

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 969 796**

51 Int. Cl.:

**F17C 5/00**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.03.2017** **PCT/US2017/024884**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.10.2017** **WO17173011**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.03.2017** **E 17716412 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.12.2023** **EP 3436738**

54 Título: **Método y sistema mejorados para optimizar el llenado, almacenamiento y dispensación de dióxido de carbono desde múltiples recipientes sin sobrepresurización**

30 Prioridad:

**30.03.2016 US 201662315434 P**  
**23.12.2016 US 201662438746 P**  
**29.03.2017 US 201715472997**  
**29.03.2017 US 201715472928**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**22.05.2024**

73 Titular/es:

**PRAXAIR TECHNOLOGY, INC. (100.0%)**  
**10 Riverview Drive**  
**Danbury, CT 06810, US**

72 Inventor/es:

**SONG, XUEMEI;**  
**CECULA, SHAWN, M. y**  
**GERRISTEAD, WILLIAM, R.**

74 Agente/Representante:

**DEL VALLE VALIENTE, Sonia**

ES 2 969 796 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

Método y sistema mejorados para optimizar el llenado, almacenamiento y dispensación de dióxido de carbono desde múltiples recipientes sin sobrepresurización

### Campo de la invención

Esta invención se refiere generalmente al suministro de dióxido de carbono desde múltiples recipientes a un usuario final o un punto de uso del cliente para varias aplicaciones. En particular, la invención se refiere a un sistema automatizado y a un método para realizar ciertos controles de integridad antes del llenado de dióxido de carbono en uno o más recipientes. En esta memoria descriptiva se usan las siguientes unidades que no forman parte del sistema internacional (SI), que pueden convertirse en la respectiva unidad de sistema internacional (SI) o métrica según la siguiente tabla de conversión:

| Nombre de unidad       | Símbolo | Factor de conversión | SI o unidad métrica |
|------------------------|---------|----------------------|---------------------|
| libra/pulgada cuadrada | Psi     | 6894,76              | Pa                  |
| pulgada                | In      | 0,00254              | M                   |
| libras por minuto      | Lbpm    | 0,00756              | kg/s                |

### Antecedentes de la invención

Los sistemas de almacenamiento y dispensación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) se han usado para una variedad de aplicaciones, que incluyen, a manera de ejemplo, aplicaciones de dispensación de bebidas in situ, tal como un dispensador de bebidas carbonatadas. La industria de bebidas usa CO<sub>2</sub> para carbonatar y/o transportar bebidas desde un depósito de almacenamiento hasta un área de dispensación especificada. Por ejemplo, las bebidas, tales como cerveza, pueden estar contenidas en barriles en el sótano o la sala de almacenamiento y los surtidores en la barra pueden dispensar la cerveza. El almacenamiento y el suministro de cerveza desde los barriles puede ocurrir en un área de barriles que se ubica lejos de donde están sentados los clientes. Para transportar la cerveza desde el área de barriles hasta el área de servicio, el CO<sub>2</sub> generalmente se ha suministrado como un líquido en cilindros. Los cilindros de CO<sub>2</sub> líquido están conectados a los barriles, que pueden comprender uno o varios depósitos o barriles. El CO<sub>2</sub> en los cilindros de CO<sub>2</sub> líquido no está completamente lleno de líquido, permitiendo así que el dióxido de carbono se vaporice a un estado gaseoso, que se usa entonces para carbonatar, así como para desplazar, la bebida deseada desde la sala de almacenamiento o el sótano al área de suministro y proporcionar gran parte de la carbonatación a las bebidas.

En la actualidad, el uso de sistemas de almacenamiento y dispensación de CO<sub>2</sub> está extendido. Muchos sistemas convencionales de almacenamiento y dispensación de CO<sub>2</sub> utilizan recipientes de Dewar de baja presión (p. ej., un recipiente con camisa aislante de vacío) que se consideran típicamente un sistema de almacenamiento y dispensación a baja presión que se llena hasta no más de aproximadamente 2068 Kpa (300 psig). A pesar del aislamiento al vacío, el fluido de CO<sub>2</sub> frío que llena un recipiente de Dewar de CO<sub>2</sub> líquido aumenta su temperatura y se vaporiza cuando el recipiente de Dewar adquiere calor. El vapor genera una presión más alta en el recipiente de Dewar, que puede requerir una evacuación para evitar una sobrepresurización. Como tal, el uso de recipientes de Dewar no es deseable, ya que puede aumentar las pérdidas de productos de CO<sub>2</sub> que surgen de la necesidad de evacuar periódicamente el exceso de presión para evitar una sobrepresurización.

Como alternativa a los recipientes de Dewar, se han empleado sistemas de almacenamiento y dispensación de CO<sub>2</sub> no aislados de alta presión en un intento de aumentar la utilización del producto de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, los sistemas de almacenamiento y dispensación de líquido de CO<sub>2</sub> no aislados de alta presión actuales pueden aumentar el riesgo de sobrepresurización. Por ejemplo, la capacidad de llenado máxima permitida para un cilindro de líquido de CO<sub>2</sub> no aislado es el 68 % en peso del peso total (en base al peso de agua). En otras palabras, el sistema no debe llenarse hasta más del 68 % en peso con respecto al peso de agua. A medida que aumenta la temperatura, el CO<sub>2</sub> líquido puede vaporizarse en el espacio de cabeza y expandirse hasta un punto en donde se excede la presión de trabajo máxima del cilindro, fracturando así potencialmente el cilindro.

Como medios para controlar la cantidad de CO<sub>2</sub> líquido que llena los cilindros no aislados, se han usado múltiples cilindros que emplean cilindros de líquido y vapor. Una relación de volumen de 2:1 entre el volumen del cilindro de líquido y el de vapor se ha considerado generalmente como una práctica operativa segura dentro de la industria. Específicamente, con la relación de volumen de 2:1, el volumen del cilindro de vapor y un espacio de cabeza adicional del 10 % en el cilindro de líquido en donde se considera que los cilindros de líquido están llenos al máximo como se ha definido anteriormente, se puede crear aproximadamente el 40 % de espacio de cabeza en volumen de la capacidad combinada de los cilindros de líquido y vapor. Sin embargo, esta metodología de determinar en qué momento el sistema está lleno plantea el riesgo de llenar en exceso los recipientes de líquido de CO<sub>2</sub>. El llenado excesivo también puede resultar en que el sistema no funcione correctamente y se obtenga un suministro errático del producto de vapor de CO<sub>2</sub> para un cliente o usuario final.

En vista de tales inconvenientes, existe la necesidad de un método y un sistema de alta presión mejorados para optimizar un llenado, almacenamiento y dispensación de CO<sub>2</sub> que no sean propensos a la sobrepresurización.

5 El documento WO 2015/153.580 A1 describe un sistema de llenado de CO<sub>2</sub> móvil.

### **Resumen de la invención**

10 Como se describirá en la presente descripción, la presente invención emplea un dispositivo de diferencial de presión con válvula de lanzadera entre los recipientes de CO<sub>2</sub> líquido y de vapor para mantener una mayor presión en el recipiente de líquido con respecto al recipiente de vapor durante el llenado y posterior suministro del producto de vapor de CO<sub>2</sub> desde el recipiente de vapor al cliente. Durante el suministro del producto de vapor de CO<sub>2</sub> al cliente, la transferencia de vapor desde el recipiente de líquido al recipiente de vapor se limita hasta que la presión en el  
15 recipiente de vapor cae por debajo del punto de ajuste de presión diferencial. Esta disposición vaciará preferiblemente el líquido del recipiente de vapor con respecto a la transferencia de vapor desde el recipiente de líquido, mitigando así el potencial de sobrepresurización del sistema in situ. El sistema in situ como se usa en la presente descripción puede montarse ventajosamente in situ en las instalaciones del usuario final o del cliente.

En un primer aspecto, se da a conocer un sistema de llenado de enclavamiento de seguridad de CO<sub>2</sub> configurado para realizar controles de integridad previamente al llenado para controlar automáticamente fugas de un colector de llenado y presurizar el colector de llenado según la reivindicación independiente 1. Dicho sistema de llenado de enclavamiento de seguridad de CO<sub>2</sub> comprende: una fuente de CO<sub>2</sub> in situ que comprende un recipiente de fuente que contiene CO<sub>2</sub> licuado, y CO<sub>2</sub> vaporizado en un espacio de cabeza del recipiente de fuente; un colector de llenado conectado operativamente al recipiente de fuente, comprendiendo dicho colector de llenado uno o más conductos  
25 dispuestos entre el recipiente de fuente y el recipiente, comprendiendo dicho uno o más conductos al menos un conducto de suministro de vapor de CO<sub>2</sub> que se extiende en el espacio de cabeza del recipiente de fuente de la fuente de CO<sub>2</sub> in situ; comprendiendo además dicho colector de llenado al menos un transductor de presión situado a lo largo del uno o más conductos, estando configurado dicho conducto de suministro de vapor de CO<sub>2</sub> del colector de llenado para recibir una cantidad finita del CO<sub>2</sub> vaporizado durante la presurización y control de fugas del colector de llenado, recibiendo dicho conducto de suministro de vapor de CO<sub>2</sub> el CO<sub>2</sub> vaporizado desde el espacio de cabeza del recipiente de fuente de la fuente de CO<sub>2</sub> in situ; un controlador en comunicación con el colector de llenado y el al menos un transductor de presión para realizar automáticamente el control de fugas del colector de llenado y la presurización del colector de llenado, teniendo el controlador como una primera entrada un primer punto de ajuste igual a la reducción de presión no permisible del CO<sub>2</sub> vaporizado en el colector de llenado durante un período de tiempo predeterminado en donde ocurre el control de fugas, y, además, en donde el controlador tiene un segundo punto de ajuste igual a la presión inferior predeterminada del CO<sub>2</sub> vaporizado en el colector de llenado por debajo de la que se forma hielo seco y un tercer punto de ajuste igual a la presión superior predeterminada del CO<sub>2</sub> vaporizado por encima de la que puede ocurrir un flujo reversible de vapor de CO<sub>2</sub> desde el recipiente al colector de llenado; en donde el controlador está configurado para recibir señales correspondientes a mediciones de presión en tiempo real desde el transductor de  
40 presión durante el período de tiempo predeterminado del control de fugas y/o la presurización del colector de llenado; dicho controlador configurado para evitar la operación de llenado posterior cuando (i) una o más de las mediciones de presión en tiempo real ha cambiado de presión una cantidad que es igual o superior al primer punto de ajuste de la reducción de presión no permisible del CO<sub>2</sub> vaporizado en el colector de llenado, o (ii) la una o más de las mediciones de presión en tiempo real es inferior a la presión inferior predeterminada a la que se forma hielo seco, o (iii) la una o más de las mediciones de presión en tiempo real es superior a la presión superior predeterminada a la que puede ocurrir un flujo reversible de vapor de CO<sub>2</sub> desde el recipiente al colector de llenado; y dicho controlador está configurado para permitir la operación de llenado posterior cuando cada una de (i) la una o más de las mediciones de presión en tiempo real ha cambiado de presión una cantidad que es inferior al primer punto de ajuste de la reducción de presión no permisible del CO<sub>2</sub> vaporizado en el colector, y (ii) la una o más de las mediciones de presión en tiempo real es igual o superior a la presión inferior predeterminada a la que se forma hielo seco, y (iii) la una o más mediciones de presión en tiempo real es igual o inferior a la presión superior predeterminada a la que puede ocurrir un flujo reversible de vapor de CO<sub>2</sub> desde el recipiente al colector de llenado.

En un segundo aspecto, se da a conocer un método para realizar controles de integridad previamente al llenado para controlar automáticamente fugas de un colector de llenado y presurizar el colector de llenado según la reivindicación independiente 7. Dicho método comprende: introducir una cantidad finita de CO<sub>2</sub> vaporizado en un colector de llenado conectado operativamente a un recipiente de fuente de una fuente de CO<sub>2</sub> in situ, comprendiendo dicho colector de llenado un conducto de suministro de vapor de CO<sub>2</sub>, teniendo dicho conducto de suministro de vapor de CO<sub>2</sub> un primer extremo y un segundo extremo, extendiéndose el primer extremo en un espacio de cabeza del recipiente de fuente de la fuente de CO<sub>2</sub> in situ, extendiéndose el segundo extremo hacia un recipiente; introducir un primer punto de ajuste en un controlador en comunicación con el colector de llenado, siendo igual dicho primer punto de ajuste a la reducción de presión no permisible del CO<sub>2</sub> vaporizado introducido en el colector de llenado; introducir un segundo punto de ajuste en el controlador, siendo igual dicho segundo punto de ajuste a una presión inferior predeterminada del CO<sub>2</sub> vaporizado en el colector de llenado, siendo dicha presión inferior predeterminada una presión a la que ocurre un inicio de formación de hielo seco en el colector de llenado; introducir un tercer punto de ajuste en el controlador, siendo igual dicho tercer punto de ajuste a una presión superior predeterminada del CO<sub>2</sub> vaporizado en el colector de

llenado por encima de la que puede ocurrir un flujo reversible de vapor de CO<sub>2</sub> desde el recipiente al colector de llenado; medir las presiones en tiempo real en el colector de llenado y generar señales correspondientes a cada una de las presiones en tiempo real; transmitir las señales al controlador conectado operativamente al colector de llenado; determinar los controles de integridad previamente al llenado, de manera que (a) una o más de las presiones en tiempo real (i) ha cambiado de presión una cantidad que es igual o superior al primer punto de ajuste, o (ii) es igual o inferior al segundo punto de ajuste, o (iii) es superior al tercer punto de ajuste; y en respuesta a eso, evitar un llenado posterior de líquido de CO<sub>2</sub> desde la fuente de CO<sub>2</sub> in situ al recipiente a lo largo del colector de llenado; o (b) una o más de las mediciones de presión en tiempo real (i) ha cambiado de presión una cantidad que es inferior al primer punto de ajuste, y (ii) está por encima del segundo punto de ajuste, y (iii) es inferior al tercer punto de ajuste; y en respuesta a eso, permitir el llenado posterior del líquido de CO<sub>2</sub> desde la fuente de CO<sub>2</sub> in situ al recipiente a lo largo del colector de llenado.

### **Breve descripción de los dibujos**

Si bien los principios de la presente invención se explicarán con referencia a las Figuras 4 y 5, las figuras restantes enumeradas a continuación no muestran realizaciones del método y el sistema definidos en las reivindicaciones adjuntas, pero se representan con fines explicativos.

La Figura 1a es un esquema de proceso que emplea un sistema de dos cilindros para dispensar vapor de CO<sub>2</sub> a un usuario final o a un cliente;

la Figura 1b muestra una válvula de lanzadera representativa empleada específicamente durante la operación de dispensación, por lo que el puerto de llenado del recipiente de CO<sub>2</sub> líquido está obstruido por la válvula de lanzadera;

la Figura 1c muestra la válvula de lanzadera de la Figura 1b empujada hacia un estado desviado durante el llenado en un recipiente de líquido de CO<sub>2</sub>, por lo que el puerto de llenado del recipiente de CO<sub>2</sub> líquido no está obstruido por la válvula de lanzadera;

la Figura 1d muestra un dispositivo de diferencial de presión ilustrativo integrado con una válvula de lanzadera;

la Figura 2a muestra tasas de pérdida de peso de CO<sub>2</sub> desde un recipiente de líquido de CO<sub>2</sub> y un recipiente de vapor de CO<sub>2</sub> operados por medios convencionales;

la Figura 2b muestra tasas de pérdida de peso de CO<sub>2</sub> desde un recipiente de líquido de CO<sub>2</sub> y un recipiente de vapor de CO<sub>2</sub>; y

la Figura 3 es un ejemplo alternativo que incluye un dispositivo de control de presión residual;

la Figura 4 muestra un esquema de proceso representativo para un sistema de llenado de CO<sub>2</sub> según los principios de la presente invención;

la Figura 5 muestra una lógica de control representativa según los principios de la presente invención que puede emplearse en el sistema de llenado de CO<sub>2</sub> de la Figura 4; y

la Figura 6 muestra el comportamiento de capacidad de llenado en un recipiente de líquido de CO<sub>2</sub> y un recipiente de vapor de CO<sub>2</sub>.

### **Descripción detallada de la invención**

Tal como se describirá con referencia a las figuras, la presente invención ofrece un sistema de llenado de enclavamiento de seguridad de CO<sub>2</sub> configurado para realizar controles de integridad para controlar automáticamente fugas de un colector de llenado y presurizar el colector de llenado antes de llenar un sistema de recipiente de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

La presente descripción ha reconocido que la expansión del CO<sub>2</sub> líquido y su volumen pueden aumentar aproximadamente el 30 % en volumen cuando la temperatura del cilindro de líquido aumenta de aproximadamente 0 °C a 20 °C. Por lo tanto, un volumen apreciable de CO<sub>2</sub> puede transferirse al recipiente de vapor desde el recipiente de líquido incluso aunque solo se llene el cilindro de líquido. Por lo tanto, el cilindro de vapor no solo contiene vapor, sino también líquido. Además, en uso, se vaporiza más CO<sub>2</sub> del cilindro de líquido, y es consumido por el cliente, en comparación con el del cilindro de vapor. Por lo tanto, con rellenos posteriores o sucesivos, el volumen requerido del espacio de cabeza de vapor puede resultar inadecuado.

La presente descripción ofrece una solución, no cubierta por las reivindicaciones, para mitigar el riesgo de espacio de cabeza de vapor insuficiente que da como resultado una sobrepresurización del sistema al consumir preferiblemente el CO<sub>2</sub> en el recipiente 2 de vapor en lugar del CO<sub>2</sub> en el recipiente 1 de líquido. El sistema 10 comprende un recipiente de CO<sub>2</sub> líquido y un recipiente 2 de CO<sub>2</sub> de vapor conectado operativamente al recipiente 1 de CO<sub>2</sub> líquido. Como

parte de la metodología de la presente descripción, el recipiente de CO<sub>2</sub> de vapor está diseñado para funcionar como un denominado “espacio de cabeza virtual” para el recipiente 1 de CO<sub>2</sub> líquido de una manera específica que evita la sobrepresurización del sistema. El producto de vapor de CO<sub>2</sub> se dispensa a un usuario final o cliente de manera controlada, por lo que la cantidad de producto de vapor de CO<sub>2</sub> dispensado desde el recipiente 2 de CO<sub>2</sub> de vapor se maximiza, y la cantidad de producto de vapor de CO<sub>2</sub> dispensado desde el recipiente de CO<sub>2</sub> líquido se minimiza. De esta manera, una parte sustancial del producto de vapor de CO<sub>2</sub> en general se obtiene del recipiente 2 de CO<sub>2</sub> de vapor. A diferencia de otros sistemas de almacenamiento y dispensación de CO<sub>2</sub>, la transferencia de líquido de CO<sub>2</sub> del recipiente 1 de CO<sub>2</sub> líquido al recipiente 2 de CO<sub>2</sub> de vapor se limita hasta que la presión en el recipiente 2 de CO<sub>2</sub> de vapor se ha reducido a cierto nivel, momento en el que se activa un dispositivo de diferencial de presión para permitir el flujo de fluido de CO<sub>2</sub> del recipiente de CO<sub>2</sub> líquido al recipiente 2 de CO<sub>2</sub> de vapor. Como tal, preferiblemente, el líquido de CO<sub>2</sub> se vaciará del recipiente 2 de vapor de CO<sub>2</sub> antes de transferir el fluido de CO<sub>2</sub> desde el recipiente 1 de CO<sub>2</sub> líquido.

Debido a estas características operativas distintivas, los beneficios incluyen, aunque no de forma limitativa, un sistema que puede suministrar la cantidad adecuada de CO<sub>2</sub> líquido al tiempo que reduce también los peligros asociados con un llenado excesivo; un sistema que permite al usuario final o al cliente continuar usando el sistema de suministro sin interrupción incluso cuando el sistema se está llenando; un sistema que no requiere que un usuario final o cliente entre en las instalaciones del sistema de dispensación in situ para cerrar o ajustar las válvulas antes y después del suministro del líquido de CO<sub>2</sub>; un sistema que permite el relleno automático de fluido de CO<sub>2</sub> en el sistema en cualquier momento del día o la noche sin ningún contacto con personal; y un sistema que puede reducir la cantidad de dióxido de carbono evacuado a la atmósfera debido al aumento de la temperatura o como un medio para determinar un sistema lleno, lo que da como resultado un menor desperdicio de producto de CO<sub>2</sub>, menos costes tanto para el cliente como para el usuario final y menos riesgos potenciales.

Debe entenderse que los sistemas in situ descritos pueden incluir un único recipiente de CO<sub>2</sub> líquido o múltiples recipientes de CO<sub>2</sub> líquido conectados directa o indirectamente a un único recipiente de CO<sub>2</sub> de vapor o a múltiples recipientes de CO<sub>2</sub> de vapor. El recipiente de CO<sub>2</sub> líquido puede recibir y almacena CO<sub>2</sub> licuado a alta presión a partir de una fuente de CO<sub>2</sub> refrigerada. En un ejemplo, el recipiente de CO<sub>2</sub> líquido se puede rellenar con el CO<sub>2</sub> licuado a alta presión desde la fuente de CO<sub>2</sub> (p. ej., un camión automatizado que tiene una fuente de CO<sub>2</sub> refrigerada y presurizada) mediante una manguera de llenado. “Fluido”, como se usa en la presente descripción, significa cualquier fase incluyendo una fase líquida, fase gaseosa, fase de vapor, fase supercrítica o cualquier combinación de las mismas.

“Recipiente”, como se usa en la presente descripción, significa cualquier recipiente de almacenamiento, llenado y suministro que puede ser sometido a presión, incluyendo, aunque no de forma limitativa, cilindros, recipientes de Dewar, botellas, depósitos, barriles, recipientes de granel y microgranel.

“Conectado”, como se usa en la presente descripción, significa una conexión directa o indirecta entre dos o más componentes por medio de tuberías y montaje convencionales, que incluyen, aunque no de forma limitativa, válvulas, tuberías, conductos y mangueras, a menos que se especifique de cualquier otra manera.

Los términos “recipiente de líquido” y “recipiente de CO<sub>2</sub> líquido” se usarán indistintamente para significar un recipiente que contiene sustancialmente líquido. Los términos “recipiente de vapor” y “recipiente de CO<sub>2</sub> de vapor” se usarán indistintamente para significar un recipiente que contiene sustancialmente vapor.

El término “conducto”, “pata de flujo” y “trayectoria” y “trayectoria de flujo”, como se usan en la presente descripción, pretenden significar trayectorias de flujo o conductos que se crean mediante cualquiera de (i) tuberías convencionales, mangueras, conductos y similares; (ii) así como dentro de las válvulas, tal como una válvula de lanzadera.

“Producto de CO<sub>2</sub>” y “producto de vapor de CO<sub>2</sub>” se usarán indistintamente y pretenden tener el mismo significado.

La presente descripción, en un aspecto, y con referencia a la Figura 1a, no cubierta por las reivindicaciones, ha reconocido las deficiencias de los sistemas de dispensación de múltiples recipientes de CO<sub>2</sub> actuales y descubrió que el recipiente de CO<sub>2</sub> de vapor en dichos sistemas puede contener fluido de CO<sub>2</sub>, tal como CO<sub>2</sub> líquido, que puede haberse transferido y/o condensado de manera incontrolada desde el recipiente de CO<sub>2</sub> líquido. La transferencia puede ocurrir durante y/o después del llenado, almacenamiento y/o uso del sistema de dispensación. La transferencia del fluido de CO<sub>2</sub> al recipiente de CO<sub>2</sub> de vapor puede ocurrir como resultado de la expansión del CO<sub>2</sub> líquido (es decir, un aumento en el volumen específico) dentro del recipiente 1 de CO<sub>2</sub> líquido cuando el recipiente aumenta de temperatura después de haberse llenado (p. ej., las paredes del recipiente 1 de CO<sub>2</sub> líquido que absorben calor ambiental de la atmósfera). La expansión del CO<sub>2</sub> líquido en el recipiente 1 de líquido puede hacer que el líquido de CO<sub>2</sub> en el recipiente 1 de líquido se transfiera al interior del recipiente 2 de vapor. De forma alternativa o adicional, la expansión del CO<sub>2</sub> líquido o fluido de CO<sub>2</sub> en el recipiente de líquido puede comprimir el vapor de CO<sub>2</sub> suprayacente en el espacio de cabeza de vapor del recipiente 1 de líquido, provocando de este modo que se transfiera al recipiente 2 de vapor y forme más líquido en el recipiente 2 de vapor.

Los inventores han observado que esta transferencia de fluido de CO<sub>2</sub> del recipiente 1 de CO<sub>2</sub> líquido al recipiente 2 de CO<sub>2</sub> de vapor tiende a acumular líquido de CO<sub>2</sub> en el recipiente 2 de CO<sub>2</sub> de vapor si el líquido de CO<sub>2</sub> no se consume preferiblemente en el cilindro de vapor en uso. “Consumido preferiblemente en uso”, como se usa en la presente descripción, significa que el producto de vapor de CO<sub>2</sub> se suministra sustancialmente desde el recipiente 2 de CO<sub>2</sub> de vapor al usuario final o al cliente, mientras que el producto de vapor de CO<sub>2</sub> se limita desde el recipiente 1 de CO<sub>2</sub> líquido hasta que sustancialmente todo el CO<sub>2</sub> líquido en el recipiente de vapor se ha vaporizado y se ha dispensado al usuario final o al cliente. En particular, con respecto a los sistemas convencionales, después de uno o más llenados posteriores o sucesivos de líquido de CO<sub>2</sub> en el recipiente 1 de CO<sub>2</sub> líquido del sistema 10, el CO<sub>2</sub> líquido puede acumularse dentro del recipiente 2 de CO<sub>2</sub> de vapor, particularmente cuando el cliente o usuario final no usa una cantidad significativa de CO<sub>2</sub> entre los llenados, provocando así que la cantidad total de CO<sub>2</sub> en el sistema supere la capacidad de llenado máxima permitida (es decir, el 68 % en peso en base a la capacidad de peso de agua). De esta manera, con respecto a los sistemas convencionales, el espacio de cabeza virtual del recipiente 2 de CO<sub>2</sub> de vapor se reduce, y crea un sistema de dispensación in situ potencialmente sobrepresurizado. Un sistema de CO<sub>2</sub> licuado con exceso de llenado puede experimentar variaciones y acumulaciones significativas de presión interna por la expansión del CO<sub>2</sub> líquido a medida que se calienta. Como resultado, la presente descripción ha reconocido que los sistemas convencionales de almacenamiento, llenado y dispensación de CO<sub>2</sub> son propensos a la sobrepresurización.

Según la presente descripción, aunque no según las reivindicaciones, se da a conocer un sistema y un método a modo de ejemplo para optimizar el llenado, almacenamiento y dispensación de CO<sub>2</sub> desde un recipiente de CO<sub>2</sub> líquido y un recipiente de CO<sub>2</sub> de vapor, tal como se describirá en relación con la Figura 1a. Debe entenderse que la Figura 1a no está dibujada a escala, y algunas características se omiten intencionalmente con fines de claridad para ilustrar mejor los principios de la presente descripción. La Figura 1a representa el sistema 10 de almacenamiento y dispensación de CO<sub>2</sub>. El sistema 10 se puede montar e instalar en la ubicación de un cliente. El sistema 10 de dispensación incluye un cilindro 1 de CO<sub>2</sub> líquido y un cilindro 2 de CO<sub>2</sub> de vapor. Sin embargo, debe entenderse que se contempla cualquier tipo de recipiente tal como se ha definido anteriormente. Además, aunque se muestra un único cilindro 1 de CO<sub>2</sub> líquido y un único cilindro 2 de CO<sub>2</sub> de vapor, debe entenderse que pueden usarse múltiples cilindros de líquido y cilindros de vapor dependiendo del ritmo de consumo de uso final o del cliente para una aplicación particular.

Durante el llenado y posterior uso del sistema 10, el cilindro 1 de CO<sub>2</sub> líquido almacena una mayor parte del CO<sub>2</sub> líquido, mientras que el cilindro 2 de CO<sub>2</sub> de vapor contiene principalmente CO<sub>2</sub> de vapor y una cantidad mínima de CO<sub>2</sub> líquido, que se evapora y luego se dispensa preferiblemente como producto de vapor al cliente o usuario final antes de la transferencia de fluido de CO<sub>2</sub> adicional del cilindro 1 de CO<sub>2</sub> líquido al cilindro 2 de CO<sub>2</sub> de vapor.

Se pueden usar diversos tamaños de cilindros para los cilindros 1 y 2 de CO<sub>2</sub> líquido y de vapor, respectivamente. Preferiblemente, el cilindro 2 de vapor está configurado para tener el mismo tamaño o tener un mayor volumen que el cilindro 1 de líquido. Como tal, en comparación con los sistemas convencionales de almacenamiento y dispensación de CO<sub>2</sub>, el cilindro 2 de CO<sub>2</sub> de vapor puede formar un espacio de cabeza de vapor virtual y una capacidad para la expansión del líquido en su interior más grandes. Este espacio de cabeza de vapor virtual se conserva durante el llenado, almacenamiento y uso, haciendo así que el sistema sea más seguro que los sistemas convencionales de almacenamiento y dispensación de CO<sub>2</sub>.

Los materiales adecuados para los cilindros 1 y 2 pueden seleccionarse en base a la temperatura de funcionamiento. Específicamente, en ciertas condiciones desde el punto de vista de los materiales de construcción, la temperatura del cilindro 1 de CO<sub>2</sub> líquido y el cilindro 2 de CO<sub>2</sub> de vapor pueden estar por debajo de los límites de seguridad para un cilindro común de acero al carbono o de aleación. En términos generales, la temperatura de transición dúctil a frágil del acero es el resultado de su (i) composición de aleación y (ii) tratamiento térmico. Las incertidumbres en cualquier propiedad (i) o (ii) durante la fabricación del cilindro de acero pueden elevar la temperatura mínima de material dúctil (MDMT) del material a niveles inaceptables durante el llenado del cilindro 1 de CO<sub>2</sub> líquido con CO<sub>2</sub> refrigerado. En consecuencia, pueden preferirse recipientes de acero de aleación o cilindros de aluminio 6061 T6.

En un ejemplo preferido, el cilindro 1 de CO<sub>2</sub> líquido puede ser llenado mediante una fuente de CO<sub>2</sub> líquido refrigerada, tal como un camión de suministro de CO<sub>2</sub> que está equipado con una bomba de CO<sub>2</sub> líquido de alta presión. El llenado se basa preferiblemente en presión, de modo que cuando se alcanza una presión de llenado preestablecida, la bomba de CO<sub>2</sub> líquido de alta presión se detendrá. Con referencia a la Figura 1a, el CO<sub>2</sub> líquido refrigerado puede bombearse desde un camión de suministro a través de una manguera 3 de llenado y una válvula 4 a un cilindro 1 de líquido. La temperatura del CO<sub>2</sub> líquido refrigerado en el camión de suministro está generalmente cerca de -17,8 °C (0 grados F).

La válvula 4 es una válvula de lanzadera especialmente diseñada. La válvula 4 incluye una válvula 4 de lanzadera recíproca, que preferiblemente está basada en resorte. Las Figuras 1b y 1c muestran un ejemplo representativo del funcionamiento de una válvula 4 de lanzadera de este tipo. Otros elementos estructurales del sistema 10 se han omitido de las Figuras 1b y 1c para fines de claridad. Durante el modo de funcionamiento normal (es decir, la Figura 1b, en donde el cilindro 1 de CO<sub>2</sub> líquido no se está llenando con CO<sub>2</sub> presurizado de una fuente de CO<sub>2</sub>), el pistón 40 no está desviado, de modo que la trayectoria de flujo desde la manguera 3 de llenado hasta el puerto 43 de llenado del recipiente 1 de líquido está normalmente cerrada por el pistón 40 y la trayectoria de flujo restringido desde el

cilindro 1 de CO<sub>2</sub> líquido al cilindro 2 de CO<sub>2</sub> de vapor está normalmente abierta, lo que permite un flujo restringido del cilindro 1 de líquido al cilindro 2 de vapor. La trayectoria de flujo restringido puede crearse en virtud de un conducto que se extiende dentro del pistón 40 y al cilindro 2 de vapor. Una mayor cantidad de flujo de fluido de CO<sub>2</sub> hacia el recipiente 2 de vapor puede ocurrir cuando la válvula 4 de lanzadera no está desviada como se muestra en la Figura 1b (dado que el dispositivo 7 de diferencial de presión, que está situado entre los recipientes 1 y 2, está en la posición abierta) en comparación con cuando la válvula 4 de lanzadera está desviada y significativamente de tal manera que no existe una trayectoria de flujo continua desde el recipiente 1 de líquido al recipiente 2 de vapor, tal como se muestra en la Figura 1c, a excepción de un conducto estrecho al puerto de vapor por medio de una holgura o espacio entre el cuerpo de válvula y el pistón 40.

Se explicará la operación de llenado. Con referencia a la Figura 1a, la manguera 3 de llenado está conectada entre la fuente de suministro de CO<sub>2</sub> y la válvula 4 de lanzadera. La fuente de suministro de CO<sub>2</sub> (es decir, la "fuente de CO<sub>2</sub>") es preferiblemente un camión de suministro de CO<sub>2</sub> refrigerado. Después de completar los controles de integridad previamente al llenado y de fugas, tal como se describirá con más detalle, el líquido de CO<sub>2</sub> refrigerado sale de la fuente de CO<sub>2</sub>, y luego puede ser presurizado por una bomba, tal como una bomba de CO<sub>2</sub> líquido de alta presión, que puede estar disponible comercialmente. La bomba de CO<sub>2</sub> líquido, que puede formar parte del camión de suministro, presuriza el CO<sub>2</sub> líquido que sale de la fuente de CO<sub>2</sub>. El llenado se basa preferiblemente en presión, de modo que cuando se alcanza una presión de llenado preestablecida, la bomba de CO<sub>2</sub> líquido se detendrá. Para aplicaciones de baja presión, la presión de llenado preestablecida puede ser de aproximadamente 2068 - 2757 kPa (300-400 psig). Para llenar un recipiente no aislado que requiere una presión relativamente alta, la presión de llenado preestablecida debe ser superior a la presión de vapor del CO<sub>2</sub> en el recipiente no aislado, p. ej., superior a 5860 kPa (850 psig), preferiblemente, superior a 6550 kPa (950 psig) y, más preferiblemente, superior a 7584 kPa (1100 psig). El CO<sub>2</sub> líquido presurizado y refrigerado fluye a través de la manguera 3 de llenado y a la válvula 4 de lanzadera. El CO<sub>2</sub> líquido presurizado y refrigerado ejerce una fuerza que empuja el pistón 40 de la válvula 4 de lanzadera hacia delante desde la posición no desviada de la Figura 1b hasta la posición desviada de la Figura 1c. El movimiento del pistón 40 desobstruye el puerto 43 de llenado y crea una trayectoria de flujo para el CO<sub>2</sub> líquido para entrar en el cilindro 1 de CO<sub>2</sub> líquido. La disposición del pistón 40 como se muestra en la Figura 1c bloquea sustancialmente la trayectoria de flujo del cilindro 1 de líquido, a través del conducto interno del pistón 40 y al cilindro 2 de vapor. La abertura en el conducto interno del pistón 40, a través de la cual el CO<sub>2</sub> del recipiente 1 de líquido puede entrar en el pistón 40, es bloqueada por el cuerpo de válvula del pistón 40, tal como se muestra en la Figura 1c. En otras palabras, la trayectoria de flujo de la Figura 1b a lo largo del conducto interno del pistón 40, indicada por flechas desde el cilindro 1 de líquido al cilindro 2 de vapor, no existe cuando el pistón 40 está configurado en su estado desviado, tal como se muestra en la Figura 1c. Por lo tanto, un volumen significativo del cilindro 1 de líquido puede llenarse preferiblemente con el CO<sub>2</sub> líquido presurizado y refrigerado entrante. Sin embargo, un espacio u holgura especialmente diseñado entre la carcasa del cuerpo 4 de válvula y el pistón 40 como se indica mediante la flecha en la Figura 1c permite el flujo restringido del puerto 43 de llenado al cilindro 2 de vapor durante el llenado (como se muestra mediante flechas en la Figura 1c). En un ejemplo, una holgura entre el cuerpo 4 de válvula y el pistón 40 no es superior a aproximadamente 0,0076 cm (0,003 pulgadas) para crear menos de aproximadamente el 25 % en peso del fluido de CO<sub>2</sub> total que se carga en el sistema 10 para entrar en el recipiente 2 de vapor con el equilibrio (es decir, el 75 % en peso del fluido de CO<sub>2</sub> total cargado) ocupando el recipiente 1 de líquido. Preferiblemente, el CO<sub>2</sub> entra en el recipiente 2 de vapor en un intervalo de tasa de llenado de aproximadamente 0,15-0,22 kg/seg (20-30 lb/min). Por consiguiente, una cantidad controlada de flujo restringido de fluido de CO<sub>2</sub> entra en el cilindro 2 de vapor durante el llenado de líquido (Figura 1c).

Un dispositivo 7 de diferencial de presión, que puede ubicarse en el puerto de vapor de la válvula 4 de lanzadera y que está situado entre el cilindro 1 de líquido y el cilindro 2 de vapor (Figura 1d), se ajusta para permanecer abierto durante la operación de llenado mientras el fluido refrigerado de CO<sub>2</sub> presurizado ejerce suficiente fuerza contra el elemento de válvula (p. ej., válvula de bola) del dispositivo 7 de diferencial de presión. En un ejemplo, el dispositivo 7 de diferencial de presión está abierto como resultado de ajustarse a aproximadamente 172 kPa (25 psig), mientras que la presión de vapor de CO<sub>2</sub> es de 5515 kPa (800 psig), y la presión de bombeo del líquido de CO<sub>2</sub> es aproximadamente 7584 kPa (1100 psig). Debe entenderse que el dispositivo 7 de diferencial de presión permite obtener una funcionalidad deseada específica durante el suministro de CO<sub>2</sub> al usuario final o al cliente, pero no durante la operación de llenado. En otras palabras, el dispositivo 7 de diferencial de presión se utiliza selectivamente durante el uso del sistema 10 para la dispensación de vapor de CO<sub>2</sub>, tal como se explicará con mayor detalle a continuación.

Al contrario que los procesos convencionales de llenado de CO<sub>2</sub> in situ que generalmente tienden a aislar completamente el cilindro 2 de vapor con respecto al cilindro 1 de líquido durante el llenado de CO<sub>2</sub> en el sistema 10, la presente memoria descriptiva evita deliberadamente el aislamiento completo del cilindro 2 de vapor con respecto al cilindro 1 de líquido durante la operación de llenado. La capacidad de permitir que una cantidad restringida de líquido de CO<sub>2</sub> entre en el cilindro 2 de vapor a través de una trayectoria restrictiva creada y mantenida durante el llenado parece contraria al objetivo de diseño de crear y conservar el espacio de cabeza de vapor del recipiente 2 de vapor. Sin embargo, la cantidad relativamente pequeña de CO<sub>2</sub> introducida en el cilindro 2 de vapor de CO<sub>2</sub> puede ejercer cierta presión que permite la igualación de presión entre ambos lados de la válvula 4 de lanzadera y, en última instancia, puede equilibrar sustancialmente la presión entre el cilindro 1 de líquido y el cilindro 2 de vapor, permitiendo de este modo el retorno del pistón 40 hacia el puerto 43 de llenado cuando se completa el llenado de CO<sub>2</sub> presurizado y refrigerado en el cilindro 1 de CO<sub>2</sub> líquido, y la bomba de CO<sub>2</sub> líquido se ha cerrado. La capacidad del pistón 40 de

reasantarse se produce sin introducir una cantidad significativa de líquido de CO<sub>2</sub> en el recipiente 2 de vapor que reduce el espacio de cabeza de vapor del cilindro 2 de vapor. Por consiguiente, la operación de llenado permite una carga sustancial de CO<sub>2</sub> en el cilindro 1 de líquido mientras se minimiza el CO<sub>2</sub> líquido en el cilindro 2 de vapor para conservar el espacio de cabeza de vapor del recipiente 2 de vapor. Sin un conducto restrictivo del puerto 43 de llenado a lo largo de la holgura o hueco entre el cuerpo de la válvula 4 y el pistón 40, el pistón 40 puede no reasantarse de forma fiable sobre el puerto 43 de llenado. El resultado no deseable es un aislamiento sustancial del cilindro 2 de vapor con respecto al cilindro 1 de líquido durante la dispensación de CO<sub>2</sub> desde el sistema 10 (es decir, el escenario de la Figura 1c, en donde se produce una cantidad restringida de flujo de fluido de CO<sub>2</sub> que es un flujo inferior al permitido en la configuración no desviada o reasentada del pistón 40 de la Figura 1b con el dispositivo 7 de diferencial de presión en el estado abierto). El aislamiento sustancial de los cilindros 1 y 2 durante la dispensación de CO<sub>2</sub> puede conducir a una sobrepresurización cuando una cantidad suficiente del fluido de CO<sub>2</sub> en el cilindro 1 de líquido no puede transferirse al cilindro 2 de vapor en ciertas condiciones de funcionamiento.

Además, cuando el recipiente 2 de vapor no tiene una presión positiva significativa, tal como puede ocurrir durante el inicio, o durante el funcionamiento cuando el cilindro 2 de vapor tiene una presión baja, el pistón 40 puede no reasantarse debido a una mayor presión en el lado del puerto de llenado de líquido de la válvula 4 de lanzadera en comparación con la del lado del puerto de llenado de vapor. El cilindro 1 de líquido está esencialmente aislado con respecto al cilindro 2 de vapor lo que potencialmente crea una condición de sobrepresurización peligrosa del sistema 10, por lo que la presión en el cilindro 1 de líquido puede aumentar. Por consiguiente, la inclusión de un espacio u holgura entre el pistón 40 de la válvula 4 y la carcasa de la válvula 4 que está en comunicación con el puerto 43 de llenado crea y mantiene una trayectoria de flujo restrictiva desde el puerto 43 de llenado al cilindro 2 de vapor durante la operación de llenado (tal como se muestra mediante las flechas en la Figura 1c) que elimina o reduce significativamente la probabilidad de una sobrepresurización del sistema 10.

Como resultado, se evita el aislamiento completo del cilindro 2 de vapor con respecto al cilindro 1 de líquido durante el llenado, pero, al hacerlo, solo se crea una trayectoria de flujo restrictiva y se mantiene durante el llenado para permitir una cantidad limitada y controlada de fluido de CO<sub>2</sub> al cilindro 2 de vapor según sea necesario para reasentar el pistón 40 e igualar sustancialmente las presiones de los cilindros 1 y 2. En una realización, la cantidad de líquido de CO<sub>2</sub> que entra en el cilindro 2 de vapor es inferior al 30 % en peso del flujo entrante total de fluido de CO<sub>2</sub> presurizado y refrigerado desde la fuente de CO<sub>2</sub> durante un llenado; preferiblemente, inferior al 20 % en peso; y más preferiblemente, inferior al 10 % en peso.

Después del llenado, la presión del cilindro 1 de líquido puede continuar aumentando durante muchas horas a medida que el CO<sub>2</sub> líquido tenderá a evaporarse hasta que se alcance el equilibrio. Durante este período de equilibrado, el dispositivo 7 de diferencial de presión, situado entre el cilindro 1 de líquido y el cilindro 2 de vapor, puede permanecer abierto, en respuesta a una diferencia de presión predeterminada entre los cilindros 1 y 2, lo que impide que el cilindro 1 de líquido se sobrepresurice.

Una vez completado el llenado, y después de que el sistema 10 se ha estabilizado para alcanzar un estado de equilibrio sustancial, puede usarse el sistema 10 para dispensar el producto de vapor de CO<sub>2</sub> a un usuario final o a un cliente, tal como se describirá a continuación. Cabe señalar que, inicialmente, durante el uso del sistema 10 para dispensar el producto de vapor de CO<sub>2</sub>, el pistón 40 de la válvula 4 de lanzadera se reasienta en su posición no desviada y permanece en la posición no desviada (Figura 1b), y un dispositivo 7 de diferencial de presión se cierra inicialmente como resultado de la igualación de presión entre el cilindro 1 de líquido y el cilindro 2 de vapor. Como tal, el aislamiento ocurre entre el cilindro 1 de líquido y el cilindro 2 de vapor, y la trayectoria de flujo restrictiva creada y mantenida durante el llenado se elimina durante la dispensación del producto de vapor desde el cilindro 2 de vapor. Es preferible mantener una diferencia de presión positiva que oscila de 68,9 kPa a 6894 kPa (10 a 1000 psig) en el cilindro 1 de líquido con respecto al cilindro 2 de vapor; preferiblemente, 68,9 - 3447 kPa (10-500 psig); y más preferiblemente, 68,9 a 1723 kPa (10-250 psig). La presión positiva asegura que el líquido de CO<sub>2</sub> se consume desde el cilindro 2 de vapor antes de que se transfiera fluido de CO<sub>2</sub> adicional mediante el cilindro 1 de líquido al cilindro 2 de vapor.

Aunque el pistón 40 no bloquea sustancialmente la trayectoria de flujo al cilindro 2 de vapor para crear una trayectoria de flujo restrictiva, tal como puede ocurrir durante el llenado, como se explicará más adelante en la presente descripción, un dispositivo 7 de diferencial de presión está situado entre el cilindro 1 de líquido y el cilindro 2 de vapor. El dispositivo 7 de diferencial de presión se activa específicamente para abrirse y cerrarse bajo condiciones de funcionamiento específicas para vaciar preferiblemente el líquido de CO<sub>2</sub> del recipiente 2 de vapor. Específicamente, el producto de vapor de CO<sub>2</sub> se dispensa preferiblemente desde el recipiente 2 de CO<sub>2</sub> de vapor con el dispositivo 7 de diferencial de presión en la posición cerrada, hasta que una diferencia de presión entre el recipiente de CO<sub>2</sub> líquido y el recipiente de CO<sub>2</sub> de vapor adquiere un valor de punto de ajuste, en cuyo punto el dispositivo 7 de diferencial de presión se abre para permitir transferir fluido de CO<sub>2</sub> adicional desde el recipiente 1 de líquido al recipiente 2 de vapor. Preferiblemente, el dispositivo 7 de diferencial de presión se ajusta a cierta diferencia de presión entre el recipiente 1 de líquido y el recipiente 2 de vapor que debe alcanzarse o superarse antes de la apertura para permitir la transferencia de fluido de CO<sub>2</sub> desde el recipiente 1 de líquido al recipiente 2 de vapor. De forma alternativa, el dispositivo 7 de diferencial de presión puede ajustarse a cierto punto de ajuste que la presión en el recipiente 2 de vapor debe alcanzar o estar por debajo del que debe caer antes de la apertura. El dispositivo 7 de diferencial de presión en la posición

abierta permite un relleno posterior o sucesivo de líquido de CO<sub>2</sub> en el recipiente de CO<sub>2</sub> líquido y/o una transferencia de fluido de CO<sub>2</sub> del recipiente 1 de CO<sub>2</sub> líquido al recipiente 2 de CO<sub>2</sub> de vapor.

El dispositivo 7 de diferencial de presión puede instalarse en el puerto de vapor de la válvula 4 de lanzadera, tal como se muestra en la Figura 1d. Alternativamente, el dispositivo 7 de diferencial de presión puede estar situado corriente abajo de la válvula 4 de lanzadera a lo largo del conducto 13 que se extiende entre el cilindro 1 de líquido y el cilindro 2 de vapor. La Figura 1a pretende representar el dispositivo 7 de diferencial de presión integrado en el puerto de vapor de la válvula 4 de lanzadera o el dispositivo 7 de diferencial de presión situado corriente abajo de la válvula 4 de lanzadera. Se contempla cualquier dispositivo 7 de diferencial de presión en línea, que incluye un orificio crítico, un capilar, una válvula de descarga de presión, un dispositivo de contrapresión cargado por resorte en línea activo y cualquier otro dispositivo adecuado que pueda ser ajustado para activarse en una posición abierta con una diferencia de presión predeterminada entre el recipiente 1 de líquido y el recipiente 2 de vapor a efectos de mantener una transferencia limitada de fluido de CO<sub>2</sub> desde el recipiente 1 de líquido al recipiente 2 de vapor con el vaciado preferencial del líquido de CO<sub>2</sub> desde el recipiente 2 de vapor.

Con referencia a la Figura 1a, durante el suministro al usuario final o al cliente a través de un regulador 9 de presión, la transferencia de CO<sub>2</sub> de vapor desde el cilindro 1 de líquido al cilindro 2 de vapor está limitada por el dispositivo 7 de diferencial de presión, hasta que se alcanza cierta diferencia de presión entre el recipiente 1 de líquido y el recipiente 2 de vapor. Por ejemplo, cuando la presión en el cilindro 2 de vapor cae hasta cierto nivel que aumenta la diferencia de presión entre los cilindros 1 y 2 de líquido y vapor, el dispositivo 7 de diferencial de presión (es decir, también se denomina presión de punto de ajuste del dispositivo 7 de diferencial de presión o caída de presión del dispositivo 7 de diferencial de presión) se activa a la posición abierta. La presión de punto de ajuste o caída de presión del dispositivo 7 de diferencial de presión a la que se abre se ajustará a un nivel para asegurar que una presión inferior puede persistir en el cilindro 2 de vapor, con un diseño para suministrar principalmente el producto de vapor de CO<sub>2</sub> al usuario final o al cliente sin una transferencia o suministro sustancial de CO<sub>2</sub> de vapor desde el recipiente 1 de líquido, resultando así en una vaporización preferencial y un consumo posterior del CO<sub>2</sub> líquido contenido dentro del cilindro 2 de vapor. En un ejemplo, el punto de ajuste es 34,4 - 689,4 kPa (5-100 psi), preferiblemente, 68,9 - 517 kPa (10-75 psi), y más preferiblemente, 68,9 - 344 kPa (10-50 psi). Ajustar el dispositivo 7 de diferencial de presión para que se active a la posición abierta cuando la presión en el recipiente 2 de vapor se ha reducido a cierto nivel, consumirá preferiblemente el CO<sub>2</sub> líquido del cilindro 2 de vapor antes de que el fluido de CO<sub>2</sub> sea transferido desde el cilindro 1 de líquido al cilindro 2 de vapor y/o el vapor de CO<sub>2</sub> sea extraído del cilindro 1 de líquido al usuario final o al cliente. En un ejemplo, siempre que el cilindro 2 de vapor no esté exento de líquido, la relación de peso entre el producto de vapor dispensado desde el cilindro 2 de vapor y el producto de vapor dispensado desde el cilindro 1 de líquido es aproximadamente 1:1 o superior, preferiblemente, aproximadamente 1,5:1 o superior y, más preferiblemente, aproximadamente 2:1 o superior.

Sin estar limitado por ninguna teoría o mecanismo particular, se considera que el vaciado preferencial del líquido de CO<sub>2</sub> en el cilindro 2 de vapor puede producirse tal como sigue. A medida que el vapor de CO<sub>2</sub> se retira del cilindro 2 de vapor, la presión de vapor en el cilindro 2 de vapor cae hasta un nivel que es inferior a la presión de vapor inicial correspondiente a la temperatura inicial, que es típicamente la temperatura ambiente (es decir, la temperatura del recinto en donde se ubica el cilindro 2 de vapor). La reducción de la presión hace que el CO<sub>2</sub> líquido en el cilindro de vapor se evapore para restablecer la presión de vapor en el cilindro 2 de vapor.

La evaporación del líquido de CO<sub>2</sub> requiere un calor de evaporación, que puede enfriar el cilindro 2 de vapor. El enfriamiento del cilindro 2 de vapor hace que la presión total caiga en el cilindro 2 de vapor. Por consiguiente, a medida que el líquido de CO<sub>2</sub> en el cilindro 2 de vapor se vaporiza preferiblemente y luego se dispensa con el dispositivo 7 de diferencial de presión en la posición cerrada, la presión en el recipiente 2 de vapor disminuye durante el funcionamiento del sistema 10 hasta que la presión se ha reducido hasta cierto nivel que crea una diferencia de presión entre el recipiente 1 de líquido y el recipiente 2 de vapor que es igual o superior a la presión de punto de ajuste del dispositivo 7 de diferencial de presión en cuyo punto el dispositivo 7 se activa para abrirse. Cuando la presión en el recipiente 2 de vapor cae por debajo del cierto nivel, el dispositivo 7 de diferencial de presión se activa a la posición abierta para permitir la transferencia de fluido de CO<sub>2</sub> desde el recipiente 1 de líquido al recipiente 2 de vapor. Cabe señalar que la válvula 4 de lanzadera permanece en la posición no desviada (Figura 1b y Figura 1d) y, por lo tanto, no restringe la transferencia de fluido de CO<sub>2</sub> del cilindro 1 de líquido al cilindro 2 de vapor. En otras palabras, el fluido de CO<sub>2</sub> puede entrar en el conducto hueco del pistón 40 y fluir a lo largo del mismo y entrar en el recipiente 2 de vapor (como se indica mediante las líneas con flechas en la Figura 1b) porque las aberturas en el conducto hueco del pistón 40 no están bloqueadas por el cuerpo de válvula.

La transferencia de fluido de CO<sub>2</sub> al cilindro 2 de vapor ocurre a lo largo del conducto 13 hasta que la presión en el cilindro 2 de vapor ha aumentado hasta por encima de un nivel predeterminado para disminuir la diferencia de presión entre el cilindro 1 de líquido y el cilindro 2 de vapor por debajo de la presión de punto de ajuste del dispositivo 7 de diferencial de presión, en cuyo punto el dispositivo 7 de diferencial de presión cambia de posición abierta a posición cerrada. De esta manera, la presente descripción establece la presión de punto de ajuste del dispositivo 7 de diferencial de presión para que sea un valor de funcionamiento que permita el vaciado preferencial del líquido de CO<sub>2</sub> del cilindro 2 de vapor, reduciendo o eliminando de este modo el riesgo de sobrepresurización que surge de la acumulación del

nivel de líquido de CO<sub>2</sub> en el cilindro 2 de vapor, una metodología no empleada previamente con los sistemas de dispensación de CO<sub>2</sub> in situ actualmente utilizados.

La presente memoria descriptiva ha descubierto que, sin el uso del dispositivo 7 de diferencial de presión de la manera descrita en la presente descripción, durante el suministro del producto de vapor de CO<sub>2</sub> al cliente, el CO<sub>2</sub> en el cilindro 1 de líquido se vaporiza y fluye hacia el cilindro 2 de vapor de CO<sub>2</sub> y/o directamente al usuario final, hasta que se establece un equilibrio de presión tanto en el cilindro 1 de líquido como en el cilindro 2 de vapor. Dado que el cilindro 1 de líquido generalmente contiene más CO<sub>2</sub> líquido que el cilindro 2 de vapor, la tasa de evaporación del líquido de CO<sub>2</sub> en el cilindro 1 de líquido es típicamente más rápida que en el cilindro 2 de vapor. En consecuencia, se observa que más CO<sub>2</sub> del cilindro 1 de líquido se dispensa al cliente o al usuario final. Como resultado, el CO<sub>2</sub> líquido en el cilindro 2 de vapor puede ir a una tasa más lenta de vaciado, lo que podría causar acumulación en el cilindro 2 de vapor durante la transferencia de fluido de CO<sub>2</sub> desde el cilindro 1 de líquido hasta el recipiente 2 de vapor, así como durante operaciones de llenado posteriores. El efecto neto sería un mayor riesgo de sobrepresurización en el cilindro 2 de vapor, ya que el espacio de vapor del cilindro 2 de vapor se reduce durante el funcionamiento.

Como puede observarse, el dispositivo 7 de diferencial de presión limita el flujo de vapor de CO<sub>2</sub> desde el recipiente 1 de líquido al recipiente 2 de vapor durante su uso cuando el recipiente 2 de vapor contiene CO<sub>2</sub> líquido. Específicamente, cuando el recipiente 2 de vapor contiene CO<sub>2</sub> líquido (es decir, el cilindro 2 de vapor no está exento de líquido), el dispositivo 7 de diferencial de presión limita la transferencia de flujo de vapor de CO<sub>2</sub> desde el recipiente 1 de líquido al recipiente 2 de vapor hasta que sustancialmente la totalidad de la fase líquida de CO<sub>2</sub> en el recipiente de vapor se ha vaporizado y posteriormente consumido o vaciado. En un ejemplo, al menos el 75 % en peso de líquido de CO<sub>2</sub> en el recipiente de CO<sub>2</sub> de vapor se vaporiza antes de introducir líquido de CO<sub>2</sub> y/o vapor de CO<sub>2</sub> (colectivamente "fluido de CO<sub>2</sub>") desde el recipiente 1 de CO<sub>2</sub> líquido al recipiente 2 de CO<sub>2</sub> de vapor. El dispositivo 7 de diferencial de presión puede utilizarse para aislar el recipiente 2 de vapor con respecto al recipiente 1 de líquido en tales condiciones de funcionamiento que permitan que el CO<sub>2</sub> líquido en el recipiente 2 de vapor se consuma preferiblemente antes que el vapor de CO<sub>2</sub> desde el recipiente 1 de líquido. De esta manera, se impide que el CO<sub>2</sub> líquido se acumule en el recipiente 2 de vapor, lo que, en consecuencia, minimiza el riesgo de sobrellenado de CO<sub>2</sub> y sobrepresurización del sistema de dos recipientes in situ.

Con referencia a la Figura 1a, se puede instalar un manómetro 5 opcional en el puerto de líquido y también el puerto de vapor de la válvula 4 de lanzadera para controlar la presión del recipiente 1 de líquido. Se puede usar una válvula 6 de descarga de presión para proteger el colector y los cilindros 1 y 2. Se puede instalar una válvula de descarga de presión adicional en el puerto de vapor de la válvula 4 de lanzadera.

La capacidad de la presente descripción para extraer preferiblemente el producto de vapor del cilindro 2 de vapor en lugar del cilindro 1 de líquido se demuestra mediante las pruebas descritas en los siguientes ejemplos.

#### **Ejemplo comparativo 1 (sistema convencional)**

Se evaluó el comportamiento de un sistema de dispensación de CO<sub>2</sub> de dos cilindros convencional. El cilindro de vapor no se aisló con respecto al cilindro de líquido durante el uso. Se controlaron la pérdida de peso del cilindro de líquido y la pérdida de peso del cilindro de vapor. La Figura 2a muestra las tasas de pérdida de peso del cilindro de líquido y del cilindro de vapor que se observaron durante el suministro al cliente con un caudal total de aproximadamente 0,29 kg/h (0,65 lb/h). La pérdida de peso del recipiente de líquido fue casi 2 veces superior a la del recipiente de vapor. Se observó que la relación de peso entre el producto de vapor dispensado desde el cilindro 2 de vapor y el producto de vapor dispensado desde el cilindro 1 de líquido era aproximadamente 0,5. Durante el proceso, la presión del recipiente de líquido fue la misma que la del recipiente de vapor.

#### **Ejemplo 1**

Se evaluó el comportamiento de un sistema de dispensación de CO<sub>2</sub> de dos cilindros mejorado. El sistema se configuró tal como se muestra en la Figura 1a, no cubierto por las reivindicaciones. El sistema se hizo funcionar según los principios de la presente memoria descriptiva. Se creó y mantuvo una trayectoria de flujo restrictiva con la válvula de lanzadera durante el llenado del cilindro de líquido con líquido de CO<sub>2</sub> refrigerado desde de una fuente de CO<sub>2</sub> líquido. Se permitió que una cantidad limitada de fluido de CO<sub>2</sub> se transfiriese desde el cilindro de líquido al cilindro de vapor cuando la presión del cilindro de vapor se redujo por debajo de un valor de punto de ajuste del dispositivo de diferencial de presión, que era una válvula de retención de 172 kPa (25 psig) (es decir, la válvula de retención se ajustó para abrirse con una diferencia de presión entre los cilindros de líquido y vapor de 172 kPa (25 psig)). Se controlaron la pérdida de peso del cilindro de líquido y la pérdida de peso del cilindro de vapor. La Figura 2b muestra las tasas de pérdida de peso del recipiente de líquido y el recipiente de vapor que se observaron durante el suministro al cliente con un caudal total de 0,31 kg/h (0,7 lb/h) con un dispositivo de diferencial de presión de 172 kPa (25 psi). La pérdida de peso del recipiente de líquido fue muy inferior a la del recipiente de vapor. Se observó que la relación de peso entre el producto de vapor dispensado desde el cilindro 2 de vapor y el producto de vapor dispensado desde el cilindro 1 de líquido fue aproximadamente 2,5. Los resultados indicaron que el producto de vapor de CO<sub>2</sub> se dispensó preferiblemente desde el cilindro de vapor.

## Ejemplo 2

El sistema de la Figura 1a, que no está cubierto por las reivindicaciones, se probó para determinar el comportamiento de la capacidad de llenado. El sistema se hizo funcionar según los principios de la presente memoria descriptiva. El sistema incluía un recipiente de líquido de 37 L y un recipiente de vapor de 42 L. Se creó y mantuvo una trayectoria de flujo restrictiva con la válvula de lanzadera durante el llenado del recipiente de líquido con líquido de CO<sub>2</sub> refrigerado desde de una fuente de CO<sub>2</sub> líquido. El recipiente de líquido se llenó hasta una presión de llenado de 8273 kPa (1200 psig) en todas las pruebas. Todas las pruebas se realizaron con diversos niveles de líquido de CO<sub>2</sub> residual en el recipiente de líquido del sistema, oscilando del 5 % al 65 % de la capacidad de volumen del recipiente. Los resultados se muestran en la Figura 4. Todas las pruebas indicaron que la cantidad total de CO<sub>2</sub> en el sistema estaba por debajo del 68 % en peso total en base al peso del agua, independientemente de la cantidad de CO<sub>2</sub> residual en el recipiente de líquido antes del llenado.

Los resultados indican que el sistema y el método de dispensación convencional del Ejemplo comparativo 1 no lograron consumir preferiblemente CO<sub>2</sub> del recipiente de vapor, creando un escenario de funcionamiento que conducía a la acumulación de líquido de CO<sub>2</sub> en el recipiente de vapor con llenados posteriores o sucesivos. La conclusión de las pruebas fue que la sobrepresurización fue probable en el caso del Ejemplo comparativo 1, pero se redujo significativamente o se eliminó con el sistema y el método del Ejemplo 1; y que el sistema de la presente descripción fue capaz de no superar los requisitos reguladores de llenado máximo permitidos, tal como se demuestra en el Ejemplo 2.

Aunque se ha mostrado y descrito lo que se consideran ciertos ejemplos, se entenderá, por supuesto, que pueden realizarse fácilmente diversas modificaciones y cambios en la forma o en los detalles. Por ejemplo, los manómetros, las válvulas de descarga de presión y el dispositivo de diferencial de presión pueden integrarse o incorporarse en la válvula 4. Además, la válvula 4 puede conectarse a la válvula del recipiente 1 de líquido a través de una manguera flexible o puede instalarse en el recipiente 1 de líquido directamente sin usar una válvula de cilindro.

Además, el regulador 9 de presión que dispensa CO<sub>2</sub> a un usuario final o cliente puede integrarse o incorporarse en la válvula 4 de lanzadera. Alternativamente, el regulador 9 de presión puede integrarse en la válvula de cilindro de vapor.

También se contemplan otras modificaciones y/o instrumentación adicional o independientemente para lograr un control similar para minimizar el inventario de líquido dentro del recipiente de vapor. Específicamente, la presente descripción puede incorporar unos medios para medir el nivel de líquido en el recipiente de vapor y no permitir el llenado cuando el nivel de líquido está por encima de cierto valor. La detección del nivel puede lograrse usando medidores de nivel de capacitancia o detección de nivel óptica. A modo de ejemplo, el control del nivel de líquido de CO<sub>2</sub> en el cilindro 2 de vapor puede usarse como una característica de seguridad adicional durante el llenado y la base para controlar la cantidad de fluido de CO<sub>2</sub> cargado en el sistema 10. En funcionamiento normal, se prevé que la presión de llenado objetivo se logre antes de que el nivel de líquido en el cilindro 2 de vapor alcance un nivel de líquido máximo predeterminado. Sin embargo, en el caso de que el sistema 10 no esté funcionando en condiciones normales de funcionamiento durante el llenado, de manera que se alcance un nivel de líquido máximo predeterminado en el cilindro 2 de vapor que pueda crear una condición peligrosa de sobrepresurización, el sistema 10 puede apagarse al alcanzar tal nivel de líquido máximo predeterminado en el cilindro 2 de vapor incluso aunque no se haya alcanzado la presión de llenado objetivo. Específicamente, cuando el nivel de líquido en el recipiente 2 de vapor alcanza un nivel máximo predeterminado, independientemente de si se ha alcanzado la presión de llenado objetivo, la operación de llenado se detiene, lo que asegura además que el sistema 10 no se llene en exceso. Alternativamente, el nivel de líquido en el recipiente 2 de vapor puede usarse únicamente para controlar el llenado, de modo que, una vez que el nivel de líquido en el cilindro 2 de vapor alcanza el nivel de líquido máximo predeterminado, el llenado puede detenerse. Cualquiera de los medios de control asegura que la operación de llenado no continúa basándose en alcanzar un nivel de líquido máximo predeterminado en el cilindro 2 de vapor.

En otro ejemplo adicional, si el caudal de llenado es inferior a la tasa de llenado normal o prevista, es posible permitir transferir más CO<sub>2</sub> líquido con el tiempo (es decir, durante el transcurso de rellenos posteriores y/o sucesivos) desde el recipiente 1 de líquido al recipiente 2 de vapor con respecto al que es posible con la tasa de llenado normal. La metodología de control del nivel de líquido en el recipiente 2 de vapor de CO<sub>2</sub> puede asegurar que el llenado se detiene al detectar el nivel de líquido máximo predeterminado en el cilindro 2 de vapor. Aún más, antes de que se produzca el llenado, es posible un escenario en el que el nivel de líquido en el cilindro 2 de vapor esté en el nivel máximo predeterminado, de modo que no se permita el llenado. Dichos escenarios representan una desviación con respecto a las condiciones normales de funcionamiento, que es posible remediar controlando y detectando el nivel de líquido de CO<sub>2</sub> en el recipiente 2 de vapor.

Además de las técnicas de control de nivel descritas en la presente descripción, la presente descripción también contempla técnicas de visualización térmicas y técnicas de tira sensible a la temperatura como los medios para controlar los niveles de líquido de CO<sub>2</sub> líquido en el cilindro 2 de vapor durante la operación de llenado cuando el líquido de CO<sub>2</sub> tiene una temperatura relativamente inferior a la de los cilindros 1 y 2.

En un ejemplo no cubierto por las reivindicaciones adjuntas, un sistema de dos cilindros en el que ambos cilindros tienen el mismo tamaño funciona de manera que el nivel de líquido de CO<sub>2</sub> máximo en el cilindro 2 de vapor durante el llenado puede controlarse para que no sea superior al 55 %, preferiblemente, no superior al 45 %, y más preferiblemente, no superior al 35 % en base al volumen total de CO<sub>2</sub> en el sistema 10. El nivel de líquido exacto en el cilindro 2 de vapor puede variar en base al tamaño de cada uno de los dos cilindros 1 y 2, respectivamente. Si el cilindro 2 de vapor es superior en capacidad de volumen al cilindro 1 de líquido, entonces el nivel de líquido en el cilindro 2 de vapor puede ser relativamente más alto, siempre que la cantidad total de CO<sub>2</sub> en el sistema no pueda ser superior al 68 % en peso en peso de agua en cualquier condición.

Aún más, las celdas de carga pueden disponerse debajo del recipiente 2 de vapor, y el llenado del recipiente 1 de líquido se impedirá a menos que las celdas de carga indiquen el peso del recipiente 2 de vapor con poca o ninguna fase líquida presente, p. ej., el peso de tara más 4,5 kg (10 libras) como máximo para un recipiente de 43 L. El recipiente de 43 L puede tener 141b CO<sub>2</sub> incluso si está exento de líquido. La cantidad de CO<sub>2</sub> permitida en el cilindro de vapor puede depender, al menos en parte, del tamaño de los recipientes de líquido y vapor. Por ejemplo, si el recipiente de 43 L se usa para los recipientes 1 y 2 tanto de líquido como de vapor, respectivamente, el recipiente 2 de vapor tiene preferiblemente un máximo de aproximadamente 401b CO<sub>2</sub>.

En otro diseño alternativo adicional, es posible añadir un puerto y un tubo de inmersión independientes para evacuar el CO<sub>2</sub> líquido presente en el recipiente de vapor durante el llenado. La profundidad del tubo de inmersión está predeterminada para controlar y limitar el nivel de CO<sub>2</sub> líquido en el cilindro de vapor. La línea de evacuación puede discurrir de vuelta a la fuente de CO<sub>2</sub> (p. ej., el camión de CO<sub>2</sub>) en lugar de abrirse a la atmósfera. Aún más, la presente descripción también puede modificarse para calentar el recipiente de vapor para vaporizar preferiblemente su inventario de líquido de CO<sub>2</sub> contenido en el mismo.

En otra modificación, se puede usar un dispositivo 15 de control de presión residual, tal como se muestra en la Figura 3. El dispositivo 15 de control de presión residual puede estar opcionalmente integrado en la válvula de cilindro de vapor o instalado entre el cilindro 2 de vapor y el regulador 9 de presión, o entre el dispositivo 7 de diferencial de presión y el cilindro 2 de vapor. También se puede incorporar en la válvula de cilindro de vapor, el regulador de suministro, la válvula de lanzadera, o una combinación. Preferiblemente, el dispositivo 15 de control de presión residual se usa en el suministro de vapor. El dispositivo 15 de control de presión residual conserva una pequeña presión positiva en los recipientes, p. ej., 413 kPa (60 psig) o superior, para los recipientes 1 y 2 de líquido de CO<sub>2</sub> y presión, respectivamente. El uso del dispositivo 15 de control de presión residual no solo permite evitar la posibilidad de contaminación de retorno, sino que permite evitar la formación de hielo seco durante el llenado que puede producirse si la presión del recipiente es inferior a 413 kPa (60 psig). Por consiguiente, el dispositivo de control de presión residual puede reducir el riesgo de quiebra de los recipientes 1 y 2.

Debe entenderse que la presente invención tiene versatilidad para ser empleada en diversas aplicaciones. Por ejemplo, el sistema in situ de la presente invención puede utilizarse en aplicaciones de bebidas, médicas, electrónicas, soldadura y otras aplicaciones adecuadas que requieren el suministro de CO<sub>2</sub> in situ. La presente invención también puede implementarse en el llenado y dispensación de CO<sub>2</sub> con cualquier grado de pureza de CO<sub>2</sub>.

Como se ha descrito, la presente memoria descriptiva contempla varios medios para asegurar que se obtiene un espacio de cabeza suficiente en el recipiente de vapor. En lugar de controlar el estado de llenado del recipiente de líquido, como resulta habitual con los sistemas convencionales, la presente memoria descriptiva se centra en conservar el espacio de cabeza del recipiente de vapor limitando el flujo de fluido de CO<sub>2</sub> al recipiente de vapor desde el recipiente de líquido durante el uso del cliente y/o evaluando directa o indirectamente el inventario de líquido de CO<sub>2</sub> del recipiente de vapor. Como resultado, el diseño de la presente memoria descriptiva está destinado a reducir la probabilidad de acumular CO<sub>2</sub> líquido en el recipiente de vapor, que posiblemente puede dar como resultado un espacio de cabeza de vapor insuficiente que no puede acomodar la expansión de líquido del recipiente de líquido después del llenado del recipiente de líquido con líquido de CO<sub>2</sub> refrigerado y presurizado. Como tal, y de esta manera, la presente memoria descriptiva representa una desviación significativa con respecto a los sistemas convencionales, que se enfocan únicamente en el contenido del recipiente de líquido, pero no han conseguido obtener una solución para gestionar un aumento en el volumen específico (p. ej., -30 %) como resultado del aumento de temperatura del CO<sub>2</sub> líquido, por ejemplo, de 0 °C a 20 °C o superior.

Según la presente invención, antes de llenar los recipientes de CO<sub>2</sub> de la Figura 1a, se puede emplear un sistema 400 de llenado de enclavamiento de seguridad de CO<sub>2</sub> para asegurar que no se producen fugas en la operación de llenado y se presuriza adecuadamente dentro de cierto intervalo de presión. A continuación, se describirá un sistema 400 de llenado de enclavamiento de seguridad ilustrativo que incorpora cierta metodología de control en relación con las Figuras 4 y 5. La Figura 4 es un esquema de proceso que muestra el sistema 400 de llenado de enclavamiento de seguridad de CO<sub>2</sub> que puede usarse para realizar ciertos controles de integridad previamente al llenado (tal como se describirá) y, si tales controles pasan los criterios requeridos, llenar posteriormente el sistema 10 de la Figura 1a o cualquier otro recipiente o recipientes de CO<sub>2</sub> (p. ej., un recipiente de baja presión, tal como un recipiente de microgranel). Debe entenderse que la Figura 4 no está dibujada a escala, y algunas características se omiten intencionalmente con fines de claridad para ilustrar mejor los principios de la presente invención según la Figura 4 y

la Figura 5. La Figura 5 representa la metodología 500 de control de enclavamiento de seguridad que puede emplearse mediante el sistema 400 de llenado de enclavamiento de seguridad antes del llenado y durante el llenado.

El sistema 400 de llenado de enclavamiento de seguridad se indica mediante una línea de puntos en la Figura 4 incluyendo una fuente de CO<sub>2</sub> in situ que incluye un recipiente 473 de fuente junto con varias válvulas, instrumentación y conductos. La fuente de CO<sub>2</sub> in situ generalmente se ubica externamente con respecto a recipientes de CO<sub>2</sub> corriente abajo, que están situados dentro de un edificio u otra área confinada. La fuente de CO<sub>2</sub> in situ preferiblemente se autoalimenta, de manera que no se necesitan energía eléctrica externa u otros servicios públicos externos para realizar los controles de integridad previamente al llenado del sistema de llenado de enclavamiento de seguridad de CO<sub>2</sub>. El sistema 400 se conecta en una ubicación del cliente a los recipientes de alta presión y/o a los recipientes de baja presión de un cliente, que pueden ubicarse dentro de un edificio. En una realización preferida, el sistema 400 se ubica en un vehículo transportable que se conduce a la ubicación de un cliente en donde se ubican los recipientes de CO<sub>2</sub>. El recipiente 473 de fuente está definido, al menos en parte, por CO<sub>2</sub> licuado 472 (es decir, CO<sub>2</sub> líquido) que ocupa una parte inferior del recipiente 473 de fuente, con vapor 471 de CO<sub>2</sub> en un espacio de cabeza del recipiente 473 de fuente. La válvula solenoide 107, el regulador 108 de presión y la válvula 109 de descarga de presión se disponen encima del recipiente 473 de fuente para recibir una parte 471 de vapor de CO<sub>2</sub> para el suministro a válvulas de control neumático (es decir, las válvulas de control de proceso de la Figura 4) a través del colector de válvulas de control dentro del controlador PLC 470 de la Figura 4. Debe entenderse que puede usarse cualquier válvula de control, incluyendo una válvula solenoide. Preferiblemente, las válvulas de control de proceso de la Figura 4 son válvulas neumáticas en donde se usa vapor 471 de CO<sub>2</sub> como fuente de gas neumático para suministrar gas de fuente para abrir y cerrar todas las válvulas de control neumático de proceso de la Figura 4. Sin embargo, también se pueden usar válvulas manuales o solenoides.

Un colector 474 de llenado está conectado al recipiente 473 de fuente. El colector 474 de llenado incluye preferiblemente una red de conductos para permitir el control de fugas y la presurización con vapor 471 de CO<sub>2</sub> y luego el llenado de líquido de CO<sub>2</sub> posterior en recipientes corriente abajo. El colector 474 de llenado incluye un conducto 477 de suministro de vapor que se usa para realizar los controles de integridad previamente al llenado (p. ej., control de fugas y presurización del colector 474 de llenado), tal como se explicará más adelante. La Figura 4 muestra que un extremo del conducto 477 de suministro de vapor se extiende dentro del espacio de cabeza de la fuente 473, y otro extremo del conducto 477 de suministro de vapor está conectado a un conducto 440 de alta presión y un conducto 450 de baja presión, extendiéndose cada uno de los cuales hacia sus respectivos recipientes corriente abajo. El conducto 440 de alta presión incluye una válvula 413 de aislamiento automatizada, un descargador 414 de seguridad de bloqueo de línea, una manguera 415 de llenado flexible, una válvula 416 de llenado manual opcional, una válvula 417 de purga manual opcional, un dispositivo 418 de descarga de presión, un manómetro 419 y un conector rápido 430. El conducto 450 de baja presión incluye una válvula 421 de aislamiento automatizada, una válvula 122 de aislamiento de baipás manual opcional, un descargador 422 de seguridad de bloqueo de línea, una manguera 423 de llenado flexible, una válvula 424 de llenado manual opcional, una válvula 425 de purga manual opcional, un dispositivo 426 de descarga de presión, un manómetro 427 y un conector rápido 428. El uso de conductos dedicados con diferentes tipos de conectores rápidos 428 y 430 evita que el operario conecte inadvertidamente un conducto 440 de alta presión a un recipiente de baja presión para su llenado y viceversa.

Una bomba 402 está situada a lo largo de un conducto 478 de CO<sub>2</sub> de suministro de líquido. La bomba 402 se usa para presurizar el CO<sub>2</sub> líquido 472 retirado de la parte inferior del recipiente 473 de fuente. Dicha presurización puede ser necesaria cuando se llenan recipientes con líquido 472 de CO<sub>2</sub> retirado del recipiente 473 de fuente a lo largo del conducto 440 de alta presión, así como cuando se rellenan los recipientes de baja presión dispuestos corriente abajo del conducto 450 de baja presión. El sistema 400 de enclavamiento de seguridad también incluye un controlador 470, preferiblemente, un controlador lógico programable (PLC). Para permitir que el PLC 470 realice los controles de integridad, el PLC 470 recibe varias entradas, que incluyen un primer punto de ajuste igual a la reducción no permisible en la presión del vapor de CO<sub>2</sub> en el colector 474 de llenado durante un período de tiempo predeterminado en donde ocurre el control de fugas; un segundo punto de ajuste igual a la presión inferior predeterminada del vapor de CO<sub>2</sub> en el colector 474 de llenado por debajo de la que se puede formar hielo seco; y un tercer punto de ajuste igual a la presión superior predeterminada del vapor de CO<sub>2</sub> en el colector 474 de llenado por encima de la que puede ocurrir un flujo reversible de CO<sub>2</sub> de vapor desde los recipientes de alta presión al colector 474 de llenado. Dicho flujo reversible del CO<sub>2</sub> de vapor no es deseable, ya que la evacuación posterior del colector 474 de llenado/manguera 415 de llenado puede hacer que el CO<sub>2</sub> de los recipientes de alta presión sea evacuado.

A continuación se describirá un ejemplo de un control de integridad previamente al llenado que utiliza la metodología 500 de control en la Figura 5 antes de determinar si puede proceder el llenado de líquido de CO<sub>2</sub> en los recipientes de alta presión (p. ej., los recipientes que pueden soportar hasta 8273 kPa (1200 psig) o más). Preferiblemente, los recipientes de alta presión son un sistema de dos cilindros, tal como se muestra en la Figura 1a. La Figura 4 indica los cilindros de alta presión dispuestos corriente abajo del conducto 440 de alta presión. Habiendo desplegado y conectado el sistema 400 de llenado de enclavamiento de seguridad como se muestra en la Figura 4 a los recipientes de alta presión a lo largo del conducto 440 de alta presión, el PLC 470 puede activarse (etapa 501 de inicio). En el PLC 470 se han introducido el primer, segundo y tercer puntos de ajuste. La válvula manual 408 normalmente se mantiene en una posición abierta. El PLC 470 envía una señal (p. ej., una señal inalámbrica, una señal por cable físico o gas neumático) a una válvula 429 de control, así como una válvula 407 y 413 de aislamiento, provocando de este

modo que las válvulas 407, 429 y 413 se dispongan en la posición abierta. El vapor 471 de CO<sub>2</sub> del recipiente 473 de fuente fluye a lo largo del conducto 477 de suministro de vapor y a través de la válvula 429, 407 y 413 de control abierta para ocupar el colector 474 de llenado y el conducto 440 de alta presión que se extiende hasta los recipientes de alta presión. La válvula 429 de control se cierra cuando se ha alcanzado un tiempo de llenado de vapor predeterminado (p. ej., aproximadamente 5-10 segundos) para lograr una cantidad aislada de vapor de CO<sub>2</sub> dentro del colector 474 de llenado y el conducto 440 de alta presión, que se extiende hasta los recipientes, para realizar los controles de integridad previamente al llenado. Alternativamente, el llenado de vapor de CO<sub>2</sub> puede basarse en alcanzar cierta presión en el colector 474 de llenado, y el conducto 440 de alta presión hasta los recipientes, antes de cerrar la válvula 429 de control.

La presión en el colector 474 de llenado y el conducto 440 de alta presión que se extiende hasta los recipientes de alta presión se puede medir mediante uno o más de varios transductores de presión, incluyendo un transductor 403 de presión en el conducto 478 de suministro de líquido; y un transductor 412 de presión dispuesto corriente abajo del caudalímetro 410. Los transductores 403 y 412 de presión controlan continuamente la presión en los diversos conductos durante los controles de integridad previamente al llenado. Las señales asociadas con cada uno de los transductores 403 y 412 de presión se transmiten al PLC 470, que calcula si el colector 474 de llenado y el conducto 440 de llenado de alta presión que se extiende hasta los recipientes de alta presión han experimentado un cambio o una caída de presión durante cierto período de tiempo (p. ej., 30 segundos), tal como se indica en la etapa 503. Habiendo calculado el cambio de presión, el PLC 470 determina si el cambio de presión en el colector 474 de llenado y el conducto 440 de alta presión hasta los recipientes, en caso de existir, es inferior al primer punto de ajuste (etapa 504). Además, el PLC 470 controla si las presiones son superiores a la presión inferior predeterminada del vapor de CO<sub>2</sub> (p. ej., superiores a 420 kPa (61 psig)), e inferiores a la presión superior predeterminada del vapor de CO<sub>2</sub> en el colector 474 de llenado (etapa 504) (p. ej., 2068 - 2413 kPa (300-350 psig)).

Si el PLC 470 determina que el colector 474 de llenado y el conducto 440 de alta presión que se extiende hasta los recipientes de alta presión tiene (i) una fuga igual o superior al primer punto de ajuste; o (ii) una presión por debajo de la presión inferior predeterminada (segundo punto de ajuste); o (iii) una presión por encima de la presión superior predeterminada (tercer punto de ajuste), entonces el PLC 470 evita el llenado posterior de líquido 472 de CO<sub>2</sub> desde el recipiente 473 de fuente al recipiente de alta presión (etapa 505) y muestra una alarma para solución de problemas. A continuación, la metodología 500 de control permite a un técnico determinar si el sistema 400 de la Figura 4 tiene una fuga (etapa 506). Si se determina una fuga a lo largo de cualquiera de los diversos conductos dentro del área confinada en donde están dispuestos los recipientes o se determina una fuga en virtud de los recipientes de alta presión no conectados a su respectivo conducto, entonces un técnico arregla la fuga (etapa 507). Puede producirse una fuga, a modo de ejemplo, como resultado de que los recipientes no están conectados a la caja de llenado a través de donde el conducto 440 de alta presión se comunica con los recipientes dispuestos dentro de un edificio u otra área confinada. Si no se detecta ninguna fuga, la presurización del sistema probablemente falló porque el vapor de CO<sub>2</sub> en el colector 474 de llenado fluye a lo largo del conducto 440 y a los recipientes como resultado del vaciado de los recipientes hasta un punto en el que los recipientes tienen una presión de recipiente inferior a la presión en el colector 474 de llenado y el conducto 440 de alta presión. Como tales, los recipientes de alta presión se controlan para determinar si se han vaciado a un nivel en donde la presión en el recipiente es de 420 kPa (61 psig) o inferior (etapa 508). Si se verifica tal condición, entonces el sistema 400 procede a llenar dicho recipiente con vapor de CO<sub>2</sub> hasta que la presión en el recipiente es al menos 420 kPa (61 psig) o ligeramente superior (etapa 509). De esta manera, el colector 474 de llenado, el conducto 440 de alta presión y los recipientes están por encima de una presión inferior predeterminada a la que se evita un inicio de formación de hielo seco durante el llenado posterior de líquido de CO<sub>2</sub>.

Cuando se pasan los controles de fugas y los criterios de presurización, la metodología 500 de control está diseñada para permitir que comience el llenado de CO<sub>2</sub> líquido. La válvula manual 401 tiene una función de mantenimiento, manteniéndose preferiblemente normalmente en la posición abierta. La válvula 411 automatizada de tres vías normalmente se cierra hacia el conducto 478 de suministro de líquido, pero normalmente se abre hacia la válvula 420 y 111. La válvula 411 automatizada de tres vías recibe una señal del PLC 470 que hace que se abra hacia el conducto 478 de suministro de líquido. La bomba 402 puede cebarse antes del llenado de CO<sub>2</sub> líquido de los recipientes de alta presión haciendo circular el CO<sub>2</sub> líquido de vuelta al recipiente/depósito 473 de fuente a través de la válvula 429. El PLC 470 envía señales a la otra válvula 407 de control a lo largo del conducto 478 de suministro de líquido y a la válvula 413 de control a lo largo del conducto 440 de alta presión para hacer que cada una se abra. El líquido 472 de CO<sub>2</sub> puede retirarse del recipiente 473 de fuente y luego presurizarse mediante la bomba 402 a medida que fluye a lo largo del conducto 478 de suministro de líquido, el conducto 440 de alta presión y luego a un recipiente de alta presión en la ubicación del cliente (etapa 510).

En el PLC 470 se puede introducir un caudal inferior predeterminado; un caudal superior predeterminado; una presión de llenado inferior predeterminada y un tiempo de llenado máximo predeterminado. A medida que se produce el llenado del recipiente, el proceso de llenado se controla como se muestra en la etapa 511. El líquido de CO<sub>2</sub> se introduce cuando el PLC 470 determina que (i) la presión de llenado (medida por los transductores 403 y 412 de presión con las señales correspondientes de retorno al PLC 470) es superior a la presión inferior predeterminada para evitar fugas durante el llenado; (ii) el caudal (medido por el caudalímetro 410 con la señal correspondiente de retorno al PLC 470) es superior al caudal inferior predeterminado para garantizar que no exista un bloqueo en el conducto o ningún otro problema; (iii) el caudal (medido por el caudalímetro 410 con la señal correspondiente de retorno al PLC 470) es

inferior al caudal superior para garantizar que no exista ningún problema, tal como una velocidad de bomba inesperadamente alta debido a una velocidad de motor más alta; y (iv) el tiempo de llenado no supera el tiempo de llenado máximo predeterminado (tal como puede ocurrir si el cilindro no recibe líquido de CO<sub>2</sub>). Si se cumplen todas las condiciones en la etapa 511, el llenado continúa completándose hasta que el PLC 470 determina que el recipiente aumenta a una presión de recipiente predeterminada (es decir, la presión de llenado), momento en el que el PLC 470 envía una señal a la bomba 402 para detenerse automáticamente, y la válvula 411 de tres vías, que se abre hacia la bomba 402, se cierra para que el llenado se detenga (etapa 512). El colector 474 de llenado y el conducto 440 de alta presión que, incluye la línea que se extiende desde el conector rápido 430 hasta la válvula 4 de lanzadera (Figuras 1a, 1b y 1c) entre los recipientes de alta presión 1 y 2) son evacuados (etapa 513) y todas las válvulas automatizadas en el sistema 400 vuelven a su posición normal y el PLC 470 vuelve a su pantalla principal y está listo para el siguiente llenado (etapa 514). Con respecto a la evacuación, a medida que la presión en el colector 474 de llenado es más alta que el recipiente 473 de fuente después de completar el llenado, la válvula 429 se abre para descargar el CO<sub>2</sub> a alta presión a través de la válvula 429 para permitir que el CO<sub>2</sub> vuelva al recipiente 473 de fuente. Cuando se alcanza la presión de equilibrio, puede realizarse la segunda etapa de evacuación para cerrar la válvula 429 y abrir la válvula 430 para evacuar cualquier CO<sub>2</sub> restante a la atmósfera.

Si una o más de las condiciones de llenado no cumplen los puntos de ajuste requeridos en la etapa 511 según lo determinado por el PLC 470, que compara sus puntos de ajuste introducidos con las condiciones de llenado correspondientes, entonces la operación de llenado se detiene automáticamente y un mensaje de visualización y/o alarma correspondiente puede aparecer en el panel de visualización del PLC 470 indicando la necesidad de resolver el problema (etapa 515). Después de que se resuelven los problemas, se inicia la etapa 501 para reiniciar los controles de integridad previamente al llenado.

En otro ejemplo, los controles de integridad previamente al llenado y el llenado pueden ocurrir para un sistema de baja presión en donde el llenado de líquido de CO<sub>2</sub> se produce en un recipiente tal como un recipiente de microgranel aislado que puede soportar presiones inferiores a 2413 kPa (350 psig), tal como, a modo de ejemplo, 1378-2068 kPa (200-300 psig). El sistema 400 está configurado para llenar a través del conducto 450 de baja presión con un conducto 428 de conexión rápida conectado a los recipientes de baja presión, tal como se muestra en la Figura 4. A diferencia de un sistema de 2 cilindros de alta presión de la Figura 1a, que tiene una configuración de válvula 4 de lanzadera y válvula de retención que impide el flujo reversible de vapor de CO<sub>2</sub> desde el recipiente de alta presión de vuelta al conducto 440 de llenado de alta presión, el recipiente de microgranel aislado generalmente no tiene ninguna válvula de retención, de modo que el CO<sub>2</sub> de vapor del microgranel puede retornar al colector 474 de llenado y puede servir como la fuente de CO<sub>2</sub> de vapor para el control de fugas previamente al llenado en el conducto 450 de baja presión y el control de presión en el microgranel, tal como se ha descrito anteriormente. Las etapas de la metodología 500 de control permanecen iguales para los controles de integridad previamente al llenado y el llenado posterior para el sistema de baja presión. Cuando la fuente de CO<sub>2</sub> es del CO<sub>2</sub> de vapor en el microgranel, en lugar del CO<sub>2</sub> 471 de vapor en el recipiente 473 de fuente, entonces se envía una señal a la válvula 421 de control para hacer que se abra para permitir el flujo de vapor de CO<sub>2</sub> desde el recipiente de microgranel a través de la válvula 407 al conducto 479 de suministro de líquido del colector 474 de llenado. La válvula 420 de aislamiento puede configurarse como una válvula automatizada y el conducto 479 de suministro de líquido puede usarse para un llenado por gravedad automatizado. Alternativamente, el recipiente 473 de fuente puede suministrar el vapor 472 de CO<sub>2</sub> a través de la válvula 429 y llenar el recipiente de microgranel con CO<sub>2</sub> de vapor antes de llenarlo con CO<sub>2</sub> líquido cuando el recipiente de microgranel no tiene suficiente vapor de CO<sub>2</sub> (p. ej., menos de 420 kPa (61 psig)).

Se puede emplear un dispositivo 428 de control de presión de descarga que se ajusta más alto que la presión de llenado predeterminada pero más bajo que la clasificación de presión del sistema de llenado de alta presión. El dispositivo 428 de control de presión de descarga se abre cuando la presión alcanza su valor de ajuste, devolviendo el exceso de CO<sub>2</sub> líquido al recipiente 473 de fuente cuando la presión en el colector 474 de llenado y el conducto 440 de alta presión, que se extiende hasta los recipientes, alcanza la presión de llenado predeterminada pero la bomba 402 no se ha detenido. El controlador PLC 402 también se puede programar para descargar el exceso de CO<sub>2</sub> líquido al recipiente 473 de fuente a través de la válvula 429. Además, como medios para mejorar aún más la seguridad durante el llenado en la etapa 511, el valor de los dispositivos de descarga de presión mostrados en la Figura 4 (p. ej., los dispositivos 406, 409, 414 y 418 de descarga de presión para llenar el sistema de alta presión) se puede ajustar a un valor inferior al valor de los dispositivos de descarga de presión en los recipientes de alta presión instalados dentro del edificio del cliente. Si el sistema 400 encontró errores con presiones más altas, los dispositivos de descarga de presión a lo largo del colector 474 de llenado descargan, reduciendo así el riesgo de descargar CO<sub>2</sub> dentro. Como ejemplo, los dispositivos 406, 409, 414 y 418 de descarga de presión se ajustan a 10342 kPa (1500 psig), mientras que los dispositivos de descarga de presión en los recipientes de alta presión se ajustan a un valor superior a 10342 kPa, tal como 11031 kPa (1500 psig, tal como 1600 psig). Además, el dispositivo 428 de control de presión de descarga puede ajustarse a un valor inferior al valor de los dispositivos 406, 409, 414 y 418 de descarga de presión (p. ej., 9652 kPa (1400 psig)), dirigiendo de este modo el exceso de CO<sub>2</sub> de vuelta al recipiente 473 de fuente en lugar de descargar el CO<sub>2</sub> a la atmósfera cuando el sistema está sobrepresurizado. De esta manera, es posible implementar unos medios seguros para recuperar el exceso de líquido o vapor de CO<sub>2</sub>.

Aún más, los manómetros 405, 419 y 427 pueden usarse para observación local durante las operaciones previas al llenado y de llenado.

El PLC 470 puede introducirse con diversos valores para los puntos de ajuste cuando se realiza los controles de integridad previamente al llenado. En un ejemplo, el primer punto de ajuste es aproximadamente 34,4 kPa (5 psig) o inferior; el segundo punto de ajuste es aproximadamente 420 kPa (61 psig); el tercer punto de ajuste es aproximadamente 2413 kPa (350 psig) o superior. Con respecto a la operación de llenado, en el PLC también se pueden introducir diversos valores. En un ejemplo, el caudal inferior predeterminado es 0,075 kg/seg (10 libras por minuto (lbpm)); el caudal superior predeterminado es aproximadamente 0,3 kg/seg (40 lbpm); el tiempo de llenado máximo predeterminado es aproximadamente 7 minutos; y la presión predeterminada en el recipiente al finalizar el llenado es aproximadamente 8273 kPa (1200 psig) (es decir, el llenado se detiene cuando la presión de llenado ha alcanzado aproximadamente 8273 kPa (1200 psig)).

Debe entenderse que el sistema 400 representa un tipo de sistema para llevar a cabo los controles de integridad previamente al llenado según la presente invención. La metodología 500 de control contempla otros tipos de configuraciones de flujo, válvulas e instrumentación para llevar a cabo los controles de integridad previamente al llenado de la invención. Por ejemplo, las válvulas de control neumático pueden reemplazarse por válvulas solenoides. Aún más, se puede usar un único conducto de suministro para el llenado de líquido de CO<sub>2</sub> al llenar recipientes de baja o alta presión. Además, se pueden usar otros valores para los puntos de ajuste para llevar a cabo los controles de integridad previamente al llenado. Por ejemplo, el límite de presión inferior predeterminado puede introducirse en el PLC 470 como 689 kPa (100 psig) para asegurar que exista un cojín de seguridad suficiente en el régimen de funcionamiento de presión inferior que garantice que se evita la formación de hielo seco en el colector 474 de llenado y todos los conductos, incluyendo los conductos 440 y 450.

Aunque las realizaciones se han descrito en relación con el llenado in situ en la ubicación del cliente, debe entenderse que el proceso y la metodología de control asociada de la presente invención son aplicables al llenado de CO<sub>2</sub> en una planta. Además, la metodología de control y los controles de integridad previamente al llenado pueden aplicarse a otros fluidos además de CO<sub>2</sub>. En particular, la presente invención es especialmente adecuada para procesos de llenado de fluido en donde los recipientes de destino están ubicados en un lugar en donde el operario que realiza el llenado no tiene visibilidad de los recipientes de destino. Aún más, aunque las realizaciones han descrito un llenado en base a presión, debe entenderse que la metodología descrita en la presente descripción puede usarse para llenar en base a peso. Puede emplearse una balanza para el llenado por peso y la señal de la balanza puede transmitirse al controlador 470.

La presente invención evita muchos de los problemas encontrados al llenar con líquido de CO<sub>2</sub> recipientes ubicados dentro de un edificio u otra área confinada en la ubicación de un cliente que no son visibles cuando al operar un sistema de llenado de líquido de CO<sub>2</sub>, tal como una descarga involuntaria de líquido de CO<sub>2</sub> al área confinada como resultado de que los recipientes no estén conectados a la manguera de llenado o fugas del conducto entre la caja de llenado y los recipientes. Además, la presente invención asegura que se evita la formación de hielo seco durante el llenado asegurando que el colector de llenado y los recipientes están por encima de 420 kPa (61 psig).

# REIVINDICACIONES

1. Un sistema (400) de llenado de enclavamiento de seguridad de CO2 configurado para realizar controles de integridad previamente al llenado para controlar automáticamente fugas de un colector (474) de llenado y presurizar el colector de llenado, comprendiendo dicho sistema de llenado de enclavamiento de seguridad de CO2:

una fuente de CO2 in situ que comprende un recipiente (473) de fuente que contiene CO2 licuado (472) y CO2 vaporizado (471) en un espacio de cabeza del recipiente de fuente;

un colector (474) de llenado conectado operativamente al recipiente (473) de fuente, comprendiendo dicho colector de llenado uno o más conductos dispuestos entre el recipiente de fuente y un recipiente, comprendiendo dicho uno o más conductos al menos un conducto (477) de suministro de vapor de CO2 que se extiende en el espacio de cabeza del recipiente de fuente de la fuente de CO2 in situ;

comprendiendo además dicho colector (474) de llenado al menos un transductor (403, 412) de presión situado a lo largo del uno o más conductos, estando configurado dicho conducto (477) de suministro de vapor de CO2 del colector de llenado para recibir una cantidad finita del CO2 vaporizado (471) durante la presurización y control de fugas del colector de llenado, recibiendo dicho conducto de suministro de vapor de CO2 el CO2 vaporizado desde el espacio de cabeza del recipiente de fuente de la fuente de CO2 in situ;

**caracterizado porque** el sistema comprende además:

un controlador (470) en comunicación con el colector (474) de llenado y el al menos un transductor (403, 412) de presión para realizar automáticamente el control de fugas del colector (474) de llenado y la presurización del colector de llenado, teniendo el controlador como una primera entrada un primer punto de ajuste igual a la reducción de presión no permisible del CO2 vaporizado en el colector de llenado durante un período de tiempo predeterminado en donde ocurre el control de fugas, y, además en donde el controlador tiene un segundo punto de ajuste igual a la presión inferior predeterminada del CO2 vaporizado en el colector de llenado por debajo de la que se forma hielo seco y un tercer punto de ajuste igual a la presión superior predeterminada del CO2 vaporizado por encima de la que puede ocurrir un flujo reversible de vapor de CO2 desde el recipiente al colector de llenado;

en donde el controlador está configurado para recibir señales correspondientes a mediciones de presión en tiempo real desde el transductor de presión durante el período e tiempo predeterminado del control de fugas y/o la presurización del colector de llenado;

dicho controlador (470) configurado para evitar la operación de llenado posterior cuando una o más de las mediciones de presión en tiempo real (i) ha cambiado de presión una cantidad que es igual o superior al primer punto de ajuste de la reducción de presión no permisible del CO2 vaporizado en el colector (474) de llenado, o (ii) la una o más de las mediciones de presión en tiempo real es inferior a la presión inferior predeterminada a la que se forma hielo seco, o (iii) la una o más de las mediciones de presión en tiempo real es superior a la presión superior predeterminada a la que puede ocurrir un flujo reversible de vapor de CO2 desde el recipiente al colector de llenado; y

dicho controlador (470) está configurado para permitir la operación de llenado posterior cuando cada una de (i) la una o más de las mediciones de presión en tiempo real tiene cambio de presión en una cantidad que es inferior al primer punto de ajuste de la reducción de presión no permisible del CO2 vaporizado en el colector, y (ii) la una o más de las mediciones de presión en tiempo real es igual o superior a la presión inferior predeterminada a la que se forma hielo seco, y (iii) la una o más mediciones de presión en tiempo real es igual o inferior a la presión superior predeterminada a la que puede ocurrir un flujo reversible de vapor de CO2 desde el recipiente al colector de llenado.

2. El sistema de llenado de enclavamiento de seguridad de CO2 de la reivindicación 1, que comprende además una bomba (402) situada a lo largo del uno o más conductos del colector (474) de llenado.

3. El sistema de llenado de enclavamiento de seguridad de CO2 de la reivindicación 1, en donde el uno o más conductos comprende un conducto (440) de alta presión y un conducto (450) de baja presión, estando conectado operativamente cada uno del conducto de alta presión y los conductos de baja presión al conducto (477) de suministro de vapor de CO2, y, además en donde el conducto de alta presión está conectado operativamente al recipiente y el conducto de baja presión está conectado operativamente a un recipiente de baja presión.

4. El sistema de llenado de enclavamiento de seguridad de CO2 de la reivindicación 1, en donde la fuente de CO2 in situ se autoalimenta de manera que no se necesitan energía eléctrica externa u otros servicios

públicos externos para realizar los controles de integridad previamente al llenado del sistema (400) de llenado de enclavamiento de seguridad de CO<sub>2</sub>.

5. El sistema de llenado de enclavamiento de seguridad de CO<sub>2</sub> de la reivindicación 1, que comprende además una válvula (429) de control situada a lo largo del conducto (477) de suministro de vapor de CO<sub>2</sub>, estando dicha válvula de control en comunicación con el controlador.

6. El sistema de llenado de enclavamiento de seguridad de CO<sub>2</sub> de la reivindicación 1, en donde la fuente de CO<sub>2</sub> in situ, el colector (474) de llenado y el controlador (470) están montados en un vehículo transportable cuando se realizan dichos controles de integridad previamente al llenado.

7. Un método para realizar controles de integridad previamente al llenado para controlar automáticamente fugas de un colector de llenado (474) y presurizar el colector de llenado, que comprende:

introducir una cantidad finita de CO<sub>2</sub> vaporizado en un colector (474) de llenado conectado operativamente a un recipiente (473) de fuente de una fuente de CO<sub>2</sub> in situ, comprendiendo dicho colector de llenado un conducto (477) de suministro de vapor de CO<sub>2</sub>, teniendo dicho conducto de suministro de vapor de CO<sub>2</sub> un primer extremo y un segundo extremo, extendiéndose el primer extremo en un espacio de cabeza del recipiente de fuente de la fuente de CO<sub>2</sub> in situ, extendiéndose el segundo extremo hacia un recipiente;

introducir un primer punto de ajuste en un controlador (470) en comunicación con el colector (474) de llenado, siendo igual dicho primer punto de ajuste a la reducción de presión no permisible del CO<sub>2</sub> vaporizado introducido en el colector de llenado;

introducir un segundo punto de ajuste en el controlador (470), siendo igual dicho segundo punto de ajuste a una presión inferior predeterminada del CO<sub>2</sub> vaporizado en el colector (474) de llenado, siendo dicha presión inferior predeterminada una presión a la que ocurre un inicio de formación de hielo seco en el colector de llenado;

introducir un tercer punto de ajuste en el controlador (470), siendo igual dicho tercer punto de ajuste a una presión superior predeterminada del CO<sub>2</sub> vaporizado en el colector (474) de llenado por encima de la que puede ocurrir un flujo reversible de vapor de CO<sub>2</sub> desde el recipiente al colector de llenado;

medir las presiones en tiempo real en el colector (474) de llenado y generar señales correspondientes a cada una de las presiones en tiempo real;

transmitir las señales al controlador conectado operativamente al colector (474) de llenado;

determinar los controles de integridad previamente al llenado, de manera que

(a) una o más de las presiones en tiempo real (i) ha cambiado de presión una cantidad que es igual o superior al primer punto de ajuste, o (ii) es igual o inferior al segundo punto de ajuste, o (iii) es superior al tercer punto de ajuste; y en respuesta a eso, evitar un llenado posterior de líquido de CO<sub>2</sub> desde la fuente de CO<sub>2</sub> in situ al recipiente a lo largo del colector (474) de llenado; o

(b) una o más de las mediciones de presión en tiempo real (i) ha cambiado de presión una cantidad que es inferior al primer punto de ajuste, y (ii) está por encima del segundo punto de ajuste, y (iii) es inferior al tercer punto de ajuste; y en respuesta a eso, permitir el llenado posterior del líquido de CO<sub>2</sub> desde la fuente de CO<sub>2</sub> in situ al recipiente a lo largo del colector (474) de llenado.

8. El método de la reivindicación 7, en donde los controles de integridad previamente al llenado son determinados por el controlador (470) como de fallo según (a).

9. El método de la reivindicación 7, en donde los controles de integridad previamente al llenado son determinados por el controlador como aprobados según (b).

10. El método de la reivindicación 9, que comprende además:

transmitir con el controlador (470) una señal a una válvula (407) de control dispuesta a lo largo de un conducto (478) de CO<sub>2</sub> de suministro de líquido del colector (474) de llenado para configurar la válvula (429) de control a una posición abierta para permitir un flujo del líquido de CO<sub>2</sub> a lo largo del mismo; y

presurizar el líquido de CO<sub>2</sub> retirado desde la fuente de CO<sub>2</sub> in situ para formar líquido de CO<sub>2</sub> presurizado.

11. El método de la reivindicación 10, que comprende además:

hacer fluir el líquido de CO<sub>2</sub> presurizado a lo largo del conducto (478) de CO<sub>2</sub> de suministro de líquido del colector (474) de llenado; e

introducir el líquido de CO<sub>2</sub> presurizado en un recipiente de CO<sub>2</sub> líquido, conectándose operativamente dicho recipiente de CO<sub>2</sub> a un recipiente de CO<sub>2</sub> de vapor.

12. El método de la reivindicación 7, que comprende además:

determinar los controles de integridad previamente al llenado como aprobados según (b); configurar el colector (474) de llenado para permitir el llenado posterior de líquido de CO<sub>2</sub> desde la fuente de CO<sub>2</sub> in situ al recipiente a lo largo del colector de llenado; en donde la etapa de configurar incluye transmitir una señal desde el controlador (470) para hacer que una válvula (407) de control dispuesta a lo largo de un conducto de CO<sub>2</sub> de suministro de líquido (478) se abra; retirar el líquido de CO<sub>2</sub> desde el recipiente de fuente de la fuente de CO<sub>2</sub> in situ al conducto (478) de CO<sub>2</sub> de suministro de líquido del colector (474) de llenado; y hacer fluir el líquido de CO<sub>2</sub> a lo largo del conducto (478) de CO<sub>2</sub> de suministro de líquido.

13. El método de la reivindicación 12, que comprende además:

introducir un cuarto punto de ajuste en el controlador (470), siendo igual dicho cuarto punto de ajuste a un caudal inferior predeterminado; introducir un quinto punto de ajuste en el controlador (470), siendo igual dicho quinto punto de ajuste a un caudal superior predeterminado; introducir un sexto punto de ajuste en el controlador (470), siendo igual dicho sexto punto de ajuste a un tiempo de llenado máximo predeterminado; presurizar el líquido de CO<sub>2</sub> a una presión de llenado; introducir el líquido de CO<sub>2</sub> en el recipiente con un caudal; y detener la introducción del líquido de CO<sub>2</sub> en el recipiente cuando el controlador determina (i) la presión de llenado es inferior a una presión mínima predeterminada; o (ii) el caudal es inferior al cuarto punto de ajuste; o (iii) el caudal es superior al quinto punto de ajuste; o (iv) el tiempo de llenado supera el sexto punto de ajuste.

14. El método de la reivindicación 12, que comprende además:

introducir un cuarto punto de ajuste en el controlador (470), siendo igual dicho cuarto punto de ajuste a un caudal inferior predeterminado; introducir un quinto punto de ajuste en el controlador (470), siendo igual dicho quinto punto de ajuste a un caudal superior predeterminado; introducir un sexto punto de ajuste en el controlador (470), siendo igual dicho sexto punto de ajuste a un tiempo de llenado máximo predeterminado; introducir un séptimo punto de ajuste en el controlador (470), siendo igual dicho séptimo punto de ajuste a una presión de recipiente predeterminada; presurizar el líquido de CO<sub>2</sub> a una presión de llenado; introducir el líquido de CO<sub>2</sub> en el recipiente con un caudal para aumentar la presión del recipiente cuando el controlador (470) determina (i) la presión de llenado es superior al segundo punto de ajuste; y (ii) el caudal es superior al cuarto punto de ajuste; y (iii) el caudal es inferior al quinto punto de ajuste; y (iv) el tiempo de llenado no supera el sexto punto de ajuste.

15. El método de la reivindicación 14, que comprende además:

medir una presión en tiempo real del recipiente; transmitir una señal correspondiente a la presión en tiempo real al controlador (470); detener automáticamente la introducción del CO<sub>2</sub> líquido en el recipiente cuando el controlador (470) determina que la presión en tiempo real aumenta a la presión de recipiente predeterminada.

16. El método de la reivindicación 13, que comprende además realizar los controles de integridad previamente al llenado hasta que los controles de integridad previamente al llenado son determinados por el controlador (470) como aprobados según (b).

17. El método de la reivindicación 14, en donde el primer punto de ajuste es aproximadamente 134,4 kPa (5 psig) o inferior, el segundo punto de ajuste es aproximadamente 420 kPa (61 psig), el tercer punto de ajuste es aproximadamente 2413 kPa (350 psig) o superior, el cuarto punto de ajuste es 4,5 kg/min (10 libras por minuto), el quinto punto de ajuste es aproximadamente 18 kg/min (40 libras por minuto), el sexto punto de ajuste es aproximadamente 3-5 minutos y el séptimo punto de ajuste es 8273 kPa (1200 psig).

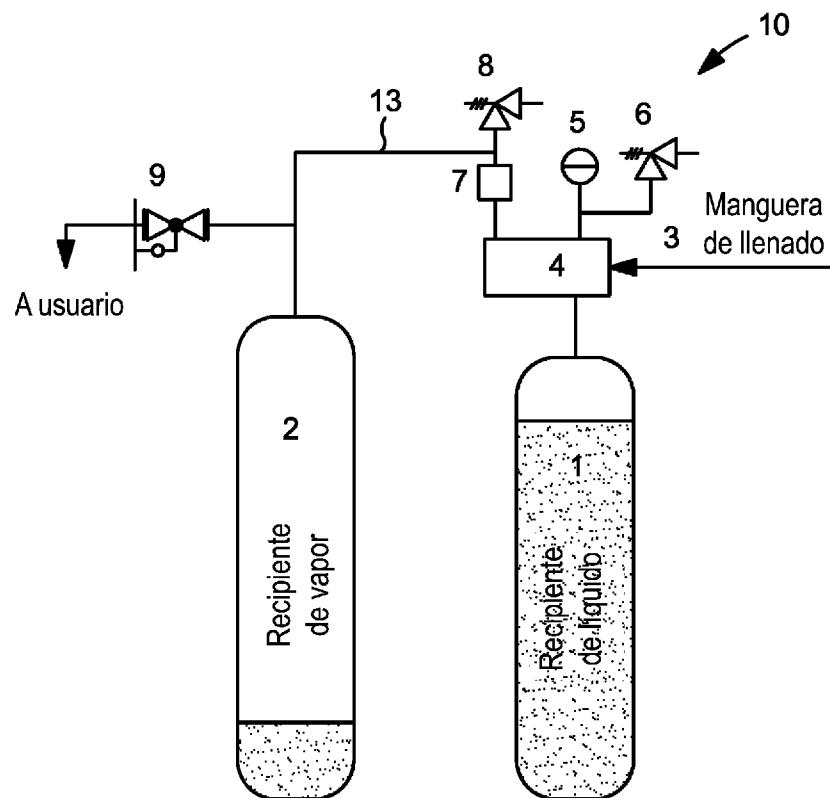
18. El método de la reivindicación 7, que comprende además:

determinar el control de integridad previamente al llenado como de fallo según (a)(ii); y a continuación

determinar que la una o más de las mediciones de presión en tiempo real ha cambiado de presión una cantidad que es inferior al primer punto de ajuste y es igual o inferior al segundo punto de ajuste;

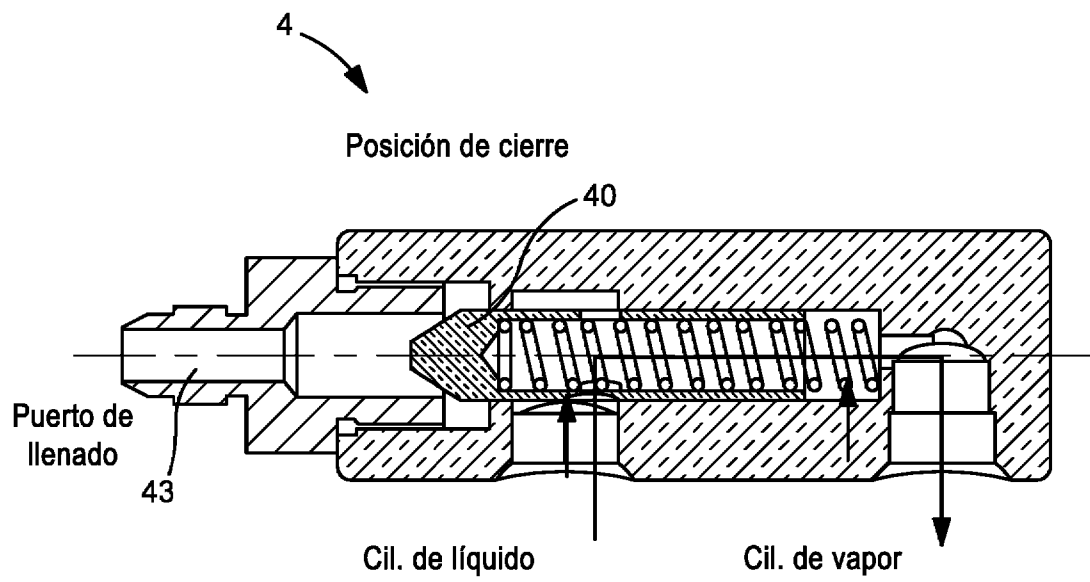
y

llenar el recipiente con vapor de CO<sub>2</sub> hasta una presión por encima del segundo punto de ajuste.

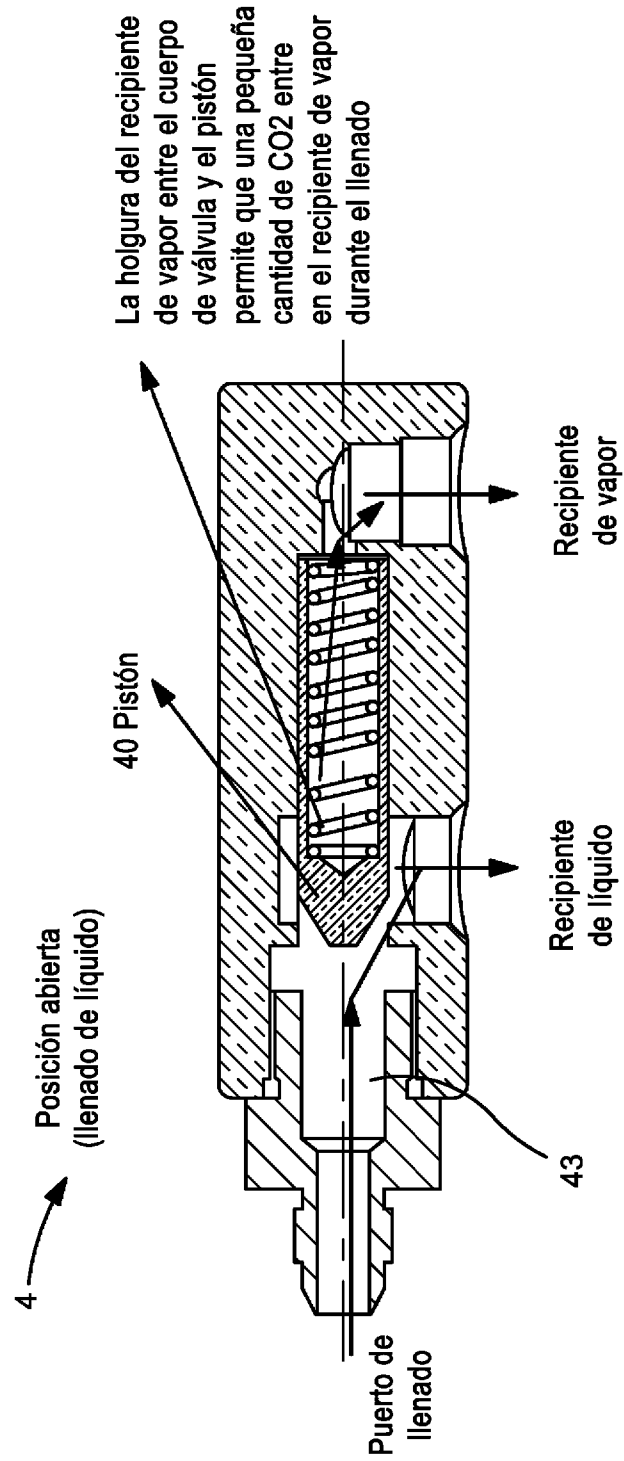


Sistema de dos cilindros de almacenamiento y dispensación de CO2

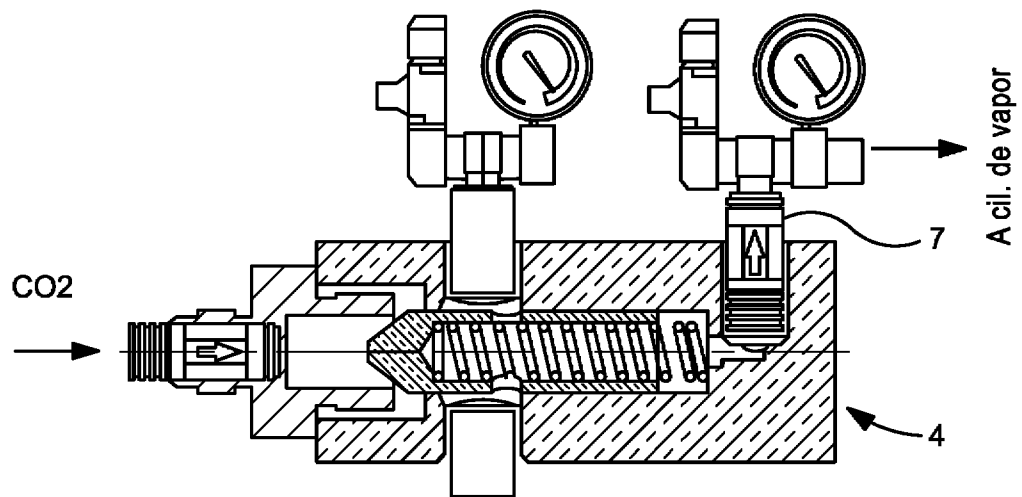
**Figura 1a**



**Figura 1b**

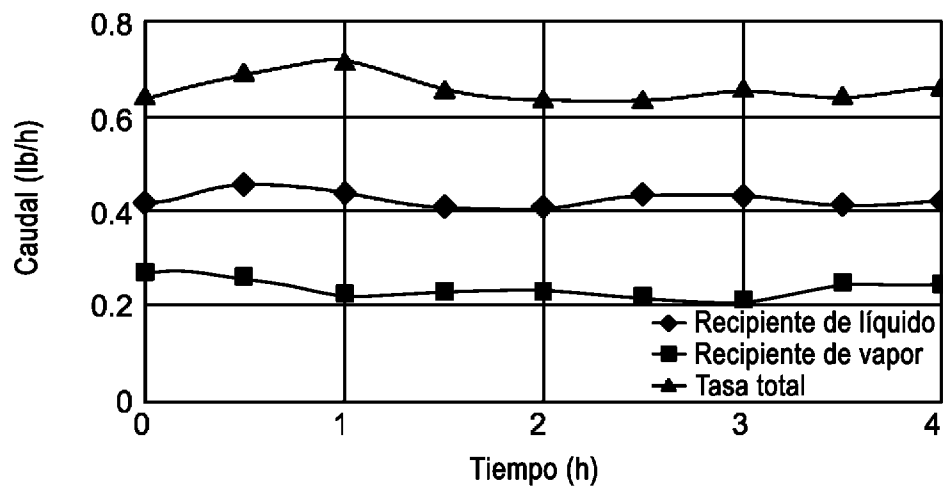


**Figura 1c**



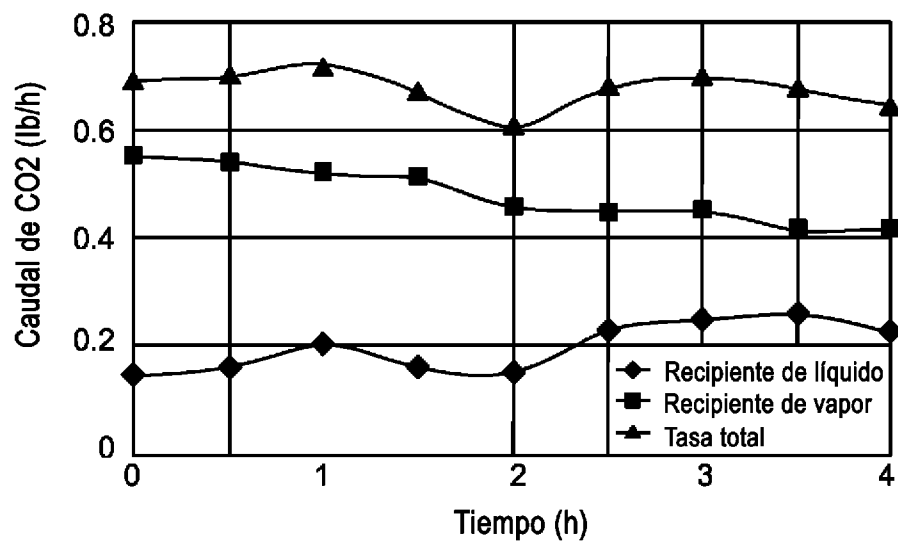
Conectar a dispositivo de diferencial de presión de cil.  
de líquido integrado con válvula de lanzadera

**Figura 1d**



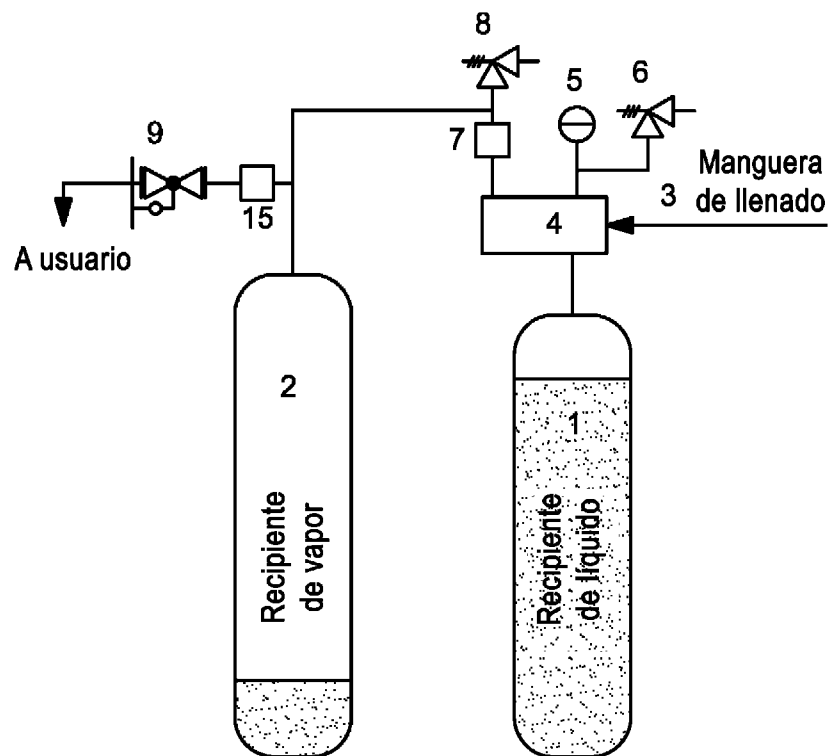
Consumo de producto de vapor de un sistema de líquido y cilindro convencional

**Figura 2a**



Consumo de producto de vapor de un sistema de cilindro de líquido y vapor de la presente invención

**Figura 2b**



**Figura 3**

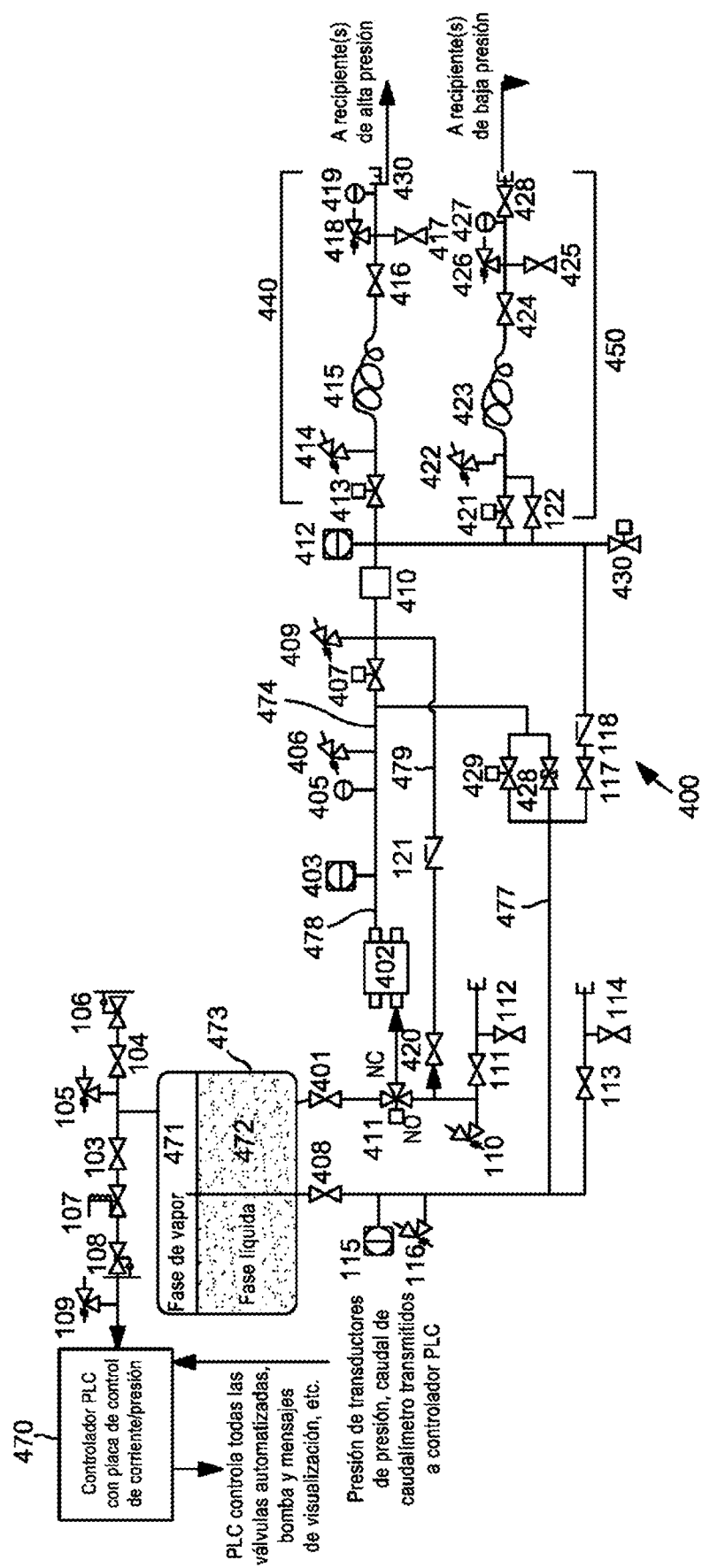
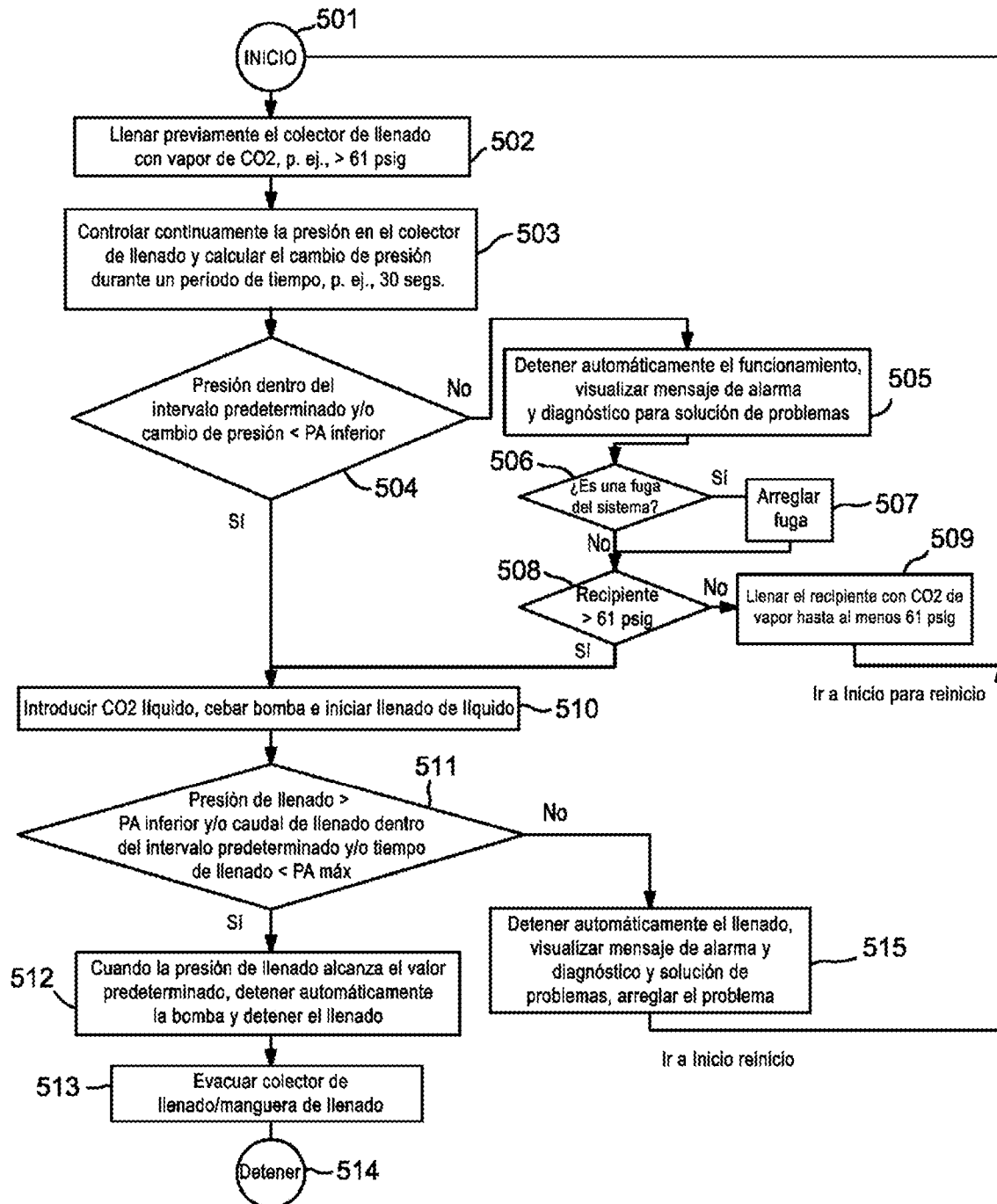
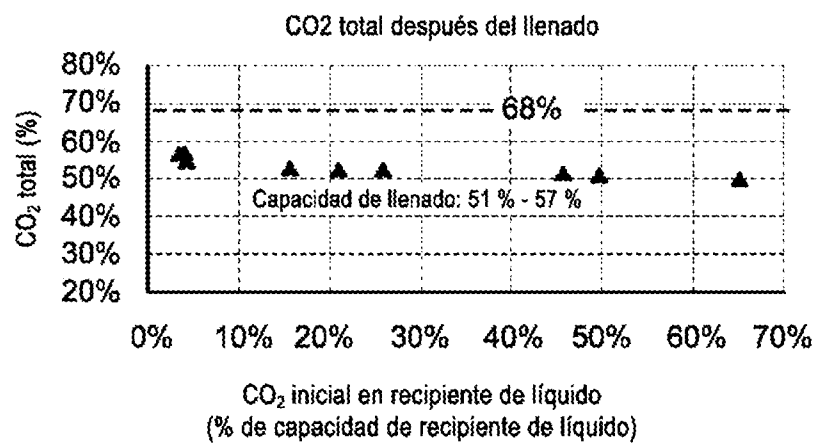


Figura 4

**Figura 5**



**Figura 6**