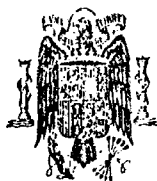


MINISTERIO DE INDUSTRIA
REGISTRO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL



ESPAÑA

19	ES	11	NUMERO	10	AI
		21			
		22	FECHA DE PRESENTACION		

444904

P.- 62.224
Serie: 2.180-AL-ML/LR
Code 111

PATENTE DE INVENCION

30 PRIORIDADES:		
31 NUMERO	32 FECHA	33 PAIS
75/04.403	6.2.75	Francia

47 FECHA DE PUBLICIDAD	51 CLASIFICACION INTERNACIONAL	62 PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
	F255	

54 TITULO DE LA INVENCION
"CICLO FRIGORIFICO DE CASCADA INCORPORADA PARA LIQUAR UN GAS, PARA LA REGASIFICACION DE UN GAS NATURAL LIQUADO"
CONCEDIDA

71 SOLICITANTE (S)
L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCEDES GEORGES CLAUDE
DOMICILIO DEL SOLICITANTE
75, Quai d'Orsay, 75321 Paris Cedex 07, Francia
72 INVENTOR (ES)
Jean-Pierre Buffiere y Gérard Vandebussche
73 TITULAR (ES)
74 REPRESENTANTE
D. ALBERTO DE ELZABURU MARQUEZ

5

10

El presente invento se refiere a un ciclo frigorífico que permite licuar un gas, por regasificación de un gas natural licuado. El invento se refiere igualmente a un procedimiento de fraccionamiento de aire, por licuación y destilación, que aplica un ciclo frigorífico según el invento para licuar por lo menos una fracción gaseosa que resulta de dicho fraccionamiento, por ejemplo nitrógeno gaseoso.

15

El presente invento se inserta en el contexto técnico-económico siguiente.

,20

Al haberse convertido ciertos países (especialmente Estados Unidos, Europa occidental, Japón) en enormes consumidores de energía, cantidades cada vez más importantes de gas natural deben ser dirigidas a partir de países productores (especialmente la U.R.S.S., Africa, América del Sur, etc...) a ciertos países consumidores.

25

Cuando las distancias de transporte del gas natural son demasiado importantes, y una vía marítima es ofrecida o a veces impuesta (transporte intercontinental), se

licúa el gas natural en el país productor, se transporta el gas natural licuado (llamado en adelante GNL) en buques concebidos a este efecto (buques metaneros), y se regasifica el GNL así transportado por el país consumidor.

5 A este efecto, se efectúan en el país consumidor las operaciones siguientes:

1) Recepción del GNL transportado en una instalación portuaria especialmente dispuesta, llamada corrientemente "terminal metanero",

10 2) almacenamiento del GNL en depósitos del terminal metanero, técnicamente aislados,

3) regasificación con compresión del GNL en unidades apropiadas del terminal; esta regasificación puede ir acompañada de un tratamiento del GNL con vistas a disminuir su poder calorífico y/o extraer ciertas fracciones valorizables y consumibles separadamente (propano, butano, por ejemplo),

15 4) transporte por canalizaciones del GNL regasificado, o gas natural (llamado en adelante GN), a partir del terminal metanero hacia los lugares de utilización y consumo; este transporte se efectúa, en general, bajo una alta presión (de 30 a 80 bares).

20 Generalmente, con el fin de efectuar la regasificación del GNL, se comprime en forma líquida de su presión de almacenamiento (presión atmosférica) a la presión de

25

distribución de la red de transporte del GN, y luego se va
poriza bajo esta presión de distribución; el calor necesari-
rio para la vaporización, y luego para el recalentamiento
del gas hasta la temperatura ambiente, es aportado por agua
de mar. Esta compresión del GNL por bombas permite una do-
ble economía, a la vez sobre la inversión y la energía con-
sumida por la unidad de regasificación.

Sin embargo, en lugar de perder definitivamente
la cantidad de frío (o frigorías) potencialmente contenida
por el GNL, es decir, la cantidad de frío que puede ser ex-
traída de este último por regasificación, especialmente por
vaporización y luego recalentamiento de su vapor, es prefe-
rible emplear por lo menos una parte de este frío para fi-
nes útiles.

Se ha propuesto entonces utilizar las frigorías
más frías del GNL, y por consiguiente, las más "nobles", en
instalaciones de fraccionamiento de aire atmosférico, por
licuación y destilación, con vistas a obtener por lo menos
una de las fracciones gaseosas producidas, a saber, oxígeno
o nitrógeno, en estado líquido. La utilización del frío
o de las frigorías del GNL permite, en efecto, reducir el
coste en energía de la licuación de esta o de estas frac-
ciones gaseosas.

De manera general, con el fin de transferir el
frío potencialmente contenido en el GNL hacia la o las frac-

ciones gaseosas del aire a licuar, se utiliza un ciclo frigorífico, de tipo abierto o cerrado, cuyo refrigerante es, por ejemplo, nitrógeno. Como todo ciclo frigorífico, este ciclo puede analizarse como capaz de permitir:

5 - tomar frío en una fuente caliente (GNL en curso de regasificación) a temperaturas escalonadas entre una temperatura inicial (temperatura del comienzo de toma de frío sobre el GNL) por lo menos igual a -161°C , y una temperatura final (temperatura del final de toma de frío sobre el GNL) a lo sumo igual a la temperatura ambiente, por ejemplo 0°C ,

10 - transferir el frío tomado en la fuente caliente hacia una fuente fría (fracción gaseosa o gas a licuar, en curso de refrigeración, y luego licuación y, eventualmente, sub-refrigeración), a temperaturas escalonadas entre
15 una temperatura inicial (temperatura del comienzo de la refrigeración de la fracción gaseosa o del gas a licuar), por ejemplo a temperatura ambiente, hasta una temperatura final (temperatura del final de la licuación, y, eventualmente, de la sub-refrigeración de esta misma fracción gaseosa), generalmente inferior a la temperatura inicial del
20 comienzo de toma del frío sobre el GNL.

Tal ciclo frigorífico consiste, en general, y de manera simplificada, en:

25 1) comprimir en una o varias etapas de compresión

el refrigerante (nitrógeno, por ejemplo) en forma gaseosa, de una baja presión a una alta presión,

5 2) enfriar el refrigerante comprimido, cuando la alta presión es superior a la presión crítica del refrigerante; o, cuando, la alta presión es inferior a esta presión crítica, enfriar y luego condensar el refrigerante comprimido, por cambio de calor con la fuente caliente mencionada (gas natural licuado en curso de regasificación),

10 3) expandir de manera isentálpica, en una o varias etapas de expansión, el refrigerante enfriado o condensado; dicho de otro modo, efectuar una expansión Joule-Thomson, en una o varias etapas, del refrigerante enfriado o condensado, con el fin de obtener el refrigerante condensado a la baja presión,

15 4) cuando se trata de un ciclo cerrado, vaporizar y luego recalentar el refrigerante condensado, por cambio de calor con la fuente fría mencionada (fracción gaseosa o gas a licuar, en curso de refrigeración y luego licuación).

20 En el caso de un ciclo abierto (por ejemplo, licuación de nitrógeno gaseoso por medio de un refrigerante constituido por nitrógeno), la etapa (4) definida anteriormente se encuentra suprimida, puesto que se toma nitrógeno gaseoso condensado del refrigerante condensado obtenido en
25 el curso de la etapa (3) mencionada.

En un plano puramente termodinámico, el ciclo frigorífico descrito anteriormente presente sustanciales irreversibilidades, como se explica después en el caso de la licuación de nitrógeno por medio de un refrigerante constituido por nitrógeno:

5

1) limitando el razonamiento, por una parte, a un GNL en curso de vaporización bajo una presión inferior a su presión crítica, y, por otra parte, a nitrógeno en curso de condensación bajo una presión inferior a su presión crítica, la curva entálpica (entalpía H en ordenadas, y temperaturas T en abscisas) del GNL en curso de vaporización, presenta un perfil definido sobre un largo gradiente térmico, mientras que la curva entálpica del nitrógeno en curso de condensación presenta un perfil vertical; en estas condiciones, y de manera general, es difícil hacer corresponder (es decir, con el mínimo de irreversibilidad), por una parte, con el perfil particular de la curva entálpica del GNL y, por otra parte, con el perfil de la curva entálpica del nitrógeno, un perfil similar y correspondiente de la curva entálpica del refrigerante,

10

15

20

2) la o las expansiones Joule-Thomson mencionadas anteriormente que se alejan de manera importante de la reversibilidad; implica, en efecto, un cambio de volumen o una expansión del nitrógeno expandido, bien porque el nitrógeno es expandido en forma gaseosa o supercrítica, bien

25

porque el nitrógeno es expandido en forma líquida, y no puede ser suficientemente sub-refrigerado antes de su expansión, lo que origina la producción de un "flash" no depreciable en el curso de esta expansión.

5 Por estas dos razones, la eficacia del ciclo frigorífico anteriormente definido no puede ser considerada como óptima.

10 El presente invento tiene, pues, por objeto esencial, un ciclo frigorífico diferente del descrito anteriormente, particularmente bien adaptado a una transferencia de frío desde una fuente caliente constituida por un GNL en curso de regasificación hacia una fuente fría constituida por un gas a licuar, en curso de refrigeración, y luego condensación y, eventualmente, sub-refrigeración, pudiendo ser este gas a licuar una fracción gaseosa resultante de un fraccionamiento de aire por licuación y destilación.

15 Más precisamente, el presente invento tiene por objeto esencial un ciclo frigorífico que permite remediar las dos irreversibilidades termodinámicas señaladas anteriormente.

20 El presente invento resulta de las observaciones y constataciones siguientes:

25 1) con el fin de enfriar, licuar y, eventualmente, sub-refrigerar un gas natural o GN, se puede utilizar el ciclo frigorífico conocido bajo el nombre de ciclo "en

cascada incorporada", o de "cascada de corriente única", o "de cascada con mezcla de refrigerante", o incluso "de refrigerantes mezclados".

5 Tal ciclo ha sido objeto, por ejemplo, de la patente francesa 1.302.989, de su primer certificado de adición 80.294 y de su segundo certificado de adición 86.485, a nombre de la presente solicitante.

10 Tal ciclo puede ser definido de manera general como incluyendo por lo menos las operaciones elementales siguientes:

15 a) se comprime de una baja presión a una alta presión, por lo menos una mezcla de ciclo en forma gaseosa, que comprende una pluralidad de constituyentes, siendo efectuada esta compresión por lo menos en una etapa de compresión,

b) se efectúa bajo dicha alta presión una condensación fraccionada de por lo menos la mezcla de ciclo comprimido, comprendiendo esta condensación fraccionada, por lo menos:

20 b. 1) Una primera etapa de condensación fraccionada, durante la cual se condensa parcialmente por lo menos la mezcla de ciclo comprimido, por cambio de calor con al menos un refrigerante externo; se separa al menos la mezcla de ciclo parcialmente condensado en una primera
25 fracción condensada y una primera fracción vapor que prosigue

que la condensación fraccionada,

5 b. 2) una última etapa de condensación fraccionada, durante la cual se condensa totalmente la última fracción vapor de al menos la mezcla de ciclo, por cambio de calor a contracorriente con una corriente frigorígena de la mezcla de ciclo, en curso de recalentamiento bajo una presión de vaporización por lo menos igual a la baja presión; se obtiene así una última fracción condensada,

10 c) se expande al menos una parte de la primera fracción condensada y de la última fracción condensada, de dicha alta presión a dicha presión de vaporización, constituyendo la parte expandida de la última fracción condensada por lo menos una parte inicial de dicha corriente frigorígena, y siendo unida por lo menos la parte expandida de la primera fracción condensada a dicha corriente frigorígena,

15 na,

d) se vaporizan las partes expandidas según la etapa (c), y se recalienta bajo dicha presión de vaporización dicha corriente frigorígena, por cambio de calor a contracorriente, con al menos la mezcla de ciclo en curso de condensación fraccionada bajo la alta presión,

20

e) se enfría el gas a licuar por cambio de calor a contracorriente con una corriente de refrigeración de la mezcla de ciclo, en curso de recalentamiento bajo una presión de recalentamiento igual a dicha baja presión; y se

25

extrae a título de producción líquida, al menos una parte de dicho gas a licuar, en estado condensado,

5 f) se vuelve a comprimir según la etapa (a) por lo menos la corriente frigorígena recalentada según la etapa (d) de dicha presión de vaporización a dicha alta presión, para reconstituir al menos en parte la mezcla de ciclo bajo la alta presión.

De manera similar a la exposición precedente, este ciclo se puede analizar como capaz de permitir:

10 - tomar frío de una fuente caliente, constituida por dicho refrigerante externo, que comprende un solo constituyente, en curso de recalentamiento (por ejemplo agua), o en curso de vaporización (por ejemplo propano) bajo una o varias presiones de vaporización; por consiguiente, tomar frío a una sola y única temperatura (por ejemplo propano, en curso de vaporización bajo una sola presión de vaporización), o a temperaturas escalonadas a lo largo de un gradiente térmico relativamente corto (por ejemplo agua, en curso de recalentamiento, o propano en curso de vaporización bajo varias presiones de vaporización),

20 - transferir el frío tomado en la fuente caliente hacia una fuente fría (GN en curso de refrigeración, luego licuación y, eventualmente, sub-refrigeración), a temperaturas escalonadas a lo largo de un gradiente térmico relativamente largo (para asegurar la refrigeración,

luego la licuación y, eventualmente, la sub-refrigeración del GN),

5 2) en el plano termodinámico, la ventaja del ciclo de cascada incorporada, aplicado a la licuación de un GN, reside en el hecho de que, gracias a la presencia de
varios constituyentes en la mezcla de ciclo, se puede hacer corresponder entre sí (es decir, con el mínimo de irreversibilidad), por una parte, el perfil particular de la
10 curva entálpica del GN (en curso de refrigeración, luego licuación y, eventualmente, sub-refrigeración), o fuente fría, combinada (caso de un ciclo cerrado a una sola presión de vaporización de la mezcla de ciclo) o no (caso de un ciclo cerrado a dos presiones de vaporización de la mezcla de ciclo) con la curva entálpica de la mezcla de ciclo
15 en curso de condensación fraccionada y, por otra parte, el perfil de la curva entálpica de la mezcla de ciclo, en curso de vaporización y recalentamiento a la baja presión del ciclo frigorífico,

20 3) a la inversa, si se considera, ahora, por una parte, un GNL en curso de regasificación, cuya curva entálpica de regasificación posee un perfil similar, si no idéntico al de la curva entálpica de refrigeración, licuación y, eventualmente, sub-refrigeración del GN de origen, y, por otra parte, una mezcla de ciclo, tal como se ha definido
25 do anteriormente, en curso de condensación fraccionada ba-

jo una alta presión, cuya curva entálpica de condensación fraccionada posee un perfil similar al de la curva entálpica de vaporización y recalentamiento de esta misma mezcla a una baja presión de vaporización, se llega a la constatación según la cual, un cambio de calor a contracorriente entre, por una parte, un GNL en curso de regasificación y, eventualmente, una mezcla de ciclo en curso de vaporización y recalentamiento y, por otra parte, esta misma mezcla de ciclo en curso de condensación fraccionada, debe poderse efectuar con un mínimo de irreversibilidad termodinámica,

4) por consiguiente, el presente invento se propone utilizar un ciclo de cascada incorporada para transferir frío de un GNL en curso de regasificación, hacia un gas a licuar, por medio de las adaptaciones siguientes:

- la fuente caliente del ciclo está constituida ahora por un GNL en curso de regasificación, y no ya por un refrigerante externo, tal como agua o propano; por consiguiente, se toma ahora frío de la fuente caliente, a temperaturas escalonadas a lo largo de un gradiente térmico relativamente largo, al menos desde la temperatura del comienzo de la regasificación del GNL, hasta la temperatura del final de esta misma regasificación,

- la fuente fría del ciclo está constituida ahora por el gas a licuar, en curso de refrigeración, y luego

condensación y, eventualmente, sub-refrigeración, y no ya por un GN a licuar; por consiguiente, en el caso de la sola condensación de un gas puro, es decir, que comprende un solo constituyente, se transfiere a la fuente fría el frío tomado a una sola y única temperatura, o a lo largo de un gradiente térmico relativamente corto.

Dicho de otro modo, con referencia a la definición general de un ciclo de cascada incorporada, expuesta anteriormente, un ciclo según el invento se caracteriza por que, estando constituido dicho refrigerante externo por un gas natural licuado en curso de regasificación, durante al menos la primera etapa (b.1) de condensación fraccionada, se efectúa un cambio de calor a contracorriente entre, por una parte, al menos la mezcla de ciclo comprimido, en curso de condensación fraccionada y, por otra parte, el gas natural licuado en curso de regasificación.

Se constata entonces que, a la inversa de un ciclo de cascada incorporada aplicado a la licuación de un GN, en el caso de un mismo ciclo aplicado a la regasificación de un GNL, por una parte, el gradiente de transferencia térmica más largo se encuentra trasladado de la fuente fría a la fuente caliente y, por otra parte, el gradiente de transferencia térmica más corto se encuentra trasladado, por lo menos en lo esencial, de la fuente caliente a la fuente fría;

5) un ciclo de cascada incorporada, utilizado para regasificar un GNL, permite resolver el problema anteriormente planteado, porque:

5 - como se ha expuesto más arriba, se puede adaptar el perfil entálpico de condensación fraccionada de la mezcla de ciclo, al perfil entálpico de regasificación del GNL,

10 - como en todo ciclo de cascada incorporada, las expansiones Joule-Thomson pueden ser efectuadas sobre líquidos sub-refrigerados, y por consiguiente prácticamente sin expansión del fluido expandido.

15 Como se verá después, según el invento, el ciclo de cascada incorporada utilizado puede ser, bien de tipo abierto, bien de tipo cerrado. En el caso de un ciclo cerrado, éste puede comprender una sola presión de vaporización de la mezcla de ciclo sensiblemente igual a la baja presión del ciclo, o dos presiones de vaporización de la mezcla de ciclo, sensiblemente iguales, respectivamente, a la baja presión del ciclo y a una presión intermedia entre esta baja presión y la alta presión de dicho ciclo.

20 En toda la presente descripción, y en las reivindicaciones anejas, se entiende por:

25 - "gas a licuar", bien una mezcla gaseosa que comprende una pluralidad de constituyentes o cuerpos puros, bien un gas puro que comprende un solo constituyente o

cuerpo puro, y del que se quiere asegurar la condensación total o parcial; nitrógeno gaseoso sustancialmente puro, o una fracción gaseosa sustancialmente pura en nitrógeno, procedente de una destilación de aire, responden, por ejemplo, a esta definición; en el caso en que el gas a licuar es una mezcla gaseosa, ésta puede ser condensada de manera fraccionada,

5
10
15
- "mezcla de ciclo", una mezcla que comprende una pluralidad de constituyentes o cuerpos puros, físicamente identificables o no, que circulan en redondo en un ciclo frigorífico de cascada incorporada, y cuya sola función consiste cíclicamente en extraer frío de la fuente caliente (gas natural licuado en curso de regasificación), y en transferir el frío extraído de la fuente caliente a la fuente fría (gas a licuar, en curso de refrigeración),

20
25
- "refrigerante externo", cuando no se trata de un gas natural licuado, un refrigerante procedente de una fuente exterior al ciclo frigorífico de cascada incorporada; tal refrigerante externo puede asegurar, especialmente, en primer lugar, una refrigeración preliminar del gas a licuar, en segundo lugar, una refrigeración de la mezcla de ciclo en estado gaseoso, comprimida bajo la alta presión, antes de su condensación fraccionada, en tercer lugar, una refrigeración de la mezcla de ciclo comprimido a la alta presión, con vistas a facilitar su condensación

parcial y preliminar (comienzo de la condensación fraccionada), efectuada por otro lado, según el invento, por cambio de calor con un GNL en curso de regasificación; tal refrigerante externo puede ser un líquido en curso de recalentamiento, por ejemplo agua, o un refrigerante líquido en curso de vaporización, por ejemplo propano, bajo una o varias presiones de vaporización; en este último caso, cualquier otro refrigerante externo equivalente al propano puede ser elegido; se trata, por ejemplo, de una mezcla de cuerpos puros (propano y propileno, por ejemplo), o de un solo y mismo cuerpo puro (por ejemplo butano); se trata también de amoniaco, o de refrigerantes hidrocarbonados fluorados, conocidos bajo el nombre de "freones"; en el último caso igualmente, el ciclo frigorífico de cascada incorporada puede cooperar con otro ciclo frigorífico, o ciclo frigorífico auxiliar, que permite recondensar el refrigerante externo vaporizado, y que comprende sucesivamente una compresión del refrigerante externo vaporizado, una condensación del refrigerante externo comprimido por cambio de calor con otro refrigerante externo, tal como el agua, una expansión del refrigerante externo condensado, y una vaporización del refrigerante externo expandido, en cambio de calor, por ejemplo, con la mezcla del ciclo comprimido bajo la alta presión, antes de su condensación fraccionada, siendo reciclado entonces dicho refrigerante

externo vaporizado hacia la compresión.

- "composición", salvo indicaciones en contrario, una composición volúmica de un gas, o de un líquido que se supone ficticiamente totalmente vaporizado, expresada en porcentajes molares o volúmicos,

5

- "composición de la mezcla de ciclo", la composición volúmica de la mezcla de ciclo; en el caso de un ciclo de cascada incorporada de tipo cerrado, esta composición puede ser aprehendida y analizada sobre la mezcla de ciclo comprimido a la alta presión, en estado gaseoso, antes de su condensación parcial y preliminar (comienzo de la condensación fraccionada), por cambio de calor con un GNL en curso de regasificación; en el caso de un ciclo de cascada incorporada de tipo abierto, la mezcla de ciclo propiamente dicha no puede ser aprehendida y analizada como tal; en este caso, la composición de la mezcla de ciclo puede ser calculada sumando las cantidades de los diferentes constituyentes de la mezcla de ciclo, contenidos en las diferentes fracciones condensadas de dicha mezcla, expandidas a la baja presión del ciclo, y devueltas hacia la compresión de la mezcla de ciclo,

10

15

20

25

- "refrigerar" o "refrigeración", salvo indicaciones en contrario dadas en cada caso particular, cualquier operación efectuada sobre un gas, por la cual se extrae calor de dicho gas; esta refrigeración implica, por

lo menos, uno de los fenómenos siguientes, cuando dicho gas está a una presión inferior a su presión crítica:

5 1) una refrigeración de dicho gas desde una temperatura inicial próxima o inferior a la temperatura ambiente, hasta una temperatura final igual o superior a la temperatura de rocío de dicho gas, permaneciendo este último en estado gaseoso,

10 2) una condensación total o parcial de dicho gas que se encuentra inicialmente a su temperatura de rocío; en el caso de la condensación total o parcial de un gas que comprende un solo constituyente, ésta es efectuada a una temperatura sensiblemente constante; en el caso de la condensación total o parcial de un gas que comprende va-
15 rios constituyentes, la condensación se efectúa reduciendo la temperatura de dicho gas desde su temperatura de rocío hasta una temperatura superior o igual a su temperatura de ebullición; en el caso de la condensación de un gas que
20 comprende varios constituyentes, ésta puede ser efectuada de manera fraccionada,

25 3) una sub-refrigeración del gas condensado, o de al menos una fracción condensada de dicho gas cuando éste ha sufrido una condensación fraccionada, siendo efectuada esta sub-refrigeración reduciendo la temperatura de dicho gas condensado, o de al menos dicha fracción condensada, desde una temperatura inicial próxima a la temperatura

de ebullición de dicho gas condensado, o de dicha fracción condensada, hasta una temperatura final,

- "condensación fraccionada", una operación que comprende, por lo menos:

5 - una primera etapa de condensación fraccionada, durante la cual se condensa parcialmente un gas (por ejemplo, mezcla de ciclo en estado gaseoso y comprimido), por cambio de calor con al menos un refrigerante; se separa el gas parcialmente condensado en una primera fracción condensada y una primera fracción vapor prosiguiendo la condensación fraccionada,

10

 - eventualmente por lo menos una etapa intermedia de condensación fraccionada, durante la cual se condensa parcialmente la primera fracción vapor, o una fracción vapor procedente de la etapa precedente de condensación fraccionada, por cambio de calor con al menos un refrigerante; se separa la fracción vapor así parcialmente condensada, en una segunda fracción condensada, o penúltima fracción condensada, y una segunda fracción vapor, o última fracción vapor, prosiguiendo la condensación fraccionada,

15

20

 - una última etapa de condensación fraccionada, durante la cual se condensa totalmente la última fracción vapor, por cambio de calor con un refrigerante, por medio del cual se obtiene una última fracción condensada.

25 En el caso de la condensación fraccionada de la

mezcla de ciclo, el número de etapas de condensación fraccionada es igual al número de matraces separadores, que aseguran la separación de una fracción condensada y de una fracción vapor, más un

5 - "recalentar" y "recalentamiento", salvo indicaciones en contrario dadas en cada caso particular, cualquier operación efectuada sobre un líquido, o una mezcla difásica líquido/gas, por la cual se cede calor a dicho líquido o a dicha mezcla difásica; este recalentamiento im
10 plica, por lo menos, uno de los fenómenos siguientes:

1) una vaporización total o parcial de dicho líquido, o dicha mezcla difásica, que se encuentran inicialmente a la temperatura de ebullición de dicho líquido, o de dicha mezcla difásica; cuando dicho líquido comprende
15 varios constituyentes, o cuando dicha mezcla difásica comprende varios constituyentes, durante esta vaporización to
20 tal o parcial, se aumenta la temperatura de dicho líquido o de dicha mezcla difásica, desde dicha temperatura de ebullición hasta una temperatura inferior o igual a la temperatura de rocío de dicho líquido o de dicha mezcla difásica; cuando dicho líquido o dicha mezcla difásica está cons
 tituido por un solo cuerpo puro, la vaporización se efectúa a una sola y misma temperatura,

2) un recalentamiento de dicho líquido vaporizado, o de dicha mezcla difásica vaporizada, desde una tempe
25

ratura de rocío de dicho líquido o de dicha mezcla difásica vaporizada, hasta una temperatura final próxima o inferior a la temperatura ambiente.

5 La mezcla difásica considerada anteriormente puede sufrir varias vaporizaciones sucesivas conforme a la definición precedente, que corresponden, cada una, a la introducción de un líquido en dicha mezcla; sucede de este modo para las corrientes frigorígenas y de refrigeración de la mezcla de ciclo, consideradas a continuación,

10 - "regasificar" y "regasificación", el hecho de aportar calor a un gas natural y licuado, con el fin de hacerlo pasar del estado líquido al estado gaseoso; cuando el gas natural licuado es gasificado bajo una presión inferior a su presión crítica, esta regasificación consiste en un recalentamiento tal como se ha definido más arriba,

15 - "corriente frigorígena" y "corriente de refrigeración", corrientes de la mezcla de ciclo, destinadas, respectivamente, a refrigerar dicha mezcla de ciclo en curso de condensación fraccionada y el gas a licuar; estas corrientes circular, cada una, desde el extremo frío hasta el extremo caliente de un conjunto de cambio de calor, y resultan inicialmente, es decir, en el extremo frío de dicho conjunto de cambio de calor, de la introducción, y luego de la vaporización en dicho conjunto de cambio de calor,

20 de al menos una parte expandida de una fracción condensada

25

de la mezcla de ciclo, a la cual se une, en el curso de la progresión de dicha corriente hacia el extremo caliente de dicho conjunto de cambio de calor, al menos una parte expandida de por lo menos otra fracción condensada de la mezcla de ciclo.

En el caso de un ciclo de cascada incorporada de tipo abierto, la reunión de al menos una parte del gas a licuar y de la mezcla de ciclo puede ser efectuada, bien a la baja presión, por ejemplo en la aspiración de la compresión de la mezcla de ciclo, bien a la alta presión, por ejemplo durante la impulsión de la compresión de la mezcla de ciclo, bien en el curso de la condensación fraccionada de la mezcla de ciclo, o bien, por último, a una presión intermedia entre la alta presión y la baja presión del ciclo frigorífico, por ejemplo en el curso de la compresión de la mezcla de ciclo.

El presente invento se describe ahora con referencia a los dibujos anejos, en los cuales:

- la figura 1 representa una instalación que comprende dos partes, a saber, en primer lugar, un aparato de fraccionamiento de aire, por licuación y destilación, representado en la parte superior de esta figura y, en segundo lugar, un aparato de licuación de una fracción gaseosa sustancialmente pura en nitrógeno, o gas a licuar, que resulta del fraccionamiento del aire, representado en la

parte inferior de esta misma figura,

5 - la figura 2 representa un ciclo de licuación de un gas, similar al representado en la figura 1, pero de tipo abierto, que permite volver a licuar vapores procedentes de un depósito subterráneo de gas natural licuado, por revaporización de este último.

El ciclo frigorífico según el invento, representado en la figura 1, es un ciclo de cascada incorporada que tiene las características generales siguientes:

10

- es del tipo cerrado,

- comprende una sola presión de vaporización de la mezcla de ciclo, igual a la baja presión del ciclo frigorífico,

15

- la condensación fraccionada de la mezcla de ciclo se efectúa en dos etapas, a saber, una primera etapa de condensación fraccionada y una segunda etapa de condensación fraccionada.

20

En la descripción que sigue, las temperaturas están expresadas en grados C, las presiones en atmósferas absolutas o atma ($1 \text{ atma} = 1,013 \text{ bares} = 1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$), y los caudales están expresados en normales m^3 por hora, ó Nm^3/h , es decir, en condiciones normales de temperatura y de presión.

25

Según el ciclo de licuación representado en la figura 1, se efectúan por lo menos las operaciones siguientes

tes:

5 a) se comprime en el compresor 50 una mezcla de ciclo 51 en forma gaseosa (o sea 815 Nm^3), a una temperatura de -30°C , de una baja presión igual a 2,5 atma a una alta presión igual a 40,5 atma; esta mezcla de ciclo comprende tres constituyentes, a saber 68,11% de nitrógeno, 19,94% de metano y 11,95% de etileno; esta compresión 50 es efectuada en una primera etapa de compresión (en el compresor 50 a), desde la baja presión hasta una presión intermedia igual a 10 atma, y en una última etapa de compresión (en el compresor 50 b), efectuada desde la presión intermedia hasta la alta presión,

15 b) en el refrigerador 56, se enfría la mezcla de ciclo comprimida a una temperatura de 35°C , gracias a la circulación de un refrigerante externo, por ejemplo agua, en curso de recalentamiento; gracias a los cambiadores de calor 52, 53 y 54, y al separador 55, se efectúa una condensación fraccionada de la mezcla de ciclo 56 comprimida y enfriada a 35°C ; esta condensación fraccionada comprende:

20 b. 1) Una primera etapa de condensación fraccionada, durante la cual se condensa parcialmente en el cambiador 52 la mezcla de ciclo comprimido, gracias a un cambio de calor a contracorriente entre, por una parte, la mezcla de ciclo comprimido 51, en curso de condensación fraccionada, y, por otra parte, un gas natural licuado 57

25

en curso de regasificación (refrigerante externo); más precisamente, 636,64 Nm³ del gas natural licuado 57 son vaporizados en el cambiador 52, a contracorriente de la mezcla de ciclo comprimido 51, siendo recalentados hasta una temperatura igual a -61°C, bajo una presión de 50 atma; se separa en el separador 55 una mezcla de ciclo parcialmente condensada en una primera fracción condensada 58 (o sea 782,4 Nm³), y una primera fracción vapor 59 (o sea 32,6 Nm³) prosiguiendo la condensación fraccionada, la temperatura en el separador 55 se establece a -87°C.

b. 2) una última etapa de condensación fraccionada, efectuada por medio de los cambiadores 53 y 54, durante la cual se condensa en su totalidad la primera y última fracción vapor 59 (o sea 782,4 Nm³) de la mezcla de ciclo, por cambio de calor a contracorriente en el cambiador 53 con una corriente frigorígena 60 (o sea 815 Nm³) de la mezcla de ciclo, en curso de recalentamiento bajo una presión de vaporización igual a la baja presión anteriormente mencionada; más precisamente, la corriente frigorígena 60 está en curso de vaporización en el cambiador 53, a consecuencia de la vaporización de la primera fracción condensada 58, expandida en la válvula de expansión 61, y unida a la corriente frigorígena 60; a la salida del cambiador 53, se obtiene así una última fracción condensada 63 de la mezcla de ciclo, a una temperatura de -149°C; esta última

fracción condensada 63 es sub-enfriada en el cambiador de calor 54, por cambio de calor a contracorriente con la misma corriente frigorígena 60 en curso de vaporización, y esto a consecuencia de la vaporización de la última fracción condensada 63, expandida previamente en las válvulas de expansión 62a y 62b y,

c) se expande en su totalidad las fracciones condensadas primera y última 58 y 63, de la alta presión a la presión de vaporización de la mezcla de ciclo, igual a la baja presión mencionada y, esto, respectivamente, en la válvula de expansión 61, y las válvulas de expansión 62a y 62b; la última fracción condensada 63, expandida en las válvulas 62a y 62b, constituye la parte inicial de la corriente frigorígena 60 anteriormente mencionada, y la primera fracción condensada 58, expandida en la válvula 61, es unida a la corriente frigorígena 60 anteriormente mencionada,

d) se vaporizan las fracciones condensadas 58 y 63, expandidas según la etapa (b), respectivamente en los cambiadores 53 y 54, y de manera general, se recalienta (según la definición del recalentamiento de una mezcla difásica líquido/gas enunciada anteriormente) la corriente frigorígena 60, bajo una presión de vaporización igual a la baja presión del ciclo, y esto por cambio de calor a contracorriente (en los cambiadores 52, 53, 54) con la mez

cla de ciclo 51 en curso de condensación fraccionada (en el sentido definido más arriba) a la alta presión,

5 e) se enfría (con el sentido de este término definido anteriormente) el gas a licuar 13 bajo una presión de 6 atma, desde una temperatura inicial de 14°C, hasta una temperatura final de -176,5°C, por cambio de calor (en los cambiadores 52, 53, 54) a contracorriente con una corriente de refrigeración de la mezcla de ciclo, idéntica a la corriente frigorígena 60 anteriormente mencionada, en
10 curso de recalentamiento bajo una presión de recalentamiento igual a la baja presión del ciclo frigorífico; se extrae a título de producto líquido 15 una parte del gas a licuar, 13, obtenido en estado condensado a la salida del cambiador 54,

15 f) se vuelve a comprimir en los compresores 50 y 50b, según la etapa (a) anteriormente definida, la corriente frigorígena 60, recalentada según la etapa (d) precedente hasta una temperatura igual a -61°C, desde la presión de vaporización anteriormente mencionada, por consiguiente
20 igual a la baja presión del ciclo, hasta la alta presión mencionada, y esto para reconstituir al menos en parte la mezcla de ciclo 51 a la alta presión.

Habiendo sido cerrado el ciclo anteriormente descrito, se observa, pues, que durante las etapas (b) de condensación fraccionada de la mezcla de ciclo 51, y (e) de
25

refrigeración del gas a licuar 13, la mezcla de ciclo 51 y el gas a licuar 13 no están unidos uno a otro, y son enfriados, por consiguiente, en los cambiadores 52, 53 y 54, independientemente y por separado uno de otro.

5 El ciclo anteriormente descrito presenta todavía las características siguientes:

1) Durante la primera etapa (b.1) de condensación fraccionada, descrita anteriormente, y efectuada por medio del cambiador 52 y del separador 55, se efectúa un cambio
10 de calor a contracorriente (en el cambiador 52) entre, por una parte, la mezcla de ciclo comprimido 51, en curso de condensación fraccionada y, por otra parte, la corriente frigorígena 60 en curso de recalentamiento,

2) de la misma manera, durante la última etapa
15 (b.2) de condensación fraccionada, efectuada por medio del cambiador 53, se efectúa un cambio de calor (en el cambiador 53) a contracorriente entre, por una parte, la primera y última fracción vapor 59 de la mezcla de ciclo, en curso de condensación total y, por otra parte, la corriente frigorígena 60 en curso de recalentamiento,

20 3) durante la última etapa (b.2) de condensación fraccionada, definida anteriormente, se efectúa un cambio de calor a contracorriente (en el cambiador 53) entre, por una parte, la primera y última fracción vapor 59 de la mezcla
25 de ciclo, en curso de condensación total y, por otra

parte, el gas natural licuado 57 en curso de regasificación; más precisamente, el gas natural licuado 57 está en curso de recalentamiento en forma líquida cuando atraviesa el cambiador 53, mientras que se vaporiza parcialmente cuando atraviesa el cambiador de calor 52, mediante lo cual el gas natural licuado 60, extraído del cambiador 52, a una temperatura de -61°C , es parcialmente vaporizado.

Conforme a la figura 1, se observará también que:

- en el curso de la etapa (d) de vaporización y recalentamiento definida anteriormente, se recalentará la corriente frigorífica 60 hasta una temperatura inferior a $-40/-30^{\circ}\text{C}$, y más precisamente, hasta -61°C ,

- en el curso de la etapa (f) de recompresión, definida anteriormente, se vuelve a comprimir la corriente frigorífica 60 en una etapa inicial de compresión efectuada en el compresor 50a, y una etapa final de compresión efectuada en el compresor 50b, siendo efectuadas estas dos etapas, respectivamente, desde la presión de vaporización de la mezcla de ciclo, igual a la baja presión, hasta la presión intermedia, y desde esta última hasta la alta presión del ciclo frigorífico,

- en el cambiador 70, se efectúa un cambio de calor a contracorriente entre, por una parte, la corriente frigorífica 60 recalentada según la etapa (d), antes de la etapa inicial de compresión 50a y, por otra parte, la mez-

cla de ciclo 51 bajo la presión intermedia antes de la etapa final de compresión 50b; de esta manera, la corriente frigorígena 60 es recalentada de nuevo hasta aproximadamente $-40/30^{\circ}\text{C}$, y más precisamente a -30°C , antes de sufrir la etapa inicial de compresión 50a, y la mezcla de ciclo 51 a la presión intermedia, es refrigerada hasta aproximadamente $-40/-30^{\circ}\text{C}$, y más precisamente, hasta -30°C , antes de sufrir la etapa final de compresión 50b.

Por otro lado, la mezcla de ciclo 51 a la presión intermedia, es enfriada por cambio de calor a contracorriente (en los cambiadores 70 y 71) igualmente con el gas natural licuado 57 en curso de regasificación, y esto antes de la etapa final de compresión 50b; más precisamente, el gas natural licuado termina su vaporización en el cambiador 70, mientras que el gas natural vaporizado se recalienta hasta 30°C en el cambiador 71.

Se observa también que el gas natural licuado en curso de regasificación, por cambio de calor (en los cambiadores 70 y 71) a contracorriente con la mezcla de ciclo 51 a la presión intermedia, es el que ha servido previamente para condensar de modo parcial (en el cambiador 52), según la etapa (b.1), la mezcla de ciclo 51 a la alta presión.

A título de ejemplo, para los caudales de las diferentes corrientes mencionadas anteriormente, el ciclo de

licuación descrito corresponde a una potencia de compresión consumida, del orden de 95, 35 kW; la composición de la mezcla de ciclo puede ser adaptada a la del GNL en curso de regasificación, y/o a la del gas a licuar.

5 De una manera general, la mezcla de ciclo presenta, separadamente o en combinación, las características siguientes:

a) comprende entre 0 y aproximadamente 20% de hidrocarburos que lleva un número de átomos de carbono por lo menos igual a 3, o hidrocarburos en C_3 .

10 b) comprende por lo menos nitrógeno y un hidrocarburo que lleva dos átomos de carbono, a saber, etano o etileno.

c) comprende igualmente metano,

15 d) comprende en primer lugar entre 0 y aproximadamente 40% de metano, en segundo lugar, aproximadamente entre 5 y 30% del hidrocarburo con dos átomos de carbono (etano o etileno), y en tercer lugar, aproximadamente entre 40 y 95% de nitrógeno,

20 Según el invento, el ciclo frigorífico de cascada incorporada puede ser del tipo cerrado, e incluir dos presiones diferentes de vaporización de la mezcla de ciclo. Tal ciclo se caracteriza entonces por los puntos siguientes:

25 1) en el curso de la etapa (a) de compresión an-

teriormente definida, se comprime la mezcla de ciclo 51 en dos etapas de compresión 50a y 50b, efectuadas, respectivamente, desde la baja presión hasta una presión intermedia, y desde esta última hasta la alta presión del ciclo,

5 2) en el curso de las etapas (b) de condensación fraccionada y (d) de vaporización y recalentamiento, definidas anteriormente, la presión de vaporización de la corriente frigorígena 60 es sustancialmente igual a la presión intermedia mencionada,

10 3) en el curso de la etapa (e) de refrigeración del gas a licuar, anteriormente definida, se utiliza otra corriente de refrigeración, diferente y distinta de la corriente frigorígena 60, en curso de recalentamiento, a una presión de recalentamiento igual a la baja presión del ciclo, con el fin de enfriar el gas a licuar, por cambio de calor a contracorriente con dicha corriente de refrigeración,

15 4) en el curso de la etapa (c) de expansión, definida anteriormente, se expande a la presión intermedia otra parte de las dos fracciones condensadas obtenidas según la etapa (b), a saber, la primera fracción condensada 58 y la última fracción condensada 63; la otra parte expandida de una de las dos fracciones condensadas, por ejemplo la última fracción condensada, constituye al menos una parte inicial de la corriente de refrigeración mencionada, y

la otra parte expandida de la otra de las dos fracciones condensadas, a saber, la primera fracción condensada, se une a la corriente de refrigeración mencionada,

5 5) en el curso de la etapa (f) de recompresión, se vuelve a comprimir la corriente de refrigeración recalentada, desde la baja presión hasta la presión intermedia, y luego la corriente frigorígena recalentada 60, unida a la corriente de refrigeración, desde la presión intermedia hasta la alta presión del ciclo frigorífico.

10 Conforme a la figura 2, se representa un ciclo frigorífico, similar al descrito con referencia a la figura 1, pero de tipo abierto; este ciclo permite volver a licuar las evaporaciones 85 de un depósito subterráneo 80 de un GNL 83, haciendo uso de la cantidad de frío suministrada por la regasificación del GNL 83.

15 Se han utilizado las mismas referencias numéricas con el fin de designar los mismos elementos y corrientes que los encontrados en el ciclo descrito con referencia a la figura 1.

20 Por comparación con el ciclo frigorífico de la figura 1, el de la figura 2 presenta las características siguientes:

25 1) el gas a licuar 13 (vapores 85 a licuar nuevamente) se une, por medio de un soplane 81, a la corriente frigorígena 60, antes de su recalentamiento según la etapa

(d) en los cambiadores 54, 53 y 52; por consiguiente, el gas a licuar 13 se une a la mezcla de ciclo 51, antes de su condensación fraccionada según la etapa (b) definida anteriormente; este mismo gas a licuar podría ser unido también a la mezcla de ciclo, durante su condensación fraccionada según la etapa (b); de esta manera, por una parte, durante la etapa (b) de condensación fraccionada, se efectúan las etapas de condensación fraccionada primera y última, anteriormente definidas, condensando una mezcla que comprende el gas a licuar (vapores 85) y la mezcla de ciclo 51 y, por otra parte, la etapa (e) de refrigeración del gas a licuar 13 se confunde en su totalidad con la etapa (d) de condensación fraccionada de la mezcla de ciclo 51, siendo la corriente de refrigeración definida según la etapa (e) idéntica, a su vez, a la corriente frigorígena 60, encontrada según las etapas (b), (c), (d) y (f),

2) Una parte de la última fracción condensada 63, obtenida según la etapa (b.2) anteriormente definida, es extraída del ciclo frigorífico, por la válvula de expansión 84, y devuelta a título de producto líquido al depósito de almacenaje 80,

3) el gas natural licuado 83 es comprimido en forma líquida en la bomba 82, antes de ser regasificado en el conducto 57.

Se describe ahora, con referencia a la figura 1,

el procedimiento de fraccionamiento de aire empleado por la instalación de separación de aire representada, que coopera con el ciclo frigorífico descrito con referencia a la figura 1.

5 Este procedimiento de fraccionamiento incluye, por lo menos, las operaciones siguientes:

a') en un compresor 17, se comprime aire 16 a una presión llamada superior, igual a 6,27 atma,

10 b') en un conjunto de cambio térmico reversible 18/19, que comprende una parte caliente 18 y una parte fría 19, se enfría el aire comprimido 23, desde una temperatura caliente igual a +30°C, estando la temperatura fría igual a -171°C, por cambio de calor a contracorriente con, por una parte, una fracción gaseosa 20 enriquecida en ni -
15 trógeno, obtenida en el curso de la destilación según la etapa (d') definida a continuación, en curso de recalentamiento a una presión llamada inferior, igual a aproximadamente 1,1 atma, desde una temperatura fría igual a -175°C hasta una temperatura caliente igual a +27°C, y, por otra
20 parte, con una parte a licuar 13 de una fracción gaseosa 21 sustancialmente pura en nitrógeno, obtenida en el curso de la destilación según la etapa (d') definida a continuación; una porción 13b de esta parte 13 a licuar es recalentada en su totalidad en el conjunto de cambio térmico re -
25 versible 18/19, desde una temperatura fría igual a -185°C

hasta una temperatura caliente de $+27^{\circ}\text{C}$, y una porción 13a de esta parte 13 a licuar es recalentada en parte en la parte fría 19 del conjunto de cambio térmico reversible 18/19, desde una temperatura de -175°C hasta una temperatura de -75°C ; la porción 13a no totalmente recalentada de la parte a licuar 13, y la porción 13b totalmente recalentada de esta misma parte a licuar 13, son unidas luego para constituir el nitrógeno gaseoso 13 (o sea $409,76 \text{ Nm}^3$ a la temperatura de 14°C), unida según la etapa (e) definida anteriormente a la fracción gaseosa residual 7 a la baja presión del ciclo de licuación de nitrógeno.

El funcionamiento del conjunto de cambio térmico reversible 18/19 se describirá a continuación con más precisión.

c') en el curso de la refrigeración según la etapa (d') precedente, efectuada en el conjunto de cambio térmico reversible 18/19, se depura el aire comprimido 23 en agua y gas carbónico, por vía frigorífica; dicho de otro modo, se separa el agua y el gas carbónico por condensación y solidificación en el conjunto de cambio térmico reversible 18/19, siendo eliminadas a continuación las impurezas así captadas por vaporización y sublimación en la fracción gaseosa 20 enriquecida en nitrógeno, en curso de recalentamiento,

d') se destila el aire comprimido 22 enfriado y

5 depurado, por medio de dos columnas de destilación 24 y 25 que trabajan, respectivamente, a la presión superior, o sea, aproximadamente 6,2 atma, y a la presión inferior, o sea aproximadamente 1,3 atma, y condensando en el condensador/
vaporizador 26 que une térmicamente las columnas 24 y 25, por lo menos una parte de una fracción gaseosa 21 sustancialmente pura en nitrógeno, obtenida a $-176,5^{\circ}\text{C}$ en cabeza de la columna 24 a la presión superior, por cambio de calor con una fracción líquida 30 sustancialmente pura en oxígeno, obtenida a $-178,7^{\circ}\text{C}$ en cuba de la columna 25 a la presión inferior, al menos en parte en curso de vaporización.

Más precisamente, se introduce la corriente de aire comprimido 22 enfriado y depurado, en cuba de la columna 24; se separa en la columna 24, en primer lugar, un líquido rico en oxígeno 31, que comprende 38,9% de oxígeno, recogido a -172°C en cuba de esta columna, y en segundo lugar, un líquido pobre en oxígeno, que comprende 4,9% de oxígeno, recogido a $-175,9^{\circ}\text{C}$ por encima del líquido rico 31, a un nivel intermedio de la columna 24; se obtiene en cabeza de la columna 24 una fracción gaseosa 21 sustancialmente pura en nitrógeno, a la temperatura de $-176,5^{\circ}\text{C}$, y ésta es condensada, al menos en parte, en el condensador/vaporizador 26, como se ha descrito más arriba.

Se sub-refrigera el líquido rico 31 a una temperatura de $-175,9^{\circ}\text{C}$, y el líquido pobre 33 a una temperatura

ra de $-189,4^{\circ}\text{C}$, por cambio de calor a contracorriente en el cambiador 35 con la fracción gaseosa 20 enriquecida en nitrógeno, en curso de recalentamiento de $-192,8^{\circ}\text{C}$ a -175°C . El líquido rico 31 sub-refrigerado, y el líquido pobre 33 sub-refrigerado son expandidos a la presión inferior, respectivamente, en las válvulas de expansión 32 y 34.

5 Se introduce el líquido rico expandido 31 y el líquido pobre expandido 33, respectivamente, en una zona intermedia y en cabeza de la columna de destilación 25, mediante lo cual, por destilación de los líquidos 31 y 33 in-
10 troducidos, se obtiene en la columna 25, por una parte, la fracción gaseosa 20 enriquecida en nitrógeno (que comprende $96,8\%$ de nitrógeno), en cabeza de la columna 25, a una temperatura de $-193,2^{\circ}\text{C}$, y, por otra parte, la fracción lí-
15 quida 30, sustancialmente pura en oxígeno, en cuba de la columna 25, a una temperatura de $-178,7^{\circ}\text{C}$.

La fracción gaseosa 20 sustancialmente pura en nitrógeno, es recalentada en el cambiador 35, y el conjunto de cambio térmico reversible 18/19, como se ha descrito
20 anteriormente, mientras que la fracción líquida 30 sustancialmente pura en oxígeno, es evacuada al menos en parte de la columna 25, comprimida en la bomba 27 a una presión de $3,5$ atma, y evacuada como producto por el conducto 28.

De manera general, por fracción gaseosa o líquida,
25 enriquecida en nitrógeno u oxígeno, se entiende una

fracción gaseosa o líquida sustancialmente pura en nitrógeno u oxígeno, o una fracción gaseosa o líquida cuyo contenido en nitrógeno u oxígeno es superior al del aire atmosférico.

5 Con el fin de hacer cooperar la instalación de separación de aire anteriormente descrita con el ciclo de licuación descrito más arriba con referencia a la figura 1, se efectúan las adaptaciones siguientes:

10 1) el gas a licuar 13 es enfriado según la etapa (e) del ciclo de licuación, a una presión sustancialmente igual a la presión superior del procedimiento de fraccionamiento de aire, o sea, a aproximadamente 6 atma,

15 2) el gas a licuar 13 está constituido por la parte a licuar 13 de la fracción gaseosa 21 sustancialmente pura en nitrógeno, obtenida en cabeza de la columna 24 a presión superior; esta parte a licuar es recalentada, al menos en parte, en el conjunto de cambio térmico reversible 18/19, antes de su refrigeración según la etapa (e) del ciclo de licuación, por cambio de calor con el aire comprimido 23 en curso de refrigeración,

20 3) se extrae a título de reflujo otra parte 29 del gas a licuar 13, en estado condensado, obtenido según la etapa (e) de refrigeración, definida anteriormente; este reflujo 29 es introducido en cabeza de la columna a presión superior 24.

25

Más precisamente, siendo depurado el aire comprimido 23 por vía frigorífica, el conjunto de cambio térmico reversible 18/19 comprende, por una parte, dos pasos permutables 18a/19a y 18b/19b, reservados, respectivamente, al
5 aire comprimido 23 en curso de refrigeración y de depuración según las etapas (b') y (c'), y a la fracción gaseosa 20 enriquecida en nitrógeno, a la presión inferior, en curso de recalentamiento según la etapa (d'), y, por otra parte, un paso no permutable 18c/19c, reservado en la parte
10 13 a licuar.

De esta manera, después del recalentamiento de la parte a licuar 13 en el paso no permutable 19c de la parte fría 19 del conjunto 18/19 de cambio térmico reversible, ésta es dividida en dos porciones 13a y 13b, de las
15 cuales una (13b) es recalentada de nuevo en el paso no permutable 18c de la parte caliente 18 del conjunto 18/19 de cambio térmico reversible, y la otra, 13a, no es recalentada de nuevo. La porción recalentada de nuevo 13b y la porción no recalentada de nuevo 13a, son unidas una a otra,
20 para reconstituir la parte a licuar, recalentada en total a la temperatura de -4°C , enfriada según la etapa (e) del ciclo de refrigeración.

Por otro lado, otra parte a licuar 14, tomada de la fracción gaseosa 21 sustancialmente pura en nitrógeno,
25 obtenida en cabeza de la columna 24 a presión superior, es

enfriada directamente a la temperatura de $-176,5^{\circ}\text{C}$, es decir, sin recalentamiento previo, por cambio de calor a contracorriente, en el cambiador 99, con la corriente de re - frigeración o frigorígena 14. Esta otra parte 14 a licuar, en estado condensado, es unida a la parte 13 a licuar, también en estado condensado.

5

El presente invento se aplica a cualquier producción de oxígeno o de nitrógeno, principalmente en forma líquida, en cooperación con una instalación de regasificación de un gas natural licuado, con vistas al envío del gas natural así obtenido a una red de distribución.

10

REIVINDICACIONES

15

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 que se recogen en las reivindicaciones siguientes:

20

1ª.- Ciclo frigorífico de cascada incorporada para licuar un gas, para la regasificación de un gas natural licuado, caracterizado porque la fuente caliente de dicho ciclo está constituida por un gas natural licuado en curso

25

de regasificación, mientras que la fuente fría de dicho ciclo está constituida por dicho gas a licuar, en curso de refrigeración.

5 2ª.- Ciclo según la reivindicación 1ª, caracterizado porque el ciclo de cascada incorporada es de tipo abierto.

 3ª.- Ciclo según la reivindicación 1ª, caracterizado porque el ciclo de cascada incorporada es de tipo cerrado.

10 4ª.- Ciclo según la reivindicación 3ª, caracterizado porque comprende una sola presión de vaporización de la mezcla de ciclo, sensiblemente igual a la baja presión de dicho ciclo.

 5ª.- Ciclo frigorífico de cascada incorporada para licuar un gas, para la regasificación de un gas natural licuado, según el cual se efectúan por lo menos las operaciones siguientes: a) se comprime de una baja presión a una alta presión al menos una mezcla de ciclo en forma gaseosa, que comprende una pluralidad de constituyentes, siendo efectuada esta compresión en al menos una etapa de compresión, b) se efectúa a dicha alta presión una condensación fraccionada de al menos la mezcla de ciclo comprimido, comprendiendo esta condensación fraccionada por lo menos: b.1) una primera etapa de condensación fraccionada, durante la cual se condensa parcialmente al menos la mez -

15
20
25

cla de ciclo comprimido, por cambio de calor con al menos un refrigerante externo; se separa al menos la mezcla de ciclo parcialmente condensado en una primera fracción condensada y una primera fracción vapor que prosigue la condensación fraccionada, b.2) una última etapa de condensación fraccionada, durante la cual se condensa totalmente la última fracción vapor de al menos la mezcla de ciclo, por cambio de calor a contracorriente con una corriente frigorígena de la mezcla de ciclo, en curso de recalentamiento a una presión de vaporización al menos igual a la baja presión; se obtiene así una última fracción condensada, c) se expande al menos una parte de la primera fracción condensada y de la última fracción condensada, de dicha alta presión a dicha presión de vaporización, constituyendo la parte expandida de la última fracción condensada, al menos, una parte inicial de dicha corriente frigorígena, y siendo unida al menos la parte expandida de la primera fracción condensada a dicha corriente frigorígena, d) se vaporizan las partes expandidas según la etapa (c), y se recalienta a dicha presión de vaporización dicha corriente frigorígena, por cambio de calor a contracorriente con al menos la mezcla de ciclo en curso de condensación fraccionada a la alta presión, e) se enfría el gas a licuar por cambio de calor a contracorriente con una corriente de refrigeración de la mezcla de ciclo, en curso de recalenta

miento a una presión de recalentamiento igual a dicha baja presión; y se extrae a título de producción líquida, al me
nos una parte de dicho gas a licuar, en estado condensado,
5 f) se vuelve a comprimir según la etapa (a) al menos la co
rriente frigorígena recalentada según la etapa (d), de di
cha presión de vaporización a dicha alta presión, para re
constituir al menos en parte la mezcla de ciclo a la alta
presión, estando caracterizado dicho ciclo porque, estando
constituido dicho refrigerante externo por un gas natural
10 licuado en curso de regasificación, durante al menos la
primera etapa (b.1) de condensación fraccionada, se efectúa
un cambio de calor a contracorriente entre, por una parte,
al menos la mezcla de ciclo comprimido, en curso de conden
sación fraccionada y, por otra parte, el gas natural licua
do en curso de regasificación.
15

6ª.- Ciclo según la reivindicación 5ª, del tipo
abierto, caracterizado porque: al menos una parte del gas
a licuar se une a la mezcla de ciclo, antes o durante su
condensación fraccionada según la etapa (b), mediante lo
20 cual, por una parte, durante dicha etapa (b), se efectúa al
menos la última etapa (b.2) de condensación fraccionada,
condensando una mezcla que comprende el gas a licuar y la
mezcla de ciclo y, por otra parte, la etapa (e) de refrige
ración del gas a licuar se confunde, al menos en parte,
25 con la etapa (b) de condensación fraccionada, siendo enton

ces dicha corriente de refrigeración según la etapa (e) idéntica a dicha corriente frigorígena según las etapas (b), (c), (d) y (f), y al menos una parte de la última fracción condensada obtenida según la etapa (b.2), es extraída del ciclo frigorífico, a título de producto líquido.

7^a.- Ciclo según la reivindicación 6^a, del tipo cerrado, caracterizado porque durante las etapas (b) de condensación fraccionada y (e) de refrigeración del gas a licuar, la mezcla de ciclo y el gas a licuar son enfriados independientemente y por separado uno de otro.

8^a.- Ciclo según la reivindicación 7^a, del tipo de dos presiones, caracterizado porque: en el curso de la etapa (a) de compresión, se comprime la mezcla de ciclo en dos etapas de compresión, efectuadas, respectivamente, desde la baja presión hasta una presión intermedia, y desde esta última hasta la alta presión, en el curso de las etapas (b) de condensación fraccionada y (d) de vaporización y recalentamiento, dicha presión de vaporización de dicha corriente frigorígena es sustancialmente igual a dicha presión intermedia, en el curso de la etapa (e) de refrigeración del gas a licuar, dicha corriente de refrigeración es diferente de dicha corriente frigorígena, en el curso de la etapa (c) de expansión, se expande a dicha presión intermedia otra parte de al menos dos fracciones condensadas ob

tenidas según la etapa (b), constituyendo dicha otra parte
expandida de una de las dos fracciones condensadas citadas
al menos una parte inicial de dicha corriente de refrigera
ción, y siendo unida dicha otra parte expandida de la otra
5 de las dos fracciones condensadas a dicha corriente de re-
frigeración, en el curso de la etapa (f') de recompresión,
se vuelve a comprimir dicha corriente de refrigeración re-
calentada, desde la baja presión hasta la presión interme-
dia, y luego dicha corriente frigorígena recalentada, es
10 unida a dicha corriente de refrigeración, desde la presión
intermedia hasta la alta presión.

9ª.- Ciclo según la reivindicación 7ª, del tipo
de una sola presión, caracterizado porque, en el curso de
las etapas (b) de condensación fraccionada, y (d) de vapo-
rización y recalentamiento, dicha presión de vaporización
15 de dicha corriente frigorígena es sustancialmente igual a
dicha baja presión, y en el curso de la etapa (e) de refri-
geración del gas a licuar, dicha corriente de refrigeración
es idéntica a dicha corriente frigorígena.

10ª.- Ciclo según una cualquiera de las reivindi-
caciones 5ª a 9ª, caracterizado porque durante al menos la
primera etapa (b.1) de condensación fraccionada, se efec -
túa igualmente un cambio de calor a contracorriente entre,
por una parte, al menos la mezcla de ciclo comprimido, en
25 curso de condensación fraccionada y, por otra parte, dicha

corriente frigorígena en curso de recalentamiento.

5 11ª.- Ciclo según una cualquiera de las reivindicaciones 5ª a 10ª, caracterizado porque, igualmente durante la última etapa (b.2) de condensación fraccionada, se condensa totalmente la última fracción vapor de al menos la mezcla de ciclo, por cambio de calor a contracorriente con igualmente el gas natural licuado en curso de regasificación.

10 12ª.- Ciclo según una cualquiera de las reivindicaciones 5ª a 11ª, caracterizado porque la etapa (b) de condensación fraccionada comprende únicamente las etapas (b.1) y (b.2), mediante lo cual dicha primera fracción vapor constituye la última fracción vapor de la mezcla de ciclo.

15 13ª.- Ciclo según una cualquiera de las reivindicaciones 5ª a 12ª, caracterizado porque: en el curso de la etapa (d) de vaporización y recalentamiento, se recalienta dicha corriente frigorígena hasta una temperatura inferior a $-40/-30^{\circ}\text{C}$, en el curso de la etapa (f) de recompresión, se vuelve a comprimir dicha corriente frigorígena en una
20 etapa inicial de compresión y una etapa final de compresión, efectuadas, respectivamente, desde dicha presión de vaporización hasta una presión intermedia, y desde esta
última hasta la alta presión, se efectúa un cambio de calor
25 a contracorriente entre, por una parte, la corriente frigo



rígena recalentada según la etapa (e), antes de la etapa inicial de compresión y, por otra parte, la mezcla de ciclo a la presión intermedia, antes de la etapa final de compresión, mediante lo cual dicha corriente frigorígena es recalentada de nuevo hasta aproximadamente -40/-30°C, antes de sufrir dicha etapa inicial de compresión, y dicha mezcla de ciclo a la presión intermedia es enfriada hasta aproximadamente -40/-30°C, antes de sufrir dicha etapa final de compresión.

5

10

14ª.- Ciclo según la reivindicación 13ª, caracterizado porque, antes de dicha etapa final de compresión, la mezcla de ciclo a la presión intermedia es enfriada por cambio de calor a contracorriente con igualmente el gas natural licuado en curso de regasificación.

15

15ª.- Ciclo según la reivindicación 14ª, caracterizado porque el gas natural licuado en curso de regasificación, por cambio de calor a contracorriente, con la mezcla de ciclo a la presión intermedia, ha servido previamente para condensar de modo parcial según la etapa (b.1) la mezcla de ciclo a la presión intermedia.

20

16ª.- Ciclo según cualquiera de las reivindicaciones 5ª a 15ª, caracterizado porque la mezcla de ciclo comprende entre 0% y aproximadamente 20% de hidrocarburos que comprenden un número de átomos de carbono por lo menos igual a 3.

25

*El sello no vale si ha pasado por
esta*



17ª.- Ciclo según la reivindicación 16ª, caracterizado porque la mezcla de ciclo comprende al menos nitrógeno y un hidrocarburo que comprende dos átomos de carbono.

5 18ª.- Ciclo según la reivindicación 17ª, caracterizado porque la mezcla de ciclo comprende igualmente metano.

19ª.- Ciclo según la reivindicación 18ª, caracterizado porque la mezcla de ciclo comprende, en primer lugar, entre 0 y aproximadamente 40% de metano, en segundo lugar, aproximadamente entre 5 y 30% de dicho hidrocarburo que comprende dos átomos de carbono, y en tercer lugar, aproximadamente entre 40 y 95% de nitrógeno.

20ª.- Procedimiento de fraccionamiento de aire, que aplica un ciclo de licuación conforme a una cualquiera de las reivindicaciones 5ª a 15ª, según el cual se efectúan por lo menos las operaciones siguientes: a') se comprime
15 aire a una presión llamada superior, b') se enfría el aire comprimido por cambio de calor con al menos una fracción gaseosa enriquecida en nitrógeno, obtenida en el curso de la destilación según (a'), en curso de recalentamiento a
20 una presión llamada inferior, c') se depura el aire comprimido de agua y gas carbónico, especialmente en el curso de la refrigeración según (b'), d') se destila el aire comprimido enfriado y depurado, por medio de al menos dos columnas de destilación que trabajan, respectivamente, a dicha
25 presión superior y a dicha presión inferior, condensando

al menos en parte una fracción gaseosa sustancialmente pura en nitrógeno, obtenida en cabeza de la columna a dicha presión superior, por cambio de calor con una fracción líquida sustancialmente pura en oxígeno, obtenida en cuba de la columna a dicha presión inferior, al menos en parte en curso de vaporización, mediante lo cual se obtiene a dicha presión inferior por lo menos dicha fracción gaseosa enriquecida en nitrógeno, y una fracción sustancialmente pura en oxígeno, estando caracterizado dicho procedimiento porque, en combinación: 1) el gas a licuar es enfriado según la etapa (e) del ciclo de licuación, a una presión sustancialmente igual a dicha presión superior, 2) el gas a licuar está constituido por una parte a licuar de la fracción gaseosa sustancialmente pura en nitrógeno, obtenida en cabeza de la columna a presión superior, siendo recalentada esta parte a licuar, al menos en parte, antes de su refrigeración según la etapa (e), por cambio de calor con el aire comprimido en curso de refrigeración.

21^a.- Procedimiento según la reivindicación 20^a, caracterizado porque se extrae a título de reflujo otra parte del gas a licuar, en estado condensado, obtenido según la etapa (e) de refrigeración, y este reflujo es introducido en cabeza de la columna a presión superior.

22^a.- Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 20^a y 21^a, caracterizado porque el aire

comprimido es depurado por vía frigorífica, por medio de al menos un conjunto de cambio térmico reversible, que comprende, por una parte, dos pasos permutables, reservados, respectivamente, al aire comprimido en curso de refrigeración y de depuración según (b') y (c'), y a la fracción gaseosa enriquecida en nitrógeno a la presión inferior, en curso de recalentamiento según (d'), y, por otra parte, un paso no permutable reservado a dicha parte a licuar, y por que después del recalentamiento de dicha parte a licuar en la parte fría de dicho conjunto de cambio térmico reversible, ésta es dividida en dos porciones, de las cuales una es recalentada de nuevo en la parte caliente de dicho conjunto de cambio térmico reversible, y la otra no es recalentada de nuevo, y la porción recalentada de nuevo y la porción no recalentada de nuevo son unidas una con otra, para reconstituir dicha parte recalentada, enfriada según la etapa (e) del ciclo de licuación.

23ª.- Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 20ª a 22ª, caracterizado porque otra parte a licuar de la fracción gaseosa sustancialmente pura en nitrógeno, obtenida en cabeza de la columna a presión superior, es enfriada directamente en el curso de la etapa (e) de refrigeración, por cambio de calor a contracorriente con dicha corriente de refrigeración, y esta otra parte a licuar, en estado condensado, es unida a dicha parte a li-

cuar, también en estado condensado.

24^a.- Ciclo frigorífico de cascada incorporada para licuar un gas, para la regasificación de un gas natural licuado.

5

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

Esta Memoria consta de cincuenta y tres hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid, -4 FEB. 1976

P.A.

Alberto de Eizaburu
Por Calle.

444904

P 6 2 2 3 4

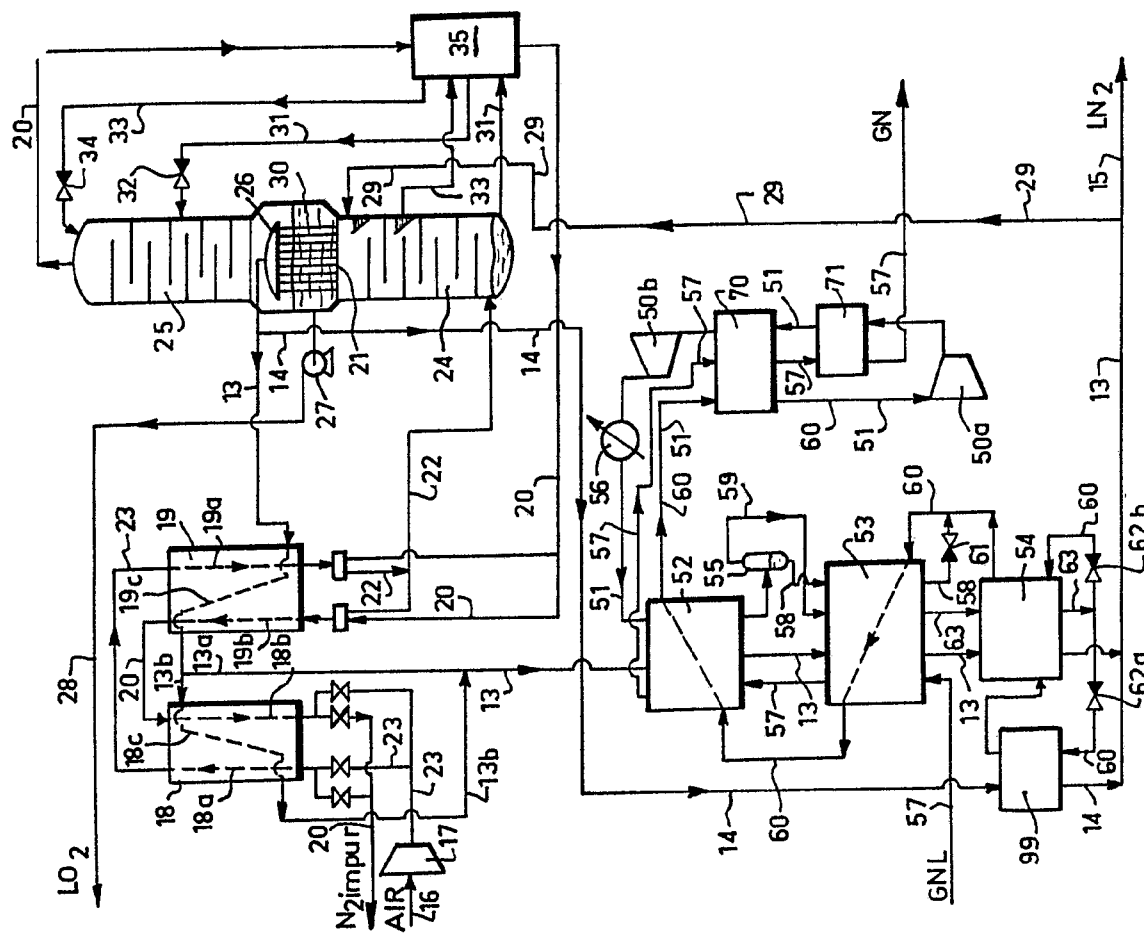


FIG. 1

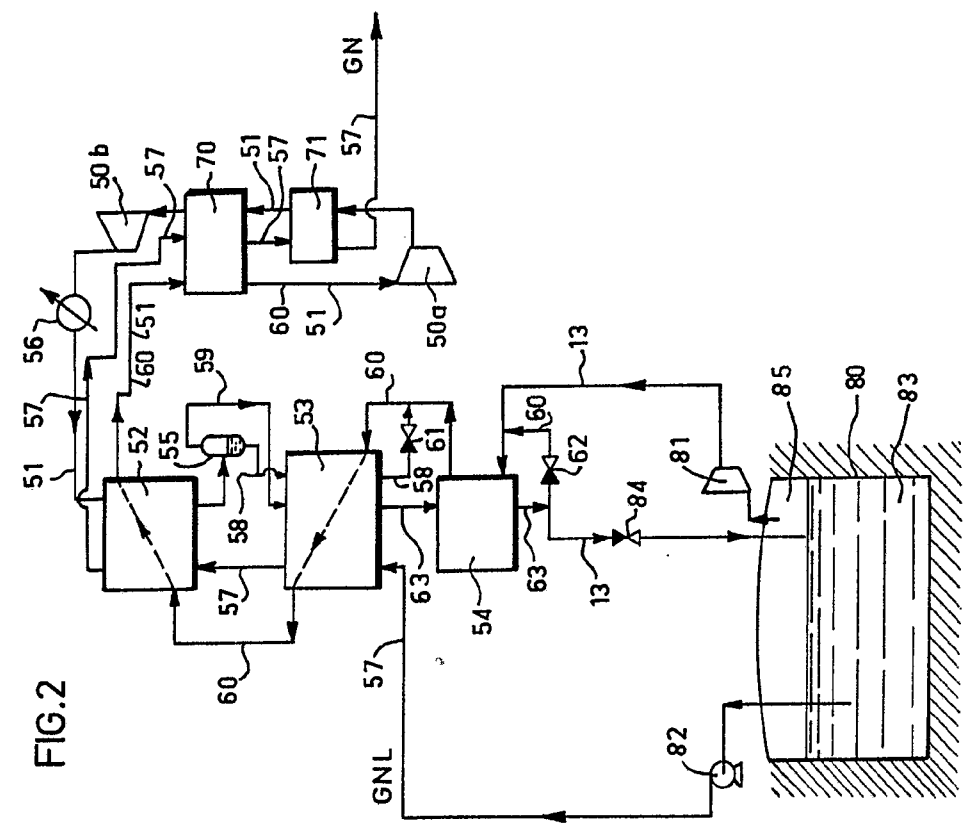


FIG. 2

Aisberg
[Signature]

444904

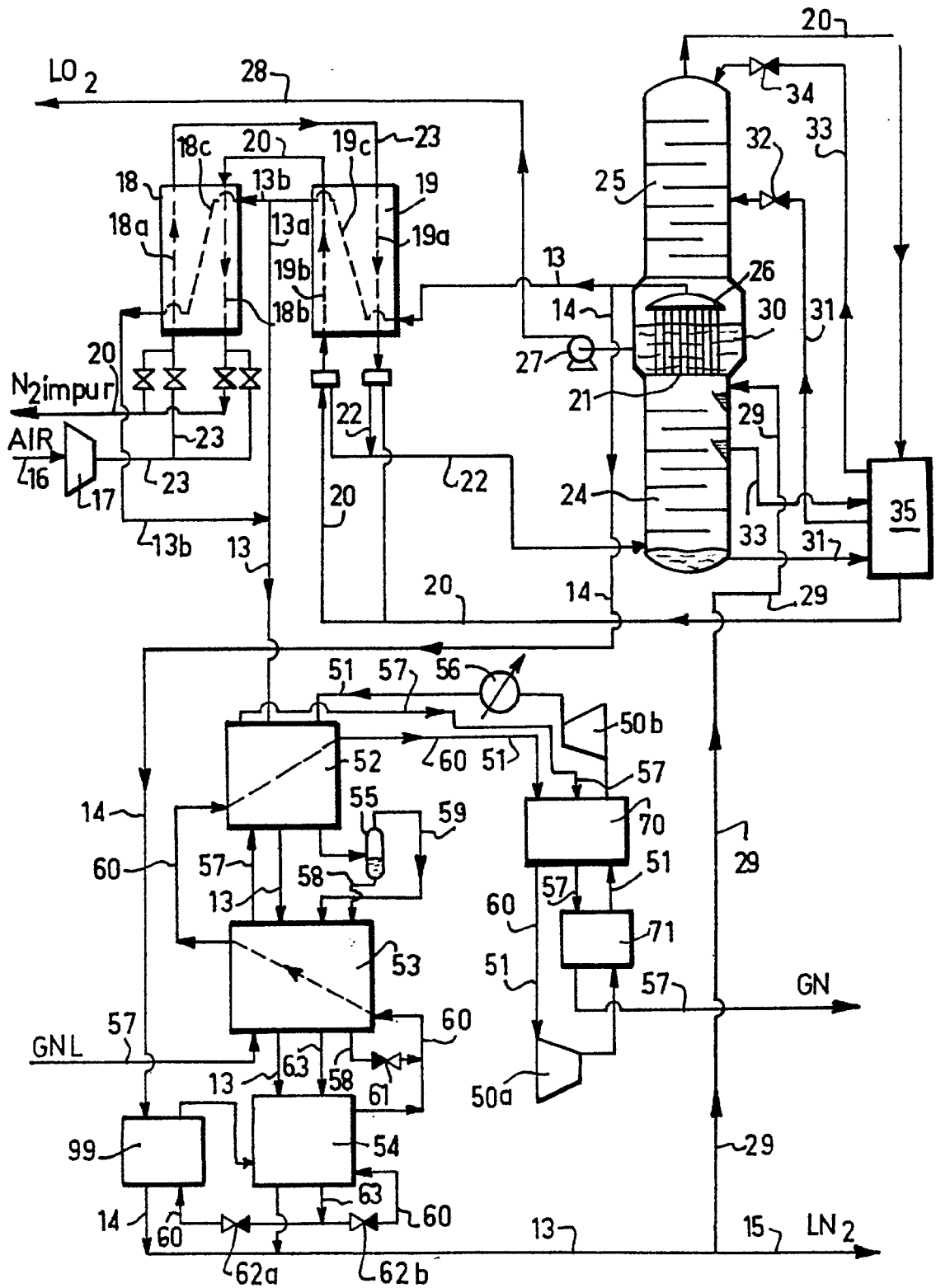
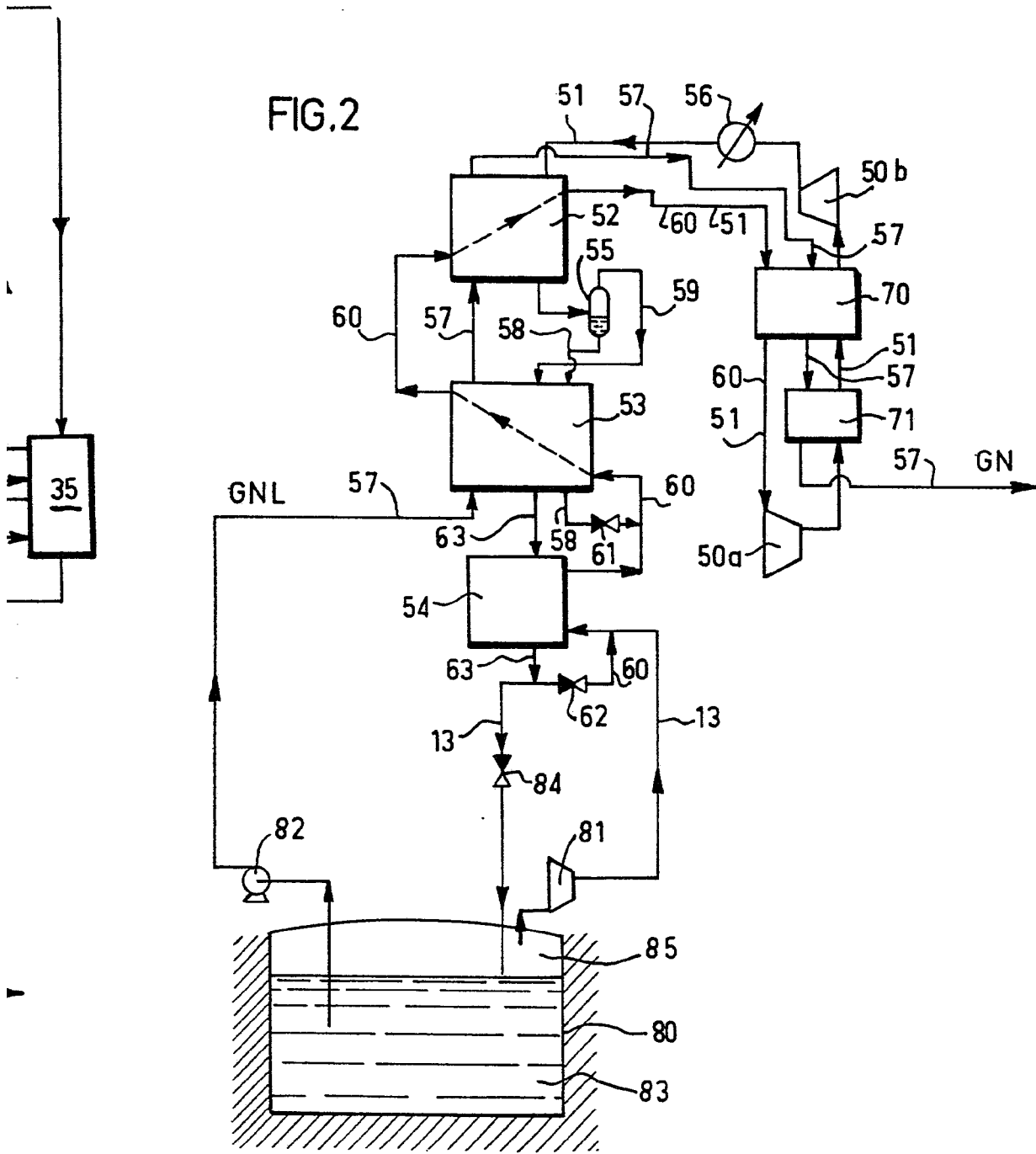


FIG. 1



FIG.2



2

Alberto de S...
[Handwritten signature]