

DISPOSICIÓN MVC DE BAJO RATIO DE COMPRESIÓN

Objeto

La presente invención se refiere a una disposición desalinizadora por compresión mecánica de vapor, MVC, de bajo ratio de compresión

5 Estado de la técnica

Los dispositivos de desalinización por compresión mecánica de vapor MVC o re-compresión mecánica de vapor MVR están basados en la transformación de energía cinética en trabajo de compresión del vapor primario, para conseguir un incremento de presión y de temperatura del vapor secundario. El vapor secundario sale del compresor y se condensa sobre la pared
10 condensadora de un intercambiador de calor latente, liberando calor latente de condensación que atraviesa la pared del intercambiador de calor latente y se transforma en calor latente de evaporación en la cara evaporadora generando vapor primario que se reintroduce en el compresor para generar nuevo vapor secundario. De forma que un MVC es un dispositivo que recicla prácticamente todo el calor latente y la energía que consume es básicamente energía
15 mecánica para mover el compresor de vapor. Esta energía mecánica es una pequeña fracción de la entalpía reciclada en el vapor.

Un problema de los actuales dispositivos MVC es que utilizan intercambiadores de calor latente de fina película de líquido. El coeficiente de intercambio de calor latente de los actuales intercambiadores de calor por película fina de líquido se sitúa en torno a los $2.000\text{W/m}^2\text{K}$,
20 pudiendo llegar a los $6.000\text{W/m}^2\text{K}$ en configuraciones verticales.

Este limitado coeficiente de intercambio de calor latente comporta que los actuales MVC requieren un salto térmico, gradiente de temperatura, elevado entre el vapor primario y el vapor secundario. Este diferencial de temperatura se ve multiplicado en caso de configuraciones multi efecto MED-MVC. Los dispositivos MVC del estado de la técnica están configurados con
25 diferenciales de temperatura o gradientes térmicos entre vapor primario y vapor secundario en torno a 5°C por efecto, o más. La ratio de compresión, cociente entre la presión del vapor generado y la presión del vapor succionado, para un gradiente de 5 grados se sitúa en torno a 1,3, es decir, por encima de 1,2. Por este motivo, los MVC van equipados de compresores, que por definición tienen ratios de compresión de 1,2 o más. Mientras que los ventiladores, fans, sólo
30 llegan a ratios de compresión de 1,11 y los sopladores, blowers se mueven entre ratios de compresión de 1,11 y 1,2. A mayor gradiente de temperatura entre vapor primario y vapor secundario, mayor diferencia de presión entre el vapor primario que alimenta el compresor mecánico y el vapor secundario que debe salir del compresor. De forma que el compresor

mecánico de vapor a utilizar requiere una mayor ratio de compresión. El incremento de la ratio de compresión de un compresor mecánico comporta un diseño más complejo del compresor, un mayor coste de capital, una mayor complejidad de mantenimiento y un mayor consumo de energía.

- 5 En el estado de la técnica existen tubos de intercambio de calor de alta eficiencia térmica basados en condensación y evaporación capilar, con microranuras en las caras evaporadora y la cara condensadora que permiten incrementar el coeficiente de transferencia de calor latente por encima del paradigma actual de los intercambiadores de calor por película fina de líquido que se sitúan en torno a los $2.000\text{W/m}^2\text{K}$. La elevación del coeficiente de transferencia de calor latente permite reducir el gradiente de temperatura entre la cara condensadora y la cara evaporadora del intercambiador de calor latente. Se puede reducir el gradiente de temperatura a diferenciales en torno a 1°C por efecto.

- Otro problema de los actuales MVC es que al, al necesitar ratios de compresión superiores a 1,2, necesitan incorporar compresores de vapor y no pueden trabajar con soploadores o ventiladores.
- 15 Y los compresores tienen caudales reducidos, lo cual limita la capacidad de producción de agua destilada de los actuales MVC del estado de la técnica por el relativamente bajo caudal de vapor que pueden gestionar.

- Otro problema de los actuales MVC es el sobrecalentamiento del vapor secundario, es decir que la compresión mecánica del vapor provoca una elevación de la temperatura del vapor saturado por encima de la temperatura de equilibrio entre temperatura y presión. Este sobrecalentamiento del vapor se multiplica al incrementar el gradiente de presión a conseguir entre el vapor primario y el vapor secundario. El sobrecalentamiento requiere un proceso de eliminación y comporta un coste energético.

- Otro problema de los actuales MVC es la elevación de la temperatura del vapor primario para tener una densidad suficiente para conseguir niveles suficientes de eficiencia del compresor mecánico al aprovechar mejor el caudal volumétrico limitado de los compresores de ratio de compresión elevados. La temperatura de trabajo del vapor primario suele estar entre 50°C y 65°C . El requisito de elevación de la temperatura de trabajo del vapor primario impone un consumo de energía y aumenta los requisitos de aislamiento térmico de la instalación.

30 Sumario

La presente invención busca resolver uno o más de los problemas expuestos anteriormente e incrementar la capacidad de desalinización y reducir el coste energético específico por unidad

de agua desalinizada mediante una disposición desalinizadora MVC de bajo ratio de compresión tal como es definida en las reivindicaciones.

La nueva disposición desalinizadora MVC de bajo ratio de compresión tiene las características diferenciadoras siguientes:

- 5 - Incorpora intercambiadores de calor latente de alta eficiencia con altos coeficientes de intercambio de calor latente mediante evaporación y condensación capilar de forma que el salto térmico se sitúa en torno a 1 °C, o menos, por efecto, en lugar del gradiente térmico en torno a 5°C, o más, por efecto de los MVC actuales.
- Dedica esta reducción del diferencial de la temperatura entre vapor primario y vapor secundario
- 10 y la correspondiente reducción de diferencia de presión entre vapor primario y vapor secundario a reducir el ratio de compresión por debajo de 1,11.
- La reducción del diferencial de presión permite reducir el aporte de trabajo al sistema, es decir reducir el consumo específico de energía por unidad de agua condensada.
- La reducción de la ratio de compresión por debajo de 1,11 permite substituir el compresor de
- 15 las disposiciones MVC del estado del arte, por un ventilador que es un dispositivo mecánico con un coste de capital, un mantenimiento inferior a un compresor.
- La incorporación de un ventilador permite alcanzar caudales muy superiores a los que puede alcanzar un compresor, lo cual permite multiplicar la cantidad de agua desalinizada con relación a los MVC del estado de la técnica equipados con compresores.
- 20 - La disposición desalinizadora MVC de bajo ratio de compresión puede trabajar con temperaturas reducidas del vapor primario por no tener las exigencias de densidad del vapor derivadas de las limitaciones de caudal que impone un compresor. De modo que la temperatura del vapor primario puede descender hasta temperaturas próximas o iguales a la temperatura ambiente de la solución salina a desalinizar, reduciendo o eliminando el aporte de energía para
- 25 incrementar la temperatura de trabajo del vapor primario.
- La reducción del diferencial de presión entre vapor primario y vapor secundario reduce el efecto de sobrecalentamiento del vapor secundario, con el consiguiente ahorro energético
- El proceso de reciclado de prácticamente todo el vapor primario, propio de una disposición MVC se consigue con un aporte de energía menor que el necesario en le MVC del estado de la técnica.
- 30 de modo que se reduce la fracción de energía mecánica aportada para reciclar una gran entalpia. Ello permite que el consumo específico por unidad de agua desalinizada se sitúa a niveles relativamente próximos del mínimo teórico

- De modo que la disposición desalinizadora MVC de bajo ratio de compresión permite llegar a los menores consumos específicos de energía por unidad de agua desalinizada de sistemas industriales de desalinización.
- El reducido consumo específico de energía de la disposición desalinizadora de bajo ratio de compresión permite que se pueda acoplar a una fuente de energía 100% renovable, off-grid, como eólica, fotovoltaica o marina.

Se puede realizar un sistema modular formado por más de una disposición desalinizadora, cada una de ellas de unas dimensiones siguiendo una formulación minmax en la que se minimicen los costes y se maximicen las prestaciones, para formar plantas de desalinización de mayor capacidad de la que puede proporcionar una única disposición desalinizadora.

Breve descripción de las figuras

Una explicación más detallada de la invención se da en la descripción que sigue y que se basa en las figuras adjuntas:

Figura 1 muestra un corte longitudinal de un dispositivo MVC del estado de la técnica con un compresor,

Figura 2 muestra una sección en zigzag de una cámara condensadora evaporadora con microsurcos., y

Figura 3 muestra un corte longitudinal de una disposición desalinizadora MVC de bajo ratio de compresión con un ventilador.

20 Descripción

En la figura 1 se muestra en un esquema una disposición desalinizadora por compresión mecánica de vapor MVC del estado de la técnica que cuenta con un intercambiador de calor latente 1 de tubos o cámaras con aporte de la solución salina sobre la cara evaporadora en régimen de fina película descendente o ascendente. El MVC del estado de la técnica puede tener una disposición vertical u horizontal. El MVC del estado de la técnica tiene un compresor de vapor 4 que recibe vapor primario 2 de la cara evaporadora del intercambiador de calor latente 1. El compresor 4 eleva la presión del vapor primario 2 generando vapor secundario 5. El vapor secundario 5 se aporta a la cara condensadora del intercambiador 1 donde se condensa y el agua condensada 6 se extrae del dispositivo. Al condensarse el vapor secundario sobre la cara condensadora del intercambiador de calor se libera el calor latente y esta energía se transmite por la pared del intercambiador de calor latente hasta llegar a la cara evaporadora donde la energía se transforma en calor latente al evaporar parte de la solución salina que se aporta sobre

- la cara evaporadora produciendo una salmuera 3 que se extrae del dispositivo y nuevo vapor primario 2 que se reintroduce en el compresor 4, reiniciando un nuevo ciclo. La solución salina fluye sobre la cara evaporadora del intercambiador de calor 1 en forma de fina película de líquido. Las resistencias térmicas de las capas de agua limitan el coeficiente de transferencia de calor latente agregado de la pared del intercambiador de calor latente del estado de la técnica que se sitúan en torno a unos $2.000\text{W/m}^2\text{K}$, pudiendo llegar a coeficientes de unos $6.000\text{W/m}^2\text{K}$ en disposiciones verticales. Las resistencias térmicas impuestas por las capas de agua hacen necesario un diferencial o gradiente de temperatura en torno a 5°C , o más, por efecto. Existen dispositivos MVC del estado de la técnica con más de un efecto.
- 10 El vapor secundario 5 experimenta un fenómeno denominado de sobrecalentamiento como resultado del proceso de compresión. La temperatura del vapor primario aumenta por encima de la temperatura de equilibrio con relación a su presión. Ello comporta la necesidad de incorporar un de-sobrecalentador a la salida del condensador 4, para eliminar este sobrecalentamiento y la correspondiente pérdida de energía.
- 15 Los dispositivos MVC del estado de la técnica suelen trabajar a una temperatura del vapor primario entre 55°C y 65°C para tener vapor con la mayor densidad posible, sin llegar a superar los 70°C en el vapor secundario con el objetivo de evitar precipitaciones de sales.
- En la figura 3 se muestra en un esquema la disposición desalinizadora por compresión mecánica de vapor MVC de bajo coeficiente de compresión. Puede adoptar una configuración vertical como
- 20 en la figura 3 o una configuración horizontal. La disposición desalinizadora MVC de bajo ratio de compresión tiene las características específicas siguientes, que la diferencian de una disposición MVC del estado de la técnica:
- Es un dispositivo de carcasa y tubos o cámaras que trabaja en condiciones subatmosféricas y el intercambiador de calor latente 10 está formado por tubos o cámaras evaporadores-
25 condensadores con la siguiente configuración:
- La cara condensadora de estos tubos o cámaras está cubierta, al menos en parte, con microsurcos u otra estructura capilar sobre la que el vapor de agua se condensa en régimen de condensación capilar. La sección, inclinación y longitud de estos microsurcos u otra estructura capilar es la necesaria para que, teniendo en cuenta el
30 flujo de energía y el ritmo de condensación, el agua condensada fluya dentro de las estructuras capilares y deje un espacio libre de capas de agua entre el extremo del menisco y el extremo del microsurco u otra estructura capilar.
 - La cara evaporadora de estos tubos o cámaras está cubierta, al menos en parte, por microsurcos o micro ranuras sobre los que se produce una evaporación desde el

- extremo de los meniscos de solución salina que fluye dentro de los microsurcos o micro ranuras. La sección, inclinación y longitud de estos microsurcos o micro ranuras y el flujo de solución salina aportado dentro de los microsurcos o micro ranuras son los necesarios para que, teniendo en cuenta el flujo de energía y el ritmo de evaporación, el flujo de solución salina no se seque a lo largo de estos microsurcos o micro ranuras y haya un espacio libre de capas de agua entre el extremo del menisco y el extremo del microsurco o micro ranura.
- 5
- o Como se muestra en la figura 2, la sección de la pared en una configuración de estos tubos o cámaras 10 evaporadores-condensadores adopta una forma de línea continua quebrada en forma de zigzag, almenas u ondulada. De modo que el trayecto
 - 10
 - térmico 9 está libre de capas de agua entre el punto de condensación capilar sobre los meniscos de agua condensada que se forman sobre la cara condensadora y el extremo superior del menisco de solución salina donde se produce la evaporación en la cara evaporadora. De modo que la energía se transmite sin atravesar capas de
 - 15
 - líquido.
- El aporte de la solución salina sobre la cara evaporadora de tubos o cámaras evaporadores-condensadores del intercambiador de calor latente se realiza dentro de los microsurcos o micro ranuras de la cara evaporadora. Este aporte de solución salina no se realiza en régimen de capas de agua descendente. Por lo que sobre la pared del intercambiador de calor latente no se
- 20
- produce la resistencia térmica de estas capas de agua. La reducción o eliminación de las barreras térmicas de las capas de agua y la eficiencia térmica de la condensación y evaporación capilares de la disposición desalinizadora permiten que el coeficiente agregado de transferencia de calor latente de la pared del intercambiador de calor latente sea muy elevado. El coeficiente de transferencia de calor latente de los intercambiadores de calor latente 10 de la disposición
- 25
- desalinizadora puede superar los $40.000\text{W/m}^2\text{K}$.
- El elevado coeficiente de transferencia de calor latente de los tubos o cámaras condensadores-evaporadores 10, permite que la disposición desalinizadora MVC de bajo ratio de compresión sólo requiere un diferencial o gradiente de temperatura entre vapor primario y vapor secundario de entre $0,8^\circ\text{C}$ y $0,2^\circ\text{C}$ más el diferencial de temperatura por elevación del punto de ebullición de
- 30
- la solución salina. Para agua de mar, el diferencial de temperatura por elevación del punto de ebullición se sitúa en torno a $0,5^\circ\text{C}$. De modo que el diferencial de temperatura entre vapor primario y vapor secundario con la disposición desalinizadora es bajo, pudiendo estar entre $1,3^\circ\text{C}$ y $0,7^\circ\text{C}$, o menos. Es decir, un diferencial de temperatura en torno a 1°C , o menos.

- La disposición desalinizadora dedica la reducción del gradiente térmico entre vapor primario y vapor secundario para reducir el diferencial de presión entre vapor primario y vapor secundario, lo cual implica reducir la ratio de compresión o cociente entre vapor secundario y vapor primario a niveles por debajo de 1,11.
- 5 - La reducción de la ratio de compresión por debajo de 1,11 implica una menor necesidad de aporte de trabajo para comprimir el vapor y se reduce el consumo específico de energía por unidad de agua desalinizada.
- También se utiliza la reducción de la ratio de compresión a niveles por debajo de 1,11 para eliminar el compresor 4 propio de las disposiciones del estado de la técnica y para introducir un
10 dispositivo de baja compresión tipo ventilador 14. Un ventilador comporta un coste de capital y un coste operativo menor que un compresor. Y los ventiladores pueden mover caudales muy superiores al limitado caudal volumétrico que puede mover un compresor. De modo que el coste de un ventilador es muy inferior al coste de un compresor por unidad de caudal másico, y los ventiladores permiten disposiciones con mayor capacidad de producción que los compresores.
- 15 - El vapor primario 12 generador sobre la cara evaporadora del intercambiador de calor 10 se canaliza hasta la entrada 13 del ventilador 14 donde se aumenta la presión del vapor, generando vapor secundario 15 que se aporta sobre la cara condensadora del intercambiador de calor 10 de alto coeficiente de transferencia de calor latente.
- El ventilador 14 puede estar configurado para producir un pequeño incremento de presión. Una
20 importante ventaja del uso de un ventilador 14 frente al uso de un compresor 4, es que el ventilador 14 no tiene las limitaciones de caudal que tiene un compresor, de modo que la disposición desalinizadora MVC de bajo ratio de compresión se puede configurar para aumentar la presión a caudales de vapor elevados, lo cual permite elevadas capacidades de producción de agua destilada.
- 25 - El ventilador 14 no tiene las exigencias de densidad del vapor derivadas de las limitaciones de caudal que impone un compresor, por lo que puede funcionar sin necesidad de aumentar la temperatura de la solución salina a aportar a la cara evaporadora hasta temperaturas cercanas a 65°C como sucede para los MVC del estado de la técnica para tener un vapor primario con una temperatura de unos 65°C con la correspondiente densidad elevada. El ventilador 14 puede
30 funcionar a temperaturas iguales o similares a la temperatura ambiente del agua a desalinizar, con el consiguiente ahorro de energía.

- El bajo ratio de compresión del ventilador 14, por debajo de 1,11, supone niveles de sobrecalentamiento más bajos que los que se producen con los compresores con ratios de compresión superiores a 1,2, con el consiguiente ahorro de energía.
 - Dado el elevado coeficiente de transferencia de calor latente de las placas o tubos de intercambio de calor latente, se puede diseñar una forma de realización de la disposición desalinizadora MVC de bajo ratio de compresión con un gradiente de temperatura entre vapor primario y vapor secundario que puede llegar a ser de 0,7°C, o menos. En este caso, el ratio de compresión disminuye por a niveles de 1,06 o menos, y el consumo específico de energía disminuye de forma que el aporte de energía a la disposición desalinizadora MVC de bajo ratio de compresión llega a los niveles más bajos por unidad de agua desalinizada de entre todos los dispositivos industriales de desalinización, con la ventaja añadida que esta energía puede ser aportada íntegramente por una fuente renovable, off-grid, es decir, con un impacto prácticamente nulo en la huella de CO₂, lo cual comporta un cambio de paradigma en el mundo de la desalinización y permite que comunidades con pocos recursos energéticos y económicos puedan acceder a agua segura.
- El ventilador 14 se puede colocar en el interior de la carcasa como se muestra en la figura 3 o se puede colocar en una carcasa a parte, conectada por conductos.
- La disposición desalinizadora MVC de bajo ratio de compresión se puede utilizar para desalinizar agua de mar, agua salobre u otros tipos de soluciones salinas.
- La disposición desalinizadora MVC de bajo ratio de compresión se puede implementar en una configuración modular formada por más de una disposición desalinizadora, cada una de ellas de unas dimensiones siguiendo una formulación minmax en la que se minimicen los costes y se maximicen las prestaciones, para formar plantas de desalinización de mayor capacidad de la que puede proporcionar una única disposición desalinizadora, para proveer altas producciones y con conexión a la red. La disposición desalinizadora MVC de bajo ratio de compresión se puede implementar bajo una configuración de bajo coste pensada para comunidades en zonas remotas o de bajos recursos y que puede funcionar 100% a partir de energía renovable, off-grid.