

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 989 105**

51 Int. Cl.:

**F17C 13/02**

(2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.06.2017** **PCT/FR2017/051541**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.01.2018** **WO18002467**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.06.2017** **E 17740051 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.08.2024** **EP 3479006**

54 Título: **Procedimiento y sistema para calcular en tiempo real la cantidad de energía transportada en un depósito de gas natural licuado presurizado y no refrigerado**

30 Prioridad:

**30.06.2016 FR 1656241**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**25.11.2024**

73 Titular/es:

**ENGIE (100.0%)  
1, Place Samuel de Champlain  
92400 Courbevoie, FR**

72 Inventor/es:

**BEN BELGACEM-STREK, MICHEL;  
MENARD, GABRIELLE y  
LEGRAND, FRÉDÉRIC**

74 Agente/Representante:

**DEL VALLE VALIENTE, Sonia**

ES 2 989 105 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento y sistema para calcular en tiempo real la cantidad de energía transportada en un depósito de gas natural licuado presurizado y no refrigerado

La presente invención se refiere de manera general a un procedimiento y un sistema que permiten calcular en tiempo real la cantidad de energía química residual en un depósito presurizado y no refrigerado, que contiene gas natural licuado (GNL), sin necesidad de determinar la composición del GNL.

El combustible GNL es una alternativa sencilla y eficaz a los combustibles convencionales, tanto desde el punto de vista de las emisiones de CO<sub>2</sub> y partículas contaminantes, como de la densidad energética. Cada vez más actores recurren a su uso, tales como los transportistas por carretera, marítimos o ferroviarios.

Sin embargo, al contrario que los combustibles clásicos, la densidad energética del GNL, es decir, la energía contenida por unidad de volumen de GNL, no es constante. Esto se explica por dos fenómenos distintos. En primer lugar, la temperatura del GNL aumentará durante su almacenamiento en un depósito presurizado y no refrigerado, debido a las entradas de calor residual. Entonces, este aumento de temperatura provocará una dilatación térmica del fluido (que puede suponer más del 20 % de aumento de volumen) y, por lo tanto, una disminución de su densidad energética.

El segundo fenómeno que explica la variación de la densidad energética del GNL es la variación de su composición. El GNL no es un producto refinado, por lo que su composición en hidrocarburos puede variar en función de los yacimientos explotados.

La variabilidad de la densidad energética del GNL almacenado en un depósito no refrigerado puede resultar problemática en sistemas que requieran un control detallado del consumo de combustible. Normalmente, en el caso de camiones que funcionen con GNL, se puede observar, para un mismo depósito que contenga 600 L de GNL, una diferencia en la densidad energética del GNL del orden del 15 al 20 % para una composición de GNL idéntica, en función de si el GNL es pesado y frío, o si es ligero y cálido. En la práctica esto se traduce en unos cien kilómetros de diferencia en el kilometraje recorrido, para una misma cantidad de GNL introducida al inicio, como se ilustra en el ejemplo comparativo.

Actualmente, no existe ninguna solución para informar en tiempo real al operador de un depósito presurizado, sobre la energía restante contenida en el depósito de GNL. Las únicas informaciones disponibles para el operador son la presión del espacio gaseoso, la temperatura del GNL (en el mejor de los casos), el nivel de llenado del depósito, así como la distancia que aún puede recorrer un vehículo que comprenda el depósito de GNL, como se presenta en la solicitud de patente CA 2 753 588. 1

Generalmente, durante el llenado del depósito por parte del proveedor de combustible, se realiza un cálculo de energía según la norma internacional ISO 6976:1995, a partir de la última composición de GNL conocida (y proporcionada por el proveedor) y de la masa de GNL transferida. Este cálculo sirve de referencia para la transacción financiera. Así, mediante este cálculo a la temperatura de combustión del GNL, se determina el poder calorífico superior PCS<sub>más</sub> del GNL, según la ecuación (1), asumiendo que el GNL está esencialmente compuesto de metano, etano, propano, isobutano, n-butano, iso-pentano, n-pentano y nitrógeno:

$$(1) \quad PCS_{m\acute{a}s}(T_c) = \sum_j \left( x_j \times \frac{M_j}{M} \right) \cdot PCS_{m\acute{a}s\_j}(T_c)$$

Donde:

- PCS<sub>más</sub> representa el poder calorífico del GNL,
- T<sub>c</sub> la temperatura de combustión a la que se calcula el PCS,
- x<sub>j</sub> la fracción molar del componente j en la mezcla,
- M<sub>j</sub> la masa molar del componente j,
- M la masa molar del GNL, proporcionada por la norma NF EN ISO 6976, y
- PCS<sub>más j</sub> el poder calorífico superior del componente j, proporcionado por las tablas de la ISO 6976:1995.

Sin embargo, este cálculo depende de la composición del GNL. Ahora bien, esta composición puede resultar compleja de determinar. De hecho, es necesaria la instalación de un cromatógrafo.

La falta de información en tiempo real sobre la energía contenida en el depósito es problemática por diversas razones:

- Gestión del suministro: actualmente, la gestión del suministro de GNL en algunos depósitos (en particular, en los camiones) se basa únicamente en el volumen de líquido restante en el tanque. Ahora bien, una gestión basada en la energía requerida por las unidades conectadas al depósito sería más coherente, ya que los datos que se necesitan, por ejemplo, para estimar el número de kilómetros que aún se pueden recorrer;

- Evitar escasez y averías: según la densidad energética del GNL, el consumo volumétrico de las unidades puede variar bruscamente, ya que se necesita una mayor cantidad de GNL para obtener la misma cantidad de energía. Esta variación no prevista por los operadores podría provocar una escasez no anticipada de combustible y, por lo tanto, una avería;

- Formación de los operadores: el mercado del combustible GNL es relativamente pequeño. Los actores del mercado son en su mayoría profesionales que han recibido una formación adecuada para la manipulación del GNL y las buenas prácticas. Sin embargo, si el mercado creciera rápidamente, actores menos formados podrían verse obligados a manipular y/o gestionar el consumo de GNL. El conocimiento de la cantidad de energía contenida en el depósito podría permitir calcular de manera sencilla cantidades fáciles de entender para estos operadores (por ejemplo, el kilometraje restante).

En esta óptica, para asegurar el desarrollo del combustible GNL, el solicitante ha implementado una solución que permite prever mejor su contenido energético en tiempo real, únicamente a partir de parámetros termodinámicos medidos en el interior del depósito (densidad del GNL, temperatura y nivel de la capa de GNL en el depósito), y sin necesidad de conocer la composición del GNL contenido en el depósito.

En particular, el objeto de la presente invención es un procedimiento para calcular en tiempo real la energía química residual  $E$  contenida en un depósito presurizado y no refrigerado, definido por su forma y sus dimensiones, y que contiene una capa de gas natural en estado líquido (GNL), definiéndose dicha capa de GNL en un momento  $t$  dado, por su temperatura  $T$ , su densidad  $\rho$ , y su nivel  $h$  en dicho depósito;

dicho procedimiento consiste en un algoritmo que comprende, en un momento  $t$  dado, los siguientes pasos:

A. Adquisición de los parámetros característicos de la capa de GNL, mediante medición:

- del nivel  $h$  de la capa de GNL en el depósito, mediante un sensor de nivel;
- de la temperatura  $T$  mediante un sensor de temperatura; y
- de la densidad  $\rho$  mediante un sensor de densidad; y

B. Determinación de la masa total  $m_t$  del GNL contenido en el depósito;

estando dicho procedimiento caracterizado por que dicho algoritmo comprende, además, para cada momento  $t$ , los siguientes pasos:

C. Cálculo del poder calorífico superior másico  $PCS_{m\acute{a}s}$  del GNL mediante una función  $f$  que toma como parámetros la temperatura y la densidad del líquido, según la fórmula:

$$PCS_{m\acute{a}s} = f(T, \rho)$$

A. Cálculo de la energía química residual  $E$ , según la fórmula:

$$E = PCS_{m\acute{a}s} * m_t$$

en la cual la función  $f$ , que relaciona el poder calorífico superior másico  $PCS_{m\acute{a}s}$  con los parámetros  $T$  y  $\rho$ , tiene la forma:

$$f(T, \rho) = A(T) + B * \rho$$

donde:

A es un valor constante para una temperatura dada;

B es una constante independiente de la composición,

ejecutándose dicho procedimiento por un ordenador destinado a conectarse a sensores de nivel, de temperatura y de densidad con los que cuenta dicho depósito.

Los valores de las dos constantes presentes en la función  $f$  están definidos en publicaciones del sector, tal como la LNG Industry magazine 2014, o en la literatura científica.

Por poder calorífico superior másico del gas natural, se entiende en el sentido de la presente invención, la cantidad de calor suministrada por la combustión completa de una unidad de masa del gas natural en cuestión contenida en el aire a una presión constante y a una temperatura dadas. Se expresa en cantidad de calor por unidad de masa de combustible (en el ámbito de la presente invención, en kWh/m<sup>3</sup>)

A partir de información de entrada, tal como la forma y las dimensiones del depósito, la temperatura, el nivel de la capa de GNL y la densidad del GNL, el algoritmo del procedimiento según la invención permite calcular instantáneamente la cantidad real de energía química residual contenida en cualquier depósito.

Además, la implementación de este procedimiento es sencilla porque no necesita determinar la composición del GNL, lo que requeriría la utilización de un cromatógrafo o un calorímetro para determinar el PCS<sub>más</sub> del GNL. De hecho, normalmente, se calcula el PCS másico de un GNL en función de su composición, generalmente asumiendo que está compuesto únicamente de metano, etano, propano, isobutano, n-butano, iso-pentano, n-pentano y nitrógeno).

Con el procedimiento según la invención, el error cometido al no basarse en la composición exacta del GNL es, como máximo, del orden del 3 %: esta es la diferencia constatada entre el PCS<sub>más</sub> de un GNL pesado (que contiene más del 10 % de hidrocarburos distintos del metano) y el PCS<sub>más</sub> de un GNL ligero (que contiene más del 99 % de metano puro) a la misma temperatura que la de la composición en cuestión.

En comparación, el error que se cometería con un procedimiento diferente al de la invención para determinar el PCS<sub>más</sub> del GNL, puede alcanzar rápidamente un valor del orden del 20 % si el PCS<sub>más</sub> del GNL se determina a una temperatura incorrecta, incluso si la composición es correcta.

Ventajosamente, dicho algoritmo puede o bien reiterarse a demanda por un operador que utilice dicho depósito, o bien realizarse de manera automática, en cuanto transcurra un intervalo de tiempo  $\Delta t$  dado, intervalo que puede ser, por ejemplo, del orden de un segundo o, en su caso, definido de manera óptima para tener en cuenta los tiempos de latencia en función de la tecnología de sensores utilizada.

La determinación de la masa total de GNL puede realizarse de diferentes maneras.

Según una primera determinación, la masa total  $m_t$  de GNL contenida en el depósito puede realizarse ventajosamente mediante una medición directa utilizando una balanza o galgas extensométricas.

Según otra realización ventajosa, la determinación de la masa total  $m_t$  de GNL contenida en el depósito puede realizarse mediante un cálculo según la fórmula:

$$m_t = \rho * g(h)$$

donde:

- $h$  es el nivel de la capa de GNL en el depósito,
- $\rho$  es la densidad del GNL, y
- $g$  es una función relacionada con la forma del depósito, que proporciona un valor homogéneo a un volumen.

Esta determinación de la masa total  $m_t$  podrá utilizarse especialmente en el caso en que la medición directa de la masa sea complicada de implementar en el depósito, por ejemplo, cuando este esté en movimiento durante la medición.

La presente invención también tiene por objeto un sistema para calcular en tiempo real, según la presente invención, la energía química residual  $E$  contenida en un depósito presurizado, definido por su forma y sus dimensiones, y que contiene una capa de gas natural en estado líquido (GNL), definiéndose dicha capa de GNL en un momento  $t$  dado, por su temperatura  $T$ , su densidad  $\rho$ , y su nivel  $h$  en dicho depósito;

dicho sistema se caracteriza por que comprende:

- un ordenador destinado a conectarse a sensores de nivel, de temperatura y de densidad con los que cuenta dicho depósito, siendo dicho ordenador capaz de ejecutar el algoritmo del procedimiento según la invención,

- una interfaz IHM que interactúa con dicho ordenador, para comunicar al operador la cantidad de energía química residual obtenida mediante el algoritmo del procedimiento según la invención, cuando se implementa a través de un ordenador conectado a una interfaz IHM.

Por interfaz IHM, se entiende, en el sentido de la presente invención, una interfaz hombre-máquina que permite a un usuario visualizar o ser notificado mediante una señal sonora o mecánica de cualquier tipo la información sobre la cantidad de energía restante, con el fin de tomar las decisiones de acción apropiadas.

A modo de ejemplos de interfaces IHM utilizables en el ámbito de la presente invención, se pueden mencionar especialmente, entre otros, los de tableros de instrumentos de vehículos, los teclados de ordenador, los indicadores LED, las pantallas táctiles y las tabletas, los altavoces, etc.

Según una realización ventajosa del sistema según la invención, este puede ser un sistema a bordo en donde:

- el ordenador puede ser un ordenador a bordo conectado a dichos sensores de nivel, de temperatura y de densidad, estando el ordenador específicamente diseñado para ejecutar el algoritmo del procedimiento según la invención,

- la interfaz IHM también puede estar a bordo o, alternativamente, separada (si, por ejemplo, el vehículo está conectado a un centro de control,

esta interfaz IHM, si está a bordo, puede ser del tipo tablero de instrumentos a bordo del vehículo, interactuando específicamente con dicho ordenador a bordo para comunicar al operador (en este caso, el conductor) la duración de la autonomía calculada según el procedimiento de la invención.

Por ordenador específicamente diseñado para ejecutar el algoritmo del procedimiento según la invención, se entiende, en el sentido de la presente invención, un ordenador a bordo que comprende un procesador asociado a una memoria de almacenamiento dedicada y a una placa base de interfaces; estando el conjunto de estos elementos ensamblados de manera que aseguren la robustez del conjunto de “ordenador a bordo” en términos de resistencia mecánica, termodinámica y electromagnética, y así permitir su adaptación para su uso en un vehículo de GNL.

El sistema según la invención, permite que un operador acceda fácilmente al valor de la cantidad de energía química residual contenida en el depósito, incluso si no ha recibido formación específica para la manipulación del GNL. Asimismo, permite proporcionar este valor a un sistema externo, tal como un ordenador a bordo.

Ventajosamente, el sistema puede incluir, además, una balanza o galgas extensométricas, con el fin de medir directamente la masa total del GNL contenido en el depósito.

Finalmente, la presente invención tiene por objeto un vehículo (terrestre, marítimo o aéreo) que comprende un depósito presurizado que contiene una capa de gas natural en estado líquido, y que está equipado con sensores de nivel, de temperatura y de densidad, caracterizándose dicho vehículo por incorporar, además, un sistema según la invención.

Gracias al sistema según la invención, un operador que no posea una formación avanzada en la manipulación del GNL puede utilizar este vehículo fácilmente. De hecho, este sistema permite tanto mostrar el valor de la energía restante en el depósito, como transmitir el valor de la energía residual a un ordenador, que puede entonces deducir el número de kilómetros restantes antes de que sea necesario un nuevo llenado del depósito.

Otras ventajas y particularidades de la presente invención se desprenderán de la siguiente descripción, facilitada a título de ejemplo no limitativo y hecha haciendo referencia a las figuras adjuntas:

- La Figura 1 muestra el resultado de varias mediciones del poder calorífico del GNL en función de la densidad del gas natural líquido, para una temperatura y una composición dadas;

- La Figura 2 presenta el esquema de una realización particular del sistema de medición según la invención;

- La Figura 3 presenta el esquema de un ejemplo de depósito presurizado y no refrigerado utilizable en el ámbito de la presente invención (caso de un depósito cilíndrico y horizontal), en donde se representan los diferentes parámetros necesarios para determinar la función  $g(h)$ , que permite el cálculo de la masa de GNL contenida en este depósito.

- La Figura 4 presenta el esquema de un ejemplo de depósito presurizado y no refrigerado utilizable en el ámbito de la presente invención (caso de un depósito esférico), en donde se representan los diferentes parámetros necesarios para determinar la función  $g(h)$ , que permite el cálculo de la masa de GNL contenida en este depósito.

- Las Figuras 5 a 7 son capturas de pantallas de tableros de instrumentos de un vehículo que transporta cada uno un depósito de GNL cilíndrico y horizontal, mostrando los datos de entrada utilizados para el cálculo de la energía química residual E según el procedimiento de la invención, así como el resultado de este cálculo.

La Figura 1 muestra el resultado de un conjunto de mediciones del poder calorífico superior realizadas para diferentes valores de densidad de GNL a una temperatura dada (-160 °C). Estos puntos de medición pueden ser relacionados de forma satisfactoria (con un coeficiente de correlación  $R^2 = 0,957$ ) mediante una recta de regresión que, en este caso particular a -160 °C, tiene la ecuación  $f(\rho) = 0,0283\rho - 0,7791$ . Por lo tanto, esta ecuación f puede utilizarse como función de correlación para determinar el PCS<sub>más</sub> del GNL cuando este se encuentre a la temperatura de -160 °C.

La Figura 2 representa el esquema simplificado de una realización particular de la invención en el caso en que el depósito 1 es cilíndrico y vertical. Cuando se realiza una medición, lo cual puede hacerse de forma continua, después de que transcurra un intervalo de tiempo  $\Delta t$  o tras una orden del operador 7, los sensores de densidad 4, de temperatura 3 y de nivel 2 presentes en el depósito registran los valores de temperatura del líquido, de densidad, así como el nivel de este líquido en el depósito. Esta información se envía luego al ordenador 5 en donde el operador 7 introdujo previamente, a través de una interfaz hombre-máquina (IHM) 6, la forma del depósito 1, así como sus dimensiones características, en este caso particular, su radio. Esto permite al ordenador 5 definir la función g(h) utilizada para la determinación de la masa total  $m_t$  de GNL contenida en el depósito.

La Figura 3 presenta el esquema de un depósito cilíndrico colocado horizontalmente. En este caso, el cálculo del volumen de una capa de GNL en este depósito se asemeja al cálculo del área de un segmento de disco. Entonces, la función g(h) es:

$$g(h) = (R^2 \times \cos^{-1}(\frac{R-h}{R}) - (R-h) \times \sqrt{(R^2 - (R-h)^2)}) \times L$$

Si el depósito está colocado verticalmente, g(h) es simplemente  $g(h) = \pi \times R^2 \times h$

La Figura 4 presenta un depósito esférico. En este caso, el cálculo del volumen de una capa de GNL en este depósito se asemeja al cálculo del área de una cúpula esférica. Entonces, la función g(h) es:

$$V_h = \pi \times (2R - h)^2 \times \frac{(R + h)}{3}$$

A partir de esta información, el ordenador 5 calcula la masa total  $m_t$  de GNL contenida en el depósito 1, y el valor del poder calorífico superior PCM<sub>másico</sub> del GNL, estos valores posteriormente permitiendo al ordenador obtener el valor de la energía residual E contenida en el depósito en el momento de la medición. El valor de la energía residual E se puede proporcionar al operador a través de la IHM 6, o procesarse con el fin de obtener información fácil de entender, tal como el kilometraje restante.

La invención se ilustra con más detalle en los siguientes ejemplos.

## Ejemplos

### Ejemplo 1 (comparativo)

Este ejemplo ilustra la variabilidad de la densidad energética del GNL almacenado en un depósito no refrigerado.

Para ello, se determina, mediante cálculo a partir de la ecuación (1) de la norma ISO 6976:1995, la energía química residual E en un depósito que contiene 600 L (es decir, 0,6 m<sup>3</sup>) de GNL, en el caso de un GNL pesado y frío [caso a): equilibrio a 3 bares] y en el caso de un GNL de la misma composición, pero ligero y caliente [caso b): equilibrio a 14 bares].

Caso a) de un GNL pesado y frío (equilibrio a 3 bares)

Se parte de la hipótesis de que el GNL tiene la siguiente composición, indicada en la Tabla 1.

Tabla 1

| Compuesto | Fracción del compuesto en el GNL en porcentajes molares |
|-----------|---------------------------------------------------------|
| metano    | 88,034                                                  |
| etano     | 8,243                                                   |

| Compuesto | Fracción del compuesto en el GNL en porcentajes molares |
|-----------|---------------------------------------------------------|
| propano   | 2,097                                                   |
| i-butano  | 0,294                                                   |
| n-butano  | 0,407                                                   |
| nitrógeno | 0,925                                                   |

- Condiciones de combustión:

◦ Temperatura de combustión  $T_c = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$

◦ Presión: 1,01325 bar

- PCS másico ( $T_c$ ) = 14,99 kWh/kg, calculado según la ecuación de la norma ISO 6976:1995

- Temperatura del GNL  $T = -147,07\text{ }^{\circ}\text{C}$

- Densidad = 443,7153 kg/m<sup>3</sup>

$$E = 0,6 * \text{densidad} * \text{PCS}_{\text{másico}} = 3990 \text{ kWh}$$

Caso b) de un GNL ligero y caliente (equilibrio a 14 bares)

El GNL tiene la misma composición que la indicada en la Tabla 2 que sigue.

Tabla 2

| Compuesto | Fracción del compuesto en el GNL en porcentajes molares |
|-----------|---------------------------------------------------------|
| metano    | 96,367                                                  |
| etano     | 2,623                                                   |
| propano   | 0,689                                                   |
| i-butano  | 0,17                                                    |
| n-butano  | 0,15                                                    |
| nitrógeno | 0,01                                                    |

- Condiciones de combustión:

◦ Temperatura de combustión  $T_c = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$

◦ Presión: 1,01325 bar

- PCS másico ( $T_c$ ) = 15,37 kWh/kg, calculado según la ecuación de la norma ISO 6976:1995

- Temperatura del GNL  $T = -112,5\text{ }^{\circ}\text{C}$

- Densidad = 355,65 kg/m<sup>3</sup>

$$E = 0,6 * \text{densidad} * \text{PCS}_{\text{másico}} = 3279 \text{ kWh}$$

Por lo tanto, se observa una diferencia de más del 17 % entre los valores de energía E calculados respectivamente en los casos a) y b). En otras palabras, para un mismo volumen inicial de GNL de 600 litros, esta diferencia de energía puede llevar a recorrer una centena de kilómetros más si el GNL introducido en el depósito es frío y pesado (caso a), en comparación con el kilometraje recorrido en el caso b).

Ejemplo 2 (según la invención)

Las Figuras 5 a 7 son capturas de pantallas de tableros de instrumentos de un vehículo que transporta cada uno un depósito de GNL cilíndrico y horizontal, mostrando los datos de entrada utilizados para el cálculo de la energía química residual E según el procedimiento de la invención, así como el resultado de este cálculo.

En particular, la Figura 5 es una captura de pantalla de un tablero de instrumentos que muestra los datos de entrada específicos del depósito:

- Forma: cilindro, dispuesto horizontalmente en el vehículo que lo transporta;
- Dimensiones:
  - longitud (“*length*”): 1,2 m;
  - diámetro (“*diameter*”): 0,7 m

La Figura 6 es una captura de pantalla de un tablero de instrumentos que muestra los datos de entrada específicos de la capa de GNL:

- temperatura T: -152,2 °C;
- densidad  $\rho$  (“*density*”): 420,2 kg/m<sup>3</sup>;
- nivel h (“*level*”): 0,501 m.

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para calcular en tiempo real la energía química residual  $E$  contenida en un depósito presurizado (1), definido por su forma y sus dimensiones, y que contiene una capa de gas natural en estado líquido (GNL), definiéndose dicha capa de GNL en un momento  $t$  dado, por su temperatura  $T$ , su densidad  $\rho$ , y su nivel  $h$  en dicho depósito;

dicho procedimiento consiste en un algoritmo que comprende, en un momento  $t$  dado, los siguientes pasos:

A. Adquisición de los parámetros característicos de la capa de GNL, mediante medición:

- del nivel  $h$  de la capa de GNL en el depósito, mediante un sensor (2) de nivel;
- de la temperatura  $T$  mediante un sensor (3) de temperatura; y
- de la densidad  $\rho$  mediante un sensor (4) de densidad; y

B. Determinación de la masa total  $m_t$  del GNL contenido en el depósito (1);

estando dicho procedimiento **caracterizado por que** dicho algoritmo comprende, además, para cada momento  $t$ , los siguientes pasos:

C. Cálculo del poder calorífico superior másico  $PCS_{m\acute{a}s}$  del GNL, mediante una función  $f$  que toma como parámetros la temperatura y la densidad del líquido, según la fórmula:

$$PCS_{m\acute{a}s} = f(T, \rho)$$

D. Cálculo de la energía química residual  $E$ , según la fórmula:

$$E = PCS_{m\acute{a}s} * m_t$$

en la cual la función  $f$ , que relaciona el poder calorífico superior másico  $PCS_{m\acute{a}s}$  con los parámetros  $T$  y  $\rho$ , tiene la forma:

$$f(T, \rho) = A(T) + B * \rho$$

donde:

$A$  es un valor constante para una temperatura dada,  
 $B$  es una constante independiente de la composición,

ejecutándose dicho procedimiento por un ordenador (5) destinado a conectarse a sensores de nivel (2), de temperatura (3) y de densidad (4) con los que cuenta dicho depósito (1).

2. Procedimiento según la reivindicación 1, en donde:

- o bien dicho algoritmo se repite a solicitud de un operador (7) que utiliza dicho depósito (1);
- o bien dicho algoritmo se realiza de manera automática, en cuanto haya transcurrido un intervalo de tiempo  $\Delta t$  dado.

3. Procedimiento según las reivindicaciones 1 o 2, en donde la determinación de la masa total  $m_t$  de GNL contenida en el depósito (1) se realiza mediante una medición directa utilizando una balanza o galgas extensométricas.

4. Procedimiento según las reivindicaciones 1 o 2, en donde la determinación de la masa total  $m_t$  de GNL contenida en el depósito (1) se realiza mediante un cálculo según la fórmula:

$$m_t = \rho * g(h)$$

donde:

- $h$  es el nivel de la capa de GNL en el depósito,
- $\rho$  es la densidad del GNL, y
- $g$  es una función relacionada con la forma del depósito.

5. Sistema para calcular en tiempo real, según el procedimiento tal como se define según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, la energía química residual E contenida en un depósito presurizado (1), definido por su forma y sus dimensiones, y que contiene una capa de gas natural en estado líquido (GNL), definiéndose dicha capa de GNL en un momento t dado, por su temperatura T, su densidad  $\rho$ , y su nivel h en dicho depósito; estando dicho sistema **caracterizado por que** comprende:

- un ordenador (5) destinado a conectarse a sensores de nivel (2), de temperatura (3) y de densidad (4) con los que cuenta dicho depósito (1), siendo dicho ordenador (5) capaz de ejecutar el algoritmo del procedimiento como se define según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5,
- una interfaz IHM (6) que interactúa con dicho ordenador (5) para transmitir al operador la cantidad de energía química residual obtenida por el algoritmo del procedimiento tal como se define según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4.

6. Sistema según la reivindicación 5, según el cual se trata de un sistema a bordo en donde:

- el ordenador (5) puede ser un ordenador a bordo conectado a dichos sensores de nivel (2), de temperatura (3) y de densidad (4), estando dicho ordenador (5) específicamente diseñado para ejecutar el algoritmo del procedimiento según la invención,
- la interfaz IHM (6) es una interfaz a bordo del tipo tablero de instrumentos a bordo de un vehículo o una interfaz remota.

7. Vehículo que comprende un depósito presurizado (1) que contiene una capa de gas natural en estado líquido, y que está equipado con sensores de nivel (2), de temperatura (3) y de densidad (4), estando dicho vehículo **caracterizado por que** comprende, además, un sistema tal como se define según las reivindicaciones 5 o 6.

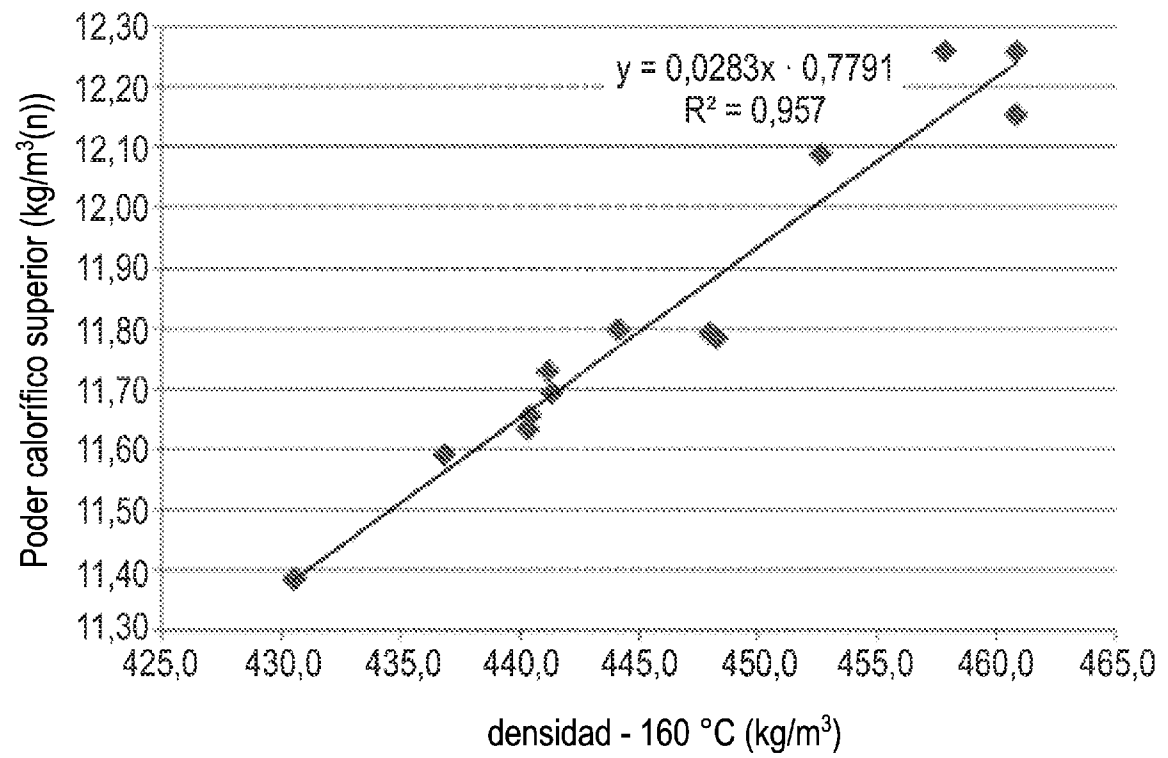


Figura 1

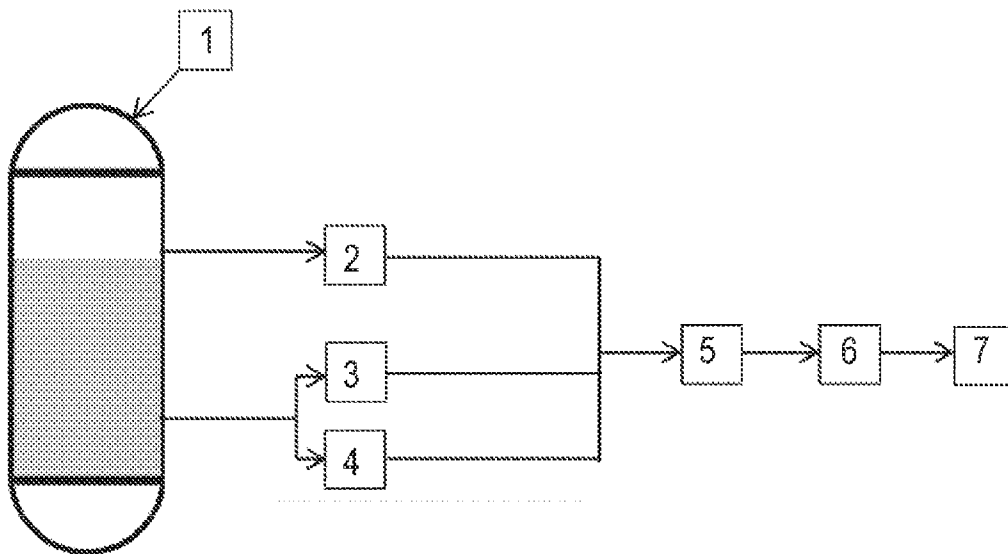


Figura 2

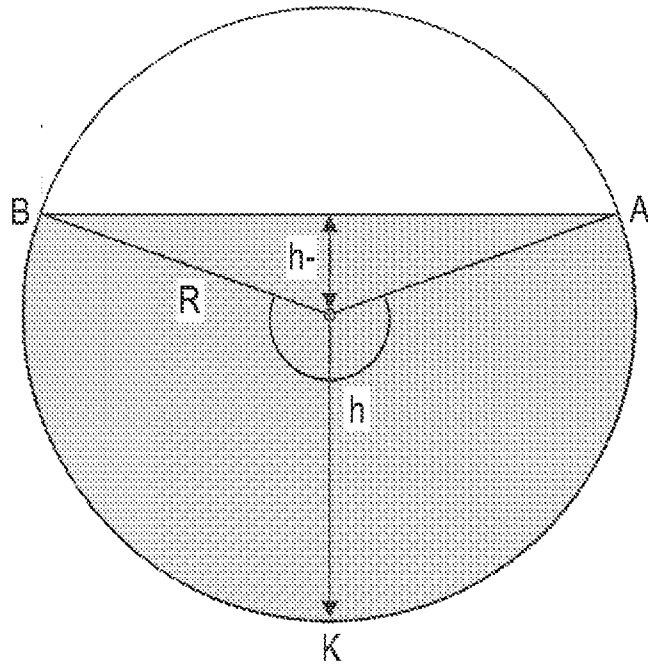


Figura 3

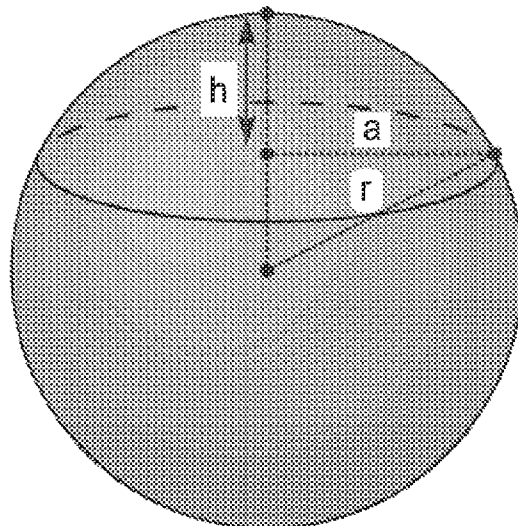


Figura 4

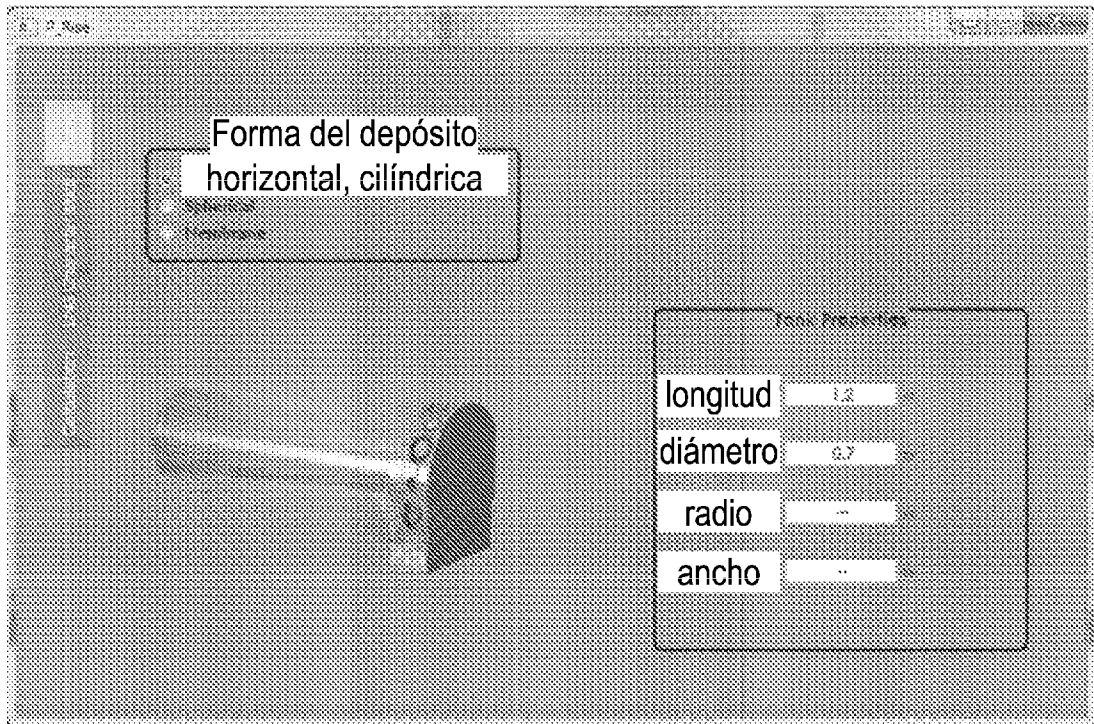


Figura 5

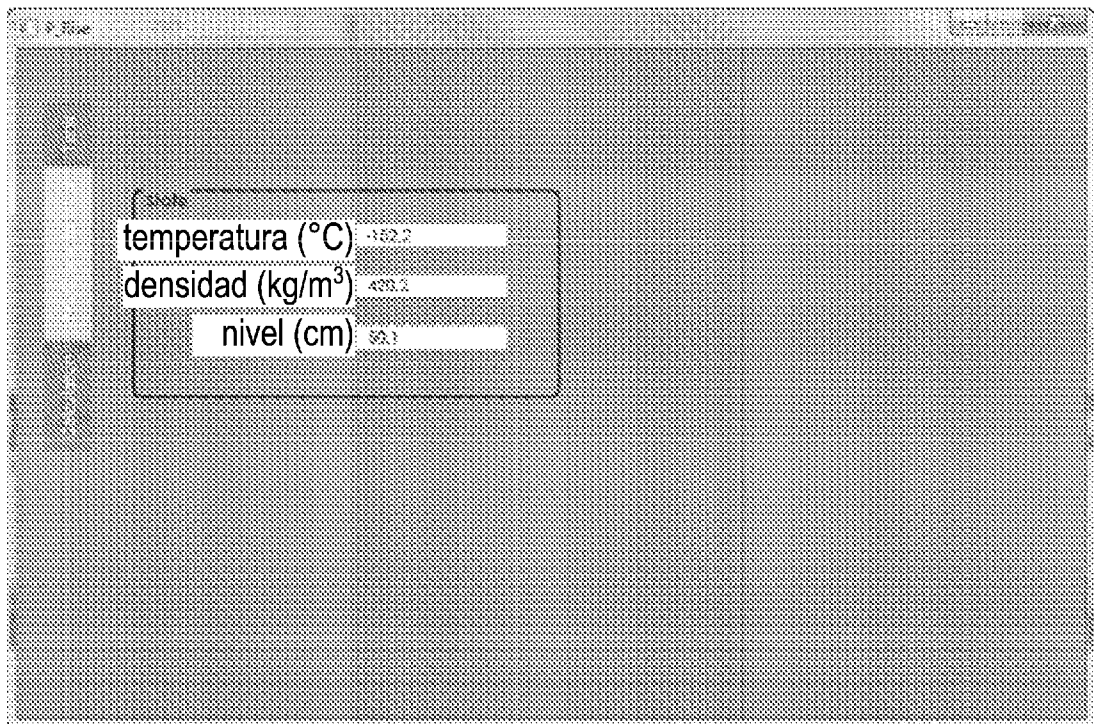


Figura 6

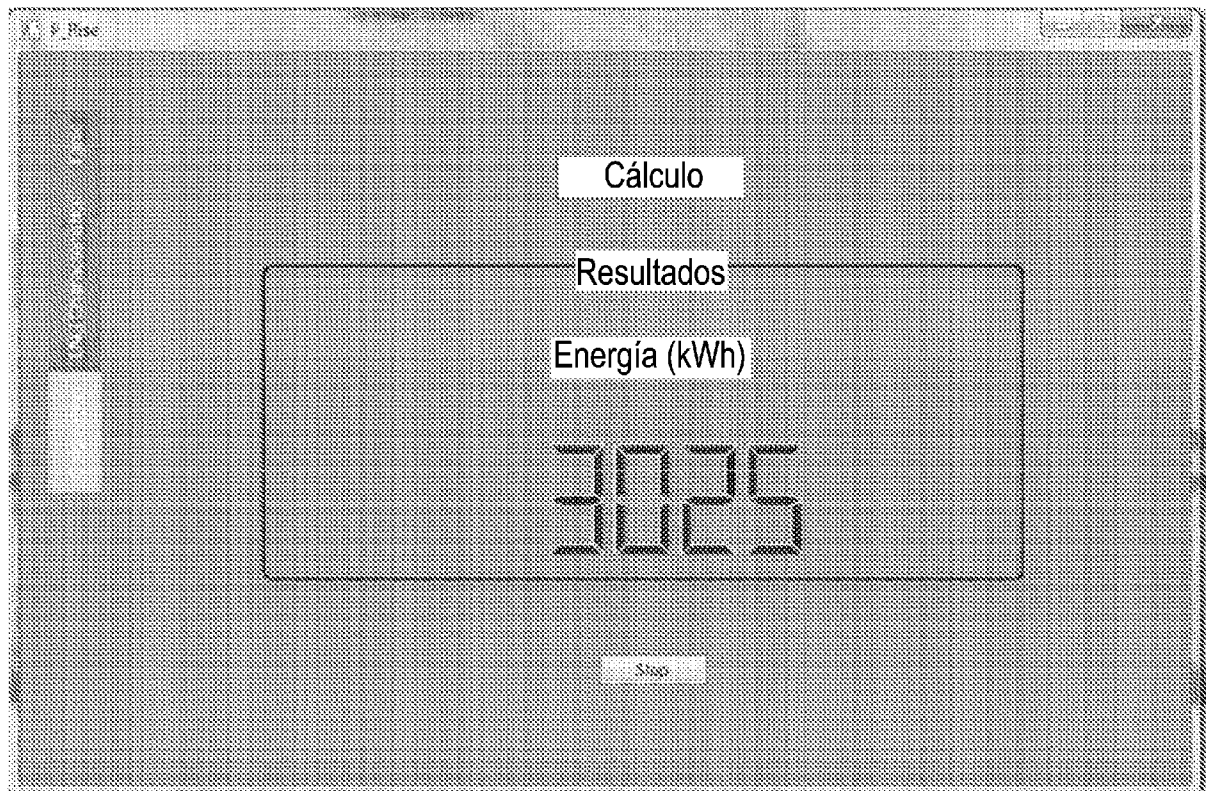


Figura 7