

27 MAR. 1969

364810

P.- 41.057  
U.S. 713.538

<p>F 17</p> <p>C</p>
----------------------

**Memoria descriptiva**



2

para solicitar PATENTE DE INVENCIÓN por 20 años

a nombre de ESSO RESEARCH AND ENGINEERING COMPANY

entidad / ~~nacionalidad~~ norteamericana

con domicilio en Linden, Nueva Jersey, Estados Unidos de América

por: "UN METODO DE ALMACENAMIENTO DE GAS NATURAL LICUADO A TEMPERATURAS CRIOGENICAS", (Clase Internacional F17c)



Esta invención se refiere a mejoras en los métodos de almacenamiento y vaporización de gases licuados en general y en particular a un método mejorado de coste reducido para almacenar y vaporizar gas natural licuado - (GNL) suministrado a  $-161,5^{\circ}\text{C}$  y a la presión atmosférica, o bajo presión a temperaturas más moderadas.

En el transporte de gas natural en forma licuada desde un punto de producción a un punto de consumo, un factor principal de coste en las inversiones de capital es el coste de las instalaciones de almacenamiento. Tipos convencionales de almacenamiento a la presión atmosférica tienen un coste del orden de 3500 pts. por metro cúbico de capacidad. Ofertas recientes han sugerido el embarque de gas natural licuado en el campo de presiones de  $14 \text{ kg/cm}^2$  a fin de evitar la temperatura extremadamente baja que se requiere a la presión atmosférica. El coste del almacenamiento convencional a una presión de  $14 \text{ kg/cm}^2$  asciende aproximadamente a 19800 pts. por metro cúbico. Con los grandes volúmenes de almacenamiento que se requieren en el transporte de GNL por barco, incluso el coste de 3500 pts. por metro cúbico es una inversión de capital muy grande, y un coste de 19800 pts. por metro cúbico se aproxima a un nivel prohibitivo. De acuerdo con esto, los incentivos para desarrollar una técnica de almacenamiento de bajo coste para gases licuados son considerables.

Los proyectos iniciales de GNL tenían por objeto cubrir los consumos máximos siendo licuado un volumen relativamente pequeño de gas por día y almacenándolo durante un período de tiempo prolongado para su uso durante los rigores del invierno. En estas condiciones era crítico un



flujo calorífico mínimo, Aunque los nuevos proyectos de GNL de "carga base". en los cuales se revaporizan diariamente grandes volúmenes de GNL podrían no sólo tolerar sino beneficiarse realmente de un flujo calorífico apreciable en las instalaciones de almacenamiento, a pesar de ello, se ha adoptado el mismo tipo de almacenamiento con flujo calorífico mínimo desarrollado para los proyectos de contribución al consumo en horas punta para los nuevos proyectos de carga base.

De acuerdo con la presente invención, el costo de las instalaciones de almacenamiento de GNL, sea a la presión atmosférica o a una presión elevada tal como la antes mencionada de  $14 \text{ kg/cm}^2$ , puede ser reducido drásticamente. De acuerdo con la invención, la etapa inicial es la selección de un depósito subterráneo arenoso a una profundidad conveniente y que posea una porosidad, permeabilidad y espesor adecuados. Si bien se prefiere un depósito arenoso, puede utilizarse una caliza apropiada u otra capa acuífera. Una vez que se ha seleccionado una formación subterránea apropiada, se inicia la inyección de gas (tal como gas natural, aire, gas de combustión, etc.) en cantidad equivalente al volumen de almacenamiento deseado o ligeramente mayor para desplazar el agua móvil fuera de dicho volumen de almacenamiento. El desplazamiento de la porción móvil del agua de la formación se hace antes de la inyección del GNL a fin de evitar que el frío extremo del GNL provoque una casi instantánea congelación e inmovilización del agua de la formación, con la pérdida consiguiente de la capacidad de inyección. Muchas capas acuíferas, esto es, estratos del suelo que contienen agua,



27

son suficientemente permeables y extensos, de tal manera que puede hacerse que el agua desplazada pase a la capa acuífera de los alrededores. En otros casos, el agua desplazada puede ser extraída mediante pozos localizados alrededor de la periferia aproximada del área de almacenamiento prevista. El uso de pozos productores para extraer el agua desplazada aumentará un tanto el coste, pero permite un mejor control de la configuración de la campana de almacenamiento al mismo tiempo que reduce al mínimo el aumento de la presión en la capa acuífera, permitiendo así el empleo de formaciones menos extensas o menos permeables. En una variante del nuevo método de la invención, se inicia la inyección de GNL tan pronto como se ha inyectado un tapón de gas suficientemente grande de tal manera que el tapón de gas que avanza delante del GNL desplace la formación hacia abajo hasta llegar aproximadamente al agua intersticial y asegure la separación de la fase de agua móvil y del GNL. Según este procedimiento, la inyección de GNL se inicia después que se ha desplazado un volumen de gas de purga igual a aproximadamente  $1/3$  a  $1/2$  del volumen de almacenamiento final.

A medida que el GNL inyectado enfría el depósito, el agua de formación que circunda el volumen de almacenamiento se congela, creando de hecho una pared impermeable alrededor del área de almacenamiento y confinando el GNL sin dependencia alguna de la configuración o cierre estructural. Se considera que, con el depósito de almacenamiento así formado, se puede inyectar un cargamento de GNL procedente de un barco de llegada mediante pozos de inyección apropiados a fin de volver a llenar la por-



ción del depósito que con anterioridad a la llegada del barco había estado parcialmente vacía de gas licuado por medio de una combinación de revaporización natural y extracciones en forma líquida.

5                   A medida que el GNL almacenado se desplaza en el depósito desde los pozos de inyección a los pozos de producción, una cantidad importante de calor es absorbida de la formación y una cantidad proporcional de GNL se vaporizará durante el pre-enfriamiento del depósito. Prácticamente la totalidad del GNL inicial se vaporizará a medida que se enfría la roca o arena del depósito propiamente dicha, así como las formaciones localizadas encima y debajo de aquella. Después de esta fase de pre-enfriamiento, la fuente de calor principal aunque no exclusiva  
10                   estará constituida por las formaciones localizadas encima y debajo del depósito, las cuales continuarán aportando una cantidad de calor sustancial a ritmos gradualmente decrecientes a medida que el enfriamiento progresa hacia el exterior desde el propio depósito. Aunque esta absorción de calor es muy indeseable en una operación en la cual el GNL se utiliza únicamente para llegar a cubrir el consumo máximo, es totalmente aceptable, y de hecho deseable, en los casos en que el GNL se emplea en una operación de carga base. Así, es una característica específica y una ventaja de la presente invención el hecho de que  
15                   proporciona un sistema no solamente para almacenamiento de GNL, sino que proporciona también un sistema para la vaporización de una porción del GNL en gas al mismo tiempo. Esta característica de almacenamiento subterráneo que se reivindica (flujo calorífico fundamental procedente -  
20  
25  
30



de las formaciones rocosas de los alrededores) reduce, por consiguiente, la cantidad de equipo específico de vaporización necesario en el punto de suministro y consumo del GNL.

5                    Constituye el objeto de la invención el proporcionar un método nuevo y original para almacenar y vaporizar grandes cantidades de gases licuados, tales como gases naturales licuados, proporcionar una instalación de almacenamiento de gas licuado que es extremadamente segura y no representa peligro alguno para el ambiente de los alrededores, con una instalación de almacenamiento de bajo coste para GNL que se caracteriza por una importante ganancia de calor suficiente para vaporizar una porción principal del GNL a medida que se requiera. Seguidamente se hace referencia a los dibujos que se adjuntan, en los cuales:

10                    La Fig. 1 es una vista en corte transversal vertical de un depósito de almacenamiento subterráneo preparado de acuerdo con el método de la invención; y

15                    la Fig. 2 es una vista en corte transversal horizontal del depósito de la Fig. 1, tomada a lo largo de la línea 2-2 de la Fig. 1.

20                    Haciendo referencia a los dibujos, puede lograrse una mejor comprensión del método del sistema de almacenamiento y vaporización de GNL de acuerdo con la presente invención. En la Fig, 1 se muestra una capa permeable 14 que contiene agua inmediatamente debajo de una capa de roca impermeable 12 y adyacente a una capa porosa impermeable subyacente similar, 16. La capa 10 comprende la totalidad de las formaciones entre la capa 12 y la su-



perficie. La capa acuífera 14, si bien es preferiblemen-  
te una arena portadora de agua, puede ser también una ca-  
liza porosa de la cual el agua puede purgarse análogamen-  
te por un gas a presión antes de la introducción del gas  
5 natural licuado. La formación que comprende las capas 10,  
12, y 14 está perforada por numerosos pozos de inyección  
y de producción. En 18 se muestra un pozo de inyección cen-  
tral que se prolonga hacia abajo a través de la capa roca  
sa 12 y termina en la porción superior de la capa acuífe-  
10 ra 14. Una vez que se ha creado una pequeña campana de gas  
de purga alrededor del pozo de inyección 18, se pueden aña-  
dir otros pozos de inyección 22 en proximidad relativamen-  
te estrecha al pozo 18 para aumentar la velocidad de in-  
yección del gas de purga así como la capacidad de la futu-  
15 ra inyección de GNL. El número de pozos de producción y  
de inyección y su distancia relativa pueden optimizarse  
para las condiciones del depósito y del proyecto de que  
se trate específicamente mediante principios de ingenie-  
ría de depósitos, bien conocidos. Aunque se muestra por  
20 conveniencia una disposición centro-a-periferia, no es és-  
ta la única disposición adecuada, puesto que las condicio-  
nes individuales del depósito o las exigencias del proyec-  
to pueden sugerir el empleo de una disposición extremo  
con extremo, una disposición de cinco puntos, una disposi-  
25 ción en línea, o cualquier otra disposición apropiada. Una  
pluralidad de pozos de producción 20 se dispone periféri-  
camente alrededor del pozo central de inyección de gas de  
purga 18. La totalidad de los pozos 18, 20 y 22 se pro-  
veen de válvulas de control adecuadas 30, debiendo enten-  
30 derse que están conectados a medios de bombeo apropiados



(no representados) según se requieran.

De acuerdo con el método de la invención, se inyecta hacia abajo bajo presión cualquier gas adecuado a través del pozo 18, a una presión suficiente para desplazar el agua de la capa acuífera 14. Evidentemente, para impedir la congelación del agua desplazada de la capa acuífera, el gas de desplazamiento debe encontrarse a una temperatura superior a las de congelación del agua de la formación. A medida que se inyecta el gas de purga a través del pozo 18 se crea una presión hidrostática aumentada que tiende a producir un desplazamiento del agua dentro del área circundada por los pozos de producción 20 hacia la capa acuífera circundante exterior. Si esta capa acuífera es extensa, la totalidad o una proporción sustancial del agua contenida dentro del área de almacenamiento proyectada puede desplazarse de esta manera. En cambio, los gradientes de presión pueden minimizarse y se puede controlar la configuración de la campana de almacenamiento por la producción de agua en los pozos de producción 20 durante la formación de la campana de almacenamiento. Cuando el gas inyectado alcanza un pozo de producción individual, se producirán simultáneamente gas y agua, aumentando gradualmente la relación de gas a agua. Antes de la primera aparición del gas, el avance relativo del gas hacia los sectores individuales de la periferia puede vigilarse controlando los caudales relativos de producción de agua a partir de pozos individuales o grupos de pozos. Ulteriormente, puede mantenerse el control regulando los caudales relativos de producción de pozos individuales o grupos de pozos, o mediante ce-



rrado selectivo de los pozos 20.

Puesto que el gas inyectado es menos denso que el agua de la formación, los efectos de la gravedad tienden a hacer que este gas se deslice parcialmente sobre el agua en la formación y, a caudales de inyección muy lentos, el gas podría desplazar el agua únicamente de los metros superiores de la formación, quedando el agua en la porción del fondo. En cambio, a altos caudales de inyección, los gradientes de presión producidos sobrepasarán los efectos de la gravedad y podrá ser desplazada el agua de la totalidad de la sección vertical. Esta relación entre el desplazamiento vertical y los caudales de inyección permite el control del espesor vertical de la campana de gas, y por tanto la relación de volumen a área. Como la transmisión de calor al GNL almacenado es una función directamente proporcional al área, la selección del caudal de inyección de gas puede optimizar en primera aproximación la velocidad de revaporización.

La inyección de gas de purga puede continuarse hasta que se ha completado la campana de almacenamiento deseada. Alternativamente, no obstante, una vez que se ha inyectado un volumen suficiente de gas de purga para crear un tamaño de campana pre-determinado indicado por la línea de trazos 26 (quizás comprendido entre la mitad y la tercera parte del volumen de almacenamiento definitivo), puede cambiarse la inyección al GNL. El GNL desplazará al gas de purga por delante de él, con lo cual el gas de purga seguirá actuando como regulador entre el agua que se desplaza y el GNL extremadamente frío, y se evitará así la congelación del agua desplazable. Debe observarse que no se

271



desplazará el 100% del agua, ya que algo de agua se quedará atrás como agua residual, la cual, por supuesto, se congelará tan pronto como entre en contacto con el GNL. Sin embargo, esta saturación con agua residual es baja y no perjudica apreciablemente a la permeabilidad de la formación, El calor contenido en este agua residual y en la propia roca del depósito vaporizarán el GNL inyectado inicial y este gas vaporizado servirá como regulador adicional entre el GNL y las aguas desplazables.

10 El calor fluirá indefinidamente hacia el "foso frío" desde las formaciones suprayacentes y subyacentes, aunque a una velocidad gradualmente decreciente. A medida que el GNL inyectado se aproxima a la periferia de la campana, el agua no desplazada se congelará para rodear la campana de gas con una capa de contención de hielo 24, impermeable, constituida por la roca del depósito cuyos poros están llenos completamente de hielo. Con el tiempo, esta capa llegará a tener un espesor de varios cientos de metros.

20 Una vez que se ha creado la campana de almacenamiento y se han helado las paredes periféricas, la campana está lista para su utilización. Se inyecta intermitentemente GNL a medida que llegan los barcos, con extracciones más o menos continuas a medida que sea necesario. Preferiblemente se ganará de los estratos circundantes una cantidad de calor suficiente (principalmente de las formaciones suprayacente y subyacente) de tal manera que una parte del GNL inyectado se vaporice y se produzca vapor de gas natural junto con GNL en los pozos de producción 20 según se desee.

27 MAR



La mezcla de gas y gas natural licuado puede separarse por medio de instalaciones de separación gas-líquido. La porción gaseosa a temperaturas de distribución aceptables y enviarse directamente al sistema de distribución de gas. La porción líquida se puede enviar a equipos de revaporización convencionales y de allí al sistema de distribución. Durante los períodos de máxima demanda, el GNL se puede sacar también de los pozos de inyección 18 y 22 para aumentar la cantidad de GNL disponible.

Como el gas revaporizado tiende a buscar la parte superior de la formación y el GNL más pesado el fondo, puede ejercerse cierto control sobre la relación de gas a líquido que resulta de un pozo dado en un día dado empleando perfeccionamientos selectivos. Estos pueden comprender series dobles de perforaciones a través del extremo inferior del entubado del pozo (una serie cerca del extremo superior de la formación y la otra cerca del fondo de la misma) con un manguito obturador y desplazable apropiado, siendo otra disposición convencional una doble tubería (no representados).

La relación de GNL líquido a gas revaporizado extraídos en un día dado puede controlarse también por producción de pozos seleccionados, incluyendo el reflujo de los pozos de inyección. De esta manera el GNL revaporizado se puede retener, si se desea, en el depósito, con lo cual el equipo de revaporización de superficie puede hacerse trabajar a baja capacidad.

La presente solicitud que corresponde a la presentada en Estados Unidos de América el 15 de Marzo de 1.963, bajo el número 713.538, se acoge a los benefi-



cios del artículo 51 del vigente Estatuto sobre Propiedad Industrial.

REIVINDICACIONES

5 Los puntos de invención propia y nueva que se presentan para que sean objeto de esta solicitud de Patente de Invención en España, por VEINTE años, son los siguientes:

10 1.- Un método de almacenamiento de gas natural licuado a temperaturas criogénicas que comprende las etapas de introducir un gas de purga en un estrato subterráneo que contiene agua a una presión suficiente para desplazar el agua de un área predeterminada del estrato y a una temperatura superior al punto de congelación del agua de la formación, e introducir después el gas natural licuado en el área predeterminada para congelar de 15 este modo el agua que rodea el área predeterminada y formar una barrera impermeable a fin de impedir así el escape de los vapores de gas natural regasificado que se desprenden de dicho gas natural licuado.

20 2.- El método de acuerdo con la reivindicación 1 en el que dicha etapa mencionada en último lugar se inicia después que se ha introducido un volumen de gas de purga igual a un tercio hasta un medio del volumen de almacenamiento definitivo.

30 3.- El método de acuerdo con la reivindicación



ción 1, que incluye la etapa de extraer dicha agua despla-  
 zada al menos de un pozo en dicho estrato en un punto ale-  
 jado del punto de introducción de dicho gas de purga, y  
 detectar la presencia de gas de purga en el pozo lejano  
 5 de producción de agua a fin de averiguar y controlar la  
 forma de dicha área predeterminada.

4.- El método de acuerdo con la reivindica-  
 ción 3, que incluye la extracción de gas natural en esta-  
 do gaseoso de dicho estrato, una vez que ha sido absorbi-  
 10 do suficiente calor por dicho gas natural licuado de los  
 estratos que rodean dicha área predeterminada.

5.- El método de acuerdo con la reivindica-  
 ción 1 para almacenamiento y vaporización de gas licuado  
 subenfriado, que comprende las etapas de crear un vacío  
 15 de almacenamiento en una capa acuífera por introducción  
 de un gas de purga en la misma para desplazar el agua  
 de un área predeterminada de dicha capa acuífera, intro-  
 ducir el gas licuado subenfriado en dicho vacío de alma-  
 cenamiento para congelar así el agua en la capa acuífera  
 20 que rodea dicha área predeterminada, y extraer vapores  
 de dicho gas licuado de dicha área predeterminada una -  
 vez que ha sido absorbido suficiente calor por dicho gas  
 licuado de la capa acuífera que rodea dicha área prede-  
 terminada.

6.- El método de acuerdo con la reivindica-  
 ción 1 para almacenamiento y vaporización de gas natu-  
 25 ral licuado (GNL) suministrado en barco a una zona de  
 consumo a  $-161,5^{\circ}\text{C}$  y a la presión atmosférica, que com-  
 prende las etapas de perforar un primer pozo de inyec-  
 30 ción a través de una capa rocosa relativamente impermea-



ble hasta llegar a un estrato de arena que contiene agua  
situado inmediatamente debajo de aquélla, perforar una  
pluralidad de pozos de producción a través de dicho estrato  
rocoso hasta llegar a dicho estrato de arena aproxima-  
5 damente a la misma profundidad de dicho pozo de inyección,  
perforándose dichos pozos de producción según una disposi-  
ción prácticamente circular concéntrica a y separada de  
dicho pozo de inyección, perforar uno o más pozos de in-  
yección de GNL en estrecha proximidad a dicho primer pozo  
10 de inyección, inyectar un gas de purga a una temperatura  
superior a 0°C a través de dicho primer pozo de inyección  
para desplazar el agua del estrato de arena y producir al  
mismo tiempo agua en dichos pozos de producción para crear  
así un área predeterminada libre de agua en dicho estrato  
15 de arena, cerrar dichos pozos de producción una vez que  
se ha producido el cambio de producción de agua a gas de  
purga, introducir gas natural licuado a través de dichos  
pozos de inyección de GNL para congelar así el agua en  
dicho estrato que rodea dicha área predeterminada, y ex-  
20 traer gas natural gasificado de dicha pluralidad de pozos  
de producción.

7.- El método de acuerdo con la reivindica-  
ción 6, en el que la etapa de inyección del gas de purga  
se efectúa a una velocidad lo suficientemente lenta para  
25 crear un área predeterminada de gran diámetro y mínima  
profundidad libre de agua inmediatamente debajo de dicha  
capa rocosa impermeable, a fin de que se produzca una má-  
xima disipación del frío del GNL en el movimiento radial  
del GNL hacia fuera desde los pozos de inyección de GNL  
30 a los pozos de producción de gas.



8.- Un método de almacenamiento de gas natural licuado a temperaturas criogenicas.

Tal y como se ha descrito en la Memoria que antecede representado en los dibujos que se acompañan y para los fines que se han especificado.

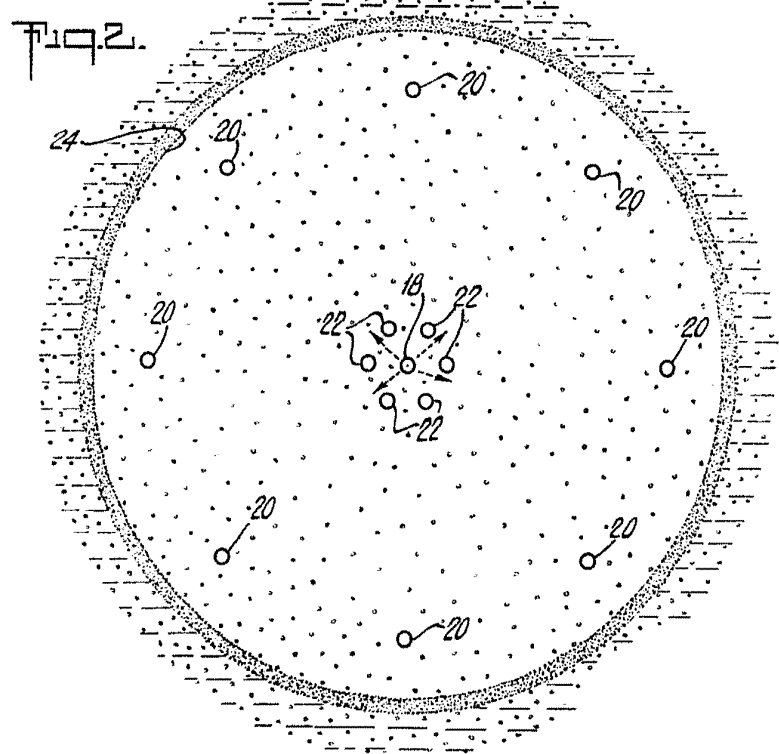
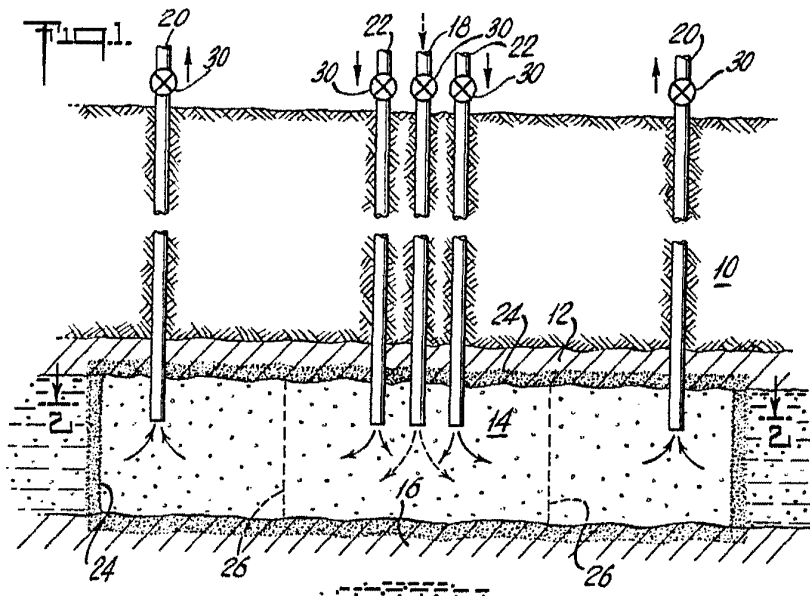
Esta Memoria consta de quince hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid, 27 MAR. 1969.

P.A.

Alberto de Elzaburu  
For Poder

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'A. de Elzaburu', written over the printed name.



Alberto de Siqueira  
Per Engineer