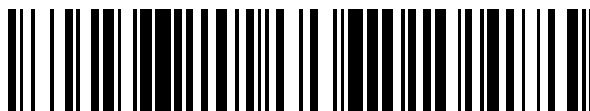


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 663 729**

51 Int. Cl.:

C02F 1/04 (2006.01)

B01D 1/00 (2006.01)

B01D 5/00 (2006.01)

C02F 103/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.03.2012 PCT/US2012/031250**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.11.2012 WO12158264**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.03.2012 E 12785549 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.02.2018 EP 2709957**

54 Título: **Procedimiento de desanilización**

30 Prioridad:

16.05.2011 US 201161486596 P

08.03.2012 US 201261608428 P

21.03.2012 US 201261613728 P

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

16.04.2018

73 Titular/es:

PIERRE, MARVIN (100.0%)
4360 Beasley Court
Virginia Beach, VA 23462, US

72 Inventor/es:

PIERRE, MARVIN

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 663 729 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 de desalinización

5 ANTECEDENTES

1.0 Campo de la invención

10 La presente invención se refiere a un procedimiento para desalinizar agua salada, tal como, por ejemplo, agua de mar.

2.0 Técnica relacionada

15 Alrededor del 97 % del agua del mundo es agua de mar no potable. El 3 % de agua restante, agua dulce, es la única agua en el mundo que es naturalmente potable. A medida que la demanda de agua dulce aumenta junto con la creciente población humana, el ya preciado recurso se hará aún más valioso en el futuro. Con los años, se han desarrollado procesos para desalinizar el agua de mar en un esfuerzo por aprovechar ese 97 % del agua del mundo que nos rodea aparentemente en todas partes. Hasta ahora, los procesos no han alcanzado un nivel de eficiencia económica para promover el uso generalizado de la desalinización. Sin embargo, esto podría cambiar si se desarrollara un nuevo proceso de desalinización que fuera tan rentable como para competir con el costo de encontrar y usar agua dulce, particularmente cuando el agua dulce es distante o remota, o de difícil acceso.

25 En la actualidad, en general, se utilizan dos tipos básicos de tecnología para desalinizar el agua de mar. La primera tecnología se llama desalinización termal y la segunda se llama desalinización por proceso de membrana. Casi todos los procesos de desalinización existentes se pueden clasificar, en última instancia, como térmicos o basados en membrana. El problema principal de cada tecnología está en la necesidad de grandes cantidades de energía para su éxito. Para procesos térmicos, se deben suministrar grandes cantidades de calor para provocar la evaporación. Las temperaturas para estos procesos pueden alcanzar los 212 grados Fahrenheit o más. Para los procesos basados en membrana, se deben suministrar grandes cantidades de presión al agua de mar para separar la sal disuelta del agua. La presión para estos procesos puede alcanzar las 1000 libras por pulgada cuadrada (psi) o más. Debido a que la temperatura y la presión ambientales son típicamente de 72 grados Fahrenheit y 14,7 psi, respectivamente, resulta evidente por qué se necesita suministrar tanta energía en estos sistemas. El entorno ambiental solo no puede soportar estos procesos. Un nuevo proceso de desalinización soportado completamente por condiciones de presión y temperatura ambientales parece tener una ventaja inherente porque sus requerimientos energéticos deben ser mucho más bajos que los requerimientos energéticos de otros procesos existentes.

35 El documento RU 2 234 354 C1 describe un plan de desalinización que comprende un evaporador y un condensador, así como boquillas de alta presión. El calentador se usa para generar vapor y las boquillas de alta presión se usan para aumentar la presión.

40

RESUMEN DE LA INVENCION

45 La presente descripción proporciona ventajas con respecto a los sistemas y procesos de desalinización tradicionales analizados anteriormente y aborda sus deficiencias, a la vez que lo hace de forma económica. En un aspecto, la presente invención proporciona un procedimiento como el descrito en la reivindicación 1 que incluye reducir la presión del agua salada líquida al punto de vaporización generando flujo a través de las tuberías y la infraestructura complementaria que puede incluir válvulas que transmiten la fricción y controlan el flujo, capturar el vapor, condensar el vapor usando una presión más alta suministrada por el entorno ambiental para producir agua dulce, inyectar aire, recuperar el calor liberado durante la condensación manteniendo la temperatura ambiente mayor que la temperatura del vapor, y luego usar el calor recuperado para mejorar y perpetuar la evaporación de forma cíclica. El sistema puede emplear una bomba accionada por resorte que puede ser configurada para bombear el agua salada y el agua dulce simultáneamente.

55 En un aspecto, se proporciona un procedimiento para la desalinización del agua. El procedimiento puede incluir las etapas de vaporizar agua salada líquida bajando la presión del agua salada líquida a un punto de vaporización generando flujo de agua salada a través de las tuberías y la infraestructura complementaria para producir vapor, capturar el vapor, condensar el vapor para producir agua dulce inyectando aire en el agua dulce utilizando mayor presión suministrada por el entorno ambiental, recuperar el calor liberado durante la etapa de condensación manteniendo la temperatura ambiente por encima de la temperatura del vapor y usar el calor recuperado para mejorar y continuar la vaporización del agua salada de forma cíclica, donde la infraestructura complementaria en la etapa de vaporización del agua salada líquida bajando la presión del agua salada líquida al punto de vaporización generando flujo de agua salada a través de las tuberías y la infraestructura complementaria, incluye al menos una válvula de fricción.

60

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Los dibujos adjuntos, que se incluyen para proporcionar una comprensión adicional de la invención, se incorporan a la memoria descriptiva y constituyen una parte de la misma, ilustran ejemplos de la invención y junto con la descripción detallada sirven para explicar los diversos principios de la presente descripción. No se pretende mostrar los detalles estructurales de la invención con más detalle de lo que puede ser necesario para una comprensión fundamental de la invención y las diversas formas en que puede ponerse en práctica.

La Figura 1A muestra un ejemplo de un componente de agua salada a agua dulce de un sistema de desalinización hidráulica, configurado de acuerdo con los principios de la descripción, y también muestra un proceso simplificado de la progresión global de agua de mar a agua dulce, de acuerdo con los principios de la invención;

La Figura 1B muestra un ejemplo de un componente de agua salada a agua salobre del sistema de desalinización hidráulica, configurado de acuerdo con los principios de la descripción, y también muestra un proceso simplificado de la progresión global de agua de mar a salmuera, de acuerdo con los principios de la invención;

La Figura 2A muestra una vista en sección transversal más detallada de ciertos componentes que pueden incluirse en la configuración del sistema de desalinización hidráulica de las Figuras 1A y 1B;

La Figura 2B muestra otra vista en sección transversal detallada de ciertos componentes que pueden incluirse en la configuración del sistema de desalinización hidráulica de las Figuras 1A y 1B;

La Figura 3A muestra una vista aérea, secuencial de un ejemplo de una pluralidad de dispositivos de bombeo de desalinización hidráulica de un sistema de bombeo, configurado de acuerdo con los principios de la descripción;

La Figura 3B muestra una vista en sección transversal de la pluralidad de dispositivos de bombeo de desalinización hidráulica de la Figura 3A y también muestra un ejemplo de la secuencia de operación de los mismos, y válvulas y tuberías ejemplares que pueden usarse para la conexión de los embudos de los componentes mostrados en la Figura 2;

La Figura 4 muestra una vista aérea, secuencial de un ejemplo de válvulas de fricción y válvulas de flujo que pueden asociarse con los dispositivos de bombeo de desalinización hidráulica, configuradas de acuerdo con los principios de la descripción, y también muestra una secuencia ilustrativa del funcionamiento de las mismas;

La Figura 5 muestra un ejemplo de sifón termodinámico creado por el sistema y el procedimiento, configurado y realizado de acuerdo con los principios de la descripción;

La Figura 6 muestra un ejemplo de una curva de bombeo y una curva de Carga de Succión Positiva Neta Requerida para una bomba de desalinización no hidráulica típica;

La Figura 7 muestra un ejemplo de una curva de bombeo y una curva de Carga de Succión Positiva Neta Requerida para una bomba de desalinización hidráulica construida de acuerdo con los principios de la descripción;

La Figura 8 muestra una vista aérea de un ejemplo de una bomba de desalinización hidráulica, de acuerdo con los principios de la descripción;

La Figura 9A muestra una vista aérea de un ejemplo de dispositivo intercambiador de calor, configurado de acuerdo con los principios de la descripción; y

La Figura 9B muestra una vista en sección transversal lateral del dispositivo intercambiador de calor que se muestra en la Figura 9A.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

Los diversos aspectos y principios de la presente invención y los detalles ventajosos de los mismos se explican más detalladamente con referencia a los ejemplos no limitativos que se describen y / o ilustran en los dibujos adjuntos y se detallan en la siguiente descripción. Debe observarse que las características ilustradas en los dibujos no están necesariamente dibujadas a escala, y las características de una realización pueden emplearse con otras realizaciones como reconocería el experto en la técnica, incluso si no se establecen explícitamente en este documento. Las descripciones de componentes y técnicas de procesamiento ya conocidas pueden ser omitidas para no oscurecer innecesariamente los diversos aspectos de la invención. Los ejemplos utilizados en este documento están destinados simplemente a facilitar la comprensión de las formas en que se puede poner en práctica la invención y a permitir además a los expertos en la técnica la aplicación de las diversas realizaciones de la invención. Por consiguiente, las realizaciones en este documento no deben interpretarse como limitativas del alcance de la invención, que se define únicamente mediante las reivindicaciones adjuntas y la ley aplicable. Además, se observa que los números de referencia similares representan partes similares a lo largo de las varias vistas de los dibujos.

La Figura 1A muestra un ejemplo de un componente de agua salada a agua dulce de un sistema de desalinización hidráulica, configurado de acuerdo con los principios de la descripción, generalmente indicado con el número de referencia 100 y muestra también un proceso simplificado de la progresión global de agua de mar a agua dulce, de acuerdo con los principios de la invención.

La Figura 1B muestra un ejemplo de un componente de agua salada a agua salobre del sistema de desalinización hidráulica, configurado de acuerdo con los principios de la descripción, generalmente indicado con el número de

referencia 101, y muestra también un proceso simplificado de la progresión global de agua de mar a salmuera, de acuerdo con los principios de la invención.

Como se muestra en relación con las Figuras 1A y 1B, un dispositivo y procedimiento de desalinización hidráulica ejemplar generalizada incluye reducir la presión del agua salada líquida al punto de vaporización generando flujo a través de las tuberías y la infraestructura complementaria, capturar el vapor, condensar el vapor usando una presión más alta suministrada por el entorno ambiental produciendo agua dulce, recuperar el calor liberado durante la condensación manteniendo la temperatura ambiente mayor que la temperatura del vapor, y luego usar el calor recuperado para mejorar y perpetuar la evaporación de forma cíclica.

Como se describe más detalladamente a continuación, las Figuras 1A y 1B muestran un ejemplo de una estación de bombeo que aloja un tanque de vaporización de agua (120) que comprende un recipiente de contención, un sistema de bombeo (125) para bombear agua, incluyendo agua salada y agua dulce a través del sistema de desalinización (100) y una pluralidad de embudos separados por un tabique (130). Las Figuras 1A y 1B muestran un ejemplo de la infraestructura de la estación de bombeo en relación con la elevación del terreno y una fuente de agua salada. También se muestra una boquilla de aire (174) configurada para inyectar aire en el lado de agua dulce. La Figura 1A ilustra más claramente los aspectos de agua salada a agua dulce, mientras que la Figura 1B ilustra más claramente los aspectos de agua salada a salmuera.

La Figura 1A muestra también un proceso simplificado de la progresión global de agua de mar a agua dulce, mientras que la Figura 1B muestra también un proceso simplificado de la progresión global de agua de mar a salmuera, de acuerdo con los principios de la invención. Estas etapas generalizadas de las Figuras 1A y 1B se explican con más detalle a continuación, con referencia a otros dibujos.

Con referencia a la Figura 1A, la etapa S1 ilustra una línea de impulsión para transportar un flujo de agua de mar desde una fuente tal como un océano, o similar, a un sistema de desalinización (100). En la etapa (S2), el agua de mar puede toparse con las válvulas de fricción de la línea de impulsión. En la etapa (S3), el agua de mar fluye hacia un embudo (135b) (Figura 2A). En la etapa (S4), el agua de mar puede estar contenida por un tabique (130) en un tanque de vaporización de agua (120) para crear una sección de contención aguas arriba. En la etapa (F5), el agua de mar puede vaporizarse, como se describe con más detalles a continuación, para crear una porción de vapor dentro del tanque de vaporización (120). En la etapa (F6), la porción de vapor puede condensarse dentro del tanque de vaporización de agua (120) y puede ser capturada como agua dulce líquida creando una sección de contención aguas abajo. En la etapa (F7), la sección de contención aguas abajo puede estar contenida por un embudo (135b) junto con el tabique (130). En la etapa (F8), el agua dulce puede atravesar la tubería de succión con válvulas de fricción, por ejemplo, válvulas de fricción establecidas. El agua dulce puede incluir alrededor del 2 % de aire inyectado. En la etapa (F9), el agua dulce puede entrar en las bombas (por ejemplo, 165a y 165e de las Figuras 3A y 3B), y puede ser descargada a un área de almacenamiento de agua dulce.

Con referencia a la Figura 1B, las etapas (S1) a (S4) son las mismas que las descritas anteriormente con referencia a la Figura 1A. En la etapa (B5), la salmuera que se recoge en la sección de contención aguas arriba del embudo (135a) fluye a una primera parte de la tubería de succión (véase, por ejemplo, la Figura 3B). En la etapa (B6), la salmuera continúa la progresión a través de una segunda parte de la tubería de succión. En la etapa (B7), la salmuera se mueve a través de una tercera parte de la tubería de succión. En la etapa (B8), la salmuera se topa con las bombas (por ejemplo, 165a y 165e de las Figuras 3A y 3B), y puede ser descargada a un área de contención de salmuera. Cada una de las bombas (por ejemplo, 165a y 165e de las Figuras 3A y 3B) pueden estar configuradas para bombear simultáneamente agua dulce y agua salada, como se describe con más detalle a continuación.

Las Figuras 2A y 2B muestran vistas más detalladas de ciertos componentes que pueden incluirse en las configuraciones de las Figuras 1A y 1B. Como se muestra, una estación de bombeo (115) está configurada para incluir un tanque de vaporización de agua (120) mostrado como una estructura curva cerrada para abarcar un espacio de vapor (122), una pluralidad de embudos (135a, 135b) separados por un tabique (130) y uno o más conductos de calor (140) acoplados a una fuente de calor (145) y al tanque de vaporización (120) para permitir el calentamiento del interior del tanque de vaporización (120). El tabique (130) puede estar configurado para separar el agua salada (mostrada a la izquierda) del agua dulce (mostrada a la derecha) que se produce y captura mediante el proceso de desalinización descrito en este documento. Un tapón de tanque (160) permite el acceso al tanque de vaporización tal como, por ejemplo, para su uso en la evacuación del tanque de vaporización (120) o la limpieza del tanque de vaporización (120). El embudo (135a) comprende una estructura de retención de agua salada y está configurado con un conector de tubo de línea de impulsión (150) para conectar el tubo de línea de impulsión (1) (Figura 3B), y también configurado para acoplarse y recibir el tubo de succión (12) (Figura 3B). El embudo (135b) comprende una estructura de retención de agua dulce y puede estar configurado con un conector de tubo de succión (155) que puede conectarse al tubo de succión (5) (Figuras 3A y 3B). El tanque de vaporización (120) puede comprender un recipiente de contención que puede configurarse para contener sustancialmente una sección de contención aguas arriba y una sección de contención aguas abajo, como se explica más detalladamente a

continuación. Como se muestra en la Figura 2B, el tabique del tanque (130) también puede configurarse para alojar un intercambiador de calor (131) que puede proporcionar una trayectoria de flujo térmico desde el lado aguas abajo de agua dulce hasta el lado aguas arriba de agua de mar para el calor liberado durante la condensación.

La Figura 3A muestra una vista aérea, secuencial de un ejemplo de una pluralidad de dispositivos de bombeo de desalinización hidráulica de un sistema de bombeo, configurado de acuerdo con los principios de la descripción. La Figura 3B muestra una vista en sección transversal lateral de la pluralidad de dispositivos de bombeo de desalinización hidráulica de la Figura 3A, así como una secuencia ejemplar de operación del mismo, y válvulas y tuberías ejemplares para conectarse a los embudos (135a, 135b) de las Figuras 2A y 2B.

La Tabla 1 proporciona una referencia cruzada de ejemplos de ciertos componentes diversos que pueden incluirse en la pluralidad de dispositivos de bombeo de desalinización hidráulica de las Figuras 3A y 3B, mostrando números de referencia (1-28), una cantidad ejemplar (que puede variar dependiendo de la aplicación específica) y una descripción ilustrativa de los componentes.

TABLA 1

Esquema de tubería para flujo constante - Estación de 1200 gpm		
Ref. #	Cant.	Componente y / o Función
1	4	Tubo de línea de impulsión de 10" (agua de mar, supone 3,5 % de salinidad)
2	1	Válvula de compuerta de 10"
3	1	Válvula de fricción establecida de 8"
4	1	Curvatura de 8" de radio largo de 90'
5	22	Tubo de succión de 8" (agua dulce y fuente de aire)
6	1	Racor en Y nivelado de 8"
7	7	Curvatura de 8" 45'
8	3	Racor en Y de 8"
9	10	Válvula de flujo de 8"
10	10	Curvatura de 8" 90'
11	15	Tubo de descarga de 8" (agua fresca y aire, aproximadamente 0 % de salinidad) para almacenamiento de agua dulce
12	10	Tubo de succión de 2" (salmuera, aproximadamente 35 % de salinidad)
13	6	Curvatura de 2" 90'
14	2	T de 2"
15	2	Curvatura de 2" 45'
16	2	Reductor concéntrico de 3" x 2"
17	1	Racor en Y nivelado de 3" x 3" x 4"
18	1	Racor en Y nivelado de 4"
19	23	Tubo de succión de 4" (salmuera, aproximadamente 35 % de salinidad)
20	3	Racor en Y de 4"
21	6	Curvatura de 4" 45'
22	10	Válvula de flujo de 4"
23	10	Curvatura de 4" 90'
24	15	Tubo de descarga de 4" (salmuera, aproximadamente 35 % de salinidad)
25	1	Válvula de fricción establecida de 10"
26	1	Curvatura de 10" de radio largo de 90'
27	1-5	Tubería de descarga para almacenamiento salmuera a salmuera
28	1-5	Tubería de descarga para agua dulce

Los dispositivos de bombeo de desalinización hidráulica (165a, 165e) pueden funcionar como los principales impulsores de agua para el sistema y el proceso de desalinización hidráulica descritos en este documento. De acuerdo con los principios de la descripción, el sistema y el procedimiento de desalinización hidráulica pueden implicar el uso de dispositivos de bombeo de desalinización hidráulica (165a, 165e), que pueden ser bombas accionadas por resorte, en combinación con válvulas y tuberías (170) (partes de la infraestructura), como se muestra en la Figura 3B y una boquilla de aire, un tanque de vaporización y otros equipos como se muestra en las Figuras 1A y 1B. Estos elementos se combinan para crear un sifón termodinámico, del que se muestra un ejemplo en la Figura 5, que evita efectivamente la etapa de vaporización de calor normalmente prohibitivo asociado con los procesos de desalinización tradicionales, reduciendo así en gran medida los requerimientos energéticos generales.

Cada uno de los dispositivos de bombeo de desalinización hidráulica (165a, 165e) tiene una configuración simple que generalmente está desprovista de componentes internos complejos, tuberías pequeñas y conductos estrechos que provocan grandes pérdidas de fricción en las bombas tradicionales. La configuración puede incluir una cavidad

de bombeo cilíndrica (164), relativamente grande, que puede expandirse mediante un resorte de compresión (163) de diámetro similar y / o circunferencia similar. Como se ilustra en la Figura 3A, cada uno de los dispositivos de bombeo de desalinización hidráulica (165a, 165e) puede configurarse con dos tubos de entrada (5, 19) y dos tubos de salida (11, 24). Los cuatro tubos de entrada y salida pueden estar posicionados encima de los respectivos dispositivos de bombeo de desalinización hidráulica (165a, 165e). Se puede usar un emparejamiento simple de entrada (5) y salida (11) para la succión y descarga de una mezcla de agua dulce y aire. Se puede usar otro emparejamiento de entrada (19) y salida (24) para la succión y descarga de la salmuera. El flujo mixto de agua dulce y aire se mantiene separado del flujo de salmuera por un tabique dentro de la cavidad de la bomba (164) (y el resorte). El tabique de la bomba, por ejemplo, como se ilustra en la Figura 8, puede colocarse de manera que aproximadamente el 90 % del flujo extraído por los respectivos dispositivos de bombeo de desalinización hidráulica (165a, 165e) incluyan el flujo mixto de agua dulce y aire, mientras que el 10 % restante aproximado incluya salmuera. Esta proporción puede maximizar la eficiencia de la desalinización del agua de mar típica u otra fuente de agua salada mientras se mantiene la sal disuelta en la salmuera. Se pueden seleccionar otras proporciones y posiciones de tabique, si es necesario, para adaptarse a diferentes salinidades de agua salada o unidades de desalinización más pequeñas.

La Figura 3B ilustra también la secuencia de funcionamiento de los dispositivos de bombeo de desalinización hidráulica (165a, 165e) de acuerdo con los principios de la invención. Cuando los flujos entran en los dispositivos de bombeo de desalinización hidráulica (165a, 165e), el resorte (163) hace que la cavidad de la bomba (164) se expanda hacia abajo a una velocidad relativamente lenta. Cuando se completa la expansión de la cavidad de la bomba (164) (hasta cerca de su extensión máxima), se puede activar una prensa electromecánica (166) (u otro mecanismo de prensa impulsor similar) en la parte inferior de la bomba para comenzar a comprimir la cavidad a su posición original no expandida. Durante la compresión, la salmuera y el agua dulce / aire son descargados a través de sus salidas (11, 24) y enviados a las respectivas áreas de almacenamiento. A continuación, se proporciona una descripción más detallada del funcionamiento de los dispositivos de bombeo de desalinización hidráulica (165a, 165d).

Cada uno de los cuatro dispositivos de bombeo de desalinización hidráulica (165a, 165d) puede rotar de forma operativa rítmicamente, pero asincrónicamente, a través de las etapas mostradas a continuación en la Tabla 2, que también muestra el funcionamiento de las válvulas de flujo en relación con el funcionamiento de los dispositivos de bombeo de desalinización hidráulica (165a, 165d). («Posición de bomba 1» corresponde a 160a; «posición de bomba 2» corresponde a 160b; y «posición de bomba 3» corresponde a 160c como se muestra en la Figura 3B).

TABLA 2

Etapas 1 (y sub-etapas)	Etapas 2 (y sub-etapas)	Etapas 3 (y sub-etapas)	Etapas 4 (y sub-etapas)
1-1. Válvulas de flujo en la tubería de succión en posición completamente abierta.	2-1. Válvulas de flujo en la tubería de succión en posición completamente abierta.	3-1. Válvulas de flujo en la tubería de succión en posición completamente cerrada.	4-1. Válvulas de flujo en la tubería de succión en posición completamente cerrada.
1-2. Resorte en posición de bomba 1 (cavidad de bomba vacía / no expandida).	2-2. Resorte en posición de bomba 3 (cavidad de bomba llena / expandida).	3-2. Resorte en posición de bomba 3 (cavidad de bomba llena / expandida).	4-2. Resorte en posición de bomba 1 (cavidad de bomba vacía / no expandida).
1-3. Válvulas de flujo en la tubería de descarga en posición completamente cerrada.	2-3. Válvulas de flujo en la tubería de descarga en posición completamente cerrada.	3-3. Válvulas de flujo en la tubería de descarga en posición completamente abierta.	4-3. Válvulas de flujo en la tubería de descarga en posición completamente abierta.
1-4. Prensa eléctrica / mecánica en posición extendida, pero apagada para permitir la expansión.	2-4. Prensa eléctrica / mecánica en posición retraída con apagado al completarse la expansión.	3-4. Prensa eléctrica / mecánica en posición extendida, pero encendida para iniciar la compresión.	4-4. Prensa eléctrica / mecánica en posición extendida con encendido al completarse la compresión.

Para una unidad de flujo constante (pequeña), solo se requieren dos (2) bombas operativas. Por lo tanto, las etapas P2, P3 y P4 pueden tratarse como una sola etapa, ya que la transición de la etapa P1 a la etapa P2 para una configuración de unidad pequeña puede tardar un tiempo relativamente largo.

Normalmente, se necesita flujo continuo para prolongar el proceso de desalinización; de lo contrario, la vaporización puede interrumpirse cuando un dispositivo de bombeo de desalinización hidráulica descarga agua. Como se ilustra en la Figura 3B, para mantener el flujo continuo, puede instalarse en paralelo una pluralidad (por ejemplo, dos, tres, cuatro o cinco) de dispositivos de bombeo de desalinización hidráulica, con válvulas de flujo (por ejemplo, la válvula

de flujo (22)) unida a cada línea de succión y / o descarga de la bomba. Los dispositivos de bombeo de desalinización hidráulica (165a, 165d) pueden funcionar rítmicamente de manera que solo una bomba hidráulica a la vez extraiga el flujo. Uno de los dispositivos de bombeo de desalinización hidráulica puede servir como bomba de repuesto redundante (165e). En el caso de una falla en uno de los dispositivos de bombeo en funcionamiento, el dispositivo de bombeo de reserva (165e) puede ser arrancado y mantener el flujo continuo.

Todos los dispositivos de bombeo de desalinización hidráulica (165a, 165e) tienen una característica o relación específica con respecto a su capacidad para suministrar caudal de flujo y ejercer presión (o carga). Pero, en general, una bomba ejerce más presión sobre el entorno cuando bombea fluido a un caudal bajo. Por el contrario, una bomba ejerce menos presión sobre el entorno cuando bombea fluido a un caudal alto. Esta relación existe dentro del propio dispositivo de bombeo, independientemente de cómo el caudal afecta al entorno, y se conoce como curva de bombeo. En la Figura 6 se muestra una curva de bombeo típica.

Una bomba tradicional tiene mecanismos internos, tubería, conductos, etc. que son tan afectados por el caudal dentro de la bomba que la capacidad de la bomba para ejercer presión sobre su entorno disminuye a medida que aumenta el caudal. Esta capacidad disminuida se debe a las pérdidas de fricción dentro de la bomba a medida que el caudal y, más importante aún, las velocidades de flujo aumentan dentro de la bomba. Las pérdidas de fricción dependen en gran medida de las velocidades de flujo, y un pequeño incremento en la velocidad de flujo puede traer como resultado un aumento comparativamente mucho mayor en la pérdida de fricción.

Eventualmente, a medida que aumentan los caudales dentro de una bomba, se alcanza un punto en el que la bomba ya no podrá funcionar correctamente. Ese punto es cuando la Carga de succión positiva neta requerida (NPSHR) por la bomba es igual o superior a la Carga de succión positiva neta disponible (NPSHA). La NPSHR está relacionada con las pérdidas de fricción dentro de la bomba descritas anteriormente, y aumenta a medida que aumenta el caudal a través de la bomba. Esta relación directa se llama curva de NPSHR. La Figura 6 muestra también una curva de NPSHR típica. La NPSHA es básicamente la presión total suministrada por el entorno en el lado de succión de la bomba. Técnicamente, una bomba no puede extraer un fluido. Debe existir cierta presión en el lado de la succión para impulsar el fluido a la bomba. Por definición, esa presión, la NPSHA, es la presión atmosférica ambiente, más la presión desde la altura sobre la bomba de la fuente de fluido del lado de succión, menos las pérdidas de fricción desde el flujo de fluido en la tubería de succión externa ($NPSHA = \text{atmósfera} + \text{altura de fluido} - \text{pérdidas de fricción}$).

Cuando el fluido es un líquido y NPSHR es igual a NPSHA, se produce vaporización. Las pérdidas de fricción dentro de la bomba pueden disminuir tanto la presión del líquido que se pueden formar burbujas de vapor en el líquido. Esencialmente, se produce una forma de ebullición. Esta ebullición se denomina cavitación y, en circunstancias normales, puede ser un problema para las bombas. En primer lugar, la cavitación reduce el flujo de líquido suministrado por la bomba porque tiene que bombear una mezcla de líquido y vapor, no solo líquido como se pretendía. En segundo lugar, las burbujas de vapor pueden causar daños a la bomba al expandirse e impactar repetidamente contra los componentes internos de la bomba. Por estas razones, los ingenieros intentan evitar situaciones en las que la NPSHR de una bomba sea igual o superior a la NPSHA.

Sin embargo, en el ambiente adecuado, el uso de pérdidas de fricción para provocar intencionadamente vaporización puede ser beneficioso. Incluso podría ser ideal para la desalinización, ya que la vaporización se produce a temperatura y presión ambientes, lo que significa que los requisitos energéticos deberían ser relativamente bajos. En consecuencia, dicho proceso de desalinización tiene un gran potencial para ser rentable. La presente invención aprovecha este potencial para proporcionar desalinización hidráulica.

La desalinización hidráulica, de acuerdo con los principios de la presente descripción, aprovecha la capacidad de una bomba para provocar vaporización cuando las pérdidas de fricción son iguales o superiores a NPSHA. Sin embargo, la vaporización dentro de cualquier bomba puede ser problemática, particularmente para las bombas tradicionales. La vaporización (cavitación) también puede producirse dentro de la tubería de succión externa a la bomba si las pérdidas de fricción dentro de la tubería igualan o superan la NPSHA. Sin embargo, tampoco se recomienda la vaporización en la tubería, ya que la expansión y el impacto de las burbujas de vapor dentro de los confines limitados de los tubos causan daños a las paredes de los tubos similares a los daños causados a los componentes internos de las bombas.

Para explotar con seguridad la vaporización en el lado de succión de las bombas, un proceso y sistema de desalinización hidráulica, de acuerdo con los principios de la descripción, incluye, pero no se limita a, los siguientes equipos y características:

- Dispositivos de bombeo de desalinización hidráulica que extraen agua a través de tuberías a un caudal y velocidad deseados (por ejemplo, entre 2 y 8 pies por segundo o fps) mientras tratan el flujo de salmuera (agua de mar concentrada) y un flujo mixto de agua dulce / aire;

- Válvulas de fricción que controlan la fricción en el lado de succión de los dispositivos de bombeo de desalinización hidráulica y provocan la vaporización dentro del tanque de vaporización;
- Un embudo aguas arriba del tanque de vaporización que proporciona la transición entre la tubería de la línea de impulsión de diámetro relativamente pequeño y el tanque de vaporización de mayor diámetro, y proporciona aberturas desde las que se puede extraer salmuera;
- Un tanque de vaporización en el que puede tener lugar la ebullición con un daño mínimo al entorno;
- Un tabique separador que aloja un intercambiador de calor y divide el tanque de vaporización en agua de mar en el lado aguas arriba y agua dulce en el lado aguas abajo;
- Un embudo aguas abajo del tanque de vaporización que proporciona la transición entre el tanque de vaporización de mayor diámetro y la tubería de succión de menor diámetro;
- Una boquilla de aire que introduce aire, forzando la condensación en el lado aguas abajo del tanque, mientras proporciona calor para la vaporización en el lado aguas arriba.

Las bombas tradicionales son muy buenas para mover fluidos de un lugar a otro, pero no son muy buenas para causar una vaporización de manera segura a gran escala. Los dispositivos de bombeo de desalinización hidráulica (por ejemplo, 165a - 165e) configurados de acuerdo con los principios de la invención están diseñados específicamente para la desalinización hidráulica en escala que van desde pequeñas (por ejemplo, menos de 10 galones por minuto o gpm) a grandes (por ejemplo, más de 1000 gpm).

En general, los dispositivos de bombeo de desalinización hidráulica (165a, 165e) están configurados sustancialmente desprovistos de componentes internos complejos, tuberías pequeñas y conductos estrechos que provocan grandes pérdidas de fricción en las bombas tradicionales. Como se ha descrito anteriormente, esta configuración puede incluir, generalmente, una cavidad de bombeo cilíndrica (164), relativamente grande, que puede expandirse mediante un resorte de compresión (163) de diámetro similar. Cada dispositivo de bombeo de desalinización hidráulica (165a, 165e) puede tener dos entradas y dos salidas, con los cuatro tubos colocados encima del dispositivo de bombeo de desalinización hidráulica (165a, 165e). Como se ha descrito anteriormente en relación con la Figura 3A, se puede usar un emparejamiento de entrada y salida para la succión y descarga de una mezcla de agua dulce y aire. El otro emparejamiento de entrada y salida se puede usar para la succión y descarga de la salmuera. El flujo mixto de agua dulce y aire se mantiene separado del flujo de salmuera por un tabique dentro de la cavidad de bombeo (y el resorte), como se muestra, por ejemplo, en la Figura 8. El tabique dentro de la cavidad de bombeo, como se muestra en la Figura 8, puede colocarse de manera que aproximadamente el 90 % del flujo extraído por la bomba incluya el flujo mixto de agua dulce y aire, mientras que el 10 % restante aproximado incluya salmuera. Esa proporción maximiza la eficiencia de la desalinización típica del agua de mar mientras se mantiene la sal disuelta en la salmuera. Se pueden seleccionar otras proporciones y posiciones de tabique, si es necesario, para adaptarse a diferentes salinidades de agua salada o unidades de desalinización más pequeñas en detrimento de la eficiencia. Cuando los flujos entran en los dispositivos de bombeo de desalinización hidráulica (165a, 165e), el resorte (163) puede hacer que la cavidad de bombeo (164) se expanda hacia abajo a una velocidad relativamente lenta. Cuando se completa la expansión, se puede activar una prensa eléctrica / mecánica en la parte inferior de cada dispositivo de bombeo de desalinización hidráulica (165a, 165e) y puede iniciarse la compresión de la cavidad a su posición original. Durante la compresión, la salmuera y el agua dulce / aire son descargados a través de sus salidas y enviados a las respectivas áreas de almacenamiento.

Generalmente, se necesita flujo continuo de agua para prolongar el proceso de desalinización; de lo contrario, la vaporización puede interrumpirse cuando un dispositivo de bombeo de desalinización hidráulica (165a, 165e) descarga agua. Para mantener el flujo continuo, puede instalarse en paralelo una pluralidad (por ejemplo, 2 a 5, o más) de dispositivos de bombeo de desalinización hidráulica accionados por resorte (165a, 165e), con válvulas de flujo unidas a cada línea de succión y / o descarga del dispositivo de bombeo. Los dispositivos de bombeo de desalinización hidráulica (165a, 165e) funcionan rítmicamente de manera que solo un dispositivo de bombeo de desalinización hidráulica a la vez extraiga el flujo. Una de las bombas (por ejemplo, 165e) puede servir como bomba de repuesto redundante. En el caso de una falla en una de las bombas en funcionamiento, la bomba de reserva puede ser arrancada y puede mantenerse el flujo continuo.

Un beneficio residual del diseño simple del dispositivo de bombeo de desalinización hidráulica (165a, 165e) es que las mezclas de aire y agua no deben afectar negativamente la capacidad de funcionamiento de la bomba. Las bombas tradicionales que están destinadas a bombear líquidos o gases a menudo no funcionan bien con las diferentes velocidades y densidades asociadas a las mezclas de líquidos y gases. Las velocidades de flujo dentro de las bombas accionadas por resorte deben ser demasiado bajas como para causar problemas graves, a pesar de las diferentes densidades.

Las dimensiones y el tamaño del resorte de compresión pueden regirse por algunas pautas generales para resortes, así como también por el tiempo que tardan en abrir y cerrar las válvulas de flujo asociadas a las bombas. Estas pautas pueden incluir:

- La longitud del resorte libre (longitud del resorte (es decir, el resorte (163)) cuando no hay fuerzas que actúen sobre él) no debe ser superior a, por ejemplo, 10 veces el diámetro total del resorte;
- El rango operativo de compresión debe situarse entre, por ejemplo, aproximadamente el 80 % de la compresión máxima (longitud del resorte totalmente comprimido menos la longitud del resorte libre) y, por ejemplo, aproximadamente el 20 % de la compresión máxima;
- El diámetro del alambre del resorte (es decir, el resorte (163)) no debe ser menor que, por ejemplo, aproximadamente 1/12 del diámetro total del resorte; y
- El volumen de expansión del resorte debe ser lo suficientemente grande como para permitir que transcurran al menos, por ejemplo, unos 15 segundos entre el inicio y el fin de la expansión, dando a las válvulas de flujo de la bomba el tiempo adecuado para abrir y cerrar.

Por otra parte, la fuerza requerida para causar la expansión del resorte (163) es una ecuación lineal simple $F = kx$; donde F es la fuerza requerida para causar la expansión del resorte, k es una constante basada principalmente en las propiedades materiales del resorte y x es la longitud de expansión. Esta relación lineal simple facilita el dimensionamiento del resorte (163) y por lo tanto, ayuda a garantizar que los principios de desalinización hidráulica resultantes produzcan agua dulce a la velocidad deseada.

Según diseño, las bombas accionadas por resorte (es decir, el dispositivo de bombeo de desalinización hidráulica (165a, 165e)) tienen curvas de bombeo y curvas de NPSHR que son independientes del caudal a través de la bomba. Debido a que las bombas accionadas por resorte no tienen componentes internos complejos, tuberías pequeñas ni conductos estrechos que provoquen grandes pérdidas de fricción, sus curvas de bombeo y sus curvas de NPSHR son completamente horizontales, como se muestra en relación con la Figura 7. El único factor que afecta la capacidad de la bomba para ejercer cabezal (o presión) al entorno es la posición de la cara principal del resorte durante la expansión. Una vez que el fluido llega a la bomba en forma líquida, nada dentro de la bomba puede provocar la cavitación de ese líquido. Por lo tanto, la curva de NPSHR para bombas accionadas por resorte no es solo completamente horizontal, sino que es igual a cero para prácticamente todos los flujos. La Figura 7 muestra un ejemplo de curva de bombeo y de curva de NPSHR para bombas accionadas por resorte, como el dispositivo de bombeo de desalinización hidráulica (165a, 165e). El principal beneficio de no tener NPSHR es que la bomba es muy segura y eficiente de usar en el ambiente de baja NPSHA de desalinización hidráulica.

La Figura 4 muestra una vista aérea, secuencial de un ejemplo de válvulas de fricción y válvulas de flujo asociadas con los dispositivos de bombeo de desalinización hidráulica, configuradas de acuerdo con los principios de la descripción, y también muestra una secuencia ilustrativa del funcionamiento de las mismas. Las válvulas de flujo (por ejemplo, la válvula de flujo (22, 70)) pueden incluir válvulas que están configuradas para controlar el flujo que entra y sale del dispositivo de bombeo de desalinización hidráulica (165a, 165e). También pueden controlar el flujo que sale de las válvulas de fricción de ajuste (por ejemplo, la válvula de fricción (25, 75)). Las válvulas de flujo pueden incluir, por ejemplo, válvulas de cierre, válvulas de retención-cierre, válvulas de retención antirretorno, válvulas de pinza o cualquier otra válvula de funcionamiento similar. Las válvulas de flujo pueden accionarse hidráulica o eléctricamente para funcionar de acuerdo con la secuencia de operaciones de la bomba (y la secuencia de operaciones de la válvula de fricción de ajuste).

Las válvulas de fricción (por ejemplo, la válvula de fricción (25, 75)) incluyen válvulas que están configuradas para restringir el flujo en la tubería aguas arriba del tanque de vaporización (120). El objetivo de usar válvulas de fricción es transmitir un cabezal de fricción sobre el flujo de agua salada de manera que se produzca la vaporización cuando se desee en el tanque de vaporización (120). Las válvulas de fricción (25, 75) pueden ser establecidas o de ajuste. Las válvulas de fricción establecidas se establecen en una posición parcialmente cerrada que no cambia durante la desalinización hidráulica. Las válvulas de fricción de ajuste pueden ajustarse desde posiciones parcialmente cerradas a más completamente cerradas durante la desalinización hidráulica. Las válvulas de flujo (22, 70) pueden ser utilizadas junto con las válvulas de fricción de ajuste para que las válvulas de fricción de ajuste tengan tiempo para reiniciarse desde la posición más completamente cerrada a la posición parcialmente cerrada. Al igual que los dispositivos de bombeo de desalinización hidráulica (165a, 165e), las válvulas de fricción de ajuste pueden funcionar rítmicamente y en paralelo para mantener un flujo continuo. Se sugiere la inclusión de al menos una válvula de fricción de ajuste de repuesto para la redundancia en caso de avería de una o más de las otras válvulas de fricción de ajuste. Al igual que las válvulas de flujo (22, 70) y las válvulas de fricción (25, 75), pueden accionarse hidráulica o eléctricamente para operar de acuerdo con la secuencia de operación de la válvula de fricción de ajuste correspondiente. Una válvula, tal como, por ejemplo, una válvula de cierre de ciclo (CSV) tiene las características de rendimiento necesarias para funcionar como una válvula de fricción establecida o de ajuste en la desalinización hidráulica. La secuencia de las operaciones de la válvula de fricción de ajuste se explica en relación con la Figura 4, como se describe a continuación.

En este ejemplo, el funcionamiento de las válvulas de fricción incluye la rotación rítmica, pero asíncrona, a través de las siguientes etapas de la Tabla 3.

TABLA 3

Etapa F1 y sub-etapas	Etapa F2 y sub-etapas	Etapa F3 y sub-etapas
F-1. Válvula de fricción de ajuste en posición parcialmente cerrada.	F-1. Válvula de fricción de ajuste en posición más completamente cerrada.	F-1. Válvula de fricción de ajuste en posición parcialmente cerrada.
F-2. Válvula de flujo aguas abajo en la línea de impulsión en posición completamente abierta.	F-2. Válvula de flujo aguas abajo en la línea de impulsión en posición completamente abierta.	F-2. Válvula de flujo aguas abajo en la línea de impulsión en posición completamente cerrada.
F-3. La válvula de fricción de ajuste implicada en esta etapa lo hace de forma sincrónica con la bomba implicada en la Etapa 1 de la secuencia de operaciones de la bomba. (TABLE 2).	F-3. La válvula de fricción de ajuste implicada en esta etapa lo hace de forma sincrónica con la bomba implicada en la etapa 2 de la secuencia de operaciones de la bomba (TABLA 2).	F-3. La válvula de fricción de ajuste implicada en esta etapa lo hace de forma sincrónica con la bomba implicada en las etapas 3 y 4 de la secuencia de operaciones de la bomba (TABLA 2).
F-4. El flujo a través de la válvula de fricción de ajuste es igual al flujo máximo (Etapa 1 de la secuencia de operaciones de la bomba, TABLA 2).	F-4. El flujo a través de la válvula de fricción de ajuste es igual al flujo mínimo (Etapa 2 de la secuencia de operaciones de la bomba, TABLA 2).	F-4. El flujo a través de la válvula de fricción de ajuste es igual a cero (etapas 3 y 4 de la secuencia de operaciones de la bomba de la TABLA 2).

Como se ha explicado anteriormente, en el tanque de vaporización (120) es donde la vaporización puede producirse de forma segura durante el proceso de desalinización hidráulica. El tanque de vaporización (120) se puede dimensionar para limitar las velocidades de flujo de vapor por debajo, por ejemplo, de aproximadamente 200 pies por segundo (pfs), que generalmente se acepta como el límite de velocidad de flujo para el vapor. El tanque de vaporización (120) puede tener un tabique separador (130) a través de su línea central para separar el agua de mar en el lado aguas arriba del agua dulce en el lado aguas abajo. El tabique del tanque (130) también puede configurarse para alojar el intercambiador de calor (131) que puede proporcionar una trayectoria de flujo desde el lado de agua dulce al lado de agua de mar para el calor liberado durante la condensación. El tanque de vaporización (120) es típicamente la pieza individual más grande del equipo en el proceso de desalinización hidráulica.

Un cierto nivel de gases no condensables como oxígeno y nitrógeno pueden acumularse en el tanque de vaporización durante la desalinización hidráulica. Este nivel debe permanecer constante y no debe interferir significativamente en el rendimiento o la eficiencia del proceso de desalinización. Sin embargo, si los gases no condensables en el tanque de vaporización se acumulan a un nivel aceptable, se pueden instalar bombas de vacío en el tanque para descargar el exceso de gases no condensables.

Se pueden usar dos embudos (135a, 135b) en la desalinización hidráulica. Un embudo (135a) puede ser configurado en el lado aguas arriba del tanque de vaporización (120) y el otro embudo (135b) puede ser configurado en el lado aguas abajo. Ambos embudos proporcionan transiciones entre las tuberías (donde, según el estándar industrial, el agua líquida fluye a velocidades que varían desde, por ejemplo, aproximadamente 2 a aproximadamente 8 fps) y el tanque de vaporización (120) (donde el vapor de agua fluye a velocidades de hasta, por ejemplo, 200 fps aproximadamente).

A medida que el agua de mar (suponiendo, por ejemplo, aproximadamente el 3,5 % de salinidad) se evapora en el tanque de vaporización (120), el agua remanente se hace más concentrada con la sal. Esta agua residual con el mayor contenido de sal (por ejemplo, aproximadamente 35 % de salinidad) es la salmuera. El embudo aguas arriba también proporciona aberturas en su suelo desde el que el flujo de salmuera es extraído a la tubería de succión de salmuera que finalmente termina en el dispositivo de bombeo de desalinización hidráulica (165a, 165e). La mezcla de agua dulce y aire en el embudo aguas abajo (135b) tiene una salinidad de aproximadamente 0 %.

La boquilla de aire es una parte pequeña pero importante de la desalinización hidráulica. La boquilla de aire introduce aire en el flujo de agua dulce inmediatamente después del embudo aguas abajo. El aspecto importante de esta etapa es que el aire, aunque ambiente, tiene una presión y temperatura más alta que el vapor de agua en el tanque de vaporización. La presión y la temperatura ambientes del aire pueden ser, por ejemplo, de aproximadamente 14,7 psi y 72 grados Fahrenheit, respectivamente. La presión del vapor de agua puede ser, por ejemplo, de aproximadamente 0,3 psi y su temperatura puede ser, por ejemplo, de aproximadamente 68 grados Fahrenheit. Se observa que la vaporización puede ser creada estrictamente reduciendo la presión mediante pérdidas de fricción. No se agregó calor que elevara la temperatura del agua de mar / agua salada, que

generalmente se considera que sea de aproximadamente 68 grados Fahrenheit, aunque puede variar.

La importancia del aire ambiente con mayor presión y temperatura que el vapor de agua en el tanque es doble:

- 5 • La mayor presión aplicada por el aire introducido forzará el vapor de agua a condensarse en agua dulce líquida; y
- La mayor temperatura del aire introducido y circundante forzará el retorno del calor liberado por el vapor de agua durante la condensación al tanque de vaporización hacia el lado aguas arriba, donde se requiere calor para completar la vaporización.
- 10 Esta capacidad para lograr la condensación y la vaporización sin agregar presión o calor desde una fuente externa diferente de la ambiente es lo que le da a la desalinización hidráulica una ventaja tan distintiva sobre todos los demás procesos de desalinización. Mediante algunos cálculos iterativos, se observó que la introducción, por ejemplo, de aproximadamente 2 % de aire en volumen al vapor de agua de manera sistemática parecía ser una cantidad apropiada para establecer el nivel de agua líquida deseado en el lado aguas abajo del tanque de
- 15 vaporización.

Resumen ejemplar de la desalinización hidráulica

- 20 Generalmente, la desalinización hidráulica implica una técnica para reducir la presión del agua salada líquida al punto de vaporización generando flujos a través de las tuberías y accesorios, capturando el vapor, condensando el vapor utilizando una mayor presión suministrada por el entorno ambiental y recuperando el calor liberado durante la condensación manteniendo las temperaturas ambientes mayores que las temperaturas del vapor. El calor recuperado puede ser utilizado para mejorar y perpetuar la vaporización de forma cíclica.

Resumen ejemplar del proceso de desalinización hidráulica

- 25 La desalinización hidráulica puede transformar el agua salada en dos productos finales: agua dulce y salmuera. Las etapas que se proporcionan a continuación ilustran un recorrido cronológico ejemplar del agua salada a medida que tiene lugar la desalinización hidráulica de principio a fin y se transforma en los dos productos finales.

Trayectoria cronológica de agua salada a agua dulce

Para la trayectoria cronológica de agua salada a agua dulce, las etapas pueden incluir:

- 35 • El agua salada entra en la línea de impulsión y viaja hacia la estación de bombeo de desalinización (115). La primera parte de la línea de impulsión circula desde la fuente de agua salada hasta la válvula de fricción (25) en la estación. Según diseño, las velocidades de flujo en la línea de impulsión deben mantenerse entre, por ejemplo, alrededor de 2 y alrededor de 8 fps. La presión dentro del agua salada se reduce debido a la pérdida de fricción causada por el desplazamiento a través de la línea de impulsión.
- 40 • Una vez dentro de la estación (115), el agua salada pasa a través de una válvula de fricción establecida o una válvula de fricción de ajuste, dependiendo de si el flujo es constante o variable. La válvula de fricción transmite el cabezal en el agua salada. Después de pasar a través de la válvula de fricción, el agua salada se desplaza a través de la segunda parte de la línea de impulsión, que circula desde la válvula de fricción al embudo aguas arriba (135a). La presión dentro del agua salada se reduce más debido a la pérdida de fricción causada por el desplazamiento a
- 45 través de la válvula de fricción y la línea de impulsión.
- El agua salada entra en el embudo aguas arriba (135a) y se desplaza hacia arriba hasta el tanque de vaporización (120). El movimiento hacia arriba reduce aún más la presión dentro del agua salada. El embudo (135a) amplía la sección transversal del flujo en preparación para las altas velocidades que se producen en la vaporización.
- 50 • El agua salada entra en el tanque de vaporización (120) y continúa desplazándose hacia arriba, lo que continúa reduciendo la presión dentro del agua salada. Eventualmente, la presión se reduce hasta el punto de vaporización.
- Un porcentaje del agua salada se vaporiza, y el vapor (122) escapa hacia arriba en la porción superior del tanque de vaporización, cruzando sobre el tabique del tanque. Según diseño, las velocidades de flujo del vapor (122) se mantienen por debajo, por ejemplo, de alrededor de 200 fps. El tabique del tanque (130) puede comprender una pared a través del centro del tanque de vaporización (120) que separa el agua salada líquida del agua dulce líquida.
- 55 La pared no se extiende a la parte superior del tanque de vaporización (120), permitiendo que el vapor pase sobre la misma. Al lado del tabique del tanque donde el agua salada se vaporiza se le llama lado aguas arriba del tanque de vaporización (120). Al lado del tabique del tanque donde el vapor de agua (122) se condensa a agua dulce se le llama lado aguas abajo del tanque de vaporización.
- Debido a la introducción de aire atmosférico más aguas abajo, la condensación del vapor (122) es forzado por
- 60 debajo de la parte superior del tabique del tanque (130) en el lado aguas abajo del tanque de vaporización (120). El agua dulce se desplaza hacia abajo hasta el embudo aguas abajo (135b).
- El agua dulce entra en el embudo aguas abajo (135b) y se desplaza hacia abajo hasta la tubería de succión de agua dulce (5). El embudo (135b) reduce la sección transversal del flujo para permitir que se produzcan velocidades

de flujo ideales dentro de la tubería de succión de agua dulce aguas abajo (5).

• El agua dulce entra en la tubería de succión (5) y se desplaza hacia la bomba (por ejemplo, 165a-165e). La tubería de succión de agua dulce incluye una válvula de fricción establecida (75) para proporcionar flexibilidad operativa en caso de que sea necesario o deseable transmitir cabezal dentro de la tubería de succión de agua dulce. Según diseño, las velocidades de flujo en la tubería de succión deben mantenerse entre, por ejemplo, alrededor de 2 y alrededor de 8 fps. La tubería de succión de agua dulce termina en el dispositivo de bombeo de desalinización hidráulica (165a, 165e). Inmediatamente aguas arriba de la válvula de fricción (75), por ejemplo, aproximadamente el 2 % en volumen de aire atmosférico es introducido en la tubería de succión (5) para elevar la presión dentro del agua dulce lo suficiente como para forzar la condensación en el lado aguas abajo del tanque de vaporización (120). El calor liberado por la condensación puede fluir a través del intercambiador de calor (131) al lado aguas arriba del tanque de vaporización (120), donde se usa para impulsar la vaporización. La pérdida de calor al medio ambiente se puede evitar sustancialmente manteniendo una temperatura ambiente fuera del tanque de vaporización que sea mayor que la temperatura del agua y el vapor añadidos.

• El agua dulce entra en el dispositivo de bombeo de desalinización hidráulica (165a, 165e) a medida que la cavidad de la bomba (164) se expande. Cuando la cavidad de la bomba (164) se comprime, el agua dulce sale del dispositivo de bombeo de desalinización hidráulica (165a, 165e) y es dirigida a la tubería de descarga de agua dulce (11). La tubería de descarga (11) lleva el agua dulce desde el dispositivo de bombeo de desalinización hidráulica (165a, 165e) a un área de almacenamiento donde el agua dulce espera el posterior tratamiento o distribución. Una pared, llamada tabique de bomba, dentro de la cavidad de la bomba (164) separa el agua dulce y su tubería de agua dulce correspondiente de la salmuera y su tubería de salmuera correspondiente.

Trayectoria cronológica de agua salada a salmuera

Para la trayectoria cronológica de agua salada a salmuera, las etapas pueden incluir:

• El agua salada entra en la línea de impulsión (1) y se desplaza hacia la estación de bombeo de desalinización (115). La primera parte de la línea de impulsión (1) circula desde la fuente de agua salada hasta la válvula de fricción (25) en la estación. Según diseño, las velocidades de flujo en la línea de impulsión (1) deben mantenerse entre, por ejemplo, alrededor de 2 y alrededor de 8 fps. La presión dentro del agua salada se reduce debido a la pérdida de fricción causada por el desplazamiento a través de la línea de impulsión (1).

• Una vez dentro de la estación (115), el agua salada pasa a través de una válvula de fricción establecida o una válvula de fricción de ajuste (25), dependiendo de si el flujo es constante o variable. La válvula de fricción (25) transmite el cabezal en el agua salada. Después de pasar a través de la válvula de fricción (25), el agua salada se desplaza a través de la segunda parte de la línea de impulsión, que circula desde la válvula de fricción (25) al embudo aguas arriba (135a). La presión dentro del agua salada se reduce más debido a la pérdida de fricción causada por el desplazamiento a través de la válvula de fricción y la línea de impulsión.

• El agua salada entra en el embudo aguas arriba (135a) y se desplaza hacia arriba hasta el tanque de vaporización (120). El movimiento hacia arriba reduce aún más la presión dentro del agua salada. El embudo (135a) amplía la sección transversal del flujo en preparación para las altas velocidades que se producen en la vaporización.

• El agua salada entra en el tanque de vaporización (120) y continúa desplazándose hacia arriba, lo que continúa reduciendo la presión dentro del agua salada. Eventualmente, la presión se reduce hasta el punto de vaporización.

• Un porcentaje del agua salada no se vaporiza, sino que es extraída hacia abajo hacia, por ejemplo, cuatro aberturas en el fondo del embudo aguas arriba (135a) que son entradas a la tubería de succión de salmuera (12). La salmuera es el agua salada remanente que se ha hecho más concentrada con sal y otros componentes que son incapaces de escapar con el vapor. Esta salmuera entra en la primera parte de la tubería de succión de salmuera (12), que comienza en la parte inferior del embudo aguas arriba (135a) y termina en una T o racor en Y nivelado. De ser posible, las velocidades de flujo en la primera parte de la tubería de succión deben mantenerse entre, por ejemplo, alrededor de 2 y alrededor de 8 fps.

• Esta salmuera entra en la segunda parte de la tubería de succión de salmuera, que comienza en una T o racor en Y nivelado y termina en un racor en Y nivelado. La T o el racor en Y nivelado al inicio de esta tubería de succión es donde dos primeras partes de tuberías de succión de salmuera se fusionan. El caudal en la segunda parte de la tubería de succión de salmuera es dos veces el caudal en las primeras partes. Según diseño, las velocidades de flujo de la salmuera en la segunda parte de la tubería de succión deben mantenerse entre, por ejemplo, alrededor de 2 y alrededor de 8 fps.

• La salmuera entra en la tercera y última parte de la tubería de succión de salmuera, que comienza en un racor en Y nivelado y termina en la bomba. El racor en Y nivelado al inicio de esta tubería de succión es donde dos primeras partes de tuberías de succión de salmuera se fusionan. El caudal en la tercera y última parte de la tubería de succión de salmuera es dos veces el caudal en las segundas partes. Según diseño, las velocidades de flujo de la salmuera en la tercera y última parte de la tubería de succión deben mantenerse entre, por ejemplo, alrededor de 2 y alrededor de 8 fps.

• La salmuera entra en la bomba cuando la cavidad de la bomba se expande. Cuando la cavidad de la bomba (164) se comprime, la salmuera sale del dispositivo de bombeo de desalinización hidráulica (165a, 165e) y es dirigida a la tubería de descarga de salmuera (24). La tubería de descarga (24) lleva la salmuera desde el dispositivo de bombeo

de desalinización hidráulica (165a, 165e) a un área de almacenamiento donde la salmuera espera un tratamiento adicional o es retornada al agua fuente.

Ventajas del funcionamiento de la desalinización hidráulica

La desalinización hidráulica de acuerdo con los principios de la presente descripción no está sujeta a algunos de los problemas que plagan los procesos de desalinización tradicionales. Por ejemplo, los procesos térmicos actualmente utilizados en los procesos de desalinización actuales que dependen de altas temperaturas a menudo tienen problemas con la formación de sarro, ya que la sal sale de la solución y se adhiere, obstruye o corroe las tuberías y equipos. Las tecnologías basadas en membranas también son susceptibles a la formación de sarro debido a las aberturas muy finas en las membranas semipermeables. Incluso una pequeña cantidad de sarro en estas membranas tendrá un gran impacto negativo en su rendimiento. El pretratamiento suele ser necesario para que la tecnología basada en membranas solucione los problemas de la formación de sarro y elimine los residuos que pueden ensuciar las membranas. La desalinización hidráulica no es tan propensa a los problemas de formación de sarro, ya que no funciona a temperaturas más altas que generen el sarro, y no tiene equipos que sean altamente sensibles a pequeñas cantidades de sarro. Además, a diferencia de los procesos basados en membranas, la desalinización hidráulica no requiere un pretratamiento especial.

Energía requerida para la desalinización

Se requiere energía para provocar la evaporación / vaporización. Normalmente, esa energía toma la forma de calor. Los procedimientos tradicionales de evaporación comienzan con la adición de calor al agua para elevar su temperatura hasta el punto de ebullición. Luego se necesita agregar más calor para convertir el agua de líquido a vapor, una conversión que ocurre a la misma temperatura del punto de ebullición. Es este calor agregado, llamado calor de vaporización, lo que hace que los procesos de desalinización térmica dependan tanto de la energía externa. De hecho, más del 90 % de la energía requerida para provocar la evaporación puede consumirse durante esta última etapa de conversión, después de alcanzada la temperatura del punto de ebullición. Por el contrario, la desalinización hidráulica descrita por la presente descripción evita de hecho esta última etapa de alta energía simulando otro fenómeno hidráulico muy conocido: el sifón.

En un sifón típico, el flujo de agua se eleva desde un tanque o fuente aguas arriba sobre una barrera vertical, y luego regresa a un tanque o sumidero aguas abajo que es más bajo que la fuente aguas arriba. A pesar de la barrera vertical entre la fuente y el sumidero, el flujo de agua en un sifón típico se mantiene de forma natural e indefinida sin agregar energía externa. El único trabajo real que debe realizarse para el sifón es la preparación. Para preparar o cebar el sifón típico, el tubo a través del cual fluye primero el agua necesita llenarse con agua. Esto se puede hacer lejos de la fuente y el sumidero. Una vez lleno, ambos extremos del tubo son tapados. Un extremo del tubo se coloca posteriormente en la fuente aguas arriba y el otro extremo se coloca en el sumidero aguas abajo. Seguidamente, los extremos del tubo se destapan y, suponiendo niveles prácticamente constantes en la fuente y el sumidero, el flujo procede de forma natural e indefinida sin necesidad de energía adicional para mantenerlo, evitando efectivamente la barrera vertical intermedia.

Como se ha ilustrado en relación con la Figura 5, la desalinización hidráulica implica un tipo de sifón, una especie de sifón termodinámico que simula el sifón típico de muchas maneras. En este sifón termodinámico, la energía se eleva por encima del calor de vaporización y luego vuelve a bajar a una energía mucho más baja. El proceso de desalinización se sostiene solo con la energía suministrada por los dispositivos de bombeo de desalinización hidráulica de relativamente baja potencia (165a, 165e).

Al igual que el sifón típico, el trabajo real que debe realizarse está en la preparación. Para preparar o cebar el sifón termodinámico, la boquilla de aire aguas abajo se cierra y el tanque de vaporización se llena con agua. Luego, el tanque (120) se aísla cerrando la válvula de la compuerta aguas arriba. Los calentadores y el dispositivo de bombeo de desalinización hidráulica (165a, 165e) son posteriormente encendidos para comenzar la evacuación del tanque. Una vez que el nivel del agua se ha reducido a la elevación deseada, se abre la válvula de compuerta y la boquilla de aire. Los calentadores se apagan, pero las bombas accionadas por resorte se mantienen en funcionamiento. La desalinización hidráulica se produce de forma natural e indefinida sin necesidad de calor o energía externos adicionales para mantener el proceso.

Al cebar el sifón termodinámico, las bombas accionadas por resorte pueden no ser capaces de llenar el tanque de vaporización. Las bombas no pueden extraer un líquido. En cambio, las bombas accionadas por resorte utilizan la fricción para reducir la presión en un lado del flujo, permitiendo que la presión atmosférica impulse el flujo desde el otro lado. Si el tanque de vaporización es suficientemente alto, la presión atmosférica no será lo suficientemente fuerte como para impulsar el flujo a la parte superior del tanque. Si esto sucede, se pueden colocar bombas sumergibles en la fuente de agua de mar, o se puede utilizar un hidrante, para impulsar el agua hacia la parte superior del tanque.

Como se ha descrito anteriormente, la boquilla de aire es importante para el éxito de la desalinización hidráulica. En esencia, la boquilla de aire (174) es el sifón termodinámico que impulsa la desalinización hidráulica. El aire introducido en la boquilla de aire (174) fuerza la condensación y también fuerza el flujo de calor hacia donde se produce la vaporización. El aire fuerza estos eventos porque, aunque ambiente, tiene una temperatura y presión más altas que el vapor de agua. Cuando se ve afectado por la entrada de aire en la boquilla de aire (174), el vapor de agua no tiene más alternativa que condensar y liberar calor hacia la trayectoria de menor resistencia, que es la trayectoria de flujo de calor a través del intercambiador de calor (131) hacia el lado aguas arriba del tanque (120) donde se está produciendo la vaporización. Es importante tener en cuenta que el calor liberado durante la condensación, llamado calor de condensación, es igual en magnitud al calor de vaporización. Reciclar el calor de esta manera significa que la barrera, el calor de vaporización, se evita de manera efectiva durante la desalinización hidráulica.

Debido al efecto de sifón termodinámico de la desalinización hidráulica, los calentadores (145) solo deberían ser necesarios durante la evacuación inicial. Sin embargo, si es necesario, los calentadores (145) podrían ser utilizados para calentar el entorno ambiental para garantizar que el aire ambiente mantenga una temperatura más alta que el vapor de agua (122) en el tanque. De lo contrario, las bajas temperaturas del aire ambiente pueden provocar la pérdida de calor en el entorno ambiental durante la condensación y una menor eficiencia del proceso de desalinización hidráulica.

Línea de grado de energía

La línea de grado de energía es lo que se usa para calcular la energía asociada al flujo de fluido. El objetivo de estos cálculos es determinar el punto de funcionamiento de los dispositivos de bombeo de desalinización hidráulica. El punto de funcionamiento es el punto donde la curva de la bomba se cruza con la curva del sistema. La curva del sistema, también llamada curva de Carga dinámica total (TDH), es la resistencia al flujo que existe en la tubería / equipo externa a los dispositivos de bombeo de desalinización hidráulica. El punto de funcionamiento se describe normalmente como un caudal específico a una presión o altura específica. En la Figura 6 se muestra un ejemplo de puntos de funcionamiento y curvas de sistema.

Energía mínima para la separación

Se acepta generalmente que la energía mínima requerida para eliminar la sal disuelta en agua sea, por ejemplo, de aproximadamente 0,7 kilovatios / hora por metro cúbico (kWh/m³). Esta energía mínima se determina a partir del calor (entalpía) de los datos de la solución para la sal disuelta, o a partir de la diferencia en las presiones de vapor de equilibrio entre el agua de mar y el agua dulce. El procedimiento del calor de solución para calcular la energía mínima se aplica a las tecnologías basadas en membranas. El procedimiento de presión de vapor de equilibrio diferente se refiere a las tecnologías de desalinización térmica. La desalinización hidráulica es una forma de desalinización térmica, pero a diferencia de otras formas de desalinización térmica, no requiere un compresor artificial para condensar la presión de vapor de equilibrio del agua de mar para igualar la presión de vapor de equilibrio del agua dulce. Esta compresión se realiza automáticamente mediante el aire atmosférico de alta presión introducido en el sistema. El aire no solo transforma el vapor en agua líquida, sino que también genera la compresión de vapor preliminar necesaria. Debido a que la compresión de vapor se realiza mediante el aire ambiente introducido, no es necesario suministrar la energía correspondiente de, por ejemplo, alrededor de 0,7 kWh/m³. La única energía que necesita suministrarse es para las bombas y las válvulas, que es mucho menor que 0,7 kWh / m³. Por lo tanto, el requisito de energía mínima que generalmente se acepta para la desalinización no se aplica a la desalinización hidráulica de la misma manera que se aplica a otros procesos. Al igual que la forma en que la desalinización hidráulica recicla el calor necesario para la vaporización, la energía mínima requerida para la separación se obtiene desde el propio proceso.

Ejemplos de aplicaciones para la desalinización hidráulica

Para mostrar cómo se puede aplicar la desalinización hidráulica a proyectos de pequeña y gran escala, se describen cuatro ejemplos. Son los siguientes:

- Flujo constante: bombas accionadas por resorte dimensionadas para extraer, por ejemplo, alrededor de 1200 gpm a una velocidad constante;
- Flujo constante (pequeña): bombas accionadas por resorte dimensionadas para extraer, por ejemplo, alrededor de 8 gpm a una velocidad constante;
- Flujos variables: bombas accionadas por resorte dimensionadas para extraer, por ejemplo, alrededor de 1200 gpm como promedio; y
- Flujos constantes (pequeña): bombas accionadas por resorte dimensionadas para extraer, por ejemplo, alrededor de 8 gpm como promedio.

Las descripciones y comparaciones de estos cuatro ejemplos se presentan a continuación. Ninguno de los ejemplos especifica el material para tuberías o equipos; sin embargo, se sabe que el cloruro de polivinilo (PVC), el polietileno de alta densidad (HDPE), la fibra de vidrio y varios tipos de acero inoxidable (630 SS, AL6XN, Sea-Cure) son apropiados para el uso del agua de mar con el agua salada.

Flujo constante: estación de 1200 gpm

Esto incluye una estación de bombeo integrada. La distribución del espacio puede ser de aproximadamente 56 pies por 58 pies y el tramo vertical total puede ser de aproximadamente 67 pies. De ese tramo vertical, alrededor de 38 pies pueden estar sobre el nivel del suelo (incluyendo una cubierta en forma de A), y aproximadamente 29 pies pueden estar bajo tierra.

La estructura de la planta superior puede ser un edificio de 1 piso con un techo de 21 pies de altura aproximadamente. El tanque de vaporización (120), los calentadores (145) (para la evacuación inicial) y cualquier panel de control pueden residir en la porción de la planta superior del edificio (115). Se pueden instalar escaleras y escotillas para proporcionar acceso a las tuberías y bombas subterráneas.

El edificio (115) puede incluir dos niveles subterráneos. El primer nivel subterráneo puede alojar la mayoría de las tuberías. El segundo nivel subterráneo puede estar en donde se encuentran las bombas. Se pueden instalar cinco bombas. Cuatro bombas pueden funcionar juntas para mantener el flujo continuo, mientras que la última bomba puede estar disponible como repuesto. Los resortes en el dispositivo de bombeo de desalinización hidráulica pueden ser de 54 pulgadas de diámetro con una constante de resorte k (una medida del potencial de un resorte para expandirse) de 977 libras por pie (lb / ft), aproximadamente. Los dispositivos de bombeo de desalinización hidráulica pueden extraer flujo a una velocidad constante de, por ejemplo, alrededor de 1200 gpm.

La estación (115) puede estar provista de una válvula de compuerta (160) (para la evacuación inicial) y de una válvula de fricción establecida, ambas aguas arriba del tanque de vaporización (120). Aunque la estación puede tener solo una válvula de fricción establecida, el nivel de agua de mar en el tanque de vaporización permanecerá esencialmente constante a lo largo de los 8 pies de altura del tabique del tanque durante el funcionamiento de las bombas, debido al flujo constante generado por las bombas.

Alrededor del 90 % del flujo total que entra en la estación puede ser convertido en agua dulce, lo que significa que la estación puede producir agua dulce a una velocidad de, por ejemplo, alrededor de 1080 gpm. Se puede estimar, de forma conservadora, que la potencia total requerida por la estación es, por ejemplo, de alrededor de 40 caballos de fuerza o 30 kilovatios, teniendo en cuenta todo el consumo energético. En realidad, puede requerir menos energía. La mayoría de la energía puede utilizarse para impulsar las prensas eléctricas / mecánicas que comprimen las cavidades de la bomba y descargan el flujo. El consumo de energía restante se puede dividir entre las válvulas, el panel de control, la iluminación y, si es necesario, el calentamiento del entorno ambiental. La relación potencia-agua para esta estación puede ser determinada en, por ejemplo, alrededor de 0,02 megavatios por millón de galones imperiales (MIGD), o alrededor de 0,005 megavatios por mil metros cúbicos por día (MW / 1000 metros cúbicos por día).

Flujo constante (pequeña): unidad de 8 gpm

Este ejemplo incluye una unidad empaquetada que se puede ensamblar antes o después de la entrega al sitio. La unidad empaquetada incluye paredes externas que pueden incluir paneles desmontables para permitir el acceso al interior por parte del personal. La distribución del espacio puede ser de aproximadamente 11 pies por 14 pies y el tramo vertical total puede ser de aproximadamente 22 pies.

Todo el tramo vertical puede estar sobre la superficie o encima de un suelo de edificio / plataforma de barco, y puede incluir, por ejemplo, tres niveles. El tanque de vaporización y los calentadores (para la evacuación inicial) pueden residir en el nivel superior. La mayoría de las tuberías pueden ser instaladas en el segundo nivel. Los dispositivos de bombeo de desalinización hidráulica pueden ubicarse en el nivel inferior, y los interruptores de control pueden ubicarse en el nivel superior o en el segundo nivel para permitir que los controles estén al alcance visual de la mayoría del personal. Se pueden instalar tres bombas. Dos bombas pueden funcionar juntas para mantener el flujo continuo, mientras que la última bomba puede estar disponible como repuesto. Los resortes en las bombas pueden tener, por ejemplo, alrededor de 42 pulgadas de diámetro con una constante de resorte k de, por ejemplo, alrededor de 601 lb / ft, aproximadamente. Los dispositivos de bombeo de desalinización hidráulica pueden extraer flujo a una velocidad constante de, por ejemplo, alrededor de 8 gpm.

La unidad puede estar provista de una válvula de compuerta (para la evacuación inicial) y de una válvula de fricción establecida, ambas aguas arriba del tanque de vaporización (120). Aunque la unidad puede tener solo una válvula

de fricción establecida, el nivel de agua de mar en el tanque de vaporización permanecerá esencialmente constante a lo largo de los 2 pies de altura del tabique del tanque durante el funcionamiento de las bombas, debido al flujo constante generado por las bombas.

Alrededor del 90 % del flujo total que entra en la unidad puede ser convertido en agua dulce, lo que significa que la unidad puede producir agua dulce a una velocidad de, por ejemplo, alrededor de 7,2 gpm. Se puede estimar, de forma conservadora, que la potencia total requerida por la unidad es, por ejemplo, de alrededor de 0,25 caballos de fuerza o 0,19 kilovatios, teniendo en cuenta todo el consumo energético. En realidad, puede requerir menos energía. La mayoría de la energía puede servir para impulsar o alimentar las prensas eléctricas / mecánicas que comprimen las cavidades de la bomba y descargan el flujo. El consumo de energía restante se puede dividir entre las válvulas, los interruptores de control, la iluminación y, si es necesario, el calentamiento del entorno ambiental. La relación potencia-agua para esta unidad puede ser determinada en, por ejemplo, alrededor de 0,02 megavatios por millón de galones imperiales (MIGD), o alrededor de 0,005 megavatios por mil metros cúbicos por día (MW / 1000 metros cúbicos por día).

Flujos variables: estación de 1200 gpm

Este ejemplo incluye una estación de bombeo integrada. La distribución del espacio puede ser de aproximadamente 56 pies por 58 pies y el tramo vertical total puede ser de aproximadamente 63 pies. De ese tramo vertical, alrededor de 38 pies pueden estar sobre el nivel del suelo (incluyendo una cubierta en forma de A), y aproximadamente 25 pies pueden estar bajo tierra.

La estructura de la planta superior puede ser un edificio de 1 piso con un techo de 21 pies de altura aproximadamente. El tanque de vaporización (120), los calentadores (145) (para la evacuación inicial) y los paneles de control pueden residir en la porción sobre el nivel del suelo del edificio. Se pueden instalar escaleras y escotillas para proporcionar acceso a las tuberías y bombas subterráneas.

El edificio puede incluir dos niveles subterráneos. El primer nivel subterráneo puede alojar la mayoría de las tuberías. El segundo nivel subterráneo puede estar en donde se encuentran las bombas. Se pueden instalar cinco bombas. Cuatro bombas pueden funcionar juntas para mantener el flujo continuo, mientras que la última bomba puede estar disponible como repuesto. Los resortes en las bombas pueden tener, por ejemplo, alrededor de 54 pulgadas de diámetro con una constante de resorte k de, por ejemplo, alrededor de 3520 lb / ft, aproximadamente. Las bombas pueden extraer flujo a velocidades que van desde, por ejemplo, alrededor de 994 a alrededor de 1394 gpm, promediando, por ejemplo, alrededor de 1200 gpm en general.

La estación puede estar provista de una válvula de compuerta (para la evacuación inicial) y de cuatro válvulas de fricción de ajuste, todas aguas arriba del tanque de vaporización. Debido a que la estación tiene varias válvulas de fricción de ajuste que funcionan en secuencia, el nivel de agua de mar en el tanque de vaporización puede permanecer prácticamente sin cambios a lo largo de los 8 pies de altura del tabique del tanque cuando las bombas están en funcionamiento.

Alrededor del 90 % del flujo total que entra en la estación puede ser convertido en agua dulce, lo que significa que la estación puede producir agua dulce a una velocidad de, por ejemplo, alrededor de 1080 gpm, aproximadamente. Se puede estimar, de forma conservadora, que la potencia total requerida por la estación puede ser, por ejemplo, de alrededor de 40 caballos de fuerza o 30 kilovatios, teniendo en cuenta todo el consumo energético. En realidad, puede requerir menos energía. La mayoría de la energía puede servir para impulsar o alimentar las prensas eléctricas / mecánicas que comprimen las cavidades de la bomba y descargan el flujo. El consumo de energía restante se puede dividir entre las válvulas, el panel de control, la iluminación y, si es necesario, el calentamiento del entorno ambiental. La relación potencia-agua para esta estación puede ser determinada en, por ejemplo, alrededor de 0,02 megavatios por millón de galones imperiales (MIGD), o alrededor de 0,005 megavatios por mil metros cúbicos por día (MW / 1000 metros cúbicos por día).

Flujos variables (pequeña): unidad de 8 gpm

Este ejemplo incluye una unidad empaquetada que podría ensamblarse antes o después de la entrega al sitio. La unidad empaquetada incluye paredes externas que pueden incluir paneles desmontables para permitir el acceso al interior por parte del personal. La distribución del espacio puede ser de aproximadamente 7 pies por 7 pies y el tramo vertical total puede ser de aproximadamente 13 pies.

Todo el tramo vertical puede estar sobre el nivel del suelo o encima de un suelo de edificio / plataforma de barco, e incluiría tres niveles. El tanque de vaporización (120) y los calentadores (145) (para la evacuación inicial) pueden residir en el nivel superior. La mayoría de las tuberías pueden ser instaladas en el segundo nivel. Los interruptores de control también pueden ubicarse en la parte superior o en el segundo nivel para permitir que los controles estén

al alcance de la vista de la mayoría del personal. Las bombas pueden estar ubicadas en el nivel inferior. Se pueden instalar cinco bombas. Cuatro bombas pueden funcionar juntas para mantener el flujo continuo, mientras que la última bomba puede estar disponible como repuesto. Los resortes en las bombas pueden tener, por ejemplo, alrededor de 10 pulgadas de diámetro con una constante de resorte k de, por ejemplo, alrededor de 211 lb / ft. Las bombas pueden extraer flujo a velocidades que van desde, por ejemplo, alrededor de 6,93 a alrededor de 9,03 gpm, promediando, por ejemplo, alrededor de 8 gpm en general.

La unidad puede estar provista de una válvula de compuerta (para la evacuación inicial) y de cuatro válvulas de fricción de ajuste, todas aguas arriba del tanque de vaporización (120). Debido a que la unidad tiene varias válvulas de fricción de ajuste que funcionan en secuencia, el nivel de agua de mar en el tanque de vaporización puede permanecer prácticamente sin cambios a lo largo de los 2 pies de altura del tabique del tanque cuando las bombas están en funcionamiento.

Alrededor del 90 % del flujo total que entra en la unidad puede ser convertido en agua dulce, lo que significa que la unidad puede producir agua dulce a una velocidad de, por ejemplo, alrededor de 7,2 gpm. Se puede estimar, de forma conservadora, que la potencia total requerida por la unidad es, por ejemplo, de alrededor de 0,25 caballos de fuerza o 0,19 kilovatios, teniendo en cuenta todo el consumo energético. En realidad, puede requerir menos energía. La mayoría de la energía puede servir para impulsar o alimentar las prensas eléctricas / mecánicas que comprimen las cavidades de la bomba y descargan el flujo. El consumo de energía restante se puede dividir entre las válvulas, los interruptores de control, la iluminación y, si es necesario, el calentamiento del entorno ambiental. La relación potencia-agua para esta unidad puede ser determinada en, por ejemplo, alrededor de 0,02 megavatios por millón de galones imperiales (MIGD), o alrededor de 0,005 megavatios por mil metros cúbicos por día (MW / 1000 metros cúbicos por día).

Comparaciones de ejemplos de aplicaciones

Cada uno de los ejemplos anteriores puede tener ciertas ventajas relativas y puede tener ciertos inconvenientes relativos. Por lo general, las ventajas e inconvenientes pueden limitarse al tamaño y la complejidad. Los ejemplos de flujo constante son más amplios que los ejemplos de flujo variable; sin embargo, su tamaño puede ser compensado por su diseño y funcionamiento más sencillo. Los ejemplos de flujo constante pueden tener solo una válvula de fricción establecida aguas arriba del tanque de vaporización en lugar de las cuatro válvulas de fricción de ajuste que funcionan en secuencia en los ejemplos de flujos variables.

Se observa que se puede utilizar más de una válvula de fricción establecida en los diversos ejemplos descritos en este documento.

Para los ejemplos a gran escala (alrededor de 1200 gpm), la diferencia de tamaño es de aproximadamente 4 pies en el tramo vertical. El ejemplo de flujo constante, de 1200 gpm, tiene 67 pies en el tramo vertical incluyendo 29 pies subterráneos, mientras que la versión de flujos variables tiene 63 pies de tramo vertical incluyendo 25 pies subterráneos, haciendo que el ejemplo de flujo constante sea aproximadamente 16 % más profundo bajo tierra que su equivalente de flujos variables.

Para los ejemplos a pequeña escala (alrededor de 8 gpm), la diferencia de tamaño es bastante significativa en la distribución del espacio y en el tramo vertical. El ejemplo de flujo constante, de 8 gpm, tiene una distribución de espacio de 11 pies por 14 pies y un tramo vertical de 22 pies. El ejemplo de flujos variables, de 8 gpm, tiene una distribución de espacio de 7 pies por 7 pies y un tramo vertical de 13 pies. Esto hace que el ejemplo de flujo constante sea alrededor de 3 veces mayor en distribución de espacio (154 pies cuadrados frente a 49 pies cuadrados) y aproximadamente un 69 % más alto. Esta diferencia de tamaño es más probable que se vea como una razón convincente para utilizar una configuración de flujo variable, incluso con un diseño y funcionamiento más simple que el equivalente de flujo constante.

Aunque otros tipos de bombas actualmente existentes podrían ser utilizadas, en teoría, en la desalinización hidráulica, las nuevas bombas accionadas por resorte descritas en este documento tienen varias ventajas distintas. Algunos de los beneficios únicos que ofrecen las bombas accionadas por resorte pueden incluir lo siguiente:

- Prácticamente sin NPSHR;
- Capacidad de tratamiento de la mezcla de agua líquida y aire;
- Diseñadas para tratar el flujo de agua dulce / aire y el flujo de salmuera simultáneamente;
- El diseño puede ser modificado (moviendo el tabique de la bomba) para tratar diferentes salinidades de agua de mar o producir unidades de desalinización más pequeñas pero menos eficientes; y
- La fuerza requerida para expandir los resortes es una ecuación lineal simple que facilita el dimensionamiento del resorte y el desarrollo de las curvas de bombeo, lo que ayuda a garantizar que el diseño de desalinización hidráulica produzca agua dulce a la velocidad deseada (puntos de funcionamiento).

La desalinización hidráulica es un proceso nuevo y emocionante para desalinizar el agua, que parece ser al menos 20 veces más eficiente que otros procesos de desalinización, y es viable para prácticamente todos los caudales de producción de agua deseados. Se ha demostrado que es factible para ejemplos de aplicaciones pequeñas (menos de 10 gpm) y de aplicaciones grandes (más de 1000 gpm) por igual, todas las aplicaciones beneficiándose del efecto de sifón termodinámico que impulsa la desalinización hidráulica. A diferencia de otros procesos, la desalinización hidráulica no es propensa a la formación de sarro en sus equipos, y no se necesita un pretratamiento especial para evitar la formación de sarro. Algunos equipos (por ejemplo, válvulas, boquilla de aire) necesarios para el funcionamiento de este nuevo proceso ya existen y se usan en otras industrias no desalinizadoras. Otros equipos (por ejemplo, tanque de vaporización, embudos, intercambiador de calor) pueden construirse específicamente para la desalinización hidráulica, y el dispositivo de bombeo de desalinización hidráulica accionado por resorte (165a, 165e) puede ser un nuevo producto / dispositivo en su totalidad.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para la desalinización de agua, comprendiendo el procedimiento las etapas de:
 - 5 vaporizar el agua salada líquida mediante la reducción de la presión del agua salada líquida a un punto de vaporización mediante la generación de flujo de agua salada a través de las tuberías y la infraestructura complementaria para producir vapor;
capturar el vapor;
condensar el vapor para producir agua dulce mediante la inyección de aire en el agua dulce utilizando una mayor
10 presión suministrada por el entorno ambiental;
recuperar el calor liberado durante la etapa de condensación manteniendo temperaturas ambientes mayores que las temperaturas del vapor; y
utilizar el calor recuperado para mejorar y continuar la vaporización del agua salada de forma cíclica; donde la infraestructura complementaria en la etapa de vaporización del agua salada líquida mediante la reducción de la
15 presión del agua salada líquida a un punto de vaporización mediante la generación de flujo de agua salada a través de las tuberías y la infraestructura complementaria para producir vapor, incluye al menos una válvula de fricción.
 2. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además proporcionar un tanque de vaporización configurado con un lado aguas arriba para retener el agua salada y configurado con un lado aguas
20 abajo para retener el agua dulce, el tanque de vaporización también configurado para capturar el vapor y mantener temperaturas ambientes mayores que las temperaturas del vapor.
 3. El procedimiento de la reivindicación 2, que comprende además la etapa de inyectar aire en el tanque de vaporización para forzar la condensación en el lado aguas abajo del tanque de vaporización para producir agua dulce proporcionando al mismo tiempo calor para la vaporización en el lado aguas arriba.
25
 4. El procedimiento de la reivindicación 2, que comprende además la etapa de bombear el agua salada para generar el flujo de agua salada a través de la tubería y la infraestructura complementaria hasta el lado aguas arriba del tanque de vaporización, bombeando al mismo tiempo el agua dulce desde el lado aguas abajo del tanque de vaporización a un área de almacenamiento.
30
 5. El procedimiento de la reivindicación 4, donde la etapa de bombeo comprende bombear tanto el agua salada como el agua dulce simultáneamente con al menos una misma bomba.
 - 35 6. El procedimiento de la reivindicación 4, donde la etapa de bombeo comprende bombear tanto el agua salada como el agua dulce simultáneamente con una pluralidad de bombas accionadas por resorte.
 7. El procedimiento de la reivindicación 6, que comprende además hacer funcionar la pluralidad de bombas accionadas por resorte en rotación de manera que cada una de las pluralidades de bombas bombeen tanto
40 el agua salada como el agua dulce simultáneamente para mantener un flujo continuo de agua salada en el lado aguas arriba y un flujo continuo de agua dulce del lado aguas abajo.
 8. El procedimiento de la reivindicación 1, donde la etapa de condensar el vapor que produce agua dulce produce un flujo constante de hasta 1080 gpm.
45
 9. El procedimiento de la reivindicación 1, donde al menos una válvula de fricción comprende una de las válvulas de fricción establecida y al menos una válvula de fricción de ajuste.
 10. El procedimiento de la reivindicación 1, donde la infraestructura complementaria incluye al menos una
50 válvula de flujo.
 11. El procedimiento de la reivindicación 2, donde la etapa de vaporizar agua salada líquida incluye abrir y cerrar una válvula de fricción para controlar el flujo de agua salada para ayudar en la vaporización del agua salada líquida.
55

AGUA SALADA A AGUA DULCE

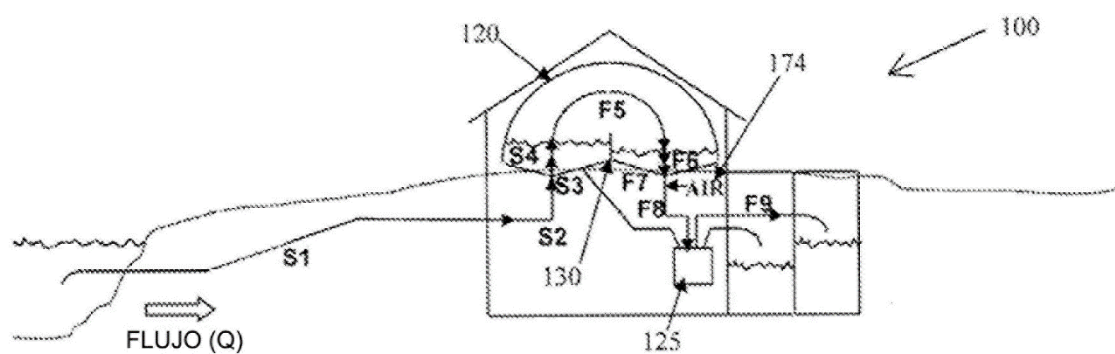


FIG. 1A

AGUA SALADA A SALMUERA

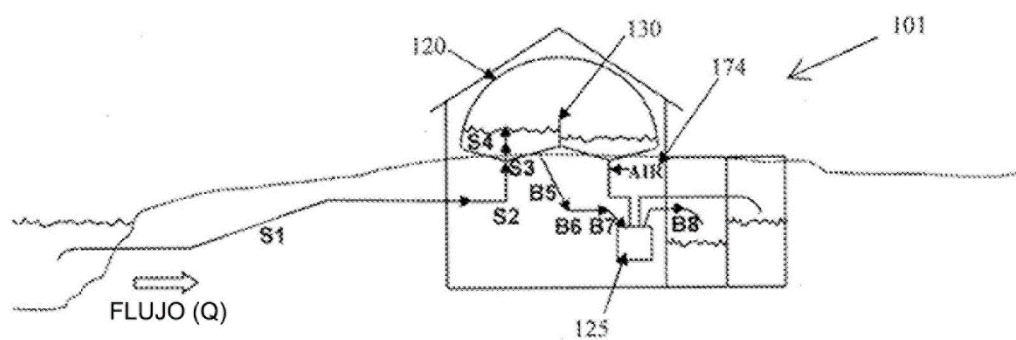
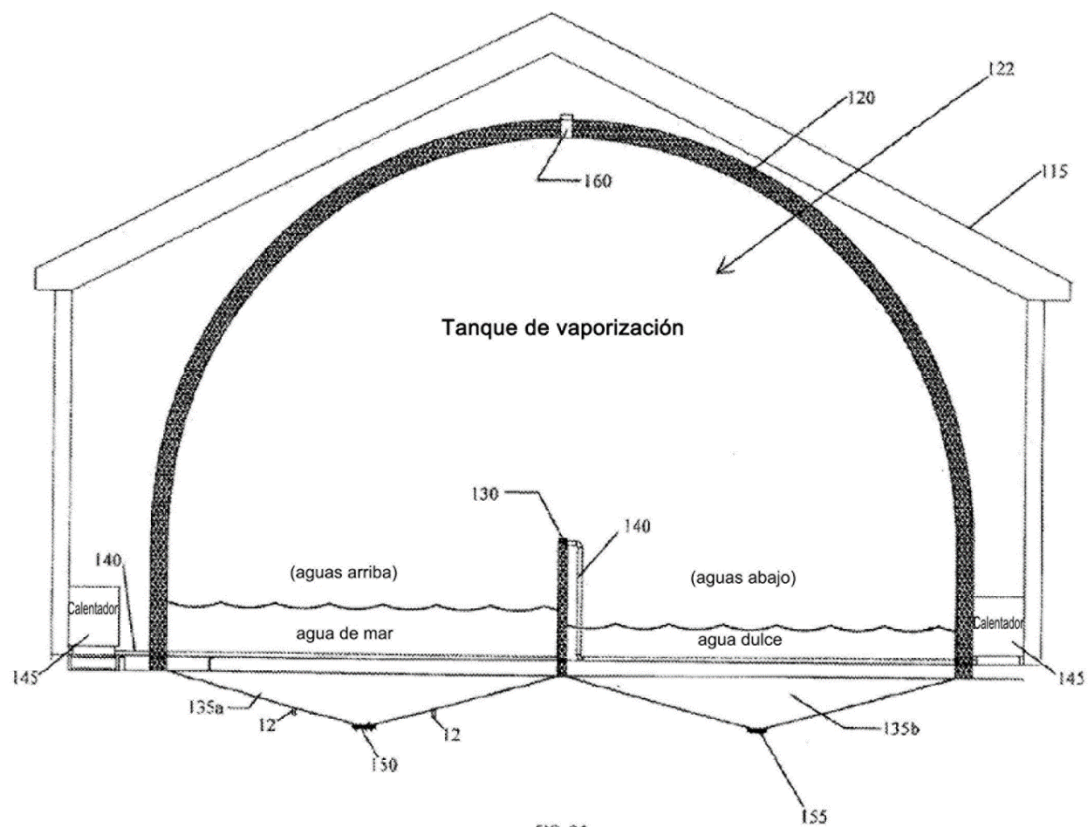
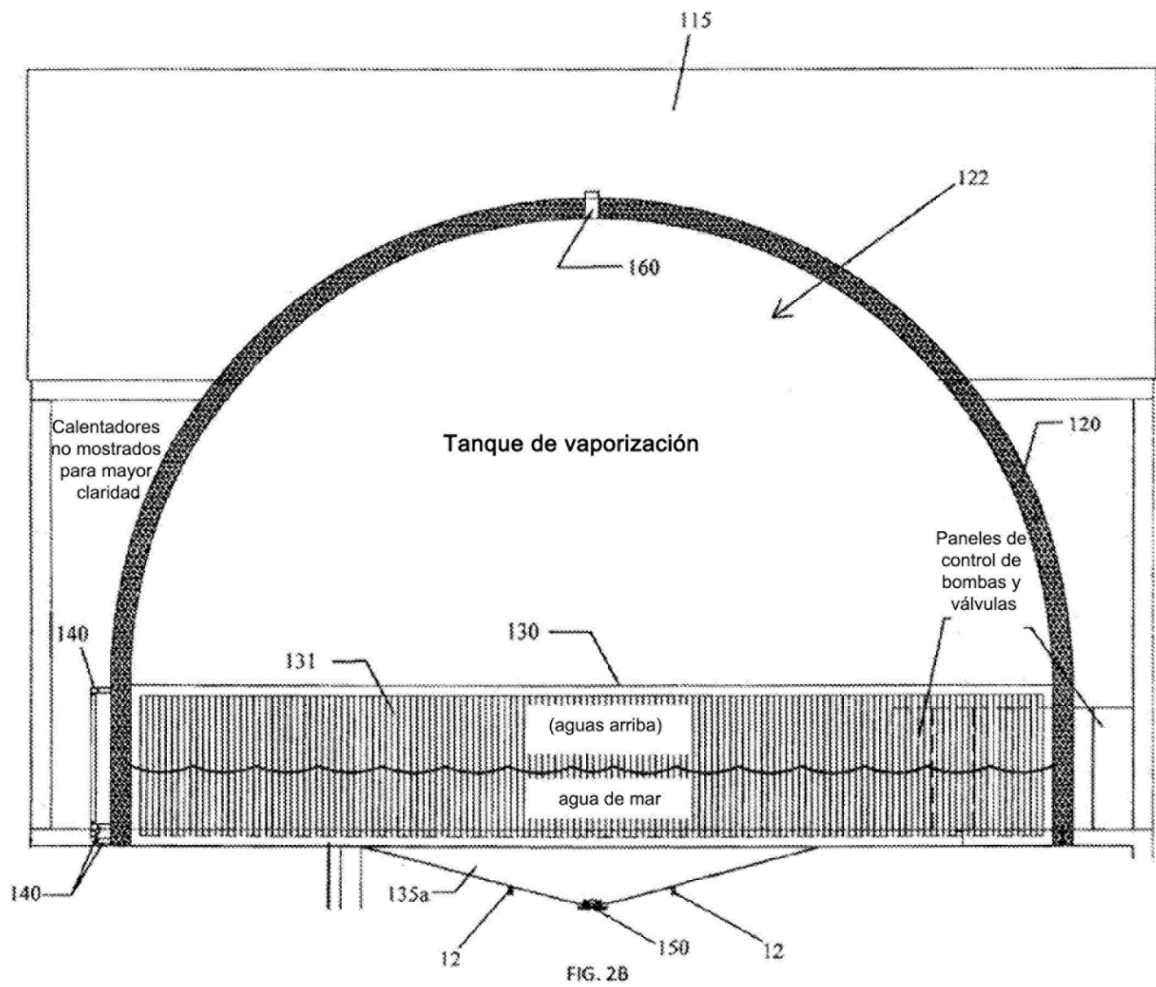


FIG. 1B





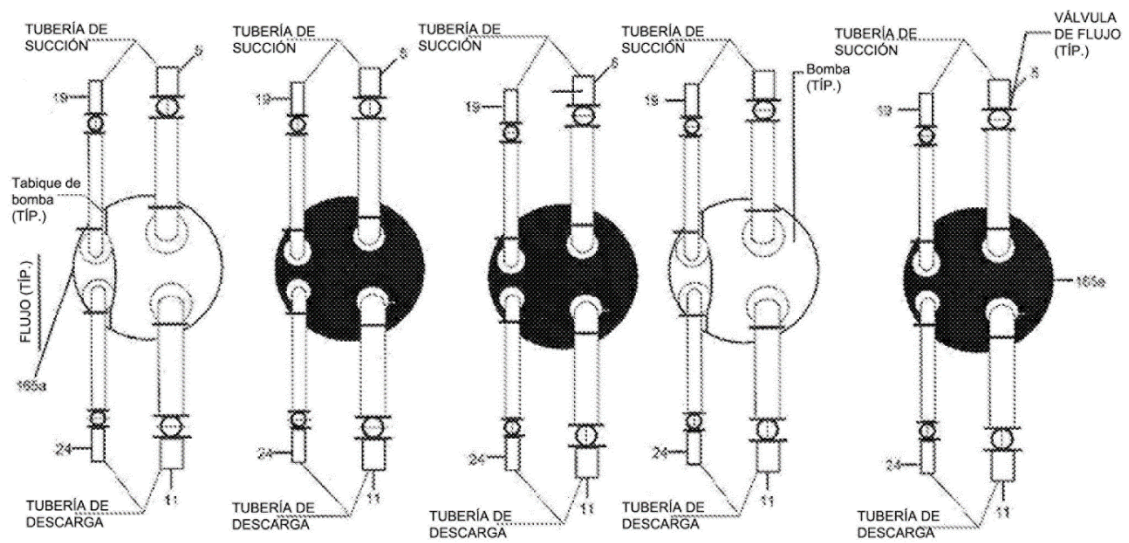


FIG. 3A

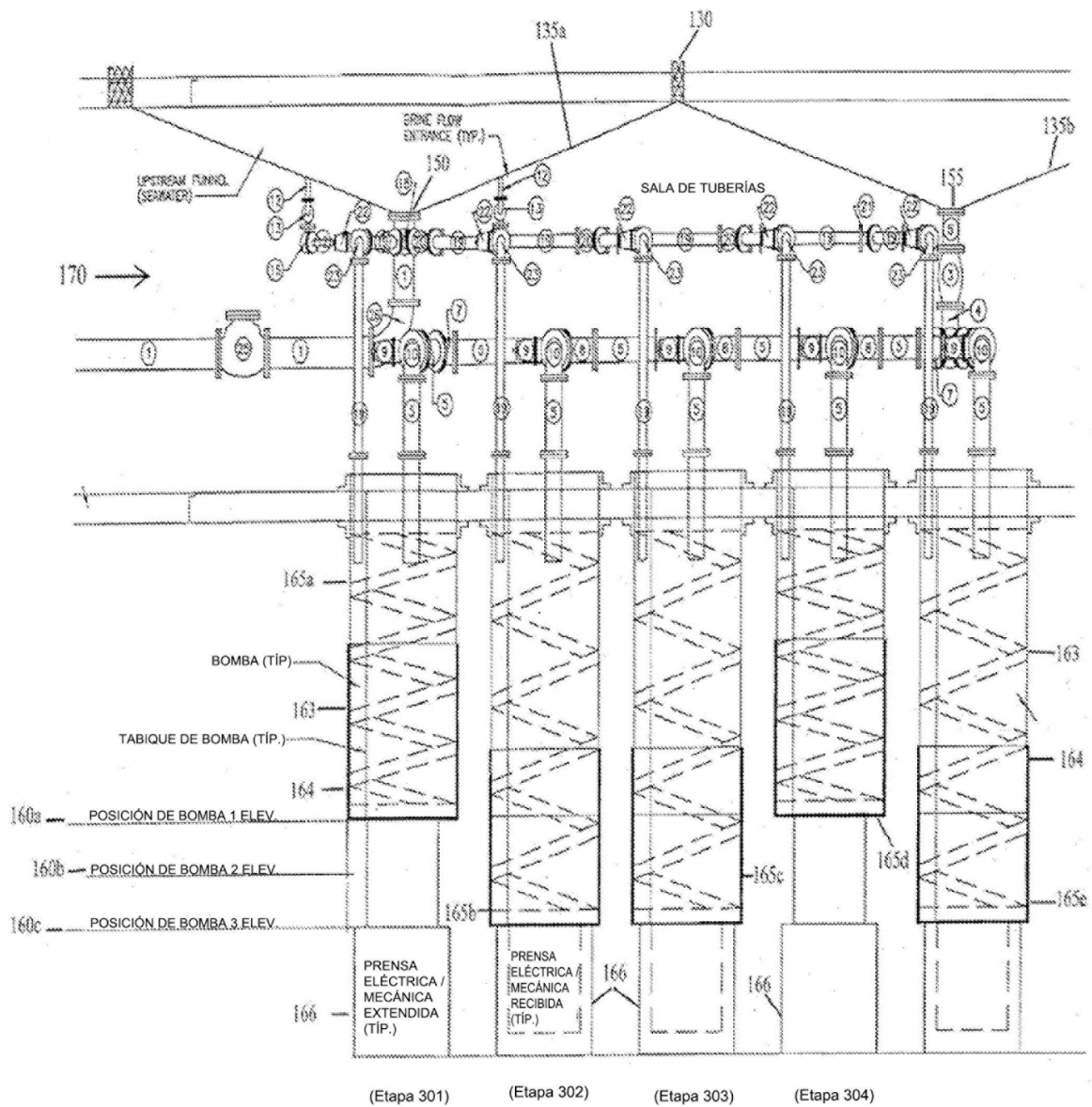


FIG. 3B

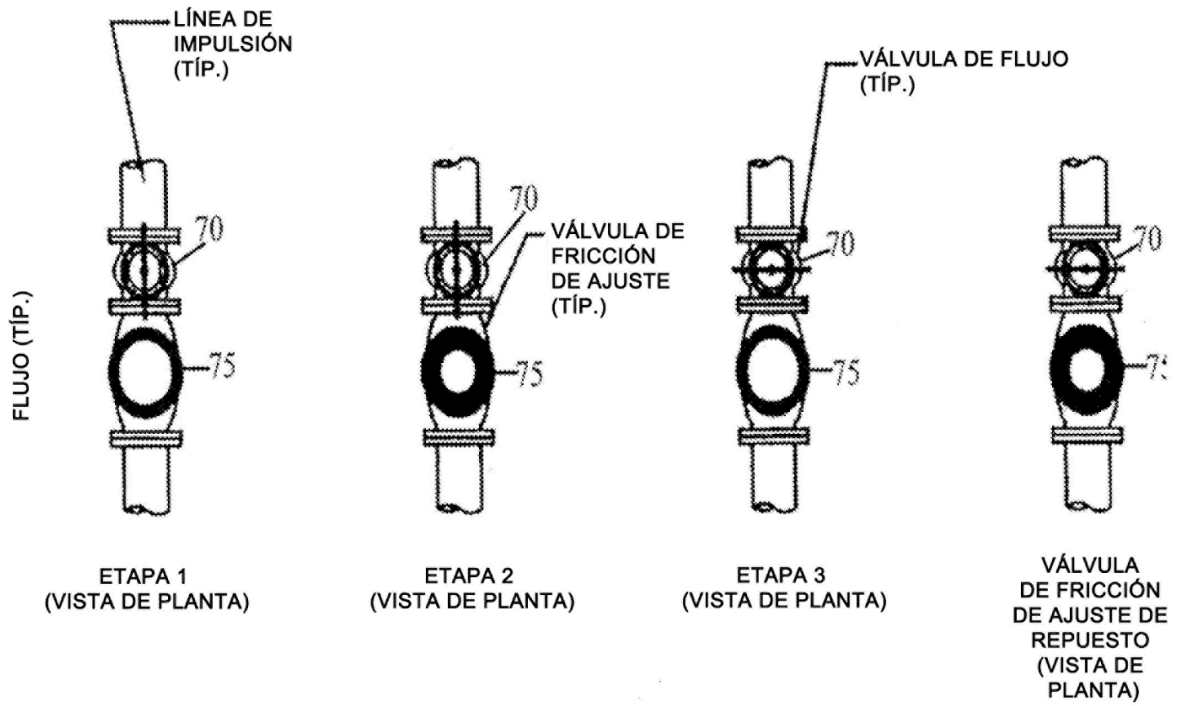
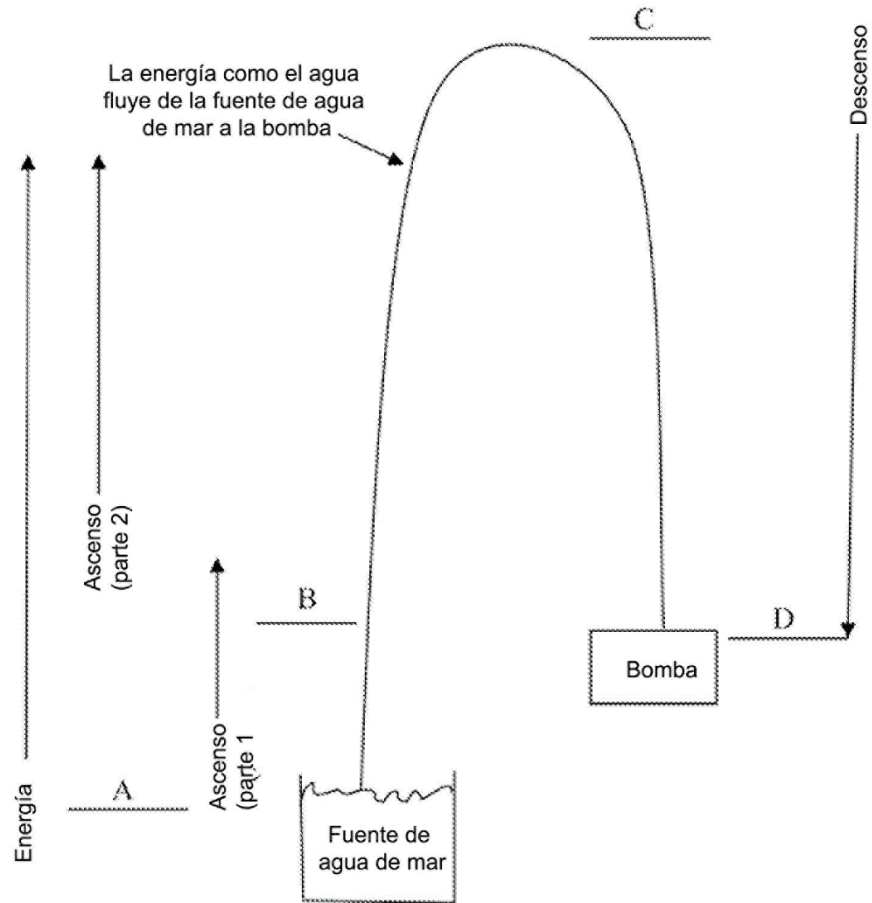


FIG. 4

SIFÓN TERMODINÁMICO PARA DESALINIZACIÓN HIDRÁULICA



Ascenso (parte 1) = $B - A$;

Ascenso (parte 2) = $C - B$;

Descenso = $D - C$;

Diferencia global = Ascenso (Parte 1) + Ascenso (Parte 2) + Descenso;

Diferencia global = $(B - A) + (C - B) + (D - C)$

$B = D$;

Diferencia global = $(B - A) + C - B + (B - C)$;

$(C - B) + (B - C) = 0$, así que el Ascenso (Parte 2) es cancelado por el Descenso

El Ascenso (parte 2) representa la evaporación y el Descenso representa la condensación, por lo que la evaporación es cancelada por la condensación;

Diferencia global = $D - A$, que representa la TDH que debe ser proporcionada por la bomba durante la desalinización hidráulica

FIG. 5

CURVAS DE BOMBEO Y DE NPSHR TÍPICAS

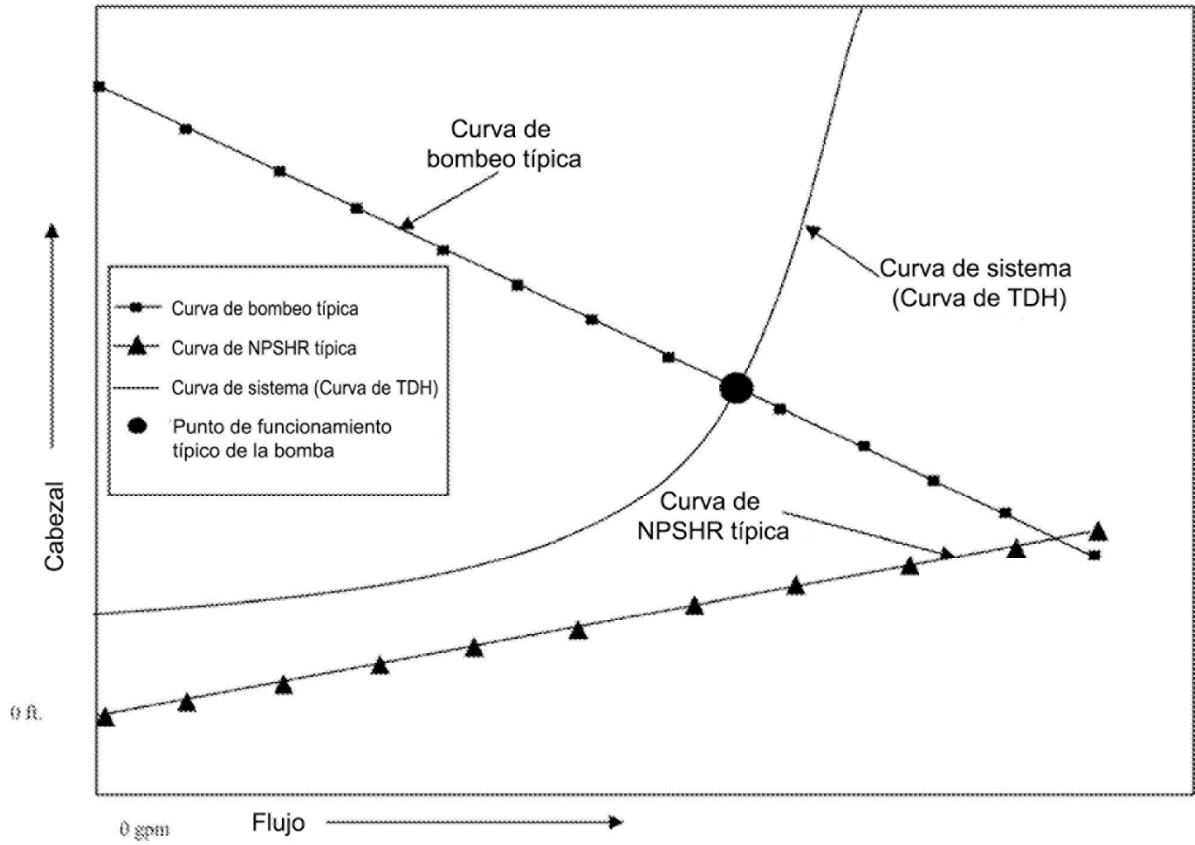


FIG. 6: Bomba Típica y Curvas de NPSHR

CURVA DE BOMBA ACCIONADA POR RESORTE Y DE NPSHR

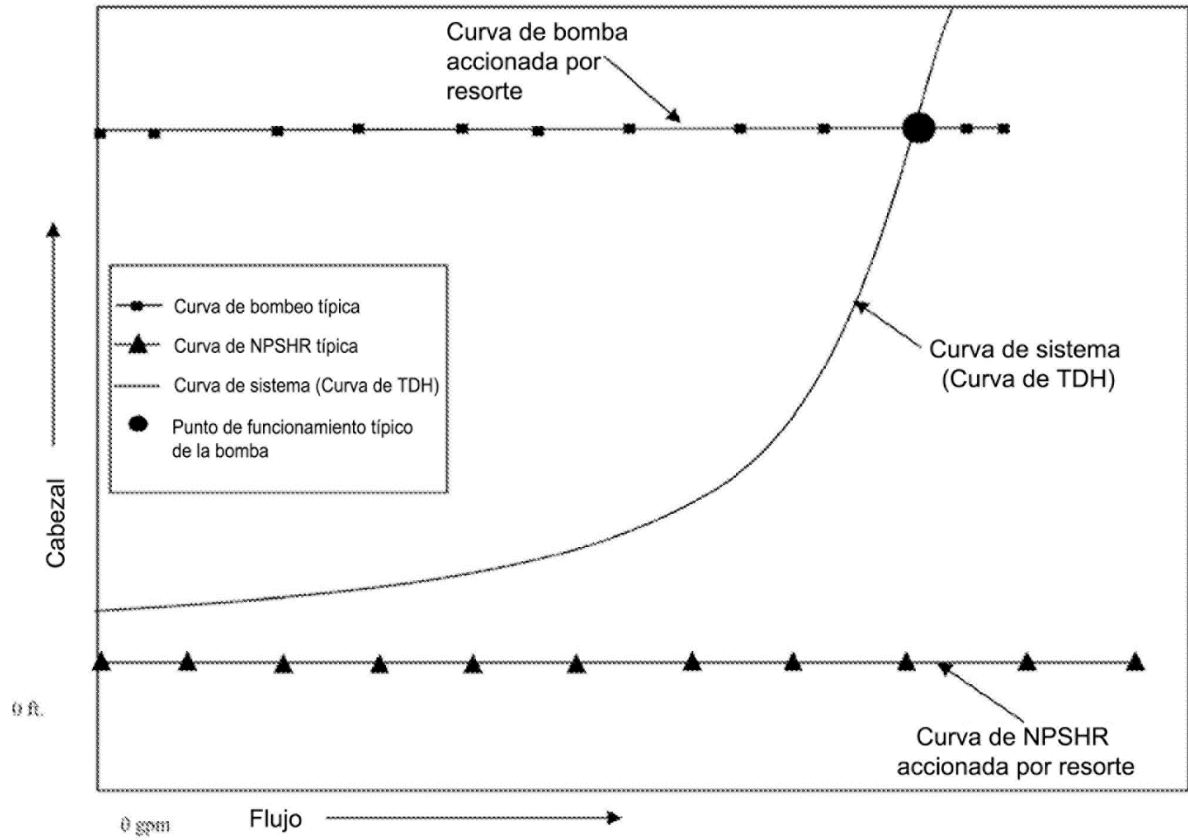


FIG. 7: Ejemplo de curva de bomba accionada por resorte y de NPSHR

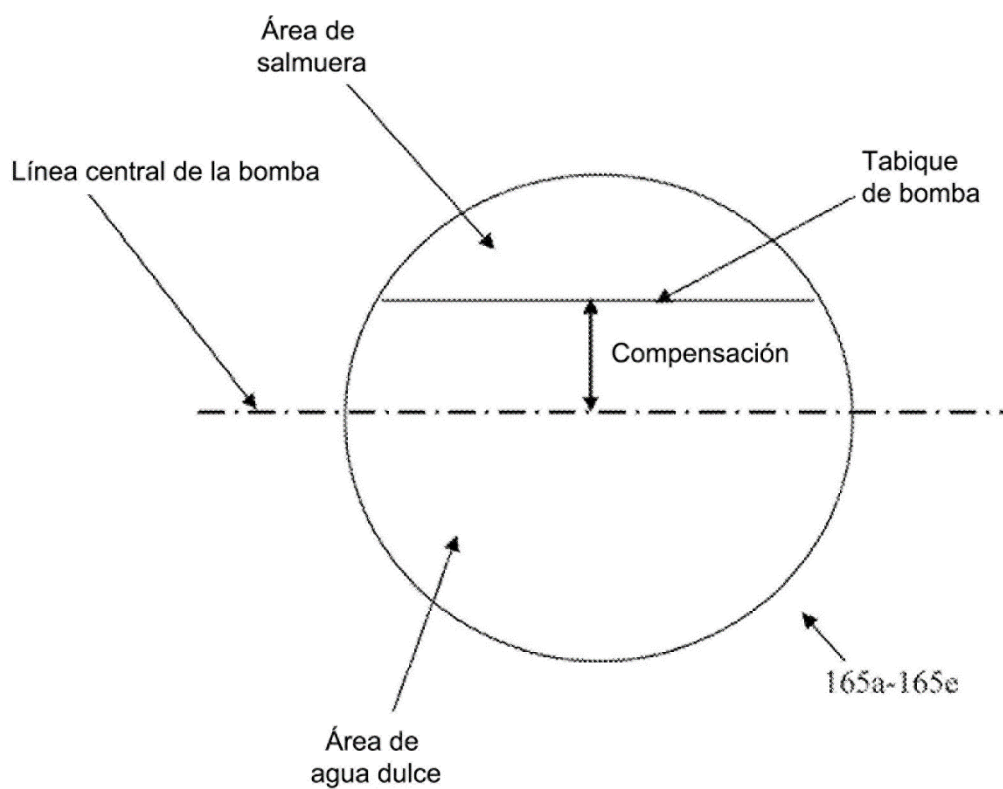
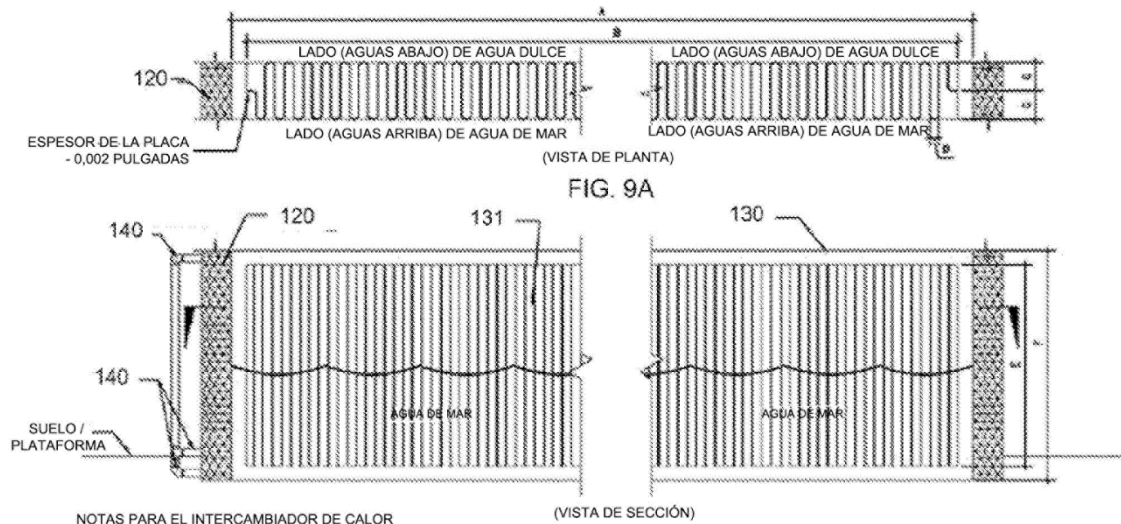


FIG .8



NOTAS PARA EL INTERCAMBIADOR DE CALOR

1. THICKNESS 1/8" AND DIMENSIONS IN TABLE BASED ON STAINLESS STEEL. PLATE HEAT EXCHANGER CONFIGURED AS SHOWN.
2. HEAT FLOW IN TABLE REFERS TO AMOUNT OF HEAT TRANSFERRED THROUGH HEAT EXCHANGER FROM FRESHWATER SIDE TO SEAWATER SIDE DURING HYDRAULIC DESALINATION.
3. ΔT IN TABLE IS THE TEMPERATURE DIFFERENCE BETWEEN THE FRESHWATER SIDE AND SEAWATER SIDE OF THE EXCHANGER DURING HYDRAULIC DESALINATION, WITH THE FRESHWATER SIDE HAVING THE HIGHER TEMPERATURE.
4. DURING INITIAL TANK EVACUATION, HEATERS AND CONDUITS OUTSIDE OF THE VAPORIZATION TANK SUPPLY HEAT TO THE HEAT EXCHANGER, THEREBY PROVIDING THE HEAT NECESSARY FOR INITIAL TANK EVACUATION.

APLICACIÓN	DIMENSIONES DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR (PULGADAS)						CRITERIO DE DESEMPEÑO	
	A	B	C	D	E	F	FLUJO DE CALOR (KW)	ΔT (°F)
ESTACIONES DE 1,300 GPM	552	540	3	3/8	84	98	168,306	2.0
UNIDADES DE 8 GPM	48	47	1/4	1/16	23	24	1,120	1.1

DETALLE DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

NO A ESCALA

FIG. 9B