

Dispositivo regasificador

Objeto

La presente invención se refiere a un dispositivo regasificador de gas natural licuado y cogeneración de agua dulce fría y aire seco frío que utiliza el aire ambiente húmedo
5 como fuente de energía y utiliza un fluido intermedio como medio de intercambio de calor.

Estado de la técnica

Los sistemas regasificadorde gas natural licuado, GNL, usan principalmente tres fuentes de energía:

10 1- La combustión de combustibles fósiles, con la correspondiente emisión de CO₂,

2- El aire ambiente con el problema del gran tamaño de las instalaciones necesarias y el problema de la formación de hielo,

3- El agua de mar con los problemas de corrosión, formación de hielo, mortalidad directa de vida marina por contacto directo con superficies frías e impacto en la vida
15 marina por el retorno al medio marino de agua de la que se ha extraído calor latente y a la que se han añadido productos químicos. El agua de mar se utiliza mayoritariamente en los dispositivos denominados Open Rack Vaporizers, ORV, en los que el agua de mar se vierte directamente sobre unos tubos de vaporización de GNL. Es un sistema muy utilizado por su bajo coste de funcionamiento y su tamaño
20 compacto que se logra con un formato modular de tubos evaporadores de GNL que suelen tener unos seis metros de alto y se colocan en baterías sobre las que se aporta una ducha continua de agua de mar.

Para evitar los problemas de la formación de hielo, la corrosión y la mortalidad de vida marina por contacto con las superficies frías, se han creado los sistemas
25 regasificadorde GNL que usan el aire ambiente y el agua de mar como fuentes de calor indirectas en los que el calor llega al GNL pasando por un fluido intermedio.

Entre estos sistemas se encuentran los siguientes:

- 5
- Intermediate Fluid Vaporizers de agua-glicol o de otro fluido intermedio, en adelante Glicol IFV. Para una mejor descripción del estado de la técnica representamos en la figura 7 un esquema de estos dispositivos en los que se usa una fuente externa de energía 24 como el calor del aire, calor de agua de mar o una fuente de energía residual para calentar la pared de un tubo de intercambio de calor 22 dentro del que fluye un líquido intermedio como agua glicol, GL. Este fluido intermedio calentado se aporta dentro de un intercambiador de calor con al menos un tubo evaporador 23 de GNL en cuyo interior fluye GNL a regasificar, estando el tubo evaporador 23 de GNL sumergido dentro de un volumen de líquido intermedio GL.
- 10

15

Cuando estos sistemas utilizan el agua de mar como fuente de calor, la inclusión del fluido intermedio soluciona los problemas de mortalidad marina por contacto con los tubos fríos pero no evita los problemas medioambientales ya expuestos por extracción de una cantidad de energía del agua de mar equivalente a la energía de regasificación.

20

Cuando estos sistemas utilizan el aire ambiente como fuente de energía se evita la formación de hielo pero mantienen el problema de las amplias instalaciones necesarias.

25

Los coeficientes térmicos de las paredes del tubo de intercambio de calor 22 y del tubo evaporador 23 de GNL limitan el coeficiente térmico del sistema, sus prestaciones y el tamaño y coste de la instalación.

- Intermediate Fluid Vaporizers de hidrocarburos, en adelante HC-IFV, es un sistema que usa el calor sensible del agua de mar y utiliza un fluido intermedio para evitar los problemas de corrosión, incrustaciones y mortalidad que provocan los ORV. El uso de un fluido intermedio y de hasta tres circuitos de carcasa y tubos permite solucionar el problema de la formación de hielo, el problema de las incrustaciones sobre los tubos, el problema de la mortalidad marina por contacto con los tubos fríos pero sigue teniendo el problema de afectar la vida marina por el retorno al medio marino de agua de mar a la que se ha extraído una cantidad de calor sensible equivalente a la energía que
- 30

requiere el proceso regasificador de GNL.

5 Para facilitar la descripción del estado de la técnica, y aunque los dispositivos HC-IFC se pueden compartimentar hasta en tres efectos, los componentes y el circuito térmico esencial de un HC-IFC se puede esquematizar en la figura 6 que muestra un recipiente hermético dentro del que se encuentra al menos un tubo evaporador 17 de fluido intermedio en cuyo interior fluye agua de mar que aporta la energía al dispositivo, este tubo evaporador 17 de fluido intermedio está sumergido dentro de un volumen de fase líquida de un fluido intermedio 10 que suele ser un hidrocarburo como butano o propano que capta la energía del agua de mar a través de la pared del tubo evaporador 17 de fluido intermedio y se evapora por burbujeo 16 desde la cara exterior del tubo evaporador 17 de fluido intermedio. La fase gaseosa del fluido intermedio evaporado por burbujeo 16 llega a la superficie del volumen de la fase líquida del fluido intermedio 18 y se distribuye en fase gaseosa 19 dentro del volumen superior del recipiente hermético. El recipiente hermético está atravesado por al menos un tubo evaporador 20 de GNL dentro del que fluye GNL a regasificar. Sobre la cara exterior del tubo evaporador 20 de GNL se condensa la fase gaseosa del fluido intermedio y gotea fluido intermedio en su fase líquida 21. El calor latente desprendido en la condensación del fluido intermedio sobre la cara exterior del tubo 20 de evaporación de GNL atraviesa la pared del tubo y en el interior del tubo 20 de evaporación de GNL se transforma en calor latente para el cambio de fase del GNL a gas natural GN y calor sensible para el aumento de su temperatura.

25 Los dispositivos HC-IFC tienen un coeficiente térmico condicionado por las limitaciones de los coeficientes térmicos de cada una de las caras del tubo evaporador 17 de fluido intermedio y del tubo evaporador 20 de GNL, por la densidad térmica de la fuente de calor y por el calor latente de evaporación del fluido intermedio.

30 Estos condicionantes térmicos dan lugar a que los dispositivos HC-IFV tengan grandes dimensiones, requieran componentes muy robustos y no puedan utilizar fuentes de energía de baja densidad como el aire ambiente húmedo.

Para reducir el tamaño de los dispositivos de regasificación, la superficie de terreno

ocupada, la inversión en paredes de intercambio y los gastos de su mantenimiento, es necesario aumentar el coeficiente térmico de las caras de las superficies de intercambio térmico para mejorar el coeficiente térmico resultante del sistema.

- 5 Análogamente, para reducir el impacto medioambiental es necesario reducir el uso de energía proveniente de la combustión de combustibles fósiles, reducir la extracción de calor del agua de mar y reducir el vertido de productos químicos de limpieza al medioambiente.

Sumario

- 10 La presente invención busca resolver uno o más de los inconvenientes expuestos anteriormente mediante un dispositivo regasificador de gas natural licuado, GNL, que permite la cogeneración de agua dulce y aire frío, como está definido en las reivindicaciones.

- 15 La mejora del coeficiente térmico del dispositivo regasificador de GNL, es decir de la energía que se transmite por unidad de superficie de intercambio de calor es un factor determinante para reducir los costes de inversión, mejorar las eficiencias del dispositivo y, sobretodo, permitir el uso de fuentes de energía de baja densidad térmica cuyo uso es inviable en instalaciones de bajo coeficiente térmico.

- 20 La mejora del coeficiente térmico de un dispositivo regasificador de GNL comporta la mejora del coeficiente térmico de las caras de los tubos que intercambian calor. Se puede mejorar el coeficiente térmico de la cara de un tubo de intercambio de calor si sobre esta cara se produce una condensación o una evaporación de un fluido con un elevado calor latente de cambio de fase en lugar de producirse un mero intercambio de calor sensible. En caso que se produzca una evaporación o una condensación sobre la cara de un tubo de intercambio de calor, el coeficiente térmico se puede
25 mejorar si esta condensación se realiza al menos en parte en régimen de condensación capilar o si la evaporación se realiza al menos en parte en régimen capilar es decir desde la curvatura de la interfase líquido vapor que se produce en la superficie de un menisco de líquido.

- 30 Para mayor claridad de la descripción, el dispositivo regasificador de GNL objeto de esta patente se puede describir siguiendo una comparativa con los componentes del

circuito térmico de los actuales HC-IFV, describiendo las mejoras que permiten aumentar la eficiencia térmica de cada uno de ellos y el coeficiente térmico resultante.

En primer lugar, la cara interior del tubo evaporador del fluido intermedio se recubre al menos en parte de microranuras, microsurcos, sinterizado u otra estructura capilar que
5 permite la condensación capilar de la fase gaseosa de un fluido sobre la cara interior del tubo. Este avance permite que el dispositivo regasificador de GNL pueda utilizar aire húmedo como fuente de energía. De modo que el vapor de agua contenido en el
10 aire se condensa al menos en parte en régimen de condensación capilar sobre la cara interior del tubo evaporador de fluido intermedio y cede su calor latente así como parte del calor sensible del aire y del agua y toda esta energía atraviesa la pared del tubo
evaporador de fluido intermedio y se transforma en calor latente para el cambio de
fase del fluido intermedio sobre la cara exterior del tubo evaporador de fluido
intermedio. Para evitar la acumulación de agua condensada sobre la cara interior del
tubo evaporador de fluido intermedio, que limitaría las propiedades térmicas, se añade
15 al menos una arteria de desagüe que canaliza ordenadamente el agua condensada y la evacúa.

En segundo lugar, introducimos los beneficios de la condensación capilar sobre la cara exterior del tubo evaporador de GNL. Para ello no se pueden usar hidrocarburos como el propano o el butano como fluido intermedio por falta de propiedades capilares. Se
20 usa H₂O o soluciones acuosas de glicol u otras soluciones con un elevado calor latente y elevadas propiedades capilares y se recubre la cara exterior del tubo evaporador de GNL de microranuras, microsurcos o una estructura capilar que permiten la condensación capilar de la fase gaseosa del fluido intermedio sobre la cara exterior del tubo regasificador de GNL.

25 Dado que el dispositivo regasificador de GNL tiene un recipiente hermético exterior y que en su interior sólo se encuentra el fluido intermedio en sus fases líquida y gaseosa, el fluido intermedio no adoptará su fase sólida sobre la cara exterior del tubo evaporador de GNL siempre que la fase líquida condensada sobre el tubo evaporador de GNL esté expuesta a un contacto directo con el flujo de la fase gaseosa y no forme
30 acumulaciones en las que se produzca una estratificación térmica que permita la formación de fase sólida en las zonas aisladas del contacto con la fase gaseosa portadora de energía. Para ello es importante que la fase líquida se evacúe rápidamente de las microranuras o microsurcos y no se acumule dentro de un

sinterizado o estructura capilar. La evacuación de la fase líquida se puede conseguir con un diseño como el de microranuras o microsurcos perpendiculares al eje del tubo y con unos deflectores longitudinales que canalizan el flujo líquido fuera de la pared del tubo evaporador de GNL.

- 5 En tercer lugar, introducimos los beneficios de la evaporación capilar en la cara exterior del tubo evaporador de fluido intermedio. Para ello el tubo evaporador de fluido intermedio deja de estar sumergido dentro de un volumen de la fase líquida del fluido intermedio y recubrimos la cara exterior del tubo evaporador de fluido intermedio al menos en parte de microranuras, microsurcos, sinterizado u otra estructura capilar
- 10 que permite la formación de meniscos de la fase líquida de un fluido intermedio con elevadas propiedades capilares y elevado calor latente de evaporación como agua, soluciones acuosas de glicol u otras soluciones con propiedades capilares similares. En la superficie de estos meniscos se curva la interfase líquido vapor y se produce la evaporación de alto flujo en el extremo de esta curvatura, la evaporación capilar.
- 15 Para la correcta logística de fluidos, es decir para que la cara exterior del tubo evaporador de fluido intermedio esté mojada y evapore es necesario que al menos una parte de la cara exterior del tubo evaporador de fluido intermedio esté recubierta de sinterizado o de otra estructura capilar y toque la fase líquida del fluido intermedio acumulado en el fondo del recipiente hermético para que esta fase líquida del fluido
- 20 intermedio ascienda por capilaridad y moje la cara exterior del tubo evaporador de fluido intermedio.

- De manera complementaria, el tubo evaporador de fluido intermedio puede estar posicionado en paralelo o al menos en parte debajo del tubo evaporador de GNL de modo que la fase líquida del fluido intermedio que se condensa sobre la cara exterior
- 25 del tubo evaporador del GNL gotee sobre la cara exterior del tubo evaporador de fluido intermedio. Estas gotas de fase líquida del fluido intermedio pueden caer sobre el recubrimiento de sinterizado o de otra estructura capilar de la cara exterior del tubo evaporador de fluido intermedio y distribuirse por capilaridad o pueden caer sobre un recubrimiento de microranuras o microsurcos.

- 30 En tercer lugar, la mejora de la eficiencia térmica sobre las tres caras mencionadas que pasan a condensar y a evaporar al menos en parte en régimen de condensación y evaporación capilares permiten modular el dispositivo en un formato compacto similar

al de los actuales ORV, es decir permite la confección de módulos individuales que se pueden colocar en baterías apilables, conteniendo cada uno de ellos: al menos un recipiente hermético exterior, en cuyo interior sólo se encuentra un fluido intermedio en fases gaseosa y líquida; al menos un tubo evaporador de fluido intermedio que

5 atraviesa el recipiente hermético, que intercambia calor entre un flujo de aire húmedo y el fluido intermedio, configurado para enfriar el aire húmedo en su interior, condensar en su cara interior al menos en parte en régimen de condensación capilar al menos una parte del vapor de agua contenido en el flujo de aire húmedo y evaporar en su cara exterior la fase líquida de un fluido intermedio dispuesto al menos en parte en

10 meniscos con curvatura de la interfase líquido vapor; y al menos un tubo evaporador de GNL que atraviesa el recipiente hermético, que intercambia calor entre el fluido intermedio y GNL a regasificar a gas natural, configurado para condensar en su cara exterior la fase gaseosa del fluido intermedio al menos en parte en régimen de condensación capilar y en su interior calentar y regasificar GNL y calentar el gas

15 natural GN regasificado.

Las propiedades térmicas del dispositivo regasificador de GNL mejoran si la mezcla de aire y vapor de agua que se introduce en el dispositivo contiene más masa de agua por volumen de aire. Es decir, a mayor temperatura del aire y saturación, mejor rendimiento del dispositivo. Por lo que el dispositivo regasificador de GNL incorpora un

20 sistema de humidificación del aire ambiente que se utiliza como fuente de energía.

El dispositivo regasificador de GNL puede funcionar con otra fuente de energía, de modo que puede tener varios circuitos de alimentación y evacuación para trabajar con una fuente distinta de aire húmedo ambiente en épocas invernales de zonas no ecuatoriales cuando el aire es demasiado frío para contener suficiente vapor de aire y

25 la energía térmica que requiere el dispositivo. De modo que el dispositivo regasificador de GNL puede tener la versatilidad de funcionar con aire ambiente húmedo y cuando el aire es demasiado frío, funcionar con agua de mar u otro fluido que aporte energía.

Breve descripción de los dibujos

Una explicación más detallada se da en la descripción que sigue y que se basa

30 en las figuras adjuntas:

Figura 1.- Muestra en una sección en corte transversal de una realización de un módulo del dispositivo regasificador de GNL,

Figura 2.- Muestra en una vista en planta una sección en corte de una secuencia de módulos a la altura de un tubo evaporador de GNL por cuyo interior fluye GNL que se
5 regasifica en GN,

Figura 3.- Muestra en una vista en planta una sección en corte de una secuencia de módulos a la altura de un tubo evaporador de fluido intermedio, con un dispositivo de humidificación del aire,

Figura 4.- Muestra en una vista en planta un corte a la altura de un tubo evaporador de
10 fluido intermedio de una secuencia de módulos adaptados para ser compatibles con otras fuentes de calor que el aire húmedo ambiente,

Figura 5.- Muestra en una sección en corte longitudinal de un módulo del dispositivo regasificador de GNL,

Figura 6.- Muestra en una sección en corte transversal un esquema agregado de los
15 actuales dispositivos HC-IFV con el tubo evaporador de fluido intermedio sumergido dentro de la fase líquida del fluido intermedio.

Figura 7.- Muestra en una sección en corte transversal un esquema de los actuales dispositivos glicol-IFV con el tubo evaporador de GNL sumergido dentro de un volumen de solución acuosa de glicol, y

Figura 8.- Muestra en una sección en corte longitudinal un módulo del dispositivo
20 regasificador de GNL con más de un compartimento.

Descripción

El dispositivo regasificador de Gas Natural Licuado, GNL, y cogeneración de agua dulce fría y aire seco frío comprende al menos un recipiente hermético exterior que
25 contiene un fluido intermedio en sus fases líquida y gaseosa, atravesado por al menos un tubo evaporador de fluido intermedio configurado para que en su interior circule un

- fluido que aporta la energía calórica al dispositivo y en la cara exterior se evapore la fase líquida del fluido intermedio, y atravesado por al menos un tubo evaporador de GNL configurado para que en su cara exterior se condense la fase gaseosa del fluido intermedio y en su interior se caliente y cambie de fase el GNL y se caliente el gas natural GN regasificado hasta una temperatura superior a unos 5°C.

- Como se ilustra en la figura 1, el dispositivo regasificador de GNL se caracteriza porque la cara interior del tubo evaporador 3 de fluido intermedio está recubierta al menos en parte por una capa de microranuras, microsurcos, sinterizado u otra estructura capilar. El fluido que fluye en el interior del tubo evaporador 3 de fluido intermedio es aire húmedo y el vapor de agua que contiene este aire húmedo se condensa al menos en parte en régimen de condensación capilar sobre los microsurcos, microranuras, sinterizado u otra estructura capilar que cubre al menos en parte la cara interior del tubo evaporador 3 de fluido intermedio. El aire húmedo que fluye en el interior de tubo evaporador 3 de fluido intermedio también cede calor sensible del aire y del agua. Al menos una parte del calor latente y del calor sensible desprendidos en el interior del tubo evaporador 3 de fluido intermedio atraviesa la pared del tubo evaporador 3 de fluido intermedio y se transforma al menos en parte en calor latente para el cambio de fase de la fase líquida del fluido intermedio sobre la cara exterior del tubo evaporador 3 de fluido intermedio.
- Para evitar la acumulación de agua sobre la pared interior del tubo evaporador 3 de fluido intermedio se añade al menos una arteria de desagüe 8 que canaliza ordenadamente el agua dulce cogenerada. Esta agua dulce ha cedido parte de su calor sensible por lo que sale del interior del tubo evaporador 3 de fluido intermedio a una temperatura fría por debajo de unos 5°C y sale canalizada del dispositivo facilitando su utilización para múltiples usos.

El uso de aire ambiente como fuente de energía no causa los problemas medioambientales que causa el uso de agua de mar como fuente de energía.

- El dispositivo regasificador de GNL se caracteriza también porque el fluido intermedio 4, 5, 6 es un fluido con un elevado calor latente de evaporación y con buenas propiedades capilares como H₂O, una solución acuosa de glicol u otra solución de elevado calor latente y buenas propiedades capilares; y la cara exterior del tubo evaporador 2 de GNL está recubierta al menos en parte de microranuras, microsurcos,

- sinterizado u otra estructura capilar en las que la fase gaseosa 5 del fluido intermedio se condensa al menos en parte en régimen de condensación capilar. Para evitar la formación de la fase sólida del fluido intermedio sobre la cara exterior del tubo evaporador 2 de GNL, la fase líquida del fluido intermedio no debe formar acumulaciones de líquido en el que se estratifiquen las temperaturas y se pueda formar fase líquida del fluido intermedio sobre la superficie de la cara exterior del tubo evaporador 2 de fluido intermedio. El diseño de las microranuras, microsurcos, sinterizado u otra estructura capilar permite la correcta evacuación de la fase líquida del fluido intermedio condensado sobre la cara exterior del tubo evaporador 2 de GNL, como un diseño de microsurcos o microranuras perpendiculares al eje del tubo evaporador 2 de GNL y con unos deflectores longitudinales 22 que permiten la evacuación por gravedad de la fase líquida condensada sobre la superficie de la cara exterior del tubo evaporador 2 de GNL y su goteo 6 sobre el tubo evaporador 3 de fluido intermedio o sobre el fondo del recipiente hermético.
- El dispositivo de GNL se caracteriza también porque el tubo evaporador 3 de fluido intermedio no está sumergido dentro de la fase líquida 4 del fluido intermedio que se acumula en el fondo de recipiente hermético 1 y la cara exterior del tubo evaporador 3 de fluido intermedio está recubierta al menos en parte de una capa de sinterizado o de otra estructura capilar que está en contacto con la fase líquida 4 del fluido intermedio acumulada en el fondo del recipiente hermético 1 de forma que la fase líquida 4 del fluido intermedio asciende por capilaridad y moja la cara exterior del tubo evaporador 3 de fluido intermedio.
- Si el tubo evaporador 2 de GNL está situado en paralelo o al menos en parte sobre el tubo evaporador 3 de fluido intermedio al menos una parte de la cara exterior del tubo evaporador 3 de fluido intermedio puede también estar recubierta de microsurcos o microranuras que se alimentan de la fase líquida del fluido intermedio 6 que gotea desde la cara exterior del tubo evaporador 2 de GNL. La fase líquida 4, 6 del fluido intermedio situado en los microsurcos, microranuras, sinterizado u otra estructura capilar que cubre al menos en parte la cara exterior del tubo evaporador 3 de fluido intermedio se dispone al menos en parte en forma de meniscos y en la superficie de estos meniscos se forma la curvatura de la interfase líquido gas que permite la evaporación de alto flujo que se produce en la parte superior de esta curvatura, evaporación capilar.

Para conseguir instalaciones regasificador de GNL con las elevadas potencias habituales de estas instalaciones el dispositivo regasificador de GNL se puede realizar en forma de un conjunto de módulos con unas potencias de cada módulo similares a la potencia de los actuales tubos modulares de los dispositivos ORV.

- 5 La figura 2 muestra el dispositivo regasificador de GNL compuesto por varios módulos dispuestos en una disposición compacta. Por este motivo describimos el dispositivo regasificador de GNL como compuesto por al menos un recipiente hermético 1 exterior ya que puede estar formado por varios módulos, cada uno de ellos con al menos un recipiente hermético 1 exterior con al menos un tubo evaporador 3 de fluido intermedio
10 y al menos un tubo evaporador 2 de GNL.

La Figura 2 muestra una vista en planta de una sección en corte a la altura de un tubo evaporador 2 de GNL en una configuración con cuatro módulos del dispositivo regasificador de GNL alimentados en paralelo de GNL y de cada uno de ellos se extrae gas natural GN resultante de la regasificación.

- 15 Al trabajar en horizontal los módulos del dispositivo regasificador de GNL se pueden apilar, consiguiendo un diseño compacto y fácilmente accesible por ambos extremos para los trabajos de mantenimiento y control del dispositivo regasificador de GNL.

- Esta realización modular se puede formular con un mayor o menor número de módulos del dispositivo regasificador de GNL y permite conseguir dispositivos
20 regasificador de GNL en un formato compacto, de bajo coste de fabricación, de bajo coste operativo y con una gran facilidad de puesta en marcha y de parada que permite ajustar rápidamente la producción de la instalación según las necesidades de producción de gas natural que marque la demanda y con un impacto muy reducido en el medioambiente.

- 25 La figura 3 muestra una vista en planta de una sección en corte a la altura de un tubo evaporador 3 de fluido intermedio en una configuración de cuatro módulos del dispositivo regasificador de GNL alimentados en paralelo de aire ambiente cargado de humedad 10 proveniente de aire ambiente 8 que se carga de humedad mediante un humidificador 9.

- 30 El vapor de agua contenido en el aire húmedo 10 se condensa y se enfría dentro de al

menos un tubo evaporador 3 de fluido intermedio por el que circula a lo largo del módulo y al final se extrae aire frío 11 y agua dulce fría 12 canalizados para su utilización subsiguiente. Esta cogeneración de aire frío 11 y agua dulce fría 12 permite la correcta gestión del frío generado en el proceso de regasificación, y este frío se
5 puede reciclar para diversos usos sin causar los problemas medioambientales que se originan si este frío se vierte en el medio marino.

El dispositivo de humidificación 9 del aire ambiente puede utilizar agua de mar por burbujeo del aire por una fina capa de agua de mar, ducha de agua de mar sobre aire ambiente u otros sistemas de humidificación. Este proceso de humidificación del aire
10 se pueden ejecutar sin necesidad de enfriar el agua de mar. El calor latente necesario para que una parte del agua de mar pase a fase gaseosa y humidifique el aire se puede compensar por el aporte de calor sensible del aire ambiente, dando como resultado una modificación muy pequeña de la temperatura del agua de mar que se retorna al medio marino.

15 Si la temperatura del aire ambiente es más elevada que la temperatura del agua de mar y se quiere incrementar la capacidad de cogeneración de agua dulce del dispositivo regasificador de GNL, entonces el dispositivo regasificador de GNL puede incluir un dispositivo de intercambio de calor entre el aire ambiente y el agua de mar como sistemas de ducha u otros que permiten elevar la temperatura del agua de mar,
20 a la vez que permiten saturar de humedad el aire ambiente. El agua de mar así calentada se puede usar como fuente de calor en un dispositivo de desalinización de agua mar y el aire saturado de humedad se puede utilizar como fuente de calor para la regasificación de GNL.

El aire sale frío al final del proceso regasificador de GNL, al igual que el agua dulce condensada en este proceso. De modo que se puede multiplicar la producción de
25 agua dulce en un proceso multiefecto de destilación utilizando el agua de mar calentada con aire ambiente como fuente de calor del proceso de desalinización y, utilizando como sumidero energético el aire frío y/o el agua dulce fría resultante del proceso regasificador del GNL.

30 El salto térmico entre el agua de mar calentada con aire ambiente y el aire frío o agua dulce fría cogenerados se puede situar en un rango de unos 25°C a 30°C, y con este salto térmico se pueden realizar varios procesos de evaporación y condensación

multiplicando la capacidad de cogeneración de agua dulce del dispositivo regasificador de GNL si se acopla a dispositivos térmicamente eficientes como el descrito en la solicitud de patente PCT/ES2015/070344, incorporada aquí por referencia.

La figura 4 muestra una vista en planta de una sección en corte a la altura de un tubo evaporador 3 de fluido intermedio, en una configuración de cuatro módulos del dispositivo regasificador de GNL como expuesto en la figura 3 adaptado para ser utilizado en épocas frías de zonas no ecuatoriales en las que durante la época invernal el aire ambiente está demasiado frío para contener suficiente energía y vapor de agua, de modo que el dispositivo regasificador de GNL tiene un sistema de suministro alternativo para funcionar con una fuente de calor que sea un fluido 14 distinto al aire ambiente húmedo, como agua de mar, vapor residual de una combustión, o un fluido intermedio con energía proveniente de cualquier otra fuente de energía, el dispositivo regasificador de GNL dispone de un sistema de evacuación por una vía 13 específica para la recirculación o vertido de dicho fluido alternativo.

El coeficiente térmico de la cara interior del tubo evaporador 3 de fluido intermedio, cuando se suministra durante la época invernal un fluido distinto al aire ambiente húmedo, como agua de mar, puede resultar menor que el coeficiente térmico cuando el fluido que circula por el tubo evaporador 3 de fluido intermedio es aire ambiente húmedo, de forma que para mantener la potencia agregada del dispositivo regasificador de GNL se puede disponer de módulos adicionales para el periodo invernal o añadir un sistema de combustión de gas de apoyo para puntas de demanda en periodos invernales.

La figura 5 muestra un corte longitudinal de un módulo del dispositivo regasificador de GNL como mostrado en las figuras 2 y 3 para mejor comprensión, mostrando la sección longitudinal de un tubo evaporador 2 de GNL y de un tubo evaporador 3 de fluido intermedio, y la sección transversal de un conducto de suministro de GNL, de suministro de aire ambiente húmedo 15, de extracción del gas natural GN y de extracción del agua condensada 12 y del aire frío 11.

El GNL es suministrado al tubo evaporador 2 de GNL en torno a los -163°C y sale del tubo evaporador 2 de GNL por encima de unos 5°C . Para reducir el estrés térmico que conlleva este salto térmico, el dispositivo regasificador de GNL o los módulos que conforman el dispositivo regasificador de GNL pueden estar compartimentados como

se muestra en la figura 8 mediante dos o más recipientes herméticos exteriores 25, 27, 29. Esta compartimentación acota los rangos de temperatura de funcionamiento del fluido intermedio en cada compartimento y optimiza la transferencia de calor al estabilizar el régimen de temperaturas de trabajo en cada compartimento. Cada
5 compartimento puede tener un fluido intermedio específico 26, 28, 30 para sus requisitos térmicos específicos.

Hay básicamente tres tramos en el proceso regasificador de GNL, primero una fase de calentamiento del GNL desde -163°C hasta la temperatura de cambio de fase correspondiente a la presión a la que se somete al GNL, luego un tramo de cambio de
10 fase isoterma y finalmente el último tramo de calentamiento del gas natural GN resultante hasta una temperatura superior a unos 5°C . En este tercer tramo el gas natural GN ya está en fase gaseosa y la compartimentación permite que el tubo evaporador 2 de GNL adapte su sección 31 o se bifurque en varios tubos para adecuarse a las necesidades del gas natural GN en fase gaseosa. La
15 compartimentación se puede realizar usando otros rangos de temperatura. La compartimentación permite reducir el estrés de temperaturas del dispositivo regasificador de GNL y con ello permite abaratar el coste de los materiales a utilizar. La compartimentación permite la inserción de dispositivos de control y gestión de fluidos entre compartimentos como turbinas de expansión, válvulas de control o
20 sistemas adicionales de evacuación de agua dulce condensada o de aire frío y sistemas adicionales de aporte de aire húmedo.

El dispositivo regasificador de GNL se puede utilizar para la regasificación de otros líquidos criogénicos e incluso se puede utilizar para otros procesos de intercambio de calor entre otros fluidos.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo regasificador de gas natural licuado, GNL, y cogeneración de agua dulce fría y aire seco frío que comprende al menos un recipiente hermético (1) exterior que contiene un fluido intermedio en sus fases líquida y gaseosa, atravesado por al menos un tubo evaporador de fluido intermedio en cuyo interior fluye un fluido que aporta la energía calórica al dispositivo y en cuya cara exterior se evapora la fase líquida del fluido intermedio, y atravesado por al menos un tubo evaporador de GNL que en su cara exterior se condensa la fase gaseosa del fluido intermedio y en su interior se calienta y cambia de fase el GNL y se calienta el gas natural GN regasificado hasta una temperatura superior a unos 5°C; **caracterizado** porque el fluido que fluye en el interior de al menos un tubo evaporador (3) de fluido intermedio es aire húmedo y la cara interior de al menos un tubo evaporador (3) de fluido intermedio está recubierta al menos en parte de microranuras, microsurcos, sinterizado u otra estructura capilar sobre la que el vapor de agua contenido en el aire húmedo se condensa al menos en parte en régimen de condensación capilar.
2. Dispositivo regasificador de acuerdo a la reivindicación 1; **caracterizado** porque al menos un tubo evaporador 3 de fluido intermedio tiene una arteria de desagüe (8) del agua condensada en la pared interior del tubo evaporador 3 de fluido intermedio.
3. Dispositivo regasificador de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores; **caracterizado** porque el fluido intermedio es un fluido con elevado calor latente de evaporación y elevadas propiedades capilares del tipo agua H₂O, soluciones acuosas, o similares.
4. Dispositivo regasificador de acuerdo a la reivindicación 3; **caracterizado** porque al menos una porción de la cara exterior de al menos un tubo evaporador (2) de GNL está recubierta de microranuras, microsurcos, sinterizado u otra estructura capilar para que la condensación de la fase gaseosa (5) del fluido intermedio se produzca al menos en parte en régimen de condensación capilar sobre dicha cara exterior del tubo evaporador (2) de GNL.
5. Dispositivo regasificador de acuerdo a la reivindicación 4; **caracterizado** porque al menos una porción de la cara exterior de al menos un tubo evaporador (3) de fluido intermedio está recubierta por sinterizado u otra estructura capilar (7) para el ascenso capilar de la fase líquida (4) del fluido intermedio desde el fondo del recipiente hermético (1), para la distribución de la fase líquida (6) del fluido intermedio que gotea desde la cara exterior del tubo evaporador (2) de GNL sobre la cara exterior del tubo

evaporador 3 de fluido intermedio y para la formación de meniscos de la fase líquida (4), (6) del fluido intermedio en los que se produce la curvatura de la interfase líquido gas en cuyo extremo superior se produce la evaporación de alto flujo, la evaporación capilar.

- 5 6. Dispositivo regasificador de acuerdo a la reivindicación 5; **caracterizado** porque al menos una porción de la cara exterior de al menos un tubo evaporador (3) de fluido intermedio está cubierta por microranuras o microsurcos en las que se forman meniscos de la fase líquida del fluido de trabajo (6) y la evaporación de alto flujo desde la interfase curva líquido gas en el extremo del menisco.
- 10 7. Dispositivo regasificador de acuerdo a cualquiera de las anteriores reivindicaciones; **caracterizado** porque al menos uno de los módulos del dispositivo regasificador de GNL está compartimentado en dos o más compartimentos 25, 27, 29 que trabajan dentro de distintos rangos de temperatura, que disponen de fluidos intermedios 26, 28, 30 adaptados a las necesidades térmicas de cada rango y entre
- 15 los compartimentos se pueden colocar dispositivos de gestión y control de fluidos.
8. Dispositivo regasificador de acuerdo a cualquiera de las anteriores reivindicaciones; **caracterizado** porque el dispositivo regasificador GNL comprende un medio humidificador del aire para aumentar el contenido de vapor de agua mezclado con el aire húmedo que fluye por el interior del tubo evaporador (3) de fluido
- 20 intermedio.
9. Dispositivo regasificador de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores; **caracterizado** porque el dispositivo regasificador GNL comprende un sistema de suministro de un fluido que actúa como fuente de calor (14), distinto de aire ambiente húmedo, y un sistema de evacuación o recirculación (13) de este fluido.
- 25 10. Dispositivo regasificador de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores; **caracterizado** porque el dispositivo regasificador regasifica un fluido criogénico distinto de GNL.
11. Dispositivo regasificador de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores; **caracterizado** porque el dispositivo regasificador se usa para intercambiar
- 30 calor entre un fluido en fase gaseosa distinto de vapor de agua y un fluido distinto de GNL.