

74 OCT. 1963

P.- 25.044

K 3133 54



290228

290228

MEMORIA DESCRIPTIVA

que se presenta para unir a la solicitud

d e

P A T E N T E D E I N V E N C I O N

formulada el 23 de Julio de 1963, con el Núm. 290.228

e n

E S P A Ñ A

por VEINTE años

a nombre de VEHOC CORPORATION, entidad norteamericana, establecida en 247 Park Avenue, Nueva York, N.Y., Estados Unidos de América, por:

"UN METODO DE ALMACENAMIENTO PARA EL TRANSPORTE DE
GAS NATURAL"

La presente invención se refiere al almacenamiento y el transporte de gases naturales de hidrocarburos y, más en particular, a un método en el cual un gas natural está contenido en estado monofluido denso apropiado para el transporte, en particular marítimo, a un mínimo coste de compresión, refrigeración y envase por unidad de peso del gas.

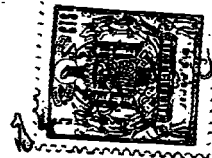
De los campos petrolíferos se toman enormes cantidades de gases hidrocarbureados, en regiones tan apartadas, por vía marítima, de los lugares de demanda que gran parte de aquellos no se han puesto hasta ahora en explotación y uso



comercial provechoso. Ciertos gases más pesados ricos en propano y/o butano se recuperan a veces y transportan en forma líquida (PGL, o productos gaseosos licuados), pero los gases naturales más ligeros, consistentes principalmente en metano, se separan con suma frecuencia por vaporización instantánea y se queman o escapan a la atmósfera en la boca del pozo. Es objeto general de esta invención un método nuevo y perfeccionado para almacenar y transportar estos gases de hidrocarburo más ligeros, ricos en metano, y así poner su enorme potencial energético a disposición de posibles consumidores en todas las partes del mundo. En particular, el nuevo método está destinado y pensado para el empleo de buques, mediante los cuales se puede transportar el gas al por mayor.

Ya antes de ahora se han propuesto varios métodos para el almacenamiento y transporte de gases hidrocarbonados ligeros ricos en metano, pero ninguno de ellos ha resultado enteramente satisfactorio. Un enfoque bastante común de la cuestión ha sido el de licuar el gas a la extremadamente baja temperatura (-161°C) a la cual se licúa el metano puro a la presión atmosférica. Aun cuando este concepto de la licuefacción del gas natural rico en metano produce un aumento de densidad de 600 veces, el coste de la refrigeración del gas en cantidades industriales es virtualmente prohibitivo en la mayoría de las aplicaciones prácticas.

Dicho en términos generales, la invención proporciona un método de almacenamiento para el transporte de un gas natural que contiene al menos 50% molar de metano y al menos 75% molar de metano más etano, siendo el resto hidrocarburos más pesados y hasta 20% molar de componentes inertes, y de



un poder calorífico superior comprendido entre 7120 kcal/m³ normales y 16.020 kcal/m³ normales. (El poder calorífico "superior" es el que se quiere dar en todas las referencias a índices caloríficos que siguen.) Las etapas del método son, en general, las de comprimir y refrigerar el gas hasta un estado de trabajo caracterizado por ciertos límites de presión y temperatura. La máxima temperatura de trabajo es 11°C menor que la temperatura ambiente, pero no superior a 0°C. La mínima temperatura de trabajo es aproximadamente la temperatura crítica del metano. La máxima presión de trabajo es 35 kg/cm² superior a la presión del punto de burbujeo-punto de rocío del gas para temperaturas de trabajo menores que la del punto de presión de condensación crítica del gas, y es 35 kg/cm² superior a la del punto de presión de condensación crítica del gas para temperaturas de trabajo superiores a la del punto de presión de condensación crítica del gas. La mínima presión de trabajo es de 3,5 kg/cm² por encima de la del punto de burbujeo-punto de rocío del gas para temperaturas de trabajo inferiores a la del punto de temperatura de condensación crítica del gas, y superior en 3,5 kg/cm² a la presión del punto de temperatura de condensación crítica del gas para temperaturas de trabajo superiores a la del punto de temperatura de condensación crítica del gas. Así comprimido y refrigerado el gas, se le contiene o almacena en el estado de trabajo para impedir la expansión del gas. A continuación, el gas almacenado se aísla térmicamente contra infiltraciones de calor al interior del gas de modo que éste quede en el estado de trabajo durante todo el tiempo en que permanece almacenado. Como consecuencia, el gas se mantiene en fase monoflúida densa sin merma o bol-



sa de vapor sobre el líquido, apropiada para el transporte con un coste mínimo de compresión, refrigeración y almacenamiento o envase por unidad de peso del gas.

5 Con el término "gas natural", tal como aquí se usa en relación con el método del presente invento, se pretende dar a entender las mezclas de gases hidrocarburados que contienen al menos 50 moles por ciento de metano y por lo menos 75 moles por ciento de metano más etano, en unión de propano y butano y, en la mayoría de los casos, algunos hidrocarburos más pesados y componentes inertes. Tales gases tienen un poder calorífico superior comprendido entre 7120 kcal/m³ y 16.020 kcal/m³. En esta definición del término se incluyen los gases de boca de pozo, gases separados del petróleo bruto en la boca del pozo, y los gases de colas de las refineries de petróleo y de otras instalaciones de tratamiento; pero se excluyen las mezclas de propano y butano usualmente manejadas en estado líquido como "PGL" (producto gaseoso licuado), y las soluciones, de preparación artificial, de metano puro disuelto en un portador más pesado, tal como el

10

15

20 etano.

Por lo tanto, hay varios gases naturales adecuados para la práctica de esta invención. Por ejemplo, un gas del Sahara, de una temperatura crítica de -47,2°C y una presión crítica de 78 ata (atmósferas absolutas), con un poder calorífico de 10.680 kcal/m³, tiene la siguiente composición, en moles por ciento:

25

metano	83,92
etano	7,83
propano	3,17
isobutano	0,87

30

230228



	butano normal	1,08
	isopentano	0,55
	pentano normal	0,41
	hexano	0,52
5	inertes	1,65

En cambio, un gas venezolano típico, de una temperatura crítica de $-12,2^{\circ}\text{C}$ y una presión crítica de 81,8 ata, con un poder calorífico de 13.653 kcal/m^3 , tiene la siguiente composición en moles por cien:

10	metano	61,37
	etano	16,84
	propano	11,68
	isobutano	1,53
15	butano normal	4,29
	isopentano	0,84
	pentano normal	1,39
	hexano	0,61
	inertes	1,45

20 Almacensando gas natural en el estado de trabajo indicado, su densidad puede llegar a aumentarse en grandísima proporción, con un mínimo sorprendente de costes de compresión y refrigeración. Como consecuencia, el gas es susceptible de ser transportado, en particular por vía marítima, con un gasto mucho menor que recurriendo a los procedimientos usuales de licuefacción a presión atmosférica.

25 La compresión y refrigeración previstas son particularmente favorables para el transporte de gases ricos en hidrocarburos que tienen temperaturas críticas relativamente elevadas (por ejemplo, de -45°C con 10.680 kcal/m^3

290228



a $-17,8^{\circ}\text{C}$ con 13.350 kcal/m^3), en tanto que con los procedimientos de licuefacción conocidos no es económico transportar mucho propano, butano o pentano junto con el metano, debido al despilfarro que representa tener que refrigerar con exceso estos componentes. Como todos los gases asociados y gran parte del gas "de campo seco" son ricos en estos hidrocarburos más pesados, el presente método es de gran importancia comercial, por la economía que representa con sus mayores temperaturas y menores presiones de trabajo, mientras permite transportar los valiosos componentes más pesados al mercado para su separación después del transporte. Incluso gases más pobres (de 7120 a 10.680 kcal/m^3) pueden transportarse más económicamente por el método de la invención cuando el viaje sea relativamente corto (de menos de 3.300 kms), debido a que el bajo coste fijo de refrigeración, que es independiente de la distancia, compensa con mucho los mayores costes de almacenamiento a bordo correspondientes a las superiores presiones necesarias y a las menores densidades absolutas.

El método de la invención puede comprenderse mejor por referencia al dibujo adjunto, que es un diagrama de presión-temperatura de un gas natural representativo, donde se ilustra el estado de trabajo previsto.

En este diagrama no se dan valores absolutos, pero la forma de las distintas curvas ilustra la composición de un gas natural típico del tipo antes descrito. La curva ABCDE define la envolvente dentro de la cual el gas existe en dos fases, parte líquida y parte de vapor. El punto A indica la temperatura de licuefacción del gas a la presión atmosférica y que, en términos absolutos, pudiera ser aproximadamente

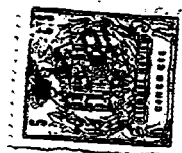
29 0228



de -161°C . El punto B es el punto crítico verdadero del gas, en el cual convergen las diversas líneas de concentraciones uniformes de líquido y de vapor dentro de la región bifásica de la envolvente. El punto C es el de presión de condensación crítica ("cricondenbar") del gas, y marca el punto de máxima presión, independientemente de la temperatura, en el cual puede existir la condición bifásica. El punto D es el de temperatura de condensación crítica ("criconden-therm") del gas e indica el punto de máxima temperatura, independientemente de la presión, para el cual puede existir la condición bifásica.

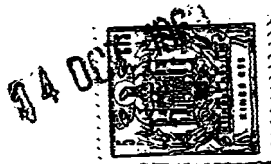
Desde A a B la curva envolvente se conoce en general con el nombre de línea de los puntos de burbujeo, ya que señala aquellos estados definidos de equilibrio en los que empezará a aparecer vapor, por ejemplo, durante la expansión isotérmica del gas. Desde el punto crítico B al punto E de la envolvente, la curva describe lo que comúnmente se denomina línea de los puntos de rocío, en los que el líquido empieza a condensarse, por ejemplo, durante el enfriamiento isobárico del gas. Los puntos críticos de los gases naturales representativos que se prevén para su empleo con este método son los de presiones de unas 46 a 136 ata y temperaturas de aproximadamente -87° a $+79^{\circ}\text{C}$.

Dentro de la envolvente bifásica ABCDE puede decirse con propiedad que el gas existe como "líquido" y "vapor"; pero fuera de la envolvente sólo puede describirse como "fluido" compresible, independientemente de la presión y de la temperatura, ya que su estado físico varía solamente en relación con su densidad. Así, si el gas es comprimido desde el punto X al Y, y luego enfriado al Z, su densidad



variaría gradualmente sin producirse un claro y definido cambio de fase. Sólo cuando las variaciones de temperatura y presión del gas se realicen de modo que se atravesase o cruce la envolvente de la zona bifásica (por ejemplo, directamente entre X y Z), es posible notar claramente la creación de un estado en parte líquido y en parte vapor. Por consiguiente, el comportamiento del gas natural se designa aquí como de un "fluido" siempre que sea al exterior de la región bifásica de la envolvente; y esto es lo que se quiere dar a entender al hablar de fluido monofásico, compresible.

En la forma más amplia del nuevo método, el gas es comprimido y refrigerado hasta llevarlo a un estado de trabajo circunscrito por las líneas de trazo interrumpido que van uniendo los puntos 1 a 13 inclusive del diagrama. Así, el gas ha de ponerse a una temperatura inferior a la correspondiente a la línea de trazo interrumpido que une los puntos 7 a 9 del diagrama, que no ha de ser mayor de 0°C y en ningún caso de más de 11° por bajo de la temperatura ambiente. Al hablar de "temperatura ambiente" se quiere significar la existente en el entorno que rodea al punto en que el gas es comprimido y refrigerado hasta llevarlo al estado de trabajo. Por lo tanto, hace falta alguna refrigeración en todas las formas del método previsto, aunque sólo sea con el trabajo de expansión al ir introduciendo el gas en los recipientes de almacenamiento. El diagrama indica asimismo la mínima temperatura de trabajo, por medio de la línea de trazo interrumpido 13-1, que es la temperatura crítica del metano (-82,2°C). En ningún caso debe refrigerarse el gas por bajo de unos 82,2°C, en este nuevo método de almacenamiento para el transporte, porque los costes de refrigeración empiezan



a subir rápidamente, la ganancia de densidad decae, y el coste de los recipientes metálicos con el grado necesariamente elevado de tenacidad con muesca aumenta notablemente para temperaturas inferiores a las de esta región.

5 La presión mínima de trabajo prevista por esta invención está representada en el diagrama por la línea de trazo interrumpido que une los puntos 1 a 7. No es nunca de menos de $3,5 \text{ kg/cm}^2$ por encima de la presión del punto de burbujeo-punto de rocío del gas para temperaturas menores que la del punto D de temperatura de condensación crítica ; y, para temperaturas superiores a la del punto D de temperatura de condensación crítica, la máxima presión de trabajo está a $3,5 \text{ kg/cm}^2$ por encima de la presión correspondiente al punto de temperatura de condensación crítica.

10 Esta última será un límite inferior efectivo de presión solamente cuando la envolvente ABCDE de la zona bifásica no haga sobresalir su punto D de temperatura de condensación crítica más allá de la línea de máxima temperatura 7 a 9, lo cual puede suceder o no, según la composición del gas.

15 Es de notar que el punto 6 del diagrama no está realmente en la curva envolvente, sino más bien marca un punto de igual temperatura que el D de temperatura de condensación crítica, pero a $3,5 \text{ kg/cm}^2$ por encima de éste; y por lo tanto el punto 6 está fuera de la envolvente.

20

25 Este parámetro de mínima presión da la seguridad de que el gas será siempre almacenado y transportado en el estado de fluido monofásico compresible, evitándose la entrada en la zona bifásica circunscrita por la envolvente ABCDE, donde empezaría a aparecer una zona interfacial de líquido y vapor.

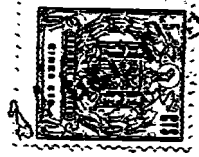
30

29 0228



por sobre el líquido ni la consiguiente desventaja de ensuciamiento del líquido; y en realidad no es necesario que las haya con el presente método (como las hay con los métodos GNL y PGL, esto es, con el gas natural licuado y el producto gaseoso licuado), porque una elevación de temperatura es compensada por una tolerable elevación de la presión en el estado fluido monofásico altamente compresible. Además del problema de ensuciamiento del líquido, el trabajar con mermas o bolsas de vapor en la región bifásica tiene el inconveniente de haber densidades de gas muy reducidas, que impiden el pleno aprovechamiento de costosos recipientes.

La máxima presión de trabajo, en la forma amplia o general del método, se representa en el diagrama por medio de la línea de trazo interrumpido que une los puntos 9 a 13. Para temperaturas inferiores a la del punto C de presión de condensación crítica, el límite superior de presiones está a 35 kg/cm² por encima de la línea del punto de burbujeo-punto de rocío. El límite continúa, para temperaturas de trabajo superiores a la del punto C de presión de condensación crítica, a 35 kg/cm² por encima de la presión correspondiente al punto de presión de condensación crítica del gas. Este límite superior de la presión de trabajo no ha de sobrepasarse, porque por encima de él los costes de compresión, refrigeración y almacenamiento del gas se hacen del todo antieconómicos. Asimismo, los aumentos relativamente pequeños de temperatura por encima de la línea 9 a 13 producen unos aumentos extraordinariamente elevados de presión dentro de un volumen fijo, lo que no sucede por bajo de la línea de presión máxima, y ello puede representar un efecto



peligroso si en el gas almacenado llegara a infiltrarse una cantidad de calor apreciable.

Esta forma amplia de realización del método puede emplearse para el transporte de un gas natural por vía marítima, Una vez llevado el gas al estado de trabajo, puede ser cargado en multitud de recipientes o botellas de metal, a presión, estrechamente apilados en las bodegas de grandes buques rápidos o de gabarras. Estos recipientes son interiormente resistentes a la temperatura y presión de trabajo elegidas. Las bodegas deben estar aisladas interiormente por todas partes, a fin de mantener el gas y sus recipientes esencialmente a la temperatura de carga durante todo el viaje de suministro, y de mantener también cerca de dicha temperatura los recipientes esencialmente vacíos, durante el viaje de retomo. En todo momento, durante la carga y descarga de los recipientes, el gas es mantenido en la condición de fluido monofásico compresible que caracteriza el estado de trabajo, a fin de asegurar la uniformidad de composición y el mínimo de efectos de temperatura no deseables. Como el gas se prepara del mejor modo a un régimen o velocidad relativamente constante para tal embarque, y se entrega con caudales igualmente uniformes a los consumidores, se dispone de uno de los buques, de preferencia, para cargar en todo momento mientras el otro está descargando y el resto de la flota va y viene entre los dos puertos terminales. Así, pues, se necesitan por lo menos cuatro buques. Con ello se evitan los costes y las dobles operaciones de carga y descarga a base de los depósitos estáticos de almacenamiento que de otro modo se necesitarían en ambos puertos. No se excluye, naturalmente, este sistema de almacenamiento cuando las condicio-



nes de emplazamiento y las circunstancias especiales, tales como el suministro a varios puntos terminales, lo aconsejan. En algunos casos, puede ser provechoso añadir propano a un gas natural más pobre, antes de su embarque, a fin de obtener para la mezcla una temperatura crítica más alta, y reducir así la presión de trabajo para la temperatura de trabajo elegida, separándose el propano luego, a la entrega, y devolviéndose en el buque al puerto de carga para nuevo uso.

Utilizando esta forma amplia del método de la invención para el transporte de gas natural por vía marítima se tiene además otra ventaja, en comparación con los métodos usuales de transporte de PGL y GNL. Debido a las relativamente altas temperaturas del presente método, se reduce grandemente la infiltración de calor, durante el viaje, en el gas almacenado, necesitándose mucho menos aislamiento, costoso tanto por sí mismo como por su volumen y peso. La magnitud secundaria, de infiltración de calor que realmente ocurre se puede contrapesar totalmente mediante el uso de parte del cargamento de gas como combustible para el buque o bien, si el combustible líquido es más barato, dando un poco más de refrigeración inicial. En todo caso, nunca hay necesidad de una refrigeración positivamente inducida en el cargamento gaseoso a bordo del buque, ni de dar escape a la atmósfera al gas vaporizado.

Dentro de los amplios límites de variación de temperaturas y presiones máximas y mínimas citados más arriba, las consideraciones económicas aplicables en la práctica del método pueden aconsejar el trabajo a la más baja temperatura compatible con que las botellas sean de acero poco aleado.



Por consiguiente, puede decirse que hay un margen preferido de temperaturas de trabajo que va desde -45°C a -62°C , temperatura esta última que se halla suficientemente por encima (en unos 19°C) de la temperatura de ductilidad nula para materiales tales como el acero al 1% o 2% de níquel, templado y revenido para asegurar una resistencia de rotura a la tracción próxima a los 8450 kg/cm^2 . Este material tiene una limitación en espesor, de unos 19 mm, y con un coeficiente de seguridad a la tracción de 3,2 se limita la presión de trabajo, por consiguiente, a unas 91 ata con recipientes de gas que tienen un diámetro exterior de 107 cm. lo cual es típico de las presentes limitaciones de proyecto para "tuberías de conducción". Para gases muy pobres, ello limita la presión de trabajo a unas 108 ata con recipientes para gas que tienen un diámetro de 76,2 cm.

Las condiciones óptimas de trabajo dentro de estos límites en la práctica dependerán de la composición de la mezcla a transportar, oscilando la presión de trabajo preferida entre un mínimo de unas 40 ata para un gas de 15.580 kcal/m^3 y unas 75 ata para un gas de 10.680 kcal/m^3 o unas 122 ata para un gas de 8010 kcal/m^3 que contenga una proporción de inertes relativamente grande. La mínima temperatura de -62°C de este margen preferido está tan por bajo de la crítica de los gases muy ricos que el líquido es relativamente menos compresible, y el trabajo muy por cima de la presión del punto de burbujeo es menos económica. Por otra parte, un gas muy pobre puede realmente estar por encima de su temperatura crítica a -62°C , y en este caso es aconsejable trabajar a una presión próxima al punto de máxima compresibilidad (tal como se describe más adelante con mayor detalle). Los casos in-

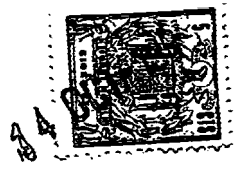


termedios, con gases de temperatura crítica no muy superior a los -62°C , ponen de manifiesto una tan gran compresibilidad que con una presión muy por encima de la del punto de burbujeo se reducirán costes enormemente.

5 Así descritos los estados generales de trabajo previstos en el presente método, y también la relativamente estrecha región de temperaturas de trabajo de aquellos, conviene ahora prestar cierta atención a las subdivisiones básicas del estado operativo que se distingue por el
10 trabajo por encima y por debajo de la temperatura crítica del gas. En una de las formas de este nuevo método, el gas es refrigerado y comprimido a un estado de trabajo en el que la máxima temperatura de trabajo es la temperatura crítica del gas, y la mínima temperatura de trabajo es de unos
15 -68°C . Dentro de estos límites de temperatura, la presión de trabajo puede variar según la composición de la mezcla de gases, pero en todos los casos estará al menos $3,5 \text{ kg/cm}^2$ por encima de la del punto de burbujeo del gas a la temperatura de trabajo, y a no más de 35 kg/cm^2 por encima de
20 la del punto de burbujeo del gas a la temperatura de trabajo.

 En el diagrama adjunto de presiones y temperaturas se indican estos límites. La máxima temperatura de trabajo viene representada por la línea de trazo interrumpido que
25 une los puntos 3 y 11; la mínima temperatura de trabajo está indicada por la línea de trazo interrumpido que une los puntos 2 y 12; la máxima presión de trabajo está indicada por la línea de trazo interrumpido que une los puntos 11 y 12; y la mínima presión de trabajo está señalada por la línea
30 de trazo interrumpido que une los puntos 2 y 3.

29 0228



5
10
15
20
25
30

Al restringir de esta manera la temperatura de trabajo por debajo de la temperatura crítica del gas, es preferible lograr un aumento de densidad del gas de 350 a 400 veces respecto a su densidad a la presión y temperatura atmosféricas. Por ejemplo, un gas rico de 13,650 kcal/m³ y 0,9 de densidad (respecto al aire) a -59°C tiene una presión de punto de burbujeo de unas 44 ata, y se cargaría de preferencia a una presión de 51 ata para dar un peso específico de 433 kg/m³, que es 388 veces su densidad o peso específico normal y aproximadamente igual a la del gas natural normalmente pobre, licuado por refrigeración sola, a esencialmente la presión atmosférica. En cambio, un gas pobre de 9600 kcal/m³ y 0,67 de densidad pediría una presión de trabajo de unas 92 ata a -59°C, dando aproximadamente 288 kg/m³ de peso específico, esto es, 350 veces más.

En otra forma de ejecución del nuevo método, la temperatura mínima de trabajo es la crítica del gas, y la temperatura máxima de trabajo es 11°C menos que la del ambiente, pero no superior a 0°C. Estos límites superior e inferior de temperatura vienen indicados respectivamente por las líneas de trazo interrumpido que en el diagrama unen los puntos 7, 8 y 9 y los puntos 3 y 11, respectivamente. La presión de trabajo puede aquí también variar entre estos límites, según la composición de la mezcla de gases, pero en ningún caso excederá de 35 kg/cm² de la presión del punto de rocío del gas a temperaturas de trabajo inferiores a la del punto de presión de condensación crítica del gas, ni en 35 kg/cm² por encima de la presión correspondiente al punto de presión de condensación crítica del gas para una temperatura de trabajo superior a la del punto de pre-

29 0228



C. 10

5
10
15
20
25
30

si3n de condensaci3n cr3tica del gas. Relacionando esto con el diagrama citado, la l3nea de trazo interrumpido que une los puntos 10 y 11 indica la m3xima presi3n para las temperaturas de trabajo, en esta forma del m3todo, inferiores a la del punto C de presi3n de condensaci3n cr3tica, y la l3nea de trazo interrumpido que conecta los puntos 9 y 10 indica la m3xima presi3n para trabajar a temperaturas superiores a la del punto C de presi3n de condensaci3n cr3tica. La presi3n m3nima de trabajo, en esta forma de realizaci3n, es de 3,5 kg/cm² por encima de la del punto de roc3o del gas para temperaturas de trabajo inferiores a la del punto de temperaturas de condensaci3n cr3tica del gas, y es superior en 3,5 kg/cm² a la correspondiente al punto de temperatura de condensaci3n cr3tica del gas para temperaturas de trabajo superiores a la del punto de temperatura de condensaci3n cr3tica del gas. Relacionando tambi3n esto con el diagrama, la l3nea de trazo interrumpido que une los puntos 3 a 6 indica la presi3n m3nima para temperaturas de trabajo inferiores a la del punto D de temperatura de condensaci3n cr3tica, y la l3nea de trazo interrumpido que une los puntos 6 y 7 indica la presi3n m3nima para temperaturas de trabajo superiores a la del punto D de temperatura de condensaci3n cr3tica. Como m3s arriba se ha indicado, la presi3n m3nima se3alada por la l3nea de trazo interrumpido que une los puntos 6 y 7 puede no tener efecto en el caso de que el punto D de temperatura de condensaci3n cr3tica del gas llegue m3s all3 del l3mite superior de temperaturas indicado por la l3nea de trazo interrumpido que une los puntos 7, 8 y 9.

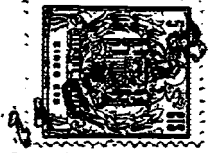
En esta forma del m3todo en la que la temperatura de

29 0228



trabajo está por encima del punto crítico B, hay todavía otro parámetro que establece una región de trabajo particularmente ventajosa. Se prefiere que la presión de trabajo sea aproximadamente aquella a la cual, durante la compresión isotérmica a la temperatura de trabajo, el aumento porcentual de densidad o peso específico del gas es igual al aumento porcentual de presión del gas, y la compresibilidad del gas es máxima. Si se representan gráficamente estas regiones de presión para diversas temperaturas, quedarán a lo largo de un lugar geométrico que tiene como perfil típico la línea de trazo interrumpido que une los puntos 4 y 8. La compresibilidad del gas, por consiguiente, es máxima a lo largo de la línea de presiones óptimas, y su factor "Z", para una temperatura dada, es mínimo. Siendo esto así, es preferible que la temperatura del gas se encuentre en el área general de esta línea de máxima compresibilidad, habida cuenta del tamaño del recipiente y de la resistencia a la tracción con el coeficiente de seguridad reglamentario. Si se hace esto, y la temperatura de trabajo está por encima de la crítica, pero por bajo de -45°C , la densidad de la mezcla, excluidos los inertes, aumenta a unas 300 a 350 veces la correspondiente a la presión y temperatura atmosféricas.

Para una mejor comprensión del invento, se da acto seguido una descripción del método en su aplicación al transporte por mar del gas venezolano de 13.653 kcal/m^3 antes mencionado. Este gas se lleva por tubería desde la boca del pozo, en unión del petróleo bruto a él asociado, y se suministra a una instalación separadora. En ésta se separa el gas del petróleo bruto por vaporización instantánea en tres



etapas de presión descendente, y se deshidrata por un procedimiento a base de tamiz molecular. La temperatura del tratamiento de deshidratación es aproximadamente de 49°C. Después de la deshidratación, el gas se comprime a 120 ata en unos compresores centrífugos. Después de esta compresión se enfría el gas a 40°C, con lo que a esta presión se mantiene el gas completamente en fase de monofluido.

Como el método de la invención prevé en particular el transporte del gas natural por vía marítima, puede ser necesario llevar el gas desde la instalación de compresión y deshidratación, por medio de una tubería de conducción, a una plataforma de carga de buques. Según las condiciones topográficas del terreno donde se ponga en práctica el método de la invención, esta tubería de conducción puede atravesar tierra o mar, o ambas. Una vez llegado el gas a la plataforma de carga, se reduce en presión y temperatura a unas 100 ata y 27°C, continuando todavía en fase monofluida. A continuación, el gas se refrigera y se expande a su estado de trabajo, de 65 ata y -45°C y densidad de 0,0396 gr/cm³. Como refrigerante es adecuado el propileno, que se vaporiza a la presión atmosférica y -47,8°C. A partir de ese estado de vaporizado, el propileno se comprime a 17,5 ata y se condensa al estado líquido a 40°C.

Los buques utilizados para transportar gas con arreglo a esta invención pueden llevar en sus bodegas un gran número de botellas tubulares con tapón por ambos extremos. Una de estas botellas puede tener un diámetro exterior de 106,5 cm, un espesor de pared de 1,35 cm y una longitud de 15 metros. Al terminarse la etapa de expansión y refrigeración en la plataforma de carga de buques, el gas se hace pa-

14 OCT 1953

5 sar al interior de estas botellas en la bodega, térmicamente aislada, de un buque. El cargamento de gas contenido en las botellas se halla a una presión de 65 ata y a -45°C , y durante un viaje de varios días esta temperatura subirá tan sólo en alrededor de 1°C , sin tener refrigeración positiva. La ligera expansión o dilatación térmica que tiene lugar puede compensarse utilizando el cargamento de gas como combustible para los motores diesel del buque. Así, el gas contenido en las botellas puede estar a una temperatura de -44°C y una presión de unas 60 ata cuando el buque llegue a su puerto de destino. Un solo buque, por ejemplo, puede transportar 17.000 toneladas de este gas de 13.653 kcal/m^3 , de esta manera, y una vez descargado pueden quedar en los recipientes 454.000 kg a 9,75 ata y -50°C . Teniendo en cuenta cierta pequeña infiltración de calor durante el viaje de retorno y el consumo de combustible en tránsito, el buque puede regresar al punto de carga con 160.000 kg del gas en sus recipientes, a 3,5 ata y -43°C .

20 El gas natural transportado con arreglo a esta invención puede separarse, en el punto de destino, esencialmente en metano para suministro continuo a un sistema de transmisión, y colas más pesadas tales como etano, PGL (producto gaseoso licuado) y gasolina natural, que se pueden trasladar por medio de tuberías de conducción aparte a unas áreas de utilización. En virtualmente todos los casos, el coste neto para el consumidor de gas natural y sus componentes almacenados y transportados en largas distancias con arreglo a este método es esencialmente menor que con cualquier otro procedimiento de transporte marítimo de gas, hasta ahora co-

25

30



nocido.

Esta solicitud que corresponde a las presentadas en Gran Bretaña el 25 de Julio de 1962, bajo el Núm. 28664/62 prov. y 19 de Diciembre de 1962, bajo el Núm. 48003/62 prov., se acoge a los beneficios del artículo 51 del vigente Estatuto sobre Propiedad Industrial.

- N O T A -

10

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:

15

1º.- Un método de almacenamiento para el transporte de gas natural que contiene por lo menos 50 moles por ciento de metano y por lo menos 75 moles por ciento de metano mas etano, siendo el resto hidrocarburos, mas pesados, y hasta 20 moles por ciento de constituyentes inertes, y teniendo un poder calorífico superior de 7.150 kcal/m³ normales a 16100 kcal/m³ normales, que comprende: a) comprimir y refrigerar dicho gas hasta un estado de trabajo en que la máxima temperatura de trabajo es 11°C menor que la temperatura ambiente, pero no superior a 0°C; la mínima temperatura de trabajo es aproximadamente la temperatura crítica del metano; la máxima presión de trabajo es 35 kg/cm² por encima de la presión del punto de burbujeo, punto de rocío del gas para temperaturas de trabajo menores que el punto de presión de condensación crítica del gas, y es 35 kg/cm² superior al punto de presión de condensación crítica

20

25

30



5
10
15
20
25
30

tica del gas para temperaturas de trabajo mayores que el punto de presión de condensación crítica del gas; la mínima presión de trabajo es $3,5 \text{ kg/cm}^2$ por encima de la presión del punto de burbujeo y punto de rocío del gas para temperaturas de trabajo menores que el punto de temperatura de condensación crítica del gas y es $3,5 \text{ kg/cm}^2$ superior al punto de temperatura de condensación crítica del gas para temperaturas de trabajo mayores que el punto de temperatura de condensación crítica del gas; b) alojar dicho gas en el estado de trabajo para impedir la expansión de dicho gas; c) aislar térmicamente el gas almacenado contra fugas sustanciales de calor al interior de dicho gas de forma que permanezca en dicho estado de trabajo durante la duración de su almacenamiento; d) con lo que el gas se mantiene en una fase exclusivamente monofluída, densa, sin bolsas de vapor sobre el líquido, apropiada para el transporte con gastos mínimos de compresión, refrigeración y almacenamiento por unidad de peso del gas.

2º.- Un método de almacenamiento de un gas natural de acuerdo con el punto 1 en que las temperaturas de trabajo máxima y mínima son -46°C y -62°C respectivamente.

3º.- Un método de almacenamiento de un gas natural de acuerdo con el punto 2 en que la densidad del gas en el estado de trabajo es de 300 a 400 veces mayor que su densidad a la presión y temperatura atmosféricas.

4º.- Un método de almacenamiento de gas natural de acuerdo con el punto 1 en que dicho gas se almacena en dicho estado de trabajo en una multiplicidad de recipientes metálicos resistentes a la presión y temperatura de trabajo elegidas, y dichos recipientes estan rodeados por aislamien-



to térmico y son transportados por barco.

5 5º.- Un método de almacenamiento de gas natural de acuerdo con el punto 4, en que dicho gas se carga y se descarga de 4, por lo menos, de dichos barcos sucesivamente a una velocidad substancialmente uniforme sin almacenamiento estático en los puntos de carga y descarga.

10 6º.- Un método de almacenamiento para el transporte de un gas natural que contiene por lo menos 50 moles por ciento de metano y por lo menos 75 moles por ciento de metano más etano, siendo el resto hidrocarburos más pesados, y hasta 20 moles por ciento de constituyentes inertes, y que tiene un poder calorífico superior de 7150 kcal/m³ normales a 16100 kcal/m³ normales, que comprende: a) comprimir y refrigerar dicho gas hasta un estado de trabajo en que la máxima temperatura de trabajo es la temperatura crítica del gas; 15 la mínima temperatura de trabajo es aproximadamente -68°C; la máxima presión de trabajo es 35 kg/cm² por encima de la presión del punto de burbujeo del gas a la temperatura de trabajo; y la mínima presión de trabajo es 3,5 kg/cm² por encima de la presión del punto de burbujeo del gas a la temperatura de trabajo; b) almacenar dicho gas en el estado de trabajo para evitar la expansión de dicho gas; c) aislar térmicamente el gas almacenado contra fugas substanciales de calor al interior de dicho gas de forma que permanezca en dicho estado de trabajo durante la duración de su almacenamiento; 20 d) con lo que el gas se mantiene en una fase monoflúida, densa, sin bolsas de vapor sobre el líquido, apropiada para el transporte con gastos mínimos de compresión, refrigeración y almacenamiento por unidad de peso del gas.

30 7º.- Un método de almacenamiento de un gas natural de



acuerdo con el punto 6, en que la densidad del gas en el estado de trabajo es de 350 a 400 veces mayor que su densidad a la presión y temperatura atmosféricas.

5 8º.- Un método de almacenamiento de gas natural de acuerdo con el punto 6, en que dicho gas está almacenado en dicho estado de trabajo en una multiplicidad de recipientes metálicos resistentes a la temperatura y presión de trabajo elegidas, y dichos recipientes están rodeados por aislamiento térmico y son transportados en barco.

10 9º.- Un método de almacenamiento de gas natural de acuerdo con el punto 8, en que dicho gas se carga y descarga de 4, por lo menos, de dichos barcos sucesivamente a una velocidad substancialmente uniforme sin almacenamiento estático en los puntos de carga y descarga.

15 10º.- Un método de almacenamiento para el transporte de un gas natural que contiene por lo menos 50 moles por ciento de metano y por lo menos 75 moles por ciento de metano más etano, siendo el resto hidrocarburos más pesados, y hasta 20 moles por ciento de constituyentes inertes, y
20 teniendo un poder calorífico superior de 7150 kcal/m^3 normales a 16100 kcal/m^3 normales, que comprende: a) comprimir y refrigerar dicho gas hasta un estado de trabajo en que la máxima temperatura de trabajo es 11°C menor que la temperatura ambiente pero no superior a 0°C ; la mínima temperatura
25 de trabajo es la temperatura crítica del gas; la máxima presión de trabajo es 35 kg/cm^2 superior a la presión del punto de rocío del gas para temperaturas de trabajo inferiores al punto de presión de condensación crítica del gas y 35 kg/cm^2 superior al punto de presión de condensación crítica del gas
30 para temperaturas de trabajo superiores al punto de presión



de condensación crítica del gas; y la mínima presión de trabajo es $3,5 \text{ kg/cm}^2$ superior a la presión del punto de rocío del gas a temperaturas de trabajo inferiores al punto de temperatura de condensación crítica del gas y es $3,5 \text{ kg/cm}^2$ superior al punto de temperatura de condensación crítica del gas para temperaturas de trabajo superiores al punto de temperatura de condensación crítica del gas; b) almacenar dicho gas en el estado de trabajo para impedir la expansión de dicho gas; c) aislar térmicamente el gas almacenado contra fugas substanciales de calor al interior de dicho gas de forma que permanezca en dicho estado de trabajo durante la duración de su almacenamiento; d) con lo que el gas se mantiene en una fase monoflúida, densa, sin bolsas de vapor sobre el líquido, apropiada para el transporte con costes mínimos de compresión, refrigeración y almacenamiento por unidad de peso de gas.

11º.- Un método de almacenamiento de gas natural de acuerdo con el punto 10 en que la presión de trabajo es aproximadamente aquella a la que, durante la compresión isotérmica a la temperatura de trabajo, el aumento en tanto por ciento de la densidad del gas es igual al aumento en tanto por ciento de la presión del gas y la compresibilidad del gas es máxima.

12º.- Un método de almacenamiento de un gas natural de acuerdo con el punto 11 en que la máxima temperatura de trabajo es -46°C y la densidad del gas en el estado de trabajo excluidos los elementos inertes es de 300 a 350 veces mayor que su densidad a la presión y temperatura atmosféricas.

13º.- Un método de almacenamiento de gas natural de

290228



g. P. 10. 10

5

acuerdo con el punto 10 en que dicho gas se almacena en dicho estado de trabajo en una multiplicidad de recipientes de metal resistentes a la temperatura y presión de trabajo elegidas, y dichos recipientes están rodeados por un aislamiento térmico y se transportan en barco.

10

14º.- Un método de almacenamiento de gas natural de acuerdo con el punto 13, en que dicho gas se carga y descarga de 4, por lo menos, de dichos barcos sucesivamente a una velocidad substancialmente uniforme sin almacenamiento estático en los puntos de carga y descarga.

15

15º.- Un método de almacenamiento para el transporte de gas natural.

Tal y como se ha descrito en la Memoria que antecede, representado en el dibujo que se acompaña y con los fines que se han especificado.

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

Madrid,

14 OCT. 1953

P.A.

Albano de Elzabura
Por Poder

29 0228

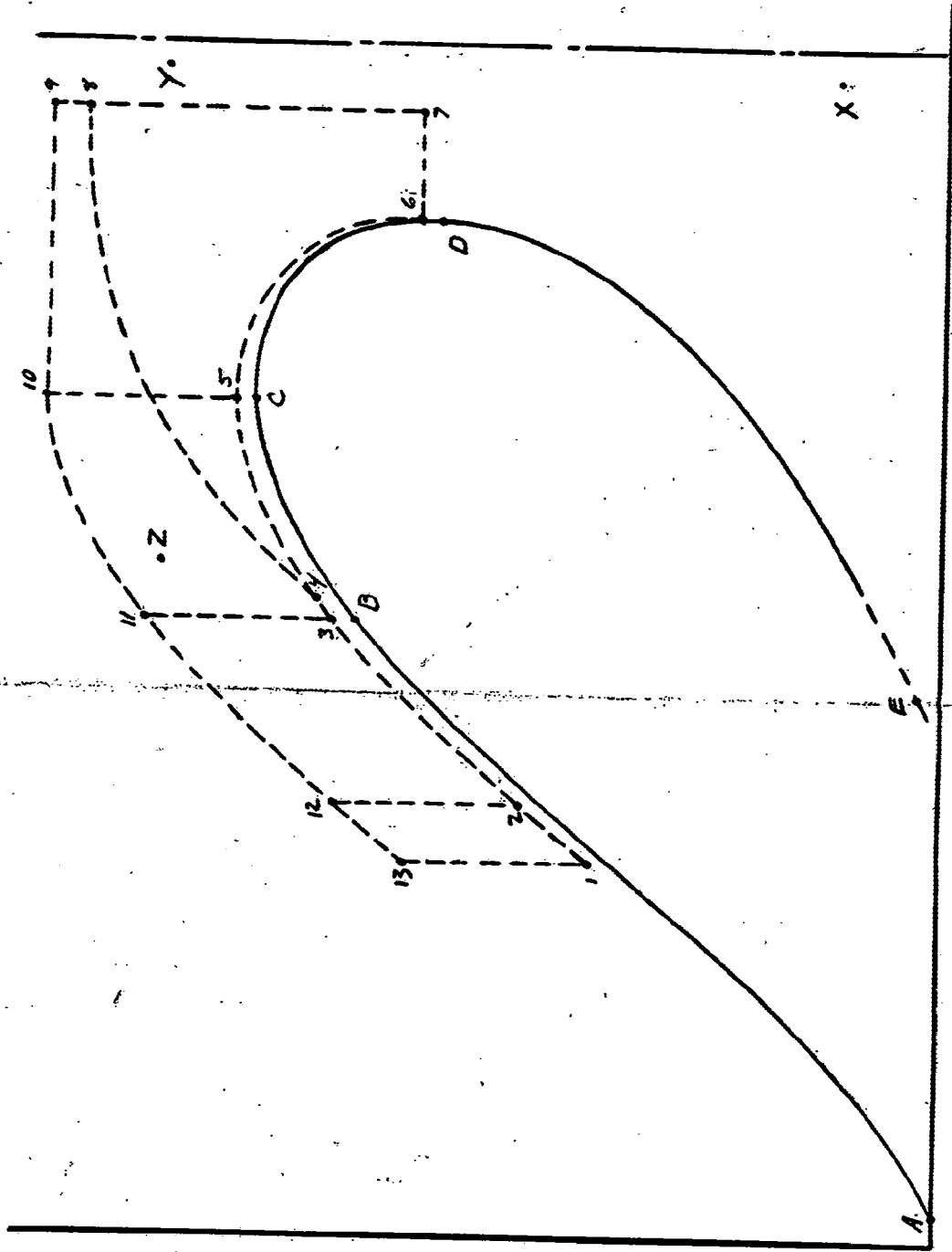
ESCALA VARIABLE

VEHOC CORPORATION

1/1

SPAIN

290228



Escritura de E. J. J. J.