

La figura 9B es un gráfico que ilustra el funcionamiento del turbo entre etapas 940 de la figura 9A.

La figura 9C es un gráfico que ilustra la configuración de la válvula auxiliar y de la válvula de derivación para el turbo de alimentación de la figura 9A.

25 La figura 10 es un diagrama de flujo de un procedimiento para el funcionamiento del sistema de ósmosis inversa de la figura 9A.

La figura 11 es un diagrama de flujo de un procedimiento para el funcionamiento de un sistema de ósmosis inversa cuando la presión de la salmuera es insuficiente para conseguir el refuerzo deseado.

30 DESCRIPCIÓN DETALLADA

Con el objeto de una mayor claridad, se utilizarán los mismos números de referencia en los dibujos para identificar elementos similares. Tal como se utiliza en esta descripción, la frase "por lo menos uno de A, B y C" debe ser considerada que significa una lógica (A o B o C), utilizando una "o" lógica no exclusiva. Se debe comprender que las etapas dentro de un procedimiento pueden ser ejecutadas en un orden diferente sin alterar los principios de la presente invención.

40 Haciendo referencia a continuación a la figura 6, un sistema de ósmosis inversa 610 tiene una primera etapa 612 y una segunda etapa 614. La primera etapa 612 incluye tres recipientes a presión 620A, 620B y 620C que están dispuestos en paralelo. La segunda etapa 614 incluye 620D y 620E. Un diverso número de recipientes a presión pueden estar situados en cada una de las etapas 612, 614. Además, un diverso número de etapas puede estar incluido en el sistema. El flujo se reduce cuando el fluido avanza a través de las etapas, de modo que las etapas subsiguientes tienen menos recipientes a presión que las etapas anteriores.

45 Una bomba de alta presión 630 recibe agua del mar o salobre. La bomba de alta presión 630 alimenta un dispositivo de recuperación de energía tal como un turbocompresor hidráulico 632 con un fluido a elevada presión. El turbocompresor 632, tal como se describirá adicionalmente más adelante, aumenta la presión del fluido suministrado desde el sistema de bombeo de alta presión 630. El turbocompresor 632 incluye una parte de bombeo 634 y una parte de turbina 636. El turbocompresor 632 puede estar en comunicación con un motor 637 que hace girar un eje común 639 que se extiende a la parte de bombeo 634 y a la parte de turbina 636 y las hace girar. La parte de bombeo 634 está en comunicación fluida con un colector de alimentación 638 que proporciona el fluido presurizado a los recipientes a presión 620A a 620C en paralelo. Los recipientes a presión 620A a 620C producen un permeado que es dirigido a un colector de permeado 640. La salmuera procedente de los recipientes a presión 620A a 620C es dirigida a un segundo turbocompresor 642 que incluye una parte de bombeo 644 y una parte de turbina 646 a través de un colector de salmuera 648. La parte de bombeo 644 recibe fluido de salmuera altamente presurizado de los recipientes a presión 620A a 620C. La parte de bombeo 644 aumenta la presión del fluido en el interior del colector de salmuera 648. De este modo, aumenta la presión del fluido en el colector de entrada 650 en la segunda etapa 614 de los recipientes a presión 620A a 620C. El permeado producido en los recipientes a presión 620D y 620E está en comunicación con el colector de permeado 640. La salmuera procedente de los recipientes a presión 620D y 620E está en comunicación con el colector de salmuera 654, el cual está en comunicación con la parte de turbina 646 del turbocompresor 642. El fluido presurizado en el colector de salmuera 654 acciona la parte de turbina 644 que a su vez acciona la parte de bombeo 644.

La parte de turbina 646 tiene una salida 656 que comunica la totalidad del volumen de salmuera de la parte de turbina 646 con la entrada de la parte de turbina 636. La salida de la parte de turbina 636 está comunicada fluidicamente con un desagüe 658.

Haciendo referencia a continuación a la figura 6B, en ella se muestra un sistema 10' de ósmosis inversa multietapa de tres etapas. En este ejemplo, se muestran tres etapas 612', 614' y 615'. Aunque solamente se muestra un recipiente a presión 620A, 620B y 620F en cada etapa, los recipientes a presión 620A a 620F pueden representar múltiples recipientes a presión en paralelo. Siguiendo el ejemplo expuesto en la figura 6A, la primera etapa puede tener un mayor número de recipientes a presión que la etapa 614' y la etapa 614' puede tener un mayor número de recipientes a presión que la etapa 615'.

Debido a la etapa adicional, se establece un turbocompresor 662 adicional que tiene una parte de bombeo 664 y una parte de turbina 666. En este ejemplo, el colector 654' de la bomba de salmuera está en comunicación con el tercer turbocompresor 662. La salida de cada uno de los tres recipientes a presión mostrados (o la combinación en paralelo de recipientes a presión) está en comunicación fluida con el colector de permeado 640. En este ejemplo, la parte de bombeo 664 comunica fluido a una tubería de entrada 670 del recipiente a presión 620F. La salida de salmuera 672 del recipiente a presión 620F está en comunicación fluida con la parte de turbina 666. Todo el fluido que abandona la parte de turbina se comunica a la parte de turbina 646 a través de la tubería 674. Todo el fluido que abandona la parte de turbina 646 está en comunicación con la parte de turbina 636.

Haciendo referencia a continuación a la figura 6C, en ella se expone un sistema 610" de ósmosis inversa de tres etapas. En este ejemplo, las tres etapas 612", 614" y 615" pueden incluir también una pluralidad de depósitos a presión en paralelo. Se muestran elementos similares a los de la figura 6B. En este ejemplo, el turbocompresor 642 de la segunda etapa ha sido eliminado. En este ejemplo, se utiliza una tubería 678 para comunicar la parte de turbina 666 con la parte de turbina 636 directamente. Todo el fluido de la salmuera comunicado a través de la parte de turbina 666 es comunicado a la parte de turbina 636.

Haciendo referencia a continuación a las figuras 7A a 7C, los turbocompresores mostrados en las figuras 6A y 6B pueden estar formados de acuerdo con la siguiente configuración para un turbocompresor 710 mostrado a continuación. El turbocompresor 710 incluye una cubierta 712 del turbocompresor. La cubierta 712 del turbocompresor incluye una voluta 714 que tiene un impulsor rotativo en la misma. El impulsor ha sido retirado por motivos de simplificación. El turbocompresor 710 incluye una entrada 716 que conduce a la voluta 714 a través de una tobera principal 717. Un paso de derivación 718 es utilizado para evitar la voluta 714. El paso de derivación 718 está en comunicación fluida con la entrada 716 y una salida 719. Una tobera auxiliar 720 está en comunicación fluida con un canal auxiliar 722. El canal auxiliar 722 acopla de modo fluido la tobera auxiliar 720 y la entrada 716. Un vástago 730 de la válvula está situado en el interior de un canal 732 del vástago. El canal 732 del vástago está aislado fluidicamente del canal auxiliar 722 y del paso de derivación 718 por medio de un par de juntas 736 y 738. La junta 736 está situada entre el canal auxiliar 722 y el paso de derivación 718. La junta 738 está situada entre el paso de derivación 718 y el exterior de la cubierta 712.

En la figura 7A, el vástago 730 de la válvula está situado en una posición cerrada por lo que el paso de derivación 718 y el canal auxiliar 722 no están comunicando fluido a su través. Todo el flujo de salmuera procedente de la entrada 716 llega a la voluta 714 a través de la tobera principal 717. En la figura 7B, el vástago 730 de la válvula está parcialmente retirado para permitir el flujo a la tobera auxiliar 720. El flujo de salmuera no es comunicado a través del paso de derivación 718. Mediante el posicionado del vástago 730 de la válvula en la ubicación indicada en la figura 7B, se consigue un flujo adicional de la turbina o un diferencial de presión reducido a través de la turbina. A través de la salida 719 no sale ningún flujo.

El vástago 730 de la válvula incluye una pluralidad de aberturas 740A, 740B, 740C y 740D. Las aberturas 740A a 740D pueden estar en el interior del paso de derivación 718 en el que están presentes durante algunas de las posiciones del vástago 730 de la válvula. En la figura 7A, las aberturas 740 no están pasando fluido a su través y están entre el paso de derivación 718 y el canal auxiliar 722. En la figura 7B, las aberturas 740A a 740D tampoco están comunicando fluido a su través. En la figura 7C, las aberturas 740A a 740D están todas comunicando una parte del fluido derivado a su través, de modo que el paso de derivación 718 tiene un flujo de fluido a través del mismo. El tamaño y el número de las aberturas 740A a 740D puede variar dependiendo de las características deseadas del flujo a través del paso de derivación 718. Por supuesto, es posible una posición parcial en la que menos de la totalidad de las aberturas 740A a 740D están descubiertas y comunican fluido a través del paso de derivación 718 hacia la salida 719. De nuevo, el número de aberturas y el número de aberturas descubiertas puede variar dependiendo de las diversas condiciones de funcionamiento del vástago 730 de la válvula. Se debe tener en cuenta que el vástago 730 de la válvula es perpendicular a una parte del paso de derivación 718 y al canal auxiliar 722 en el cual está introducido. El vástago 730 de la válvula es coaxial con la tobera auxiliar 720. El vástago 730 de la válvula permite el control simultáneo tanto del paso de derivación 718 como de la tobera auxiliar 720 a través del canal auxiliar 722. Un único dispositivo de accionamiento 750 de la válvula puede ser

utilizado para mover la válvula. El dispositivo de accionamiento de la válvula puede ser hidráulico, eléctrico o manual.

Haciendo referencia a continuación a las figuras 8A y 8B, en ellas se muestra un turbocompresor 810 que tiene una cubierta 812. Las mismas partes están etiquetadas igual que las expuestas en las figuras 7A y 7B. En este ejemplo, el canal auxiliar 722 y la entrada 716 están configurados de la misma manera. Sin embargo, en este ejemplo se muestra un paso de derivación 816 que tiene una configuración diferente de la expuesta en las figuras 7A a 7C. En este ejemplo, el paso de derivación 816 pasa a través de una pared exterior 817 pero no cruza la trayectoria del vástago 830 de la válvula. El vástago 830 de la válvula está modificado con respecto al mostrado en las figuras 7A a 7C mediante la no inclusión de las aberturas 740A a 740D. Una de las juntas 736, 738 puede ser también retirada. En este ejemplo, el dispositivo de accionamiento 750 de la válvula acciona el vástago 830 de la válvula para abrir y cerrar la tobera auxiliar 720 sin tener en cuenta el canal de derivación 718.

En este ejemplo, se muestra un segundo vástago 860 de válvula en el interior del paso de derivación 816. Esto es, el vástago 860 de la válvula bajo el movimiento del dispositivo de accionamiento 862 abre y cierra el paso de derivación 816 independientemente del vástago 830 de la válvula. En este ejemplo, los vástagos 830 y 860 de válvula son perpendiculares entre sí. Los vástagos 830 y 860 de la válvula no cruzan sus trayectorias. Una junta 864 sella el paso de derivación 816 del entorno a través de la cubierta 812. El vástago 860 de válvula está sellado contra el asiento 866 de válvula cuando está cerrado.

En la figura 8B, se muestra el vástago 860 de la válvula de manera que está retirado para permitir que el flujo circule a través del paso de derivación 816 hacia una salida 818. El vástago 830 de la válvula puede estar en cualquier posición con respecto a la posición del vástago 860 de la válvula.

El asiento 870 de válvula sella el vástago 830 de la válvula contra la abertura de la tobera auxiliar 720 para impedir que el flujo entre en la tobera auxiliar 720.

Haciendo referencia a continuación a la figura 9A, en ella se presenta un sistema de separación tal como un sistema de ósmosis inversa 910. Para conseguir el beneficio máximo, cada dispositivo entre etapas de recuperación de energía debería producir la cantidad deseada de refuerzo de la presión de alimentación para conseguir los requisitos de producción de permeado y mantener el flujo de salmuera a un valor determinado. Además, cada recipiente a presión en cada etapa debería tener aproximadamente el mismo flujo de alimentación, el mismo flujo de salmuera y el mismo flujo de permeado. Toda o casi toda la energía hidráulica de la salmuera puede ser recuperada, independientemente de la magnitud de refuerzo de la presión requerida por los dispositivos de recuperación de energía. En los sistemas de ósmosis inversa de agua del mar, la energía hidráulica requerida para un refuerzo óptimo de la presión entre etapas es significativamente menor que la cantidad de energía disponible, de modo que es necesario un medio para recuperar la energía restante. En los sistemas de ósmosis inversa de aguas salobres, puede estar disponible una energía de la salmuera insuficiente requiriendo por tanto medios para añadir energía al proceso de refuerzo entre etapas. El sistema 910 de ósmosis inversa mostrado en la figura 9A obtiene esta mejora de resultados.

La ósmosis inversa 910 tiene una bomba de alta presión 920 que actúa como una bomba de alimentación. La bomba de alta presión 920 comunica fluido a alta presión al turbocompresor 922. El turbocompresor 922 tiene una parte de bombeo 924 y una parte de turbina 926. La parte de bombeo 924 presuriza el fluido desde la bomba de alta presión 920 a una presión mayor y comunica el fluido a presión más elevada a través de una tubería de entrada 928 antes de entrar en el interior del recipiente a presión 930. Aunque solamente se muestra un recipiente a presión, pueden estar dispuestos múltiples recipientes a presión en paralelo. El permeado generado desde el recipiente a presión 930 es comunicado a un colector de permeado 932. Un segundo recipiente a presión 936 está también dispuesto en el sistema. De nuevo, el recipiente a presión 936 puede ser un único recipiente a presión o una pluralidad de recipientes a presión en paralelo. El recipiente a presión 936 recibe salmuera comunicada desde el recipiente a presión 930. Esto es, el recipiente a presión 930 tiene una salida de salmuera 938 que comunica salmuera a un segundo turbocompresor 940. El turbocompresor 940 tiene una parte de bombeo 942 y una parte de turbina 944. La parte de bombeo 942 aumenta la presión del fluido de salmuera en el interior de la parte de bombeo 942. El fluido de salmuera con la presión incrementada es comunicado a una tubería de entrada 946 del recipiente a presión 936 (o en el caso de múltiples recipientes a presión, a cada uno de los recipientes a presión).

La salida del recipiente a presión 936 es a la vez de permeado y de salmuera. El permeado del recipiente a presión 936 es comunicado a través de una tubería 950 al colector de permeado 932. La salida de salmuera 954 del recipiente a presión 936 es comunicada a la entrada de la parte de turbina 944 del turbocompresor 940.

La parte de turbina 926 del turbocompresor 922 puede estar asimismo en comunicación con un motor 960. El motor 960 tiene un eje 961 que gira con la parte de bombeo 924 y la parte de turbina 926. El motor puede

estar en comunicación eléctrica con un suministro de energía 962. El suministro de energía 962 puede proporcionar potencia al motor o recibir energía cuando el motor 960 actúa como un generador.

Cada parte de turbina 926 y 944 puede estar configurada con una respectiva válvula de derivación 964, 966. Tal como se muestra en las figuras 7 y 8, ambas válvulas de derivación y ambas toberas auxiliares pueden estar incluidas dentro de las turbinas 926 y 944. Las válvulas de derivación externas 964 y 966 pueden enviar fluido alrededor de las partes de turbina 926 y 944 respectivamente. Las válvulas de derivación 964 y 966 pueden ser internas con respecto a las partes de turbina 926 y 944.

Un controlador 970 está en comunicación con un primer caudalímetro FM1 y un segundo caudalímetro FM2 a través de una línea de datos 972. El caudalímetro FM1 está dispuesto para recibir el flujo de salida de permeado del primer recipiente a presión 930 y generar una primera señal de flujo de permeado. El segundo caudalímetro FM2 está dispuesto para recibir la salida de permeado del segundo recipiente a presión 936 y generar una segunda señal de flujo de permeado. Un controlador 970 puede monitorizar las señales de flujo de las salidas de ambos recipientes a presión 930, 936, individualmente.

Tal como en el caso anterior con respecto a la figura 6A, la parte de turbina 944 comunica el flujo de salmuera desde el segundo recipiente a presión 936 a la turbina 926 a través de una tubería 963. Es decir, la totalidad del flujo del segundo recipiente a presión 936 es comunicada a través tanto de la parte de turbina 944 como de la parte de turbina 926. Finalmente, la salida 974 de turbina es medida por medio de un caudalímetro FM3 que está en comunicación con el controlador 970 a través de la línea de control 976, generando el caudalímetro FM3 una tercera señal de flujo correspondiente al flujo de salmuera a través del sistema. Finalmente, la turbina 926 comunica el fluido de salmuera al desagüe 978. Preferentemente, la mayor parte de la energía del fluido de salmuera ha sido recuperada dentro de la formación en serie de las turbinas 926 y 944.

El controlador 970 está también en comunicación eléctrica con las líneas de control 981 y 983. Además, los dispositivos de accionamiento de la válvula de derivación (no mostrados específicamente) asociados con las válvulas 964, 966, 980 y 982 pueden estar también controlados por el controlador 970 utilizando las líneas de control 981, 983 en respuesta a las señales de flujo.

Se puede utilizar una línea de control 983 para controlar el motor 960 en respuesta a las señales de flujo. Es conocido asimismo que otros varios sensores tales como indicadores de presión, medidores de la salinidad, indicadores de temperatura, pueden ser utilizados todos ellos para monitorizar el rendimiento de la membrana dentro de los recipientes a presión 930, 936. No obstante, por claridad han sido suprimidos de la figura 9A.

Durante el funcionamiento, las válvulas auxiliares y de derivación ajustadas, así como cualquier válvula de contrapresión, si se utilizan, se utilizan para obtener los requisitos de flujo de salmuera y generar la magnitud deseada de refuerzo de la presión según la ecuación 1:

$$P_{tc} = n * (Q_t / Q_f) * (P_t - P_{ex}) \quad [1]$$

P_{tc} = refuerzo de la presión de alimentación del turbocompresor

n = eficiencia de la transferencia

Q_t = flujo de la turbina

Q_f = flujo de alimentación

P_t = presión de entrada a la turbina

P_{ex} = presión de salida de la turbina

Asimismo

Q_b = flujo de salmuera de la etapa final

Q_{by} = flujo de derivación de salmuera

$Q_t = Q_b - Q_{by}$

El valor P_t para los dispositivos de refuerzo de la presión final es establecido por la presión de la salmuera de la etapa final. Para cada dispositivo sucesivo de recuperación de energía $P_t = P_{ex}$ del dispositivo de recuperación de la siguiente etapa más elevada. Esto es, en la figura 6B, por ejemplo, P_t para el dispositivo de recuperación de energía 662 es igual a la presión de la salmuera en la tubería 672. El dispositivo de recuperación de energía 642 tiene una presión de entrada P_t a la turbina igual a la presión de salida de la turbina de la parte de turbina 666. El turbocompresor 632 tiene una presión de entrada a la turbina igual a la presión de salida de la turbina de la parte de turbina 646. La presión de salida de la parte de turbina 636 es de aproximadamente 15 a 20 psi o aproximadamente de 1,0 a 1,4 bar.

De la anterior ecuación [1], reduciendo el flujo de la turbina o aumentando la presión de salida de la turbina se reduce el refuerzo de la presión de alimentación del turbocompresor. El flujo de la turbina puede ser reducido

cerrando la tobera auxiliar mientras se abre la válvula de derivación para incrementar el flujo de derivación para mantener el flujo de salmuera en la etapa final. En la figura 9A, por ejemplo, el refuerzo puede disminuir sin cambiar el flujo de salmuera. La válvula 980 de la tobera auxiliar puede ser cerrada para reducir el flujo de la turbina y de este modo reducir el refuerzo de la presión de acuerdo con la ecuación anterior, pero mantener el flujo de salmuera constante. La válvula de derivación 966 puede ser abierta para incrementar el flujo de derivación. De este modo, el control simultáneo del flujo de salmuera, así como el refuerzo de la presión de alimentación pueden ser controlados. A partir del análisis del rendimiento de la disposición de membrana, el flujo de permeado a través de un área dada de una membrana, que puede ser denominada flujo o velocidad del flujo, puede ser mantenido constante en toda la disposición de membrana en cada etapa. Esto puede ser aproximado en un sistema multietapa manteniendo la misma velocidad media del flujo de cada etapa. Cada recipiente a presión en cada situación puede tener aproximadamente el mismo flujo de alimentación, el mismo flujo de salmuera y el mismo flujo de permeado mientras se incrementa la presión de etapa en etapa para mantener aproximadamente constante la presión neta de accionamiento. Diversos requisitos del proceso pueden requerir una producción de permeado diferente. En dicho caso, cada etapa puede ser ajustada para mantener la uniformidad y el flujo de alimentación, el flujo de salmuera y el flujo de permeado en cada uno de los recipientes a presión en cada etapa.

Haciendo referencia a continuación a las figuras 9B y 9C, en ellas se muestra un esquema de control para un sistema de dos etapas. En la figura 9B el control del turbocompresor 940 entre etapas se establece si el caudal de permeado Q_p (del FM2) en la etapa (segunda en el ejemplo) es demasiado elevado (por encima de un primer umbral), el refuerzo de la presión del turbocompresor 940 puede ser reducido cerrando la válvula auxiliar tal como se indica mediante la flecha hacia abajo en la figura 9B en la fila superior. Asimismo, la válvula de derivación 966 puede abrirse. Si el flujo de permeado es demasiado bajo (por debajo de un segundo umbral) tal como se indica por medio del caudalímetro FM2, la válvula auxiliar se abre y la válvula de derivación se cierra para aumentar el refuerzo. En la tercera fila de la figura 9B, si el flujo de salmuera es demasiado elevado tal como se indica por medio de FM3 (por encima de un tercer umbral), la válvula 980 de la tobera auxiliar se cierra y la válvula de derivación 966 también se cierra. Si el flujo de salmuera es demasiado bajo (por debajo de un cuarto umbral) la válvula 980 de la tobera auxiliar y la válvula de derivación 966 se abren para reducir la limitación del flujo de salmuera.

Cuando se revisa la ecuación, una combinación de un flujo de permeado bajo y un flujo de salmuera elevado puede parecer contradictoria en la acción de control debido a que la válvula auxiliar se ajustaría en direcciones opuestas. Sin embargo, la lógica de control iteraría la válvula de derivación para estar cada vez más cerrada hasta que tanto el flujo de permeado como el flujo de salmuera hayan alcanzado los valores del punto de ajuste. Debe tenerse en cuenta que no existen entradas en la tabla de pares de flujo de permeado y de flujo de salmuera que requieran exactamente el mismo ajuste de la válvula de control, proporcionando de este modo al controlador la libertad necesaria para determinar todos los puntos de ajuste. La válvula auxiliar 980 y la válvula de derivación 966 se abren o cierran progresivamente de manera iterativa cuando se monitorizan las señales del caudalímetro.

Haciendo referencia a continuación a la figura 9C, en ella se expone un procedimiento para controlar el turbocompresor de alimentación 922. El turbocompresor 922 tiene el motor 960 incluido en el control. Mediante el control del motor se permite que la tobera auxiliar de la parte de la turbina 926 se mantenga abierta al máximo grado y que la válvula de derivación 964 de la parte de la turbina 926 pueda cerrarse lo máximo posible como punto de ajuste, de manera que se pueda alcanzar el refuerzo de alimentación con la potencia del motor, bien añadiendo potencia mediante el giro del eje de la parte de la bomba 922 y de la parte de turbina 926 para un mayor refuerzo, bien extrayendo potencia del rotor del turbocompresor 922 para reducir la magnitud del refuerzo. Esto es, en la figura 9C, cuando el flujo de permeado del FM1 es demasiado elevado (por encima de un quinto umbral) la válvula auxiliar 982 se cierra y la válvula de derivación 964 se abre. El refuerzo se puede reducir utilizando el motor 960. Cuando el flujo de permeado Q_p es demasiado elevado como se indica por medio del caudalímetro FM1, la válvula auxiliar 982 se cierra y la válvula de derivación 964 del turbocompresor 922 se abre. El refuerzo se puede reducir mediante la utilización del motor 960 para extraer potencia del rotor del turbocompresor 922. Tal como se indica en la segunda fila de la figura 9C, cuando el flujo de permeado Q_p es demasiado bajo (por encima de un sexto umbral) como se indica por medio del caudalímetro FM1, la válvula auxiliar 982 se abre y la válvula de derivación 964 se cierra. El refuerzo puede ser incrementado añadiendo potencia al motor 960 que a su vez aumenta la velocidad de rotación del eje 961 del turbocompresor 922. Cuando el flujo de salmuera Q_b es demasiado elevado (por encima de un séptimo umbral) como se expone en la tercera fila de la figura 9C, la válvula auxiliar 982 se cierra y la válvula de derivación 964 se cierra mientras se aumenta la limitación del flujo de salmuera. Cuando el flujo de salmuera es bajo (por debajo de un octavo umbral) la válvula auxiliar 982 se abre y la válvula de derivación 964 se abre. De este modo se reduce la limitación de flujo de salmuera.

Haciendo referencia a continuación a la figura 10, en ella se expone un resumen del procedimiento para controlar los dispositivos de recuperación de energía tales como los turbocompresores en las diversas etapas. En la etapa 1010 el ajuste de la válvula de derivación para el turbocompresor de la etapa final es determinada por su controlador. En la etapa 1014 se determina la P_{ex} para la etapa final. Esto puede ser

calculado o se puede utilizar un modelo matemático 1016 como una aportación opcional. Cuando se utiliza un modelo matemático 1016 se puede aproximar el rendimiento de la membrana. Las válvulas pueden ser movidas iterativamente hacia la configuración determinada en la etapa 1018. De este modo el controlador puede reducir el número de iteraciones de ajuste de la válvula ahorrando tiempo para que la disposición de membrana alcance las condiciones operativas deseadas. En la etapa 1020, se determina la P_t para las etapas previas del turbocompresor. En el ejemplo expuesto en la figura 9A esto corresponde al turbocompresor 922. En la entrada de la turbina P_t . En la etapa 1022 si no se han realizado todas las posiciones de la válvula del turbocompresor, la etapa 1020 es repetida hasta que todas las posiciones de la válvula del turbocompresor hayan sido determinadas y la etapa 1022 es repetida de nuevo. Las válvulas son movidas continuamente hacia las configuraciones determinadas de forma iterativa.

Haciendo referencia a continuación a la figura 11, en ella pueden ser presentadas varias condiciones no previstas en las que la presión de la salmuera puede ser insuficiente para alcanzar el refuerzo deseado. El controlador puede cambiar el requisito del flujo promedio. En la etapa 1110 se determina si la presión de la salmuera es suficiente para alcanzar el refuerzo deseado. Si la presión de la salmuera es suficiente, se cumplen las condiciones operativas normales tales como las expuestas en la figura 10. En la etapa 1112 el requisito de flujo medio es reducido por el controlador para reducir el flujo de salmuera disponible en cada etapa. En la etapa 1114 se reduce el refuerzo de alimentación para cada etapa por medio del controlador. En la etapa 1116 la velocidad media del flujo es calculada de nuevo por el controlador para el sistema. En la etapa 1118 se ajustan las válvulas. La etapa 1110 es realizada de nuevo después de la 1118. Los ajustes provisionales continuarán. Se debe tener en cuenta que las condiciones no previstas pueden reducir la producción de permeado en pocos casos. No obstante, la disposición de membrana será operativa con un consumo mínimo de energía y las membranas estarán protegidas frente a una suciedad excesiva.

Los dispositivos de recuperación de energía expuestos en los ejemplos anteriores pueden tener un diseño hidráulico realizado exprofeso de tal manera que el intervalo hidráulico sobrepase tanto como sea posible el flujo previsto y los intervalos de presión. De este modo, se puede obtener una recuperación máxima de energía y se consigue una reducción del permeado excepcional en condiciones de funcionamiento normales. En el caso de los dispositivos de recuperación de energía entre etapas cuando no se utilizan motores, solamente es adecuada una combinación de posiciones de la válvula auxiliar y de la válvula de derivación para un refuerzo de la alimentación y una velocidad del flujo de la salmuera concretos. En el caso del dispositivo de recuperación de la energía de alimentación (la primera etapa), la presión requerida para la primera situación está garantizada por medio de la utilización de un dispositivo motorizado de recuperación de la energía o de una presión de descarga variable desde la bomba de alta presión. Esto es, el motor 960 puede estar acoplado a la bomba de alta presión 920 de modo que se puedan controlar fácilmente diversas magnitudes de refuerzo de la presión en el primer recipiente de presión 930.

Los expertos en la materia pueden comprender ahora a partir de la descripción anterior que las amplias explicaciones de la invención pueden ser llevadas a la práctica en una diversidad de formas. Por consiguiente, aunque la presente descripción incluye ejemplos concretos, otras modificaciones serán evidentes a los profesionales expertos tras un estudio de los dibujos, de la memoria descriptiva y de las reivindicaciones siguientes.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de ósmosis inversa (910) que comprende:

- 5 una bomba (920) que puede funcionar para presurizar un caudal de alimentación;
una primera disposición de membrana configurada para recibir el caudal de alimentación y para generar un primer caudal de permeado y un primer caudal de salmuera a partir del caudal de alimentación;
una segunda disposición de membrana configurada para recibir el primer caudal de salmuera y generar un segundo caudal de permeado y un segundo caudal de salmuera a partir del primer caudal de salmuera;
 - 10 un primer turbocompresor (940) que comprende una primera turbina (944) configurada para recibir el segundo caudal de salmuera y para utilizar la primera energía del segundo caudal de salmuera para incrementar selectivamente la primera presión del primer caudal de salmuera, comprendiendo la primera turbina una primera cubierta del turbocompresor que comprende un primer paso de derivación asociado con una primera válvula de derivación (966), una primera tobera principal configurada para comunicar una
 - 15 primera parte de una primera porción del segundo caudal de salmuera a una primera voluta y una primera tobera auxiliar que comprende una primera válvula auxiliar (980) configurada para comunicar selectivamente una segunda parte de la primera porción del segundo caudal de salmuera a la primera voluta, en la que, durante la utilización, una segunda porción del segundo caudal de salmuera es comunicada a través de la primera válvula de derivación (966) y la primera porción y la segunda porción se combinan para modificar el
 - 20 segundo caudal de salmuera;
un segundo turbocompresor (922) que comprende una segunda turbina (926) configurada para recibir el segundo caudal de salmuera después del primer turbocompresor (940) y utilizar la segunda energía del segundo caudal de salmuera para incrementar la segunda presión del caudal de alimentación, comprendiendo la segunda turbina una cubierta del segundo turbocompresor que comprende un segundo
 - 25 paso de derivación asociado con una segunda válvula de derivación (964), una segunda tobera principal configurada para comunicar una primera parte de una tercera porción del segundo caudal de salmuera con una segunda voluta y una segunda tobera auxiliar que comprende una segunda válvula auxiliar (982) configurada para comunicar selectivamente una segunda parte de la tercera porción del segundo caudal de salmuera a la segunda voluta, en la que, durante la utilización, una cuarta porción del segundo caudal de
 - 30 salmuera es comunicada a través de la segunda válvula de derivación;
un primer caudalímetro (FM1) configurado para generar una primera señal de flujo correspondiente a un primer flujo del primer caudal de permeado;
un segundo caudalímetro (FM2) configurado para generar una segunda señal de flujo correspondiente a un segundo flujo del segundo caudal de permeado;
 - 35 un tercer caudalímetro (FM3) configurado para generar una tercera señal de flujo correspondiente a un tercer flujo del segundo caudal de salmuera;
un motor (960) acoplado al primer turbocompresor (940) o al segundo turbocompresor (922), que puede funcionar para utilizar energía de un suministro de energía (962) para accionar el primer turbocompresor o el segundo turbocompresor, y
 - 40 un controlador (970) en comunicación con el primer caudalímetro, el segundo caudalímetro y el tercer caudalímetro, estando configurado dicho controlador para controlar la primera válvula auxiliar, la primera válvula de derivación, la segunda válvula auxiliar y la segunda válvula de derivación en respuesta a la primera señal de flujo, la segunda señal de flujo y la tercera señal de flujo.
- 45 2. Sistema de ósmosis inversa (910), según la reivindicación 1, que comprende, además, un primer vástago (730) de válvula que constituye tanto la primera válvula de derivación (966) como la primera válvula auxiliar (980) y que comprende, además, un segundo vástago (730) de válvula que constituye tanto la segunda válvula de derivación (964) como la segunda válvula auxiliar (982).
- 50 3. Sistema de ósmosis inversa (910), según la reivindicación 2, en el que el primer vástago (730) de válvula comprende una primera abertura (740A a 740D) acoplada a través del mismo de modo que cuando la primera tobera auxiliar (720) está abierta parcialmente, una parte del fluido de derivación evita la primera turbina (944) a través de la primera abertura (740A a 740D).
- 55 4. Sistema de ósmosis inversa (910), según la reivindicación 3, en el que la primera abertura (740A a 740D) comprende una pluralidad de aberturas (740A a 740D) dispuestas en paralelo, estando configuradas dicha pluralidad de aberturas para abrirse secuencialmente cuando el primer vástago (730) de válvula se mueve para abrir la primera tobera auxiliar (720).
- 60 5. Sistema de ósmosis inversa (910), según la reivindicación 1, que comprende, además, un primer vástago (830) de válvula configurado para cerrar selectivamente la primera tobera auxiliar (720) y un segundo vástago (860) de válvula configurado para cerrar selectivamente el primer paso de derivación (816).
- 65 6. Sistema de ósmosis inversa (910), según la reivindicación 5, en el que dicho primer vástago (830) de válvula y dicho segundo vástago (860) de válvula están dispuestos perpendicularmente.

7. Sistema de ósmosis inversa (910), según la reivindicación 5, que comprende, además, un tercer vástago (830) de válvula configurado para cerrar selectivamente la segunda tobera auxiliar (720) y un cuarto vástago (860) de válvula configurado para cerrar selectivamente el segundo paso de derivación (816).

8. Sistema de ósmosis inversa (910), según la reivindicación 7, en el que dicho primer vástago (830) de válvula, dicho segundo vástago (860) de válvula, dicho tercer vástago (830) de válvula y dicho cuarto vástago (860) de válvula, son controlables de manera independiente utilizando el controlador (970).

9. Sistema de ósmosis inversa (910), según la reivindicación 1, en el que dicho motor (960) es un motor-generador que puede funcionar para utilizar una segunda energía procedente del segundo caudal de salmuera para proporcionar energía al suministro de energía (962).

10. Procedimiento para el funcionamiento de un sistema de ósmosis inversa (910), comprendiendo el procedimiento:

dirigir un caudal de alimentación a una primera disposición de membrana para dividir el caudal de alimentación en un primer caudal de permeado y un primer caudal de salmuera;
 dirigir el primer caudal de salmuera a una segunda disposición de membrana para dividir el primer caudal de salmuera en un segundo caudal de permeado y un segundo caudal de salmuera;
 determinar una primera señal de flujo correspondiente a un primer flujo en el primer caudal de permeado;
 determinar una segunda señal de flujo correspondiente a un segundo flujo en el segundo caudal de permeado;
 determinar una tercera señal de flujo correspondiente a un tercer flujo en el segundo caudal de salmuera;
 recibir el segundo caudal de salmuera en una primera turbina (944) de un primer turbocompresor (940), comprendiendo dicha primera turbina una primera cubierta del turbocompresor que comprende un primer paso de derivación asociado con una primera válvula de derivación (966), una primera tobera principal y una primera tobera auxiliar;
 comunicar una primera parte de una primera porción del segundo caudal de salmuera a una primera voluta a través de la primera tobera principal;
 comunicar selectivamente una segunda parte de la primera porción del segundo caudal de salmuera a la primera voluta a través de una primera válvula auxiliar (980) de la primera tobera auxiliar;
 comunicar una segunda porción del segundo caudal de salmuera a través de la primera válvula de derivación (966);
 combinar la primera porción y la segunda porción para modificar el segundo caudal de salmuera;
 determinar un ajuste de la primera válvula de la tobera auxiliar y un ajuste de la primera válvula de derivación en respuesta a la primera señal de flujo y a la tercera señal de flujo;
 recibir el segundo caudal de salmuera en una segunda turbina (926) de un segundo turbocompresor (922), comprendiendo dicha segunda turbina una segunda cubierta del turbocompresor que comprende un segundo paso de derivación asociado con una segunda válvula de derivación (964), una segunda tobera principal y una segunda tobera auxiliar;
 comunicar una primera parte de una tercera porción del segundo caudal de salmuera a una segunda voluta a través de la segunda tobera principal;
 comunicar selectivamente una segunda parte de la tercera porción del segundo caudal de salmuera a la segunda voluta a través de una segunda válvula auxiliar (982) de la segunda tobera;
 comunicar una cuarta porción del segundo caudal de salmuera a través de la segunda válvula de derivación (964);
 determinar un ajuste de la segunda válvula de la tobera auxiliar y un ajuste de la segunda válvula de derivación en respuesta a la segunda señal de flujo y a la tercera señal de flujo; y
 controlar el par de salida de un motor-generador (960) acoplado al primer turbocompresor o al segundo turbocompresor para ajustar la cantidad en la que el primer turbocompresor aumenta la presión del primer caudal de salmuera, o mediante la que el segundo turbocompresor aumenta la presión del caudal de alimentación, en respuesta a la primera señal de flujo.

11. Procedimiento, según la reivindicación 10, que comprende, además, controlar de manera independiente o simultánea la primera válvula auxiliar (980) y la primera válvula de derivación (966) con un controlador (970).

12. Procedimiento, según la reivindicación 10, en el que la etapa de determinar el ajuste de la segunda válvula de la tobera auxiliar y el ajuste de la segunda derivación comprende determinar iterativamente el ajuste de la segunda válvula auxiliar y el ajuste de la segunda válvula de derivación.

13. Procedimiento, según la reivindicación 10, en el que, cuando la primera señal de flujo está por encima de un primer umbral, se reduce el refuerzo del primer dispositivo de refuerzo hidráulico de la presión cerrando la primera válvula auxiliar (980) y abriendo la primera válvula de derivación (966), y en el que, cuando la primera señal de flujo está por debajo de un segundo umbral, se incrementa el refuerzo del primer dispositivo de refuerzo hidráulico de la presión abriendo la primera válvula auxiliar (980) y abriendo la primera válvula de derivación (966).

- 5 14. Procedimiento, según la reivindicación 13, en el que, cuando la tercera señal de flujo está por encima de un tercer umbral, se incrementa la limitación del flujo de salmuera cerrando la primera válvula auxiliar (980) y cerrando la primera válvula de derivación (966), y en el que, cuando la tercera señal de flujo está por debajo de un cuarto umbral, se reduce la limitación del flujo de salmuera abriendo la primera válvula auxiliar (980) y abriendo la primera válvula de derivación (966).
- 10 15. Procedimiento, según la reivindicación 14, en el que, cuando la segunda señal de flujo está por encima de un quinto umbral, se reduce el refuerzo de la presión del segundo turbocompresor (922) cerrando la segunda válvula auxiliar (982) y abriendo la segunda válvula de derivación (964), y en el que, cuando la segunda señal de flujo está por debajo de un sexto umbral, se incrementa el refuerzo del segundo turbocompresor (922) abriendo la segunda válvula auxiliar (982) y cerrando la segunda válvula de derivación (964).
- 15 16. Procedimiento, según la reivindicación 15, en el que, cuando la tercera señal de flujo está por encima de un séptimo umbral, se aumenta la limitación del flujo de salmuera cerrando la segunda válvula auxiliar (982) y cerrando la segunda válvula de derivación (964), y en el que, cuando la tercera señal de flujo está por debajo de un octavo umbral, se reduce la limitación del flujo de salmuera abriendo la segunda válvula auxiliar (982) y abriendo la segunda válvula de derivación (964).

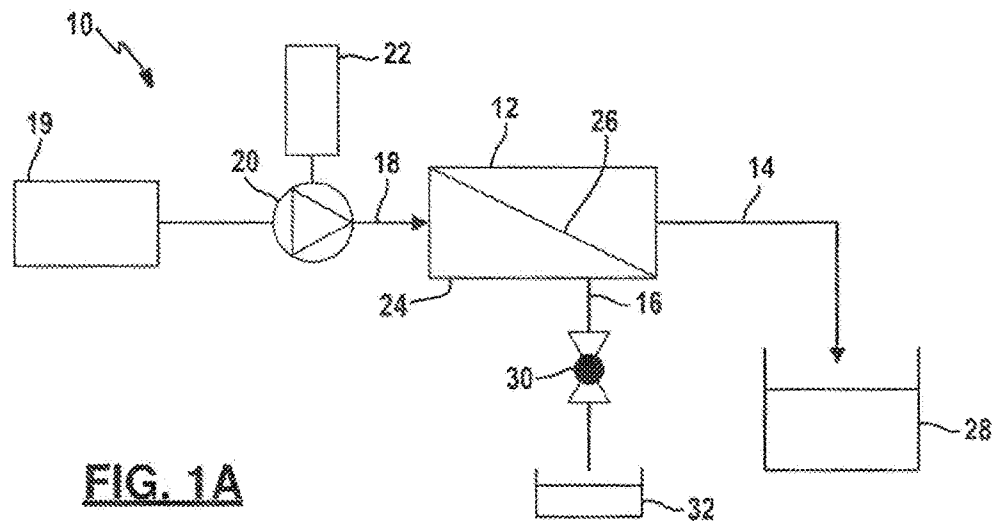


FIG. 1A

Estado de la técnica anterior

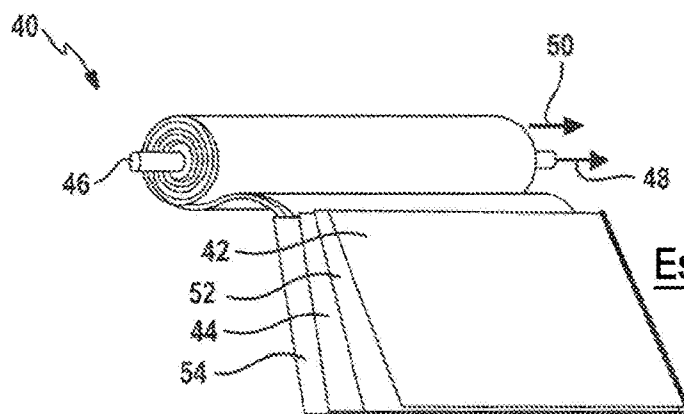


FIG. 1B

Estado de la técnica anterior

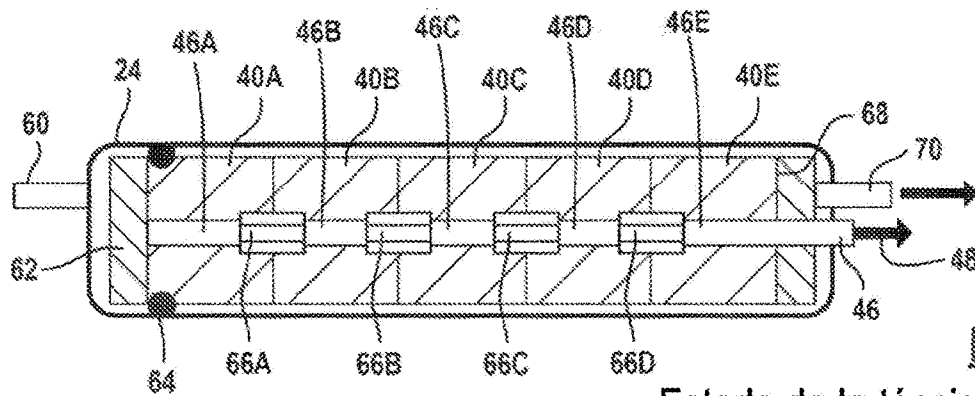


FIG. 1C

Estado de la técnica anterior

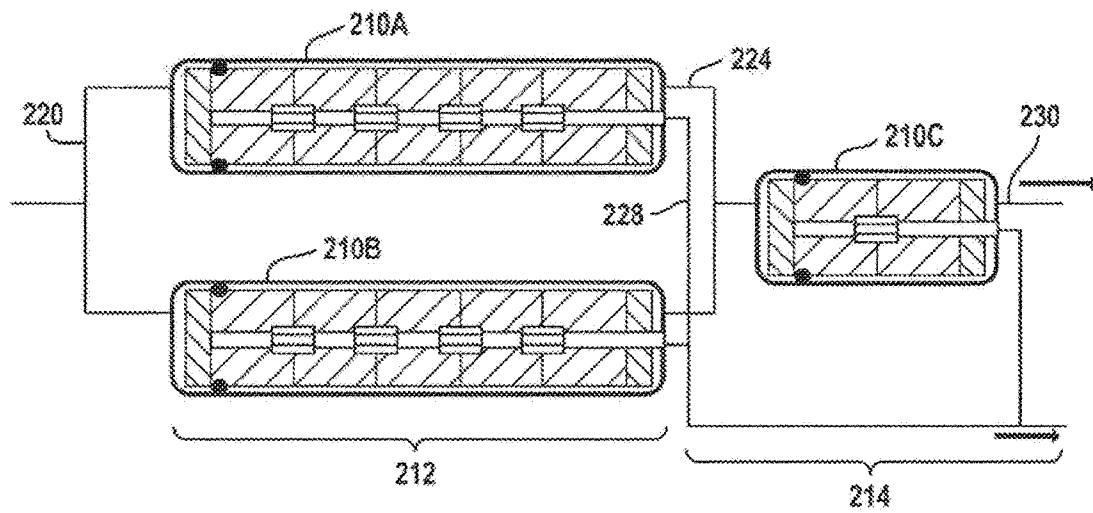


FIG. 2A

Estado de la técnica anterior

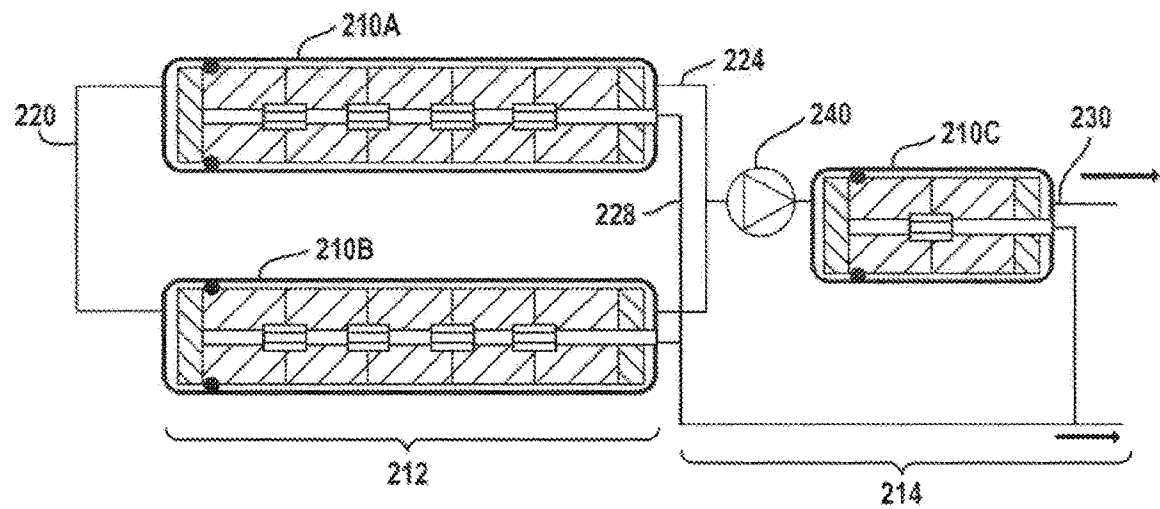


FIG. 2B

Estado de la técnica anterior

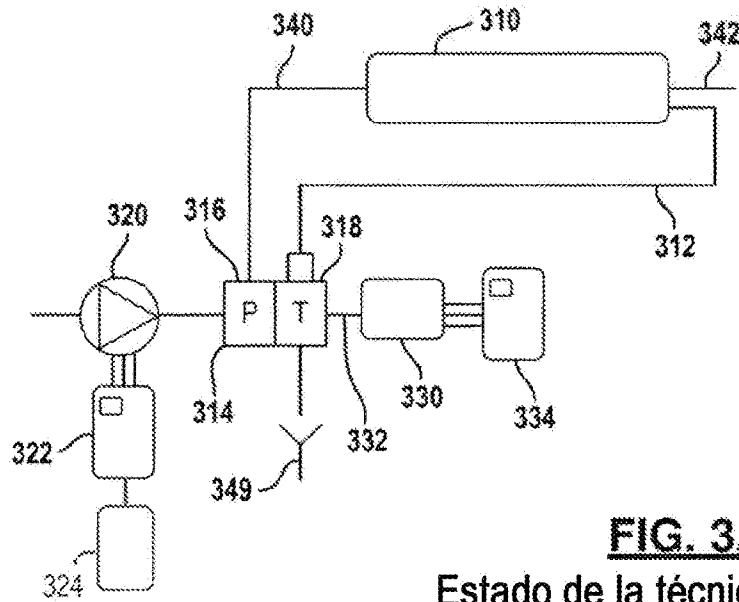


FIG. 3A

Estado de la técnica anterior

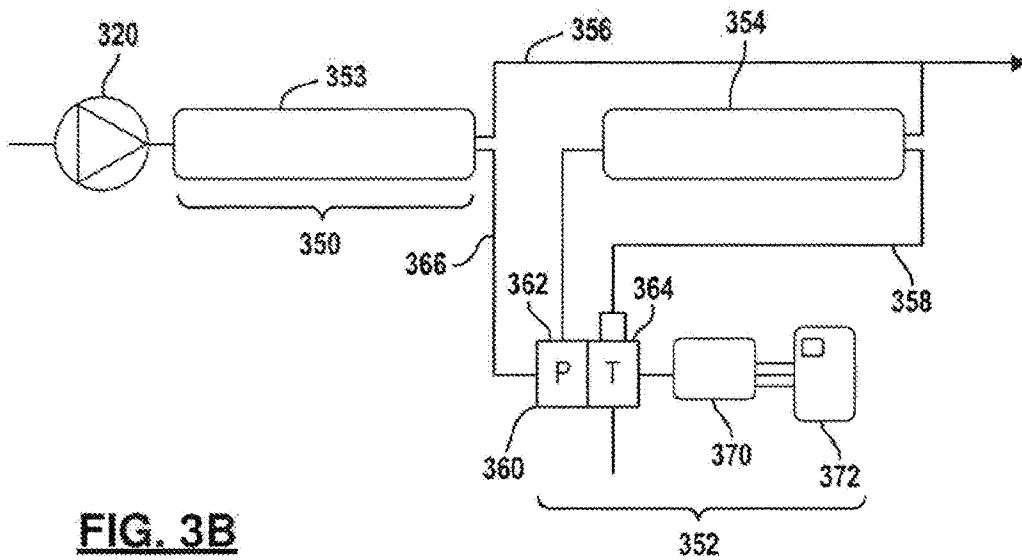


FIG. 3B

Estado de la técnica anterior

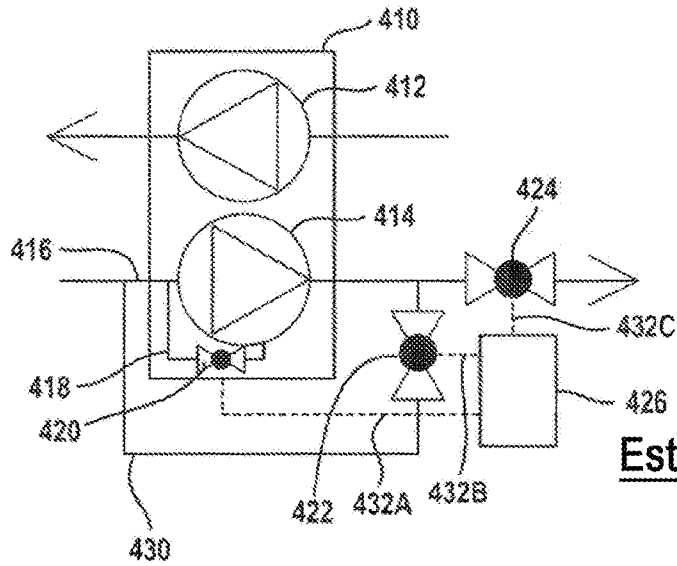


FIG. 4A
Estado de la técnica anterior

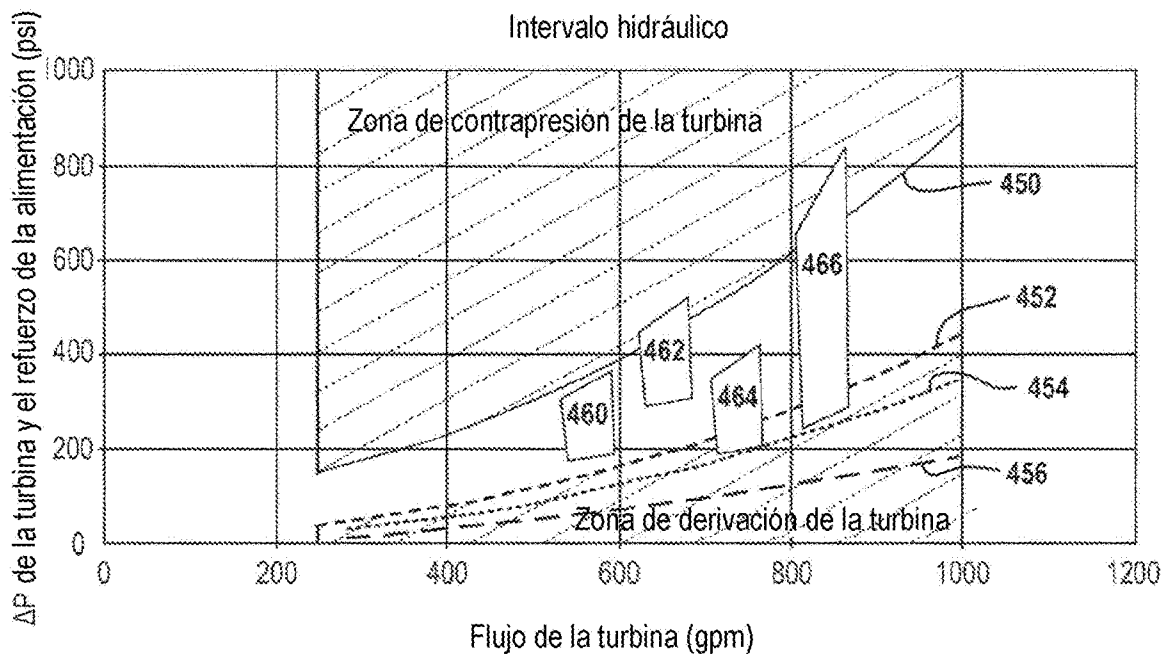


FIG. 4B
Estado de la técnica anterior

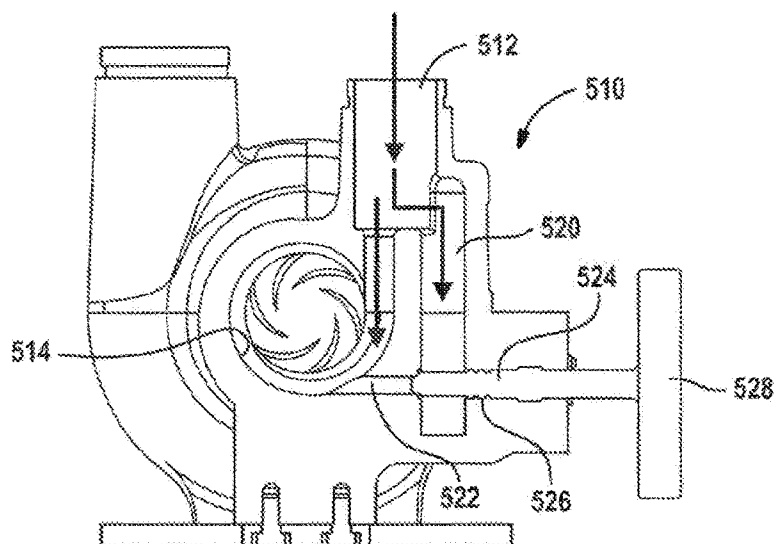


FIG. 5A
Estado de la técnica anterior

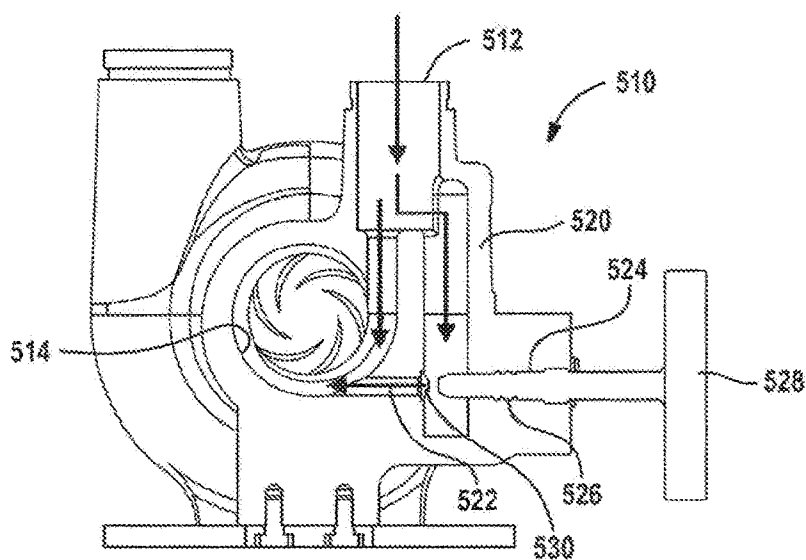
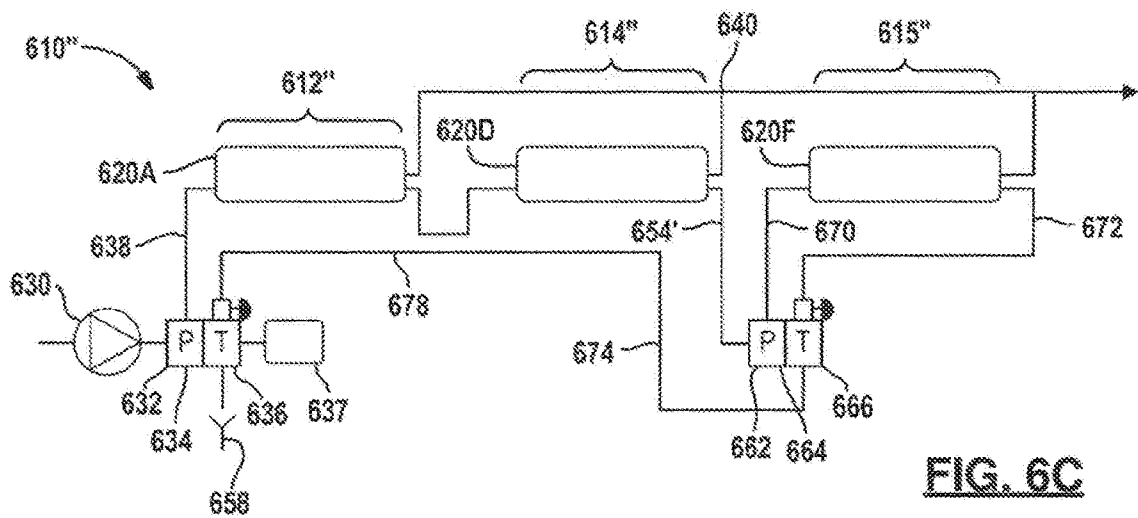
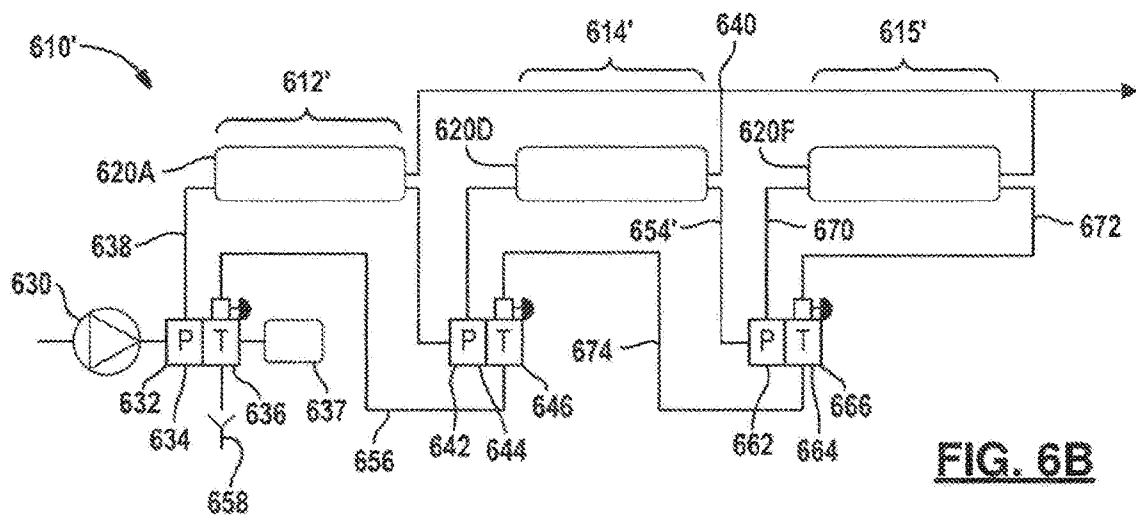
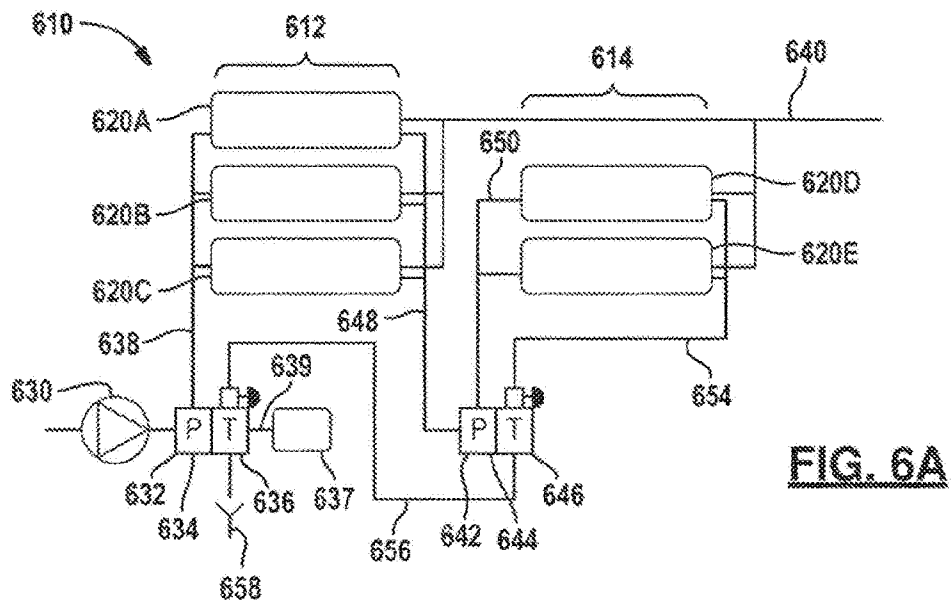


FIG. 5B
Estado de la técnica anterior



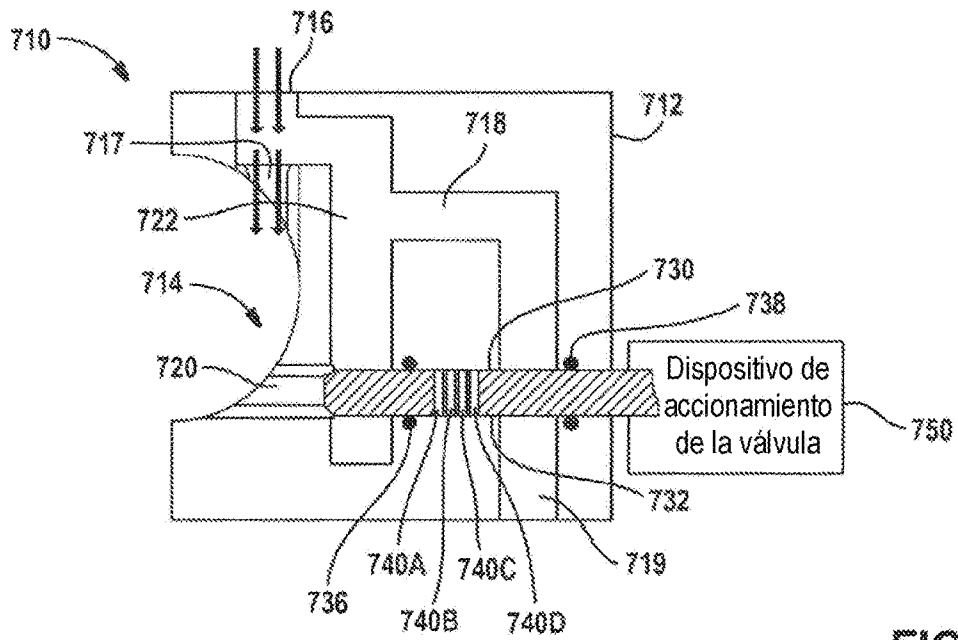


FIG. 7A

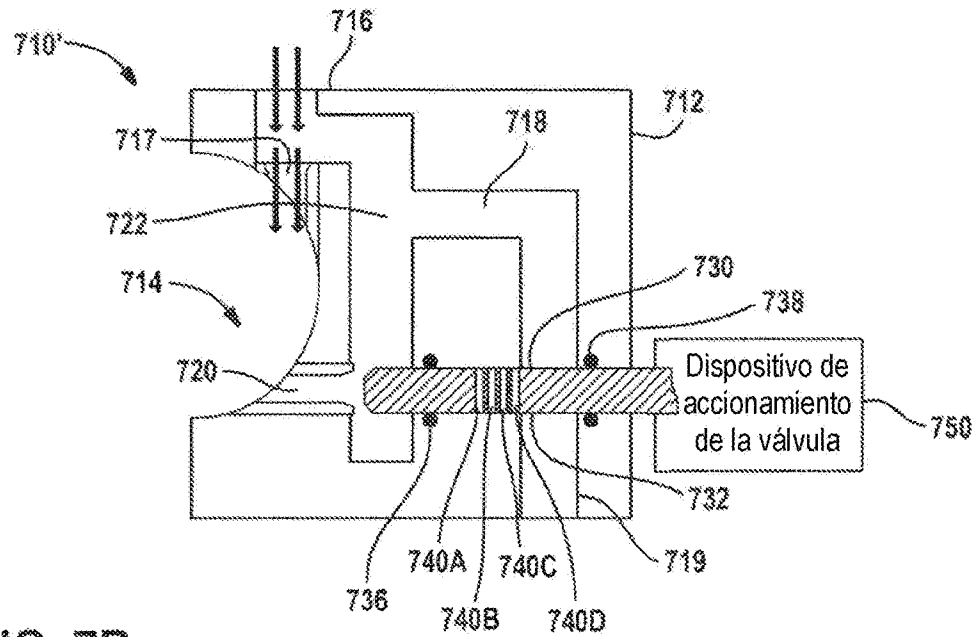


FIG. 7B

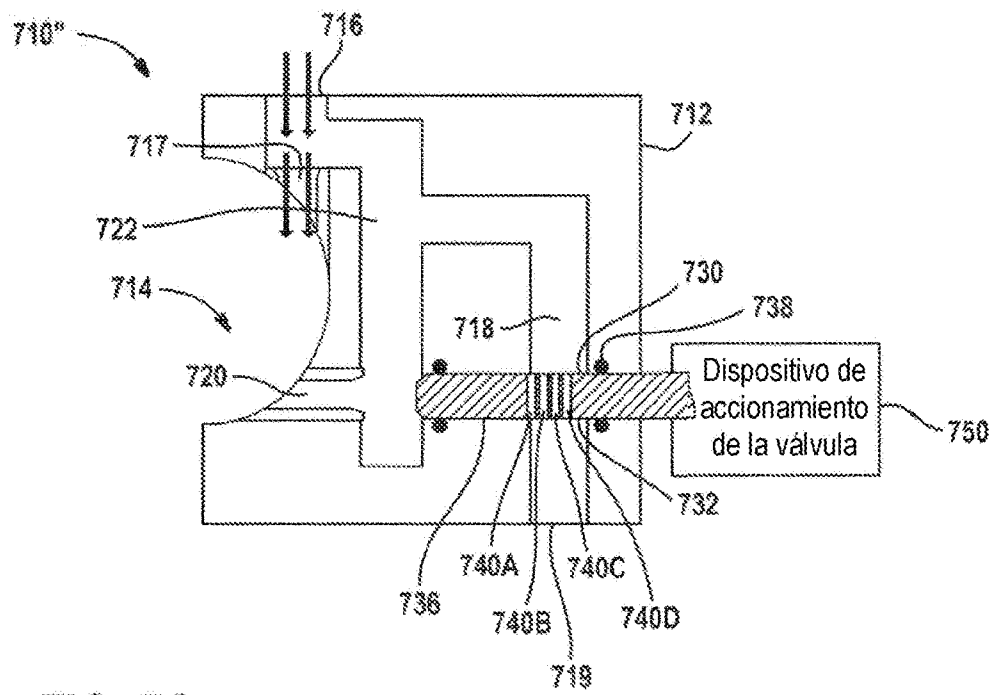
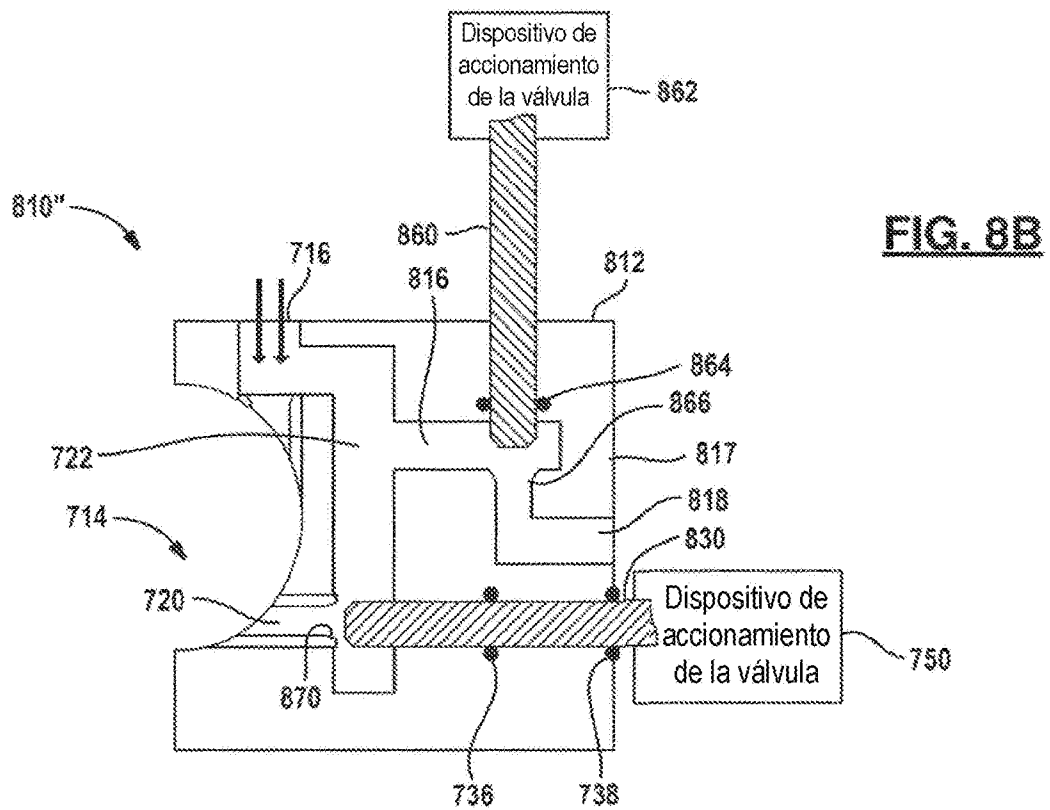
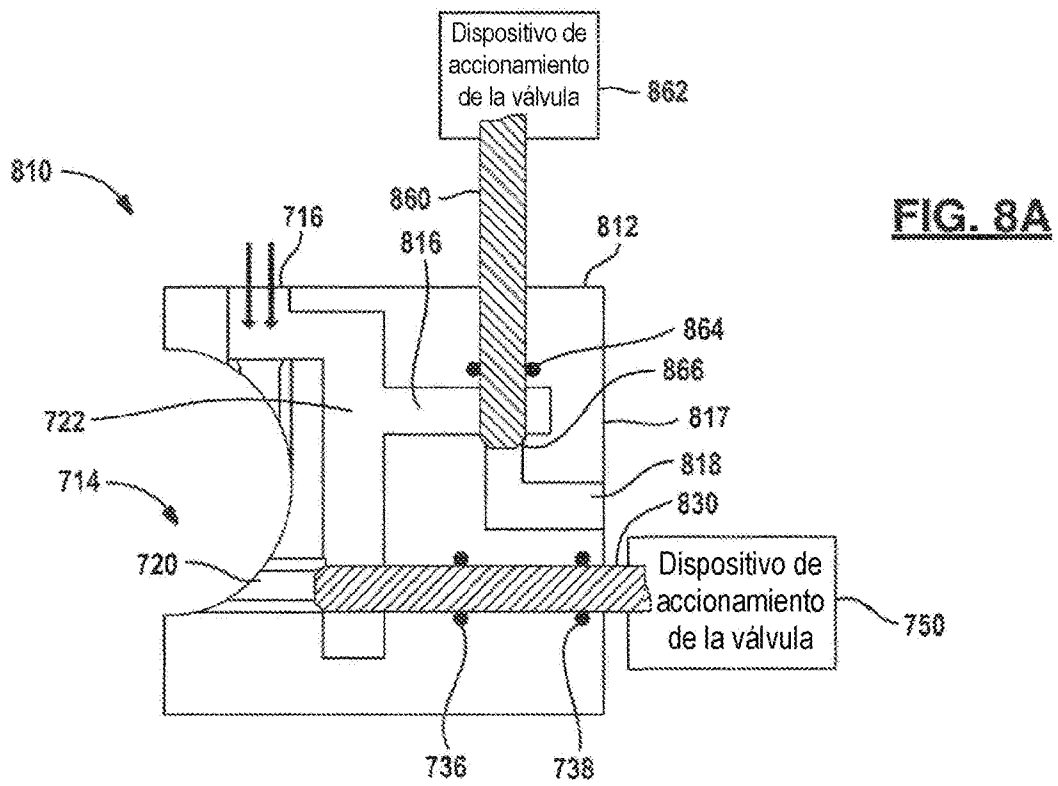


FIG. 7C



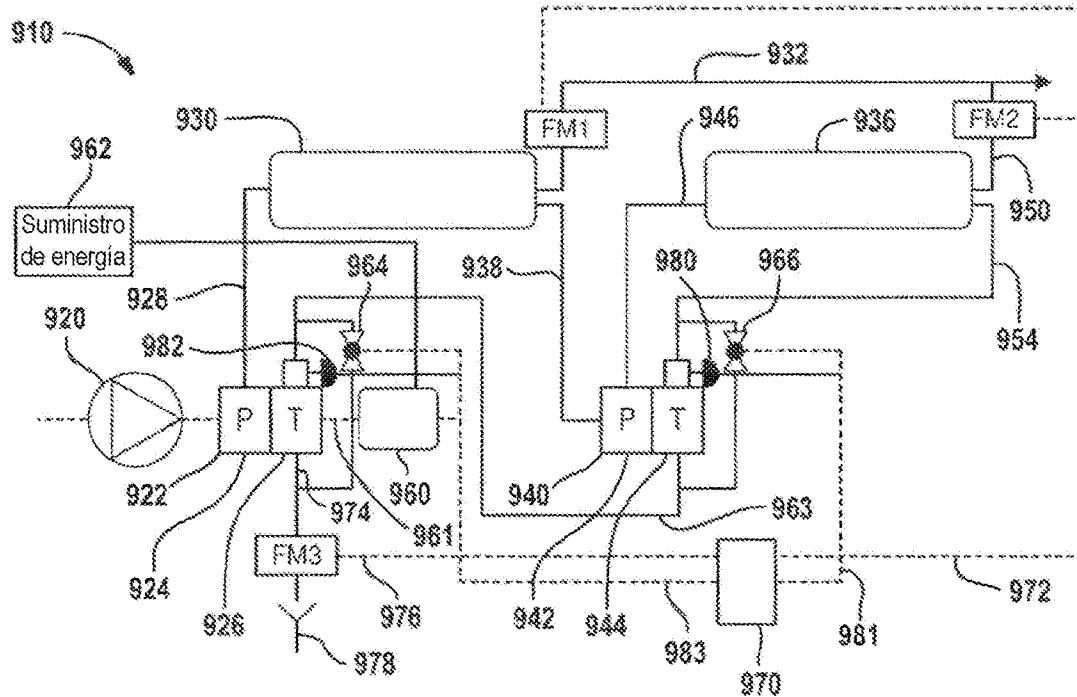


FIG. 9A

Turbo 940 entre etapas

Pt	Aux	Derivación	Comentarios
Qp alto	↓	↑	Reducción del refuerzo
Qp bajo	↑	↓	Incremento del refuerzo
Qb alto	↓	↓	Aumento de la limitación del flujo de salmuera
Qb bajo	↑	↑	Reducción de la limitación del flujo de salmuera

Bucle 1

Bucle 2

FIG. 9B

Alimentación del turbo 922

Pt	Aux	Derivación	Comentarios
Qp alto	↓	↑	Reducción del refuerzo
Qp bajo	↑	↓	Incremento del refuerzo
Qb alto	↓	↓	Aumento de la limitación del flujo de salmuera
Qb bajo	↑	↑	Reducción de la limitación del flujo de salmuera

Bucle 3

Bucle 4

FIG. 9C

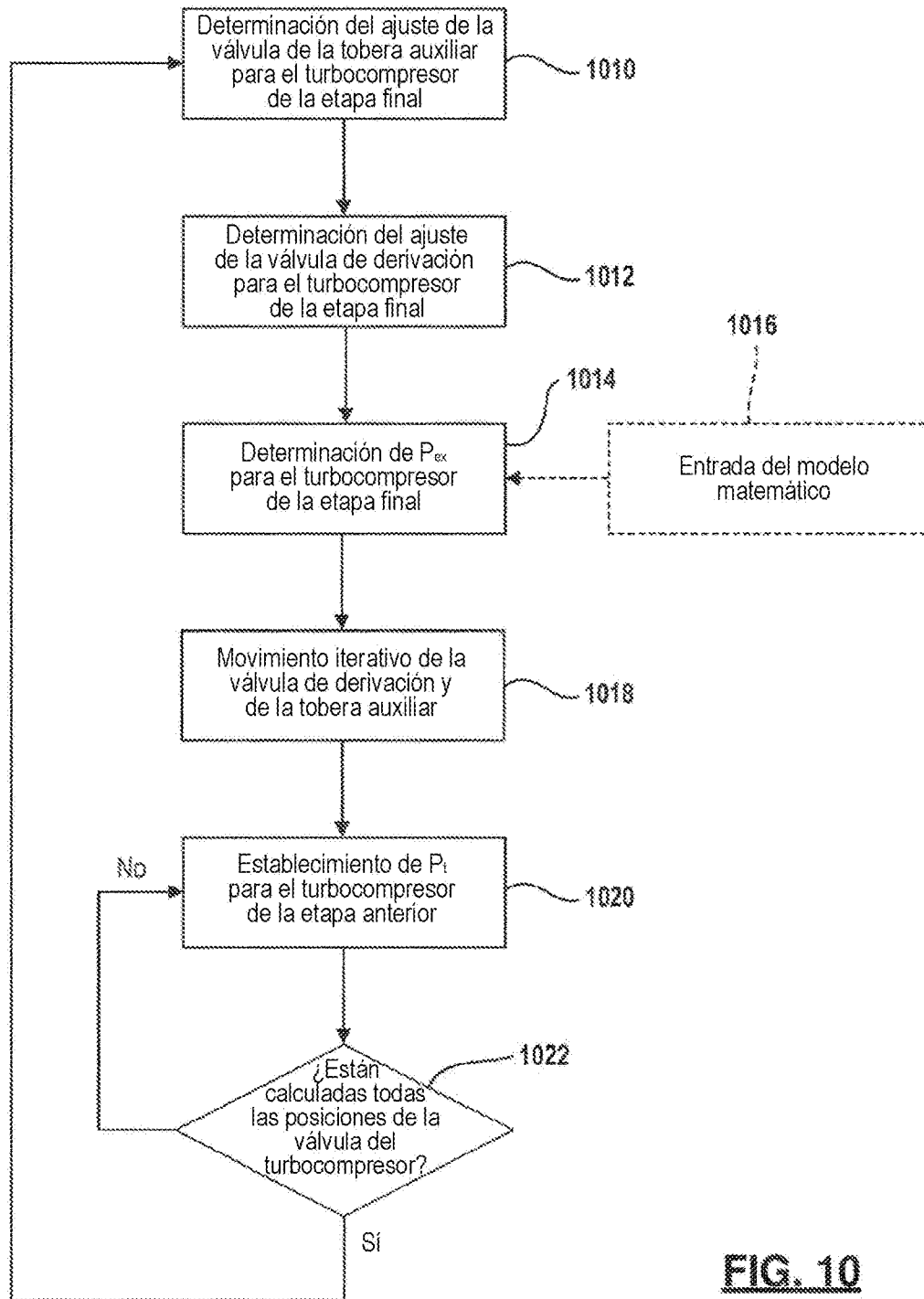


FIG. 10

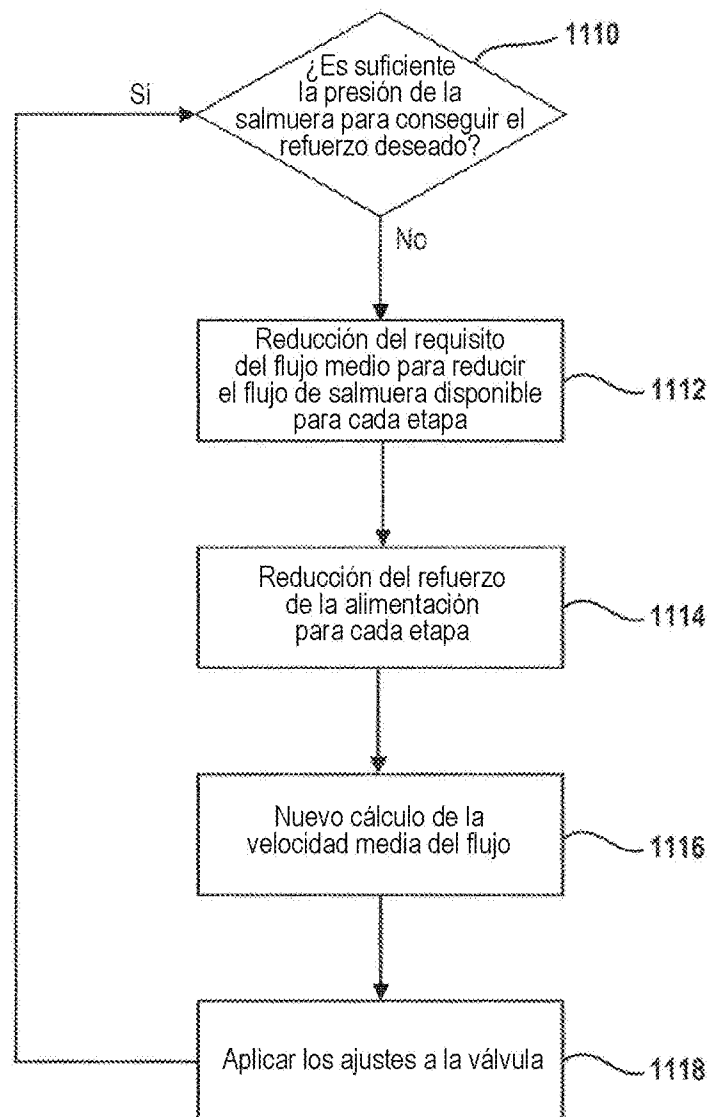


FIG. 11

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

Esta lista de referencias citada por el solicitante es únicamente para mayor comodidad del lector. No forman parte del documento de la Patente Europea. Incluso teniendo en cuenta que la compilación de las referencias se ha efectuado con gran cuidado, los errores u omisiones no pueden descartarse; la EPO se exime de toda responsabilidad al respecto.

Documentos de patentes citados en la descripción

- US 13829118
- US 62562694 B
- US 2013277310 A
- US 20140238938 A
- US 2007181473 A