

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 673 419**

51 Int. Cl.:

F17C 13/04 (2006.01)

F16K 17/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.08.2014** **PCT/US2014/051049**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.02.2015** **WO15026621**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.08.2014** **E 14755541 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.05.2018** **EP 3036472**

54 Título: **Detección del alivio de presión para ser utilizada en almacenamiento de gas**

30 Prioridad:

23.08.2013 US 201361869119 P

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

21.06.2018

73 Titular/es:

NUVERA FUEL CELLS, LLC (100.0%)
129 Concord Road, Building 1
Billerica, MA 01821, US

72 Inventor/es:

GORDON, BRYAN

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 673 419 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

Detección del alivio de presión para ser utilizada en almacenamiento de gas

Esta solicitud reivindica el beneficio de la Solicitud Provisional de los Estados Unidos No. 61/869,119, presentada el 23 de agosto de 2013.

5 La presente descripción está dirigida a la detección del alivio de presión para ser utilizada en almacenamiento de gas, y más específicamente, la detección y notificación de activación de un dispositivo de alivio de presión.

10 El almacenamiento de gas seguro y efectivo requiere varias tecnologías para monitorear un gas dentro de un dispositivo de almacenamiento. Algunos gases y sistemas de almacenamiento requieren dispositivos de seguridad específicos, dependiendo de dónde y cómo se almacena un gas. El uso de gas también puede requerir atención. Por ejemplo, el almacenamiento de hidrógeno es necesario para la comercialización exitosa de la tecnología de energía de células de combustible y de hidrógeno en aplicaciones de transporte, estacionarias y portátiles. La sostenibilidad a largo plazo de una "economía de hidrógeno" depende en gran medida de la eficiencia, la seguridad y la rentabilidad del almacenamiento de hidrógeno. El hidrógeno gaseoso es una forma conveniente y común de energía almacenada, generalmente por contención presurizada. Ventajosamente, almacenar hidrógeno a alta presión produce una densidad de energía más alta.

15 Los tanques de almacenamiento de hidrógeno pueden clasificarse en cuatro categorías: Tipo 1, Tipo 2, Tipo 3 y Tipo 4. Cada tanque tiene una capacidad de presión máxima diferente en función de los materiales de construcción; el tipo 1 está clasificado para la presión más baja y el tipo 4 está calificado para la presión más alta. Por ejemplo, un tanque tipo 1 hecho de acero puede tener una clasificación de presión máxima de aproximadamente 2,900 psi (20.0 MPa), mientras que un tanque Tipo IV hecho de plástico/carbono puede tener una clasificación de presión máxima igual o superior a 9,500 psi (65.5 MPa). En la última década, los tanques tipo IV se han utilizado para el almacenamiento de hidrógeno a bordo de automóviles con pilas de combustible fabricados por varios fabricantes de automóviles importantes.

20 Los tanques de almacenamiento de hidrógeno para uso en vehículos estacionarios y móviles requieren una válvula de alivio de presión (PRV) integrada configurada para evitar la sobrepresurización del tanque y los componentes de soporte en caso de falla del elemento de control, incendio o bloqueo del flujo. Típicamente estas PRV deben ser certificadas por la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos (ASME) o el Departamento de Transporte (DOT) dependiendo de la aplicación del tanque. Un desafío con respecto a las PRV simples es la falta de capacidad para detectar y hacer que un sistema de control reaccione de manera apropiada en el caso de una activación de la PRV causada por una presurización excesiva. La capacidad de un sistema de control para detectar la activación podría permitir reacciones específicas del sistema de control, por ejemplo, en el caso de un sistema de almacenamiento a granel; una reacción del sistema de control puede evitar el suministro de hidrógeno adicional al sistema de almacenamiento. En el caso de una aplicación móvil, la reacción del sistema de control puede detener el consumo de combustible y hacer que el vehículo reaccione de manera adecuada. Además, la capacidad de detectar la activación por parte del sistema de control puede permitir que el sistema de control envíe notificaciones a un cliente, usuario o personal de servicio.

25 Últimamente, se han desarrollado PRVs más inteligentes, que usan interruptores de proximidad integrados para detectar la activación de la PRV. Sin embargo, estas PRVs son más complicadas, costosas y no están disponibles para aplicaciones de alta presión. Actualmente, las PRVs inteligentes disponibles no están clasificadas para aplicaciones de alta presión (es decir, presiones superiores a 5,000 psi (34.5 MPa)). Además, la confiabilidad es una preocupación, porque estas PRVs pueden dar activaciones falsas. Por lo tanto, se necesitan sistemas, dispositivos y métodos mejorados para detectar la activación del alivio de la presión en los gases almacenados a altas presiones.

30 El documento US-A1-2010/305883 se refiere a un sistema y método para monitorear y controlar el rendimiento de la válvula de alivio de presión, conteniendo cada válvula de alivio un conducto de flujo interno con un asiento de válvula y un tapón de válvula dispuestos en el mismo. La temperatura de un fluido se detecta en el conducto de flujo interno posterior al asiento de la válvula. Se detecta la presión interna de una línea de presión de entrada, conectada al conducto de flujo interno anterior al asiento de la válvula. El estado operacional de la válvula de alivio de presión se determina basándose, al menos en parte, en la velocidad de cambio detectada de la temperatura del fluido posterior al asiento de la válvula y al menos en parte en el estado de presión de línea determinado.

35 En consideración de las circunstancias mencionadas anteriormente, la presente descripción se refiere a un nuevo método y sistema para detección de activación de un dispositivo de alivio de presión para uso con almacenamiento de gas presurizado. El método y el sistema son configurables para gases específicos utilizados en aplicaciones de alta presión.

40 Una realización de la presente descripción se refiere a un método para detectar la activación de un dispositivo de alivio de presión conectado a un tanque de almacenamiento que contiene un gas presurizado. El método comprende calcular una tasa de liberación de dispositivo de alivio de presión con base en un conjunto de entradas, en donde el conjunto de entradas incluye al menos una de un volumen de tanque de almacenamiento, un punto de referencia de alivio de presión, un tamaño de orificio del dispositivo de alivio de presión, una densidad de gas y un punto de ajuste para el dispositivo de alivio de presión. El método incluye además monitorizar la presión dentro del tanque de almacenamiento y

calcular una lectura de presión diferencial a lo largo del tiempo, comparando la lectura de presión diferencial a lo largo del tiempo con la velocidad de liberación del dispositivo de alivio de presión y detectando una activación del dispositivo de alivio de con base en el resultado de la comparación.

5 En otra realización, el cálculo de la velocidad de liberación del dispositivo de alivio de presión se basa en ecuaciones de estrangulamiento de caudal para el dispositivo de alivio de presión. En otra realización, se repite el cálculo de la lectura de presión diferencial a lo largo del tiempo y se promedian los valores de presión diferencial a lo largo del tiempo. En otra realización, el método comprende además activar una alarma del sistema después de la detección de la activación del dispositivo de alivio de presión.

10 En otra realización, la detección de la activación del dispositivo de alivio de presión con base en el resultado de comparación comprende identificar cuándo la lectura de presión diferencial a lo largo del tiempo es mayor o igual que la velocidad de liberación del dispositivo de alivio de presión. En otra realización, el cálculo de la velocidad de liberación del dispositivo de alivio de presión comprende además tener en cuenta la posición de un dispositivo de regulación configurado para descargar el gas presurizado durante el funcionamiento normal.

15 Otra realización de la presente descripción está dirigida a un controlador para detectar la activación de un dispositivo de alivio de presión conectado a un tanque de almacenamiento que contiene un gas presurizado. El controlador comprende un procesador configurado para recibir una entrada de la lectura de presión de un transductor de presión, calcular una lectura de presión diferencial a lo largo del tiempo y comparar la lectura de presión diferencial a lo largo del tiempo con una tasa de liberación de dispositivo de alivio de presión basada en un conjunto de entradas, y basado en la comparación, el controlador detecta si se ha producido una activación del dispositivo de alivio de presión, en donde el
20 transductor de presión está situado anterior al dispositivo de alivio de presión y la presión dentro del tanque de almacenamiento es aproximadamente mayor que aproximadamente 10,000 psi (68.9 MPa). En otra realización, el controlador comprende además una interfaz gráfica de usuario, un dispositivo de memoria y una fuente de alimentación. En otra realización, el conjunto de entradas incluye al menos un de un volumen de tanque de almacenamiento, un punto de referencia de alivio de presión, un tamaño de orificio del dispositivo de alivio de presión, una densidad de gas y un
25 punto de reajuste para el dispositivo de alivio de presión.

Otra realización de la presente descripción está dirigida a un sistema configurado para detectar alivio de presión. El sistema comprende al menos un tanque de almacenamiento configurado para contener un gas, un transductor de presión configurado para leer la presión del gas, un dispositivo regulador de presión configurado para controlar la
30 descarga del gas durante el funcionamiento normal, un dispositivo de alivio de presión configurado para activar y descargar el gas para evitar una sobrepresurización del tanque de almacenamiento, y un controlador configurado para recibir la lectura de presión del transductor de presión, calculando una lectura de presión diferencial a lo largo del tiempo y comparando la lectura de presión diferencial a lo largo del tiempo con una tasa de liberación del dispositivo de alivio de presión determinada con base en un conjunto de entradas, y con base en la comparación el controlador detecta si el dispositivo de alivio de presión ha sido activado.

35 En otra realización, el controlador comprende además un procesador, una interfaz gráfica de usuario, un dispositivo de memoria y una fuente de alimentación. En otra realización, el conjunto de entradas incluye el volumen del tanque de almacenamiento, un punto de referencia de alivio de presión, un tamaño de orificio del dispositivo de alivio de presión, la densidad del gas y un punto de reposición para el dispositivo de alivio de presión. En otra realización, el cálculo de la velocidad de liberación del dispositivo de alivio de presión se basa en ecuaciones de estrangulamiento de caudal para el
40 dispositivo de alivio de presión. En otra realización, se repite el cálculo de la lectura de la presión diferencial a lo largo del tiempo y se promedian los resultados a lo largo del tiempo. En otra realización, el controlador está configurado además para activar una alarma del sistema después de detectar la activación del dispositivo de alivio de presión, y la alarma del sistema está configurada para proporcionar notificación a al menos el personal o sistema apropiado para responder. En otra realización, el controlador está configurado para tener en cuenta la posición de un dispositivo de
45 regulación configurado para descargar el gas presurizado durante el funcionamiento normal cuando se calcula la velocidad de liberación del dispositivo de alivio de presión. En otra realización, el área de sección transversal del orificio del dispositivo de alivio de presión es mayor que el área de sección transversal del orificio del dispositivo de regulación de presión.

50 Debe entenderse que tanto la descripción general anterior como la siguiente descripción detallada son ejemplares y explicativas solamente y no son restrictivas de la divulgación, tal como se reivindica.

Los dibujos adjuntos, que se incorporan y constituyen una parte de esta memoria descriptiva, ilustran realizaciones de la presente descripción y junto con la descripción sirven para explicar los principios de la divulgación.

La figura 1 es un diagrama esquemático de parte de un sistema de almacenamiento, de acuerdo con una realización ejemplar.

55 La figura 2 es un diagrama esquemático de parte de un dispositivo de alivio de presión, de acuerdo con una realización ejemplar.

La figura 3 es un diagrama de flujo para la lógica de control, de acuerdo con una realización ejemplar.

Ahora se hará referencia en detalle a las presentes realizaciones ejemplares de la presente descripción, cuyos ejemplos se ilustran en los dibujos adjuntos. Siempre que sea posible, se usarán los mismos números de referencia en todos los dibujos para referirse a las mismas partes o similares. Aunque se describe en relación con el almacenamiento de hidrógeno, se entiende que los métodos y sistemas de la presente descripción se pueden emplear con varios tipos de sistemas de almacenamiento a presión. Por ejemplo, almacenamiento a presión de gas natural, nitrógeno, monóxido de carbono, helio, argón, dióxido de carbono, cloro, oxígeno y otros gases similares.

La figura 1 muestra una parte de un sistema 100 de tanque de almacenamiento, de acuerdo con una realización ejemplar. El sistema 100 de tanque de almacenamiento puede comprender un tanque 110 de almacenamiento, un conducto 120 de entrada, un conducto 130 de salida, un dispositivo 140 de regulación, un dispositivo 150 de alivio de presión (PRD), un transductor 160 de presión, un controlador 170 y un conducto 180 de escape.

El tanque 110 de almacenamiento puede configurarse para recibir, almacenar y descargar un gas 111. El gas 111 puede incluir una fuente de energía, tal como, por ejemplo, gas hidrógeno o gas natural. El tanque 110 de almacenamiento puede formarse de metal (por ejemplo, acero o aluminio), plástico, materiales compuestos, fibra de carbono u otros materiales. El tanque 110 de almacenamiento puede tener una capacidad de presión máxima de aproximadamente 5,000 psi (34,5 MPa), 10,000 psi (68,9 MPa) o 15,000 psi (103,4 MPa) y más. El tanque 110 de almacenamiento puede tener un volumen de aproximadamente 1 litro, 2 litros, 5 litros, 10 litros, 50 litros, 100 litros, 1,000 litros, 10,000 o 50,000 litros o más. El tanque 110 de almacenamiento puede formarse de una sola cámara o una pluralidad de cámaras (no mostradas). La pluralidad de cámaras puede aislarse mediante válvulas o en comunicación fluida. Dentro de la pluralidad de tanques, el gas se puede almacenar a diferentes presiones. Por ejemplo, puede haber tanques de almacenamiento a baja presión, tanques de almacenamiento de presión media y tanques de almacenamiento de alta presión. Por ejemplo, para una aplicación industrial, el intervalo de baja presión a alta presión puede ser de aproximadamente 500 psi (3,4 MPa) a aproximadamente 6,500 psi (44.8 MPa) y para una aplicación de automóvil; el rango de presión baja a alta presión puede ser de aproximadamente 2,000 psi (13.8 MPa) a aproximadamente 15,000 psi (103.4 MPa).

El conducto 120 de entrada se puede configurar para permitir que el gas 111 fluya al tanque 110 de almacenamiento. El conducto 120 de entrada se puede configurar para que sea una sola entrada o una pluralidad de entradas. Para un sistema de almacenamiento a granel, el conducto 120 de entrada se puede configurar para estar en comunicación fluida con una fuente de suministro de generación de gas (no mostrada). Por ejemplo, en el caso de un sistema de almacenamiento de hidrógeno, el conducto 120 de entrada puede estar en comunicación fluida con un sistema de compresión de hidrógeno (por ejemplo, compresor de hidrógeno electroquímico), electrolizador de alta presión u otro compresor de gas o fuente similar. Para una aplicación de vehículo móvil, el conducto 120 de entrada puede configurarse para recibir una conexión de línea de reabastecimiento de combustible, tal como, por ejemplo, una boquilla de reabastecimiento de combustible (no mostrada).

El conducto 130 de salida puede configurarse para descargar el gas 111 desde el tanque 110 de almacenamiento. Para una aplicación del sistema de almacenamiento a granel, el conducto 130 de salida puede ser la conexión de repostaje usada para repostar los tanques de almacenamiento dentro de un vehículo móvil. Para una aplicación de vehículo móvil, el conducto 130 de salida puede configurarse para alimentar el motor de un vehículo o celda de combustible. El conducto 130 de salida también puede configurarse para conectarse al tanque de almacenamiento del vehículo en el caso de una aplicación de almacenamiento estacionario. En otras realizaciones, el conducto 130 de salida puede configurarse para operar tanto como el conducto de entrada como el conducto de salida. En tal caso, una derivación (no mostrada) alrededor del dispositivo 140 de regulación puede configurarse para permitir el flujo inverso y una válvula de retención (no mostrada) puede instalarse en la línea.

El dispositivo 140 de regulación puede estar ubicado entre el tanque 110 de almacenamiento y el conducto 130 de salida. El dispositivo 140 de regulación puede configurarse para controlar la presión de descarga y/o el flujo de gas 111 desde el tanque 110 de almacenamiento. Por ejemplo, el dispositivo 140 de regulación puede tomar la forma de una válvula de control (por ejemplo, válvula de bola, válvula de mariposa, válvula de aguja, válvula de compuerta, válvula de vástago o válvula de diafragma). El dispositivo 140 de regulación puede contener un orificio/abertura, cuya área de sección transversal puede variar en función del porcentaje de apertura.

De acuerdo con diversas realizaciones, el dispositivo 140 de regulación puede configurarse para cerrar completamente y aislar el gas 111 dentro del tanque 110 de almacenamiento del conducto 130 de salida. El dispositivo 140 de regulación se puede configurar para comunicarse con el controlador 170. Por ejemplo, el controlador 170 puede recibir información de posición del dispositivo 140 de regulación (es decir, abierto, cerrado, porcentaje de apertura, etc.).

Como se muestra en la figura 1, el transductor 160 de presión puede estar ubicado entre el tanque 110 de almacenamiento y el dispositivo 140 de regulación y estar en comunicación fluida con ambos. El transductor 160 de presión puede configurarse para leer una presión asociada con el gas 111 dentro del tanque 110 de almacenamiento. El transductor 160 de presión puede configurarse para leer la presión del gas 111 continuamente o periódicamente. El transductor 160 de presión puede configurarse para transmitir de manera continua o intermitente la lectura de presión al controlador 170.

Como se muestra en la figura 1, posterior al transductor 160 de presión puede ser una línea auxiliar que comprende PRD 150 y conducto 180 de escape. El PRD 150 puede estar configurado para descargar el gas 111 a través del conducto 180 de escape cuando está activo (es decir, abierto) y aislar el conducto 180 de escape del tanque 110 de almacenamiento cuando está desactivado (es decir, cerrado).

5 De acuerdo con una realización ejemplar, como se muestra en la figura 2, el PRD 150 puede comprender un cuerpo 151, un orificio 152, un disco 153 y un muelle 154. El muelle 154 puede aplicar una fuerza sobre el disco 153 y bloquear el orificio 152. La fuerza aplicada por el muelle 154 se puede ajustar. El PRD 150 puede configurarse para evitar la sobrepresurización del sistema 100 de tanque de almacenamiento permitiendo que el gas 111 fluya a través del conducto 180 de escape cuando la presión del gas 111 excede un punto de referencia de límite de presión predeterminado.

De acuerdo con diversas realizaciones, el área de la sección transversal del orificio 152 es mayor que el área de la sección transversal del orificio/abertura del dispositivo 140 de regulación. Por lo tanto, cuando se supera el punto de referencia del límite de presión, el flujo a través del orificio 152 y el conducto 180 de escape pueden ser la ruta de menor resistencia.

15 De acuerdo con diversas realizaciones, cuando la presión del gas 111 cae por debajo del punto de referencia del límite de presión, la fuerza del muelle puede hacer que el disco 153 se vuelva a asentar, bloqueando el orificio 152 y deteniendo el flujo de gas a través de PRD 150 y el conducto 180 de escape.

20 Como se muestra en la figura 1, de acuerdo con una realización ejemplar, el controlador 170 puede estar compuesto por un procesador 171, un dispositivo 172 de memoria y una interfaz gráfica de usuario (GUI) 173. El controlador 170 puede configurarse para recibir entradas de la instrumentación (por ejemplo, sensores, válvulas, dispositivos de control, etc.) además de recibir entradas programadas de un usuario u operador por medio de la GUI 173. El controlador 170 puede configurarse para monitorear lecturas de instrumentación en un intervalo establecido, por ejemplo, cada 1 segundo, 0.1 segundos, 0.01 segundos o 0.001 segundos. La comunicación entre el controlador 170 y el transductor 160 de presión, y el dispositivo 140 de regulación puede realizarse mediante un cableado de control usando corriente/voltaje (por ejemplo, señal de 4-20 ma o señal de 1-1a VDC), comunicación de bus de campo (por ejemplo, PROFIBUS o MODBUS), protocolo de pulso/frecuencia, Wi-Fi o Bluetooth®.

30 La GUI 173 puede permitir a un usuario programar un conjunto de entradas que pueden incluir un volumen de tanque 110 de almacenamiento, un punto de referencia de alivio de presión, un tamaño de orificio para PRD 150, densidad de gas 111 y punto de reajuste para PRD 150. El punto de referencia de alivio de presión puede basarse en la presión operativa máxima permisible del sistema (es decir, tanque de almacenamiento, tuberías, componentes, etc.) de acuerdo con varias otras realizaciones, el controlador 150 puede configurarse para detectar al menos uno o más del conjunto de entradas directamente desde los dispositivos utilizando hardware de instrumentación inteligente configurado para comunicarse utilizando una forma de comunicación de bus de campo. En otra realización más, el controlador 170 puede incluir un controlador lógico programable (PLC) configurado para la comunicación con una interfaz de máquina humana (HMI) u otro PLC en una red común y al menos algunas de las entradas pueden recibirse como entradas desde otro controlador o PLC.

Según una realización ejemplar, puede calcularse una velocidad de liberación de dispositivo de alivio de presión para un PRD 150 dado. Los cálculos de caudal del orificio de estrangulamiento se pueden usar para calcular una velocidad de liberación de dispositivo de alivio de presión a partir de un conjunto de variables de entrada.

40 El conjunto de variables de entrada puede incluir el volumen del tanque 110 de almacenamiento, el punto de referencia de alivio de presión, el tamaño del orificio PRD 150, la densidad del gas 111 y el punto de reposición para PRD 150. Con base en estas entradas, se puede calcular una velocidad de liberación del dispositivo de alivio de presión para PRD 150. Por consiguiente, si el tamaño de orificio efectivo de PRD 150 es mayor que el tamaño de orificio efectivo máximo del dispositivo 140 de regulación, entonces dP/dt durante el funcionamiento normal (es decir, flujo a través del dispositivo 140 de regulación) será menor que la velocidad de liberación durante una liberación de PRD 150. Esto puede permitir que la velocidad de liberación calculada para PRD 150 se use como alarma o punto de referencia en la lógica de control para detectar si se ha activado PRD 150.

50 Como se describió anteriormente, de acuerdo con una realización ejemplar, el controlador 170 puede ejecutar los cálculos para determinar el valor de velocidad de liberación para PRD 150. De acuerdo con otras realizaciones, el cálculo del valor de la velocidad de liberación puede realizarse y luego el valor puede enviarse al controlador 170 como una señal de entrada o programarse por un usuario a través de la GUI 173.

Ejemplo 1

55 El siguiente ejemplo describe las ecuaciones y los pasos que se pueden usar para calcular la velocidad de liberación del dispositivo de alivio de presión. Para el siguiente ejemplo, se supone que el gas es hidrógeno. La Tabla 1 que se muestra a continuación identifica las unidades utilizadas para el cálculo y la Tabla 2 identifica los índices.

TABLA 1:

Identificador de unidad	Medida de unidad	Descripción
V	m ³	Volumen
P	kPa, Pa, MPa	Presión absoluta en los valores indicados
T	°C, K	La temperatura en los valores anotados
ρ	kg/m ³	Densidad de gas real
ρ molar	Mol/L	Densidad molar real
k	Sin dimensiones	Relación de calores específicos (Cp/Cv) Se supone que es 1.41 para hidrógeno en condiciones estándar
Z	Sin dimensiones	Factor de compresibilidad
R	J/mK	Constante universal de gas de 8.3144621
<i>R</i>	J/kgK	Constante específica de gas
C	Sin dimensiones	Coeficiente de descarga
A	m ²	Área en metros cuadrados
<i>m</i>	kg/sec	Tasa de flujo masivo
t	Segundos	Tiempo
Q	m ³ /s	Tasa de flujo volumétrico
MW	g/mol	Peso molecular
π	Sin dimensiones	Pi - Relación de una circunferencia de círculos con el diámetro ~ 3.14156

TABLA 2:

Índices	Descripción
<i>Crítico</i>	Crítico
<i>i</i>	Condición de entrada
<i>o</i>	Condición de salida
<i>Ori</i>	Orificio
<i>c</i>	Condiciones de estrangulamiento
<i>nc</i>	Condiciones de no estrangulamiento
<i>Recipiente</i>	Recipiente de suministro de hidrógeno
Reiniciar	Reiniciar
<i>Resultante</i>	Resultante
<i>inicial</i>	Condición inicial
<i>final</i>	Condición final
<i>liberación</i>	Condiciones después de que se activa un dispositivo de válvula de alivio de presión

El proceso para calcular la velocidad de liberación del dispositivo de alivio de presión se puede describir en varias secciones. La primera sección puede comprender determinar las condiciones de entrada para los cálculos (es decir, las condiciones iniciales del recipiente, la relación de presión crítica, el área del orificio), la segunda sección puede comprender las ecuaciones de orificio (es decir, coeficientes de descarga, ecuaciones de estrangulamiento de caudal y ecuaciones de no estrangulamiento); la tercera sección puede comprender analizar dinámicamente la liberación de PRD (es decir, determinar la presión del recipiente resultante después del tiempo = i, determinar las condiciones del orificio después del tiempo = i, y el modelado iterativo), y la sección de cuatro puede comprender la determinación del punto de referencia de la velocidad de liberación de PRD. Por último, los cálculos también pueden tener en cuenta a los consumidores y proveedores de gas adicionales.

10 Condiciones del recipiente inicial/tanque de almacenamiento:

Las condiciones iniciales se pueden definir como el estado en que se encuentra el recipiente antes de que se produzca la liberación de presión. Las siguientes ecuaciones se pueden usar para determinar las condiciones iniciales del recipiente.

Volumen del tanque de almacenamiento/recipiente:

$$V_{\text{recipiente}} = V_{\text{cilindro}} \times \text{Número de cilindros} \quad (1)$$

Densidad de gas de hidrógeno:

El hidrógeno no se comporta en el dominio de gas ideal, por lo tanto, la densidad del gas real debe calcularse a partir de la ecuación de estado, ver, por ejemplo, "Ecuación de estado estandarizada revisada para densidades de gas de hidrógeno para aplicaciones de consumo de combustible", E.W. Lemmon, M.L. Huber, J.W. Leachman, J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol. 113, 341-350 (2008). Esta ecuación utiliza la ecuación del gas ideal y corrige el gas real calculando el factor de compresibilidad para una condición de presión y temperatura dada.

$$Z = 1 + \sum_{i=1}^9 a_i \left[\frac{100K}{T} \right]^{B_i} \left[\frac{P(\text{MPa})}{1 \text{ MPa}} \right]^{C_i} \quad (2)$$

Para la ecuación 2 anterior, T es la temperatura del gas en el recipiente de almacenamiento en Kelvin y P es la presión del gas en los recipientes en MPA. Para fines de análisis, se puede suponer que la temperatura es la temperatura ambiente o las peores condiciones para una liberación del dispositivo de alivio de presión (es decir, la temperatura de funcionamiento más baja). Las constantes a_i , B_i y C_i se definen en (Lemmon, Huber y Leachman, 2008) y se muestran a continuación en la Tabla 3 a continuación.

TABLA 3:

i	a_i	b_i	c_i
1	0.058 884 60	1.325	1.0
2	-0,061 361 11	1.87	1.0
3	-0.002 650 473	2.5	2.0
4	0.002 731 125	2.8	2.0
5	0.001 802 374	2.938	2.42
6	-0.001 150 707	3.14	2.63
7	$0.958\,852\,9 \times 10^{-4}$	3.37	3.0
8	$-0.110\,904\,0 \times 10^{-6}$	3.75	4.0
9	$0.126\,440\,3 \times 10^{-9}$	4.0	5.0

30 Descripción de índices

Una vez que se determina el factor de compresibilidad, la densidad se puede calcular utilizando la ley de los gases ideales, que se muestra a continuación como la ecuación 3.

$$\rho_{mol} = \frac{P_{recipiente}}{ZRT_{recipiente}} \quad (3)$$

Para la ecuación 3, P es la presión del gas dentro del recipiente en MPa, Z es el factor de compresibilidad calculado a partir de la ecuación 2, R es la constante de gas universal y T es la temperatura del gas dentro del recipiente en grados Kelvin.

- 5 La ecuación 4 que se muestra a continuación puede usarse para convertir la densidad molar basada en de la ecuación 3 a una densidad basada en masa (kilogramos por metro cúbico).

$$\rho_{recipiente\ inicial} = (\rho_{mol} \times MW_{hidrógeno}) \times \left(\frac{Kg}{1000\ gramos} \right) \quad (4)$$

Para la ecuación 4, el peso molecular de hidrógeno es igual a 2.01588 gramos por mol.

Masa inicial del recipiente

- 10 La ecuación 5 que se muestra a continuación puede usarse para determinar la masa inicial. La ecuación 5 proporciona la masa total del gas de hidrógeno en el recipiente en condiciones iniciales en kilogramos.

$$m_{Recipiente\ inicial} = \rho_{recipiente\ inicial} \times V_{recipiente} \quad (5)$$

Área del orificio:

- 15 El área del orificio puede referirse al área de descarga del dispositivo de alivio de presión cuando se abre. Normalmente, los fabricantes proporcionan el diámetro del orificio, pero en el caso de que no se proporcione el diámetro, se puede interpolar el diámetro del orificio según las curvas de flujo o el dispositivo Cv. Para los propósitos de este ejemplo, se supone que se da el diámetro del orificio y se puede usar la ecuación 6 a continuación para calcular el área. En la ecuación 6 a continuación, A es el área del orificio en metros al cuadrado, y R es el radio del diámetro del orificio.

$$A_{ori} = \pi R_{orificio}^2 \quad (6)$$

- 20 Presión crítica:

Suponiendo un comportamiento de estado estacionario, la presión crítica es el estado en el cual la presión anterior es lo suficientemente grande como para causar un estrangulamiento de caudal. Esta ecuación supone que las condiciones posteriores del orificio están cerca de las condiciones estándar. En la ecuación 7 a continuación, la presión de entrada está en kPa y k es la razón de calor específica (Cp/Cv). Dado que el hidrógeno es un gas no ideal, la relación de calor específico cambia en función de la presión y la temperatura. Las tablas de búsqueda se pueden usar para determinar el valor exacto según el estado del sistema con respecto al tiempo.

$$P_{Crit} = P_t \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\left(\frac{k}{k-1} \right)} \quad (7)$$

Ecuaciones de los orificios:

- 30 Las ecuaciones de los orificios se pueden usar en el modelo para determinar el flujo de gas real a través del dispositivo de alivio de presión, suponiendo que el entorno posterior está en condiciones atmosféricas. Típicamente, durante una liberación, el flujo a través del dispositivo de alivio de presión comenzará en las condiciones de estrangulamiento de caudal, y luego posiblemente se transfiera a las condiciones de no estrangulamiento de caudal dependiendo del tamaño del orificio. En general, para un PRD con sello ASME o DOT diseñado para cuando hay fuego o bloqueo del flujo, el PRD volverá a encajarse antes de que el flujo salga de las condiciones de estrangulamiento.

- 35 Coeficiente de descarga:

El coeficiente de descarga es un número adimensional que es la relación entre el flujo real y el flujo teórico a través de un orificio. Este número puede determinarse típicamente de forma imperial o mediante tablas de búsqueda. Se pueden obtener muchas formas de tablas a partir de libros, Internet, etc. Normalmente, las tablas proporcionan análisis en función de la relación de diámetro y el número de Reynolds. La Tabla 4 que se muestra a continuación es un ejemplo de una tabla típica. Para este análisis, el coeficiente de descarga es 0.60.

- 40

TABLA 4:

Coeficiente de descarga - C_d				
Relación de diámetro $d = D_2/D_1$	Número de Reynolds - Re			
	1.00E+05	1.00E.+06	100E+07	1.00E+08
0.2	0.6	0.595	0.594	0.594
0.4	0.61	0.603	0.598	0.598
0.5	0.62	0.608	0.603	0.603
0.6	0.63	0.61	0.608	0.608
0.7	0.64	0.614	0.609	0.609
(Medidores de caudal de orificio, boquilla y venturi)				

Ecuación de estrangulamiento de caudal:

- 5 La ecuación 8 que se muestra a continuación puede usarse para determinar el caudal másico a través de un orificio en kilogramos por segundo en condiciones de estrangulamiento de caudal. Para la ecuación 8, la presión de entrada es la presión del recipiente, la densidad de entrada es la densidad del gas dentro del recipiente y k es la relación de calores específicos.

$$\dot{m}_e = C A_{ori} \sqrt{k P_i \rho_i \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \quad (8)$$

Ecuación de no estrangulamiento de caudal:

- 10 La ecuación 9 que se muestra a continuación puede usarse para determinar la tasa de flujo másico a través de un orificio en kilogramos por segundo en condiciones de no estrangulamiento. Para la ecuación 9, la presión de entrada es la presión del recipiente, la densidad de entrada es la densidad del gas dentro del recipiente, la presión de salida es la presión posterior del orificio y k es la relación de calores específicos.

$$\dot{m}_{ne} = C A_{ori} \sqrt{2 P_i \rho_i \left(\frac{k}{k-1} \right) \left[\left(\frac{P_o}{P_i} \right)^{\frac{2}{k}} \times \left(\frac{P_o}{P_i} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} \quad (9)$$

- 15 Determinación de las tasas de estrangulamiento vs no estrangulamiento de caudal:

La velocidad de flujo real a través del orificio depende de si las condiciones son de estrangulamiento o no. Esto se puede determinar utilizando la presión crítica calculada por la ecuación 7. Con base en esto, el siguiente "enunciado" se puede usar para determinar el flujo real a través del orificio.

$$\begin{aligned} \text{Si } P_i > P_{crit} \text{ Entonces } \dot{m} &= \dot{m}_c \\ \text{De otro modo } \dot{m} &= \dot{m}_{nc} \end{aligned}$$

- 20 Análisis dinámico de liberación de dispositivo de alivio de presión

Una activación de PRD puede hacer que se elimine la masa del recipiente en función del tiempo. Para este análisis, se puede usar la ecuación básica para el balance de masa.

$$m_{recipiente}(t) = \int_{t=0}^{t=l} dm(t) - m_{recipiente} \quad (10)$$

Con respecto al tiempo = 1 segundo, la ecuación se puede representar por:

$$m_{\text{recipiente Resultado}} = \dot{m}(t_2 - t_1) - m_{\text{recipiente}} \quad (11)$$

Para la ecuación 10 y 11, $\dot{m}$ es la masa eliminada por el orificio según las ecuaciones 8, 9 y 10 para el tiempo dado de i . Una vez que se ha analizado la masa final del recipiente, se puede hacer un nuevo cálculo de la presión del recipiente en función de las siguientes ecuaciones.

- 5 Determinación de la densidad del recipiente en el tiempo = i :

El volumen del recipiente se puede suponer estático, por lo tanto, la siguiente ecuación se puede usar para determinar la densidad resultante después del tiempo i .

$$p_i = \frac{m_{\text{recipiente}}(t=i)}{V_{\text{recipiente}}} \quad (12)$$

Determinar la presión resultante del recipiente después del tiempo = i :

- 10 Para determinar la presión en el tiempo = i , se puede usar una formación de la ecuación de estado NIST, que se basa en los datos de ajuste de argumento del libro web termo-físico del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología. (<http://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/>). Para la ecuación 13 a continuación, T es la temperatura del gas en Kelvin (se supone que es la misma que la condición inicial en $t=0$), ρ es la densidad del gas en el tiempo = i , y P es la presión resultante en kPa.

$$P = (T^{cb} \times Bb \times \rho) + ((Ac + Bc \times T + cc \times T^2 + Dc \times T^3)\rho^2) + ((Ad + Bd \times T + Cd \times T^2 + Dd \times T^3)\rho^3) \quad (13)$$

15

Las siguientes constantes que se muestran en la TABLA 5 a continuación se pueden usar en la ecuación 13.

TABLA 5:

Constante	Valor
Bb	4.77712
Cb	0.97583
Ac	-13.129
Bc	0.10223
CC	-1.4128e-4
Dc	1.0819e-7
Ad	0.15844
Bd	-1.9664e-4
Cd	7.9948e-7
Dd	-6.2384e-10

Determinación de las condiciones del orificio después del tiempo = i :

- 20 Una vez que se ha calculado la presión como resultado de la pérdida de masa del recipiente de almacenamiento causada por la activación del dispositivo de alivio de presión, se pueden volver a analizar las ecuaciones de orificio 8, 9 y 10 para determinar cuál puede ser el caudal másico resultante.

Modelado iterativo:

- 25 Una vez analizadas las condiciones del orificio resultante, el tiempo se puede restablecer a 0 y la siguiente iteración se realiza usando las ecuaciones 11, 12 y 13. Este conjunto puede repetirse hasta que la presión del recipiente sea igual a la del dispositivo de alivio de presión o el recipiente esté vacío

Determinación del punto PRD de referencia de liberación:

Una vez que se realiza el análisis, se puede hacer un análisis del cambio en la presión del recipiente en función del tiempo. Según la información, el valor de dP/dt para el dispositivo de alivio de presión específico se puede determinar y programar en el sistema de control.

$$P_{\text{Liberación}} = \frac{dP}{dt} \text{ sistema de almacenamiento} \quad (14)$$

5 Modelado para el efecto de consumidores o suministros adicionales de hidrógeno

Si el sistema tiene consumidores adicionales (por ejemplo, dispensador, pila de combustible o cliente) o fuentes de suministro (por ejemplo, generador de hidrógeno), la ecuación 10 tendrá que modificarse para tener en cuenta estas variaciones en la masa resultante del recipiente después del tiempo = i .

$$m_{\text{recipiente}}(t) = \int_{t=0}^{t=i} (dm(t)_{\text{suministro}} + (dm(t)_{\text{PRV}} + dm(t)_{\text{consumidor}})) - m_{\text{recipiente}} \quad (15)$$

10 Para este ejemplo, la combinación de todos los consumidores no debe exceder la tasa máxima de flujo másico del orificio dentro del dispositivo de alivio de presión. De lo contrario, la alarma se puede activar cuando la condición de liberación de PRD no existe.

15 La figura 3 muestra un diagrama de flujo para parte de la lógica de control del controlador 170, de acuerdo con una realización ejemplar. La lógica de control está configurada para detectar si se activó PRD 150 y, de ser así, proporcionar la notificación adecuada. Inicialmente, cuando el controlador 170 está activo, se puede ejecutar una comprobación del sistema para confirmar que las entradas (por ejemplo, instrumentación, válvulas) funcionan correctamente. La verificación del sistema puede comprender la confirmación de que la señal de voltaje, corriente, apretón de manos u otra señal de la instrumentación está dentro del rango esperado. Si la señal no está dentro del rango programado, el sistema puede fallar, como se muestra en la figura 3.

20 Una vez que el controlador 170 completa la comprobación del sistema, puede comenzar el proceso de monitorización de la presión del tanque 110 de almacenamiento. El controlador 170 puede registrar la lectura de presión de la presión del tanque 110 de almacenamiento desde el transductor 160 de presión (continuación) Valor constante en el tiempo 1 (301) de bucle de control. Posteriormente, el controlador 170 puede entonces registrar la presión del tanque de almacenamiento 110 nuevamente en el tiempo 2 (302) de bucle de control. Estos dos valores de presión registrados se pueden restar para obtener un valor dP de presión diferencial. Como se muestra en la figura 3, el lazo de control se puede repetir y el controlador 180 puede promediar estos valores de dP a lo largo del tiempo x dando como resultado una lectura de dP/dt en promedio móvil. Como se describió anteriormente, durante la operación normal (es decir, el gas 111 que fluye a través del dispositivo de regulación 140) la lectura de dP/dt debería ser menor que la velocidad de liberación calculada para una liberación de PRD 150.

30 Como se muestra en la figura 3, la lectura de dP/dt promedio se puede comparar con la velocidad de liberación de PRD 150 calculada. La función de comparación se puede ejecutar de manera continua o intermitente. Posteriormente, si la lectura de dP/dt es mayor que la velocidad de liberación del dispositivo de alivio de presión calculada, el sistema producirá un error o alarma. Ante un fallo o alarma del sistema, se puede iniciar un apagado inmediato. Además, durante el apagado, el controlador 170 se puede configurar para alertar al personal de que el sistema ha experimentado un problema, lo que puede provocar una respuesta adecuada.

35 En otras realizaciones, después de un fallo o alarma del sistema, se puede confirmar que el controlador 170 abre o cierra válvulas o controla otros componentes del sistema en una secuencia diseñada para aliviar de forma segura la presión del tanque. Además, la secuencia puede configurarse para purgar la presión a una cámara de descarga (no mostrada) diseñada para recibir el gas 111 durante un apagado de emergencia. La cámara de descarga puede limitar la cantidad de gas 111 que se puede expulsar a la atmósfera.

40 En otras realizaciones, el controlador 170 puede configurarse para recibir una señal de la válvula 140 de regulación que indica la posición abierta de porcentaje actual de la válvula. El controlador 170 puede usar la posición de porcentaje de apertura actual para calcular un dP/dt presente para la válvula 140 de regulación. Posteriormente, el presente dP/dt para la válvula 140 de regulación puede tenerse en cuenta en el punto de referencia de la velocidad de liberación del dispositivo de alivio de presión, que desencadena la falla/alarma del sistema.

45 Por ejemplo, si la válvula 140 de regulación está significativamente estrangulada y el flujo mínimo sale a través del conducto 130 de salida, entonces una activación de PRD 150 daría como resultado una velocidad de liberación, que es casi completamente un resultado del escape 180 de flujo. Como resultado, la dP/dt medida frente a la velocidad de liberación calculada podría ser casi igual. Además, el margen de error para el transductor de presión, redondeo de cálculo, o la escala de instrumentación podría causar que el dP/dt medido esté por debajo de la velocidad de liberación calculada en la función de comparación lógica de control final, evitando la activación de la falla/alarma del sistema a

pesar de la activación real de PRD 150 (es decir, falso negativo). Por lo tanto, al usar el presente dP/dt para la válvula 140 de regulación, el controlador 170 puede ajustar el punto de referencia de la tasa de liberación de manera apropiada para evitar falsos negativos.

5 La activación de PRD 150 puede ser el resultado de una variedad de circunstancias. Por ejemplo, una falla del elemento de control, incendio, bloqueo del flujo o exceso de flujo de entrada puede causar situaciones de sobrepresurización. El controlador 170 se puede configurar para detectar y luego señalar o notificar a la persona o sistema(s) apropiado(s). Por ejemplo, el controlador 170 se puede configurar en una aplicación de almacenamiento comercial para enviar una señal a un panel de fuego después de la detección para que el personal de emergencia adecuado pueda responder. En otra realización más, el controlador 170 puede configurarse para desencadenar un apagado de emergencia e iniciar un cambio a un sistema auxiliar de almacenamiento de hidrógeno tras la detección de la activación del dispositivo de alivio de presión dentro del sistema primario de almacenamiento de hidrógeno.

15 El sistema 100 de tanque de almacenamiento y el método de control como se describió anteriormente se pueden usar en muchas aplicaciones. Por ejemplo, el sistema y el método se pueden usar para el almacenamiento en una estación a granel de gases presurizados (por ejemplo, hidrógeno o gas natural comprimido). El almacenamiento a granel podría ser una estación de reabastecimiento de combustible para vehículos móviles. Otro ejemplo más de una aplicación podría ser a bordo de recipientes de almacenamiento de hidrógeno usados con motores de combustión de hidrógeno o células de combustible de membrana de intercambio de protones (PEM) en vehículos.

20 En otras realizaciones, el sistema y el método como se describió anteriormente se pueden usar para detectar la ruptura de línea entre el tanque de almacenamiento y los componentes posteriores y anteriores. En otras realizaciones, el sistema y el método tal como se describió anteriormente pueden usarse con un sistema que recibe, almacena y descarga un fluido, en donde el fluido es un fluido compresible.

En otras realizaciones, los discos de ruptura se pueden utilizar en lugar del dispositivo 150 de alivio de presión como se describió anteriormente. Se contempla que también se pueden utilizar otras formas de dispositivos de alivio de presión junto con la presente descripción.

25 En otras realizaciones, un sistema de tanque de almacenamiento puede incluir una pluralidad de tanques de almacenamiento y una pluralidad de dispositivos de alivio de presión y transmisores de presión correspondientes. Los dispositivos de alivio de presión y los transmisores de presión pueden colocarse en lugares susceptibles de sobrepresurización debido a fallas en el elemento de control. En sistemas que utilizan una pluralidad de dispositivos de alivio de presión, se puede usar un solo controlador o se puede usar una pluralidad de controladores y la pluralidad de controladores se puede configurar para la comunicación.

Ejemplo 2

35 El sistema y el método como se describió anteriormente se pueden utilizar en un sistema de tanque de almacenamiento a granel estacionario. El sistema del tanque de almacenamiento del ejemplo actual se puede configurar para recibir, almacenar y distribuir hidrógeno. El sistema de tanque de almacenamiento puede comprender tres tanques de almacenamiento, en donde el primer tanque de almacenamiento es un tanque de alta presión, el segundo tanque de almacenamiento es un tanque de presión media, y el tercer tanque de almacenamiento es un tanque de baja presión. El sistema de tanque de almacenamiento puede comprender además un transmisor de presión (PT_H , PT_M o PT_L) y un dispositivo de alivio de presión (PRD). El sistema de tanque de almacenamiento puede comprender además un controlador configurado para controlar la presión de cada uno de los transmisores de presión. El controlador se puede configurar para muestrear la lectura de presión de cada transmisor a intervalos de 200 ms. En paralelo con el muestreo, el controlador se puede configurar para calcular un promedio móvil del cambio de presión para PT_H , PT_M o PT_L durante un período de 10 segundos. El cálculo de la media móvil puede ejecutarse utilizando las ecuaciones que se muestran a continuación para cada uno de los transmisores de presión. El número de valores enumerados en la matriz no es una representación completa de la cantidad total de valores que se registrarían y calcularían durante un período de 10 segundos con una tasa de sondeo de 200 ms. El número total se ha reducido a un pequeño número representativo.

Cálculo para tanque de alta presión - PT_H

$$\begin{bmatrix} (P2_{Banco} - P1_{Banco}) \div (T2 - T1) \\ (P3_{Banco} - P2_{Banco}) \div (T3 - T2) \\ (P4_{Banco} - P3_{Banco}) \div (T4 - T3) \\ (P5_{Banco} - P4_{Banco}) \div (T5 - T4) \\ (P6_{Banco} - P5_{Banco}) \div (T6 - T5) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P1_{calc} \\ P2_{calc} \\ P3_{calc} \\ P4_{calc} \\ P5_{calc} \end{bmatrix}$$

(16)

La tasa promedio de cambio (dP) puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Promedio dP} = \text{Promedio}(P1_{calc}, P2_{calc}, P3_{calc}, P4_{calc}, P5_{calc})$$

(17)

La tasa promedio de cambio en el tiempo dP/dt puede calcularse usando la siguiente ecuación:

$$dP/dt = \text{Promedio dP} * 60$$

(18)

El cálculo anterior se puede ejecutar para cada transmisor de presión del tanque de almacenamiento simultáneamente como se muestra arriba para el tanque de alta presión.

El controlador puede tomar el mínimo de los tres valores de dP/dt para los tres transmisores de presión del tanque de almacenamiento y compararlo con la tasa de liberación de PRD, que es una variable programable basada en el modelo del PRD. Si el valor mínimo de dP/dt es mayor que la velocidad de liberación de PRD, el controlador puede disparar la alarma que indica una activación de PRD. El controlador puede ejecutar continuamente los cálculos y la comparación independientemente del estado de llenado de los diferentes tanques.

En una realización alternativa, el sistema puede utilizar un dispositivo de alivio de presión para cada tanque de almacenamiento (PRD_H, PRD_M o PRD_L). Por lo tanto, pueden ejecutarse los cálculos como se describió anteriormente para determinar el dP/dt para cada tanque de almacenamiento. Sin embargo, en lugar de tomar el valor mínimo de los tres tanques, se puede comparar cada valor con la tasa de liberación de PRD para el tanque de almacenamiento correspondiente. Esto puede permitir el uso de diferentes PRD que tienen un punto de referencia diferente para cada tanque de almacenamiento.

El método para calcular la dP/dt y comparar el valor con la velocidad de liberación de PRD como se describió anteriormente para el ejemplo se puede utilizar con un sistema de tanque de almacenamiento que tiene solo un solo tanque o una pluralidad de tanques. Además, se puede utilizar el mismo método para un sistema de tanque de almacenamiento configurado para una aplicación móvil, por ejemplo, almacenamiento de hidrógeno a bordo en un automóvil.

De acuerdo con diversas realizaciones, el sistema y el método tal como se describió anteriormente pueden utilizarse en sistemas de tanques de almacenamiento que almacenan gas a alta presión. La presión del gas dentro del tanque de almacenamiento se puede comprimir a una presión de aproximadamente 5,000 psi (34.5 MPa), aproximadamente 6,500 psi (44.8 MPa), aproximadamente 7,500 psi (51.7 MPa), aproximadamente 10,000 psi (68.9 MPa), aproximadamente 12,500 psi (86.2 MPa), o más de aproximadamente 15,000 psi (103.4 MPa).

Otras realizaciones de la presente divulgación serán evidentes para los expertos en la técnica a partir de la consideración de la memoria descriptiva y práctica de la presente descripción en el presente documento. Se pretende que la memoria descriptiva y los ejemplos se consideren solo a modo de ejemplo, con un verdadero alcance de la presente divulgación que se indica mediante las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método para detectar la activación de un dispositivo (150) de alivio de presión conectado a un tanque (110) de almacenamiento que contiene un gas (111) presurizado que comprende:
5 calcular una tasa de liberación de dispositivo de alivio de presión basada en un conjunto de entradas, en donde el conjunto de entradas incluye al menos una de un volumen de tanque de almacenamiento, un punto de referencia de alivio de presión, un tamaño de orificio del dispositivo (150) de alivio de presión, una densidad de gas y un punto de reposo para el dispositivo de alivio de presión;
10 monitorear la presión dentro del tanque (110) de almacenamiento y calcular una lectura de presión diferencial a lo largo del tiempo; comparar la lectura de presión diferencial a lo largo del tiempo con la tasa de liberación del dispositivo de alivio de presión; y detectar una activación del dispositivo de alivio de presión con base en el resultado de la comparación.
2. El método de la reivindicación 1, en donde el cálculo de la velocidad de liberación del dispositivo de alivio de presión se basa en ecuaciones de estrangulamiento de caudal para el dispositivo (150) de alivio de presión.
3. El método de la reivindicación 1, en donde se repite el cálculo de la lectura de presión diferencial a lo largo del tiempo y los valores de presión diferencial se promedian a lo largo del tiempo.
4. El método de la reivindicación 1, en donde el método comprende además activar una alarma del sistema después de la detección de la activación del dispositivo de alivio de presión.
5. El método de la reivindicación 1, en donde la detección de la activación del dispositivo de alivio de presión con base en el resultado de comparación comprende identificar cuándo la lectura de presión diferencial en el tiempo es mayor o igual que la velocidad de liberación del dispositivo de alivio de presión.
6. El método de la reivindicación 1, en donde calcular la velocidad de liberación del dispositivo de alivio de presión comprende además tener en cuenta la posición de un dispositivo de regulación configurado para descargar el gas (111) presurizado durante el funcionamiento normal.
7. Un controlador (170) para detectar la activación de un dispositivo (150) de alivio de presión conectado a un tanque (110) de almacenamiento que contiene un gas (111) presurizado que comprende:
25 un procesador (171) configurado para recibir una pluralidad de entradas de la lectura de presión a lo largo del tiempo desde un transductor (160) de presión, calcular una lectura de presión diferencial a lo largo del tiempo y comparar la lectura de presión diferencial a lo largo del tiempo con una velocidad de liberación del dispositivo (150) de alivio de presión determinada con base en un conjunto de entradas, y con base en la comparación, el controlador (170) detecta si se ha producido una activación del dispositivo (150) de alivio de presión; en donde el transductor (160) de presión está situado anterior al dispositivo (150) de alivio de presión y la presión dentro del tanque (110) de almacenamiento es aproximadamente mayor que aproximadamente 6,500 psi (44.8 MPa).
30 8. El controlador de la reivindicación 7, en donde el conjunto de entradas incluye al menos uno de un volumen de tanque de almacenamiento, un punto de referencia de alivio de presión, un tamaño de orificio del dispositivo (150) de alivio de presión, una densidad de gas y un punto de reposo para el dispositivo (150) de alivio de presión.
35 9. Un sistema (100) configurado para detectar alivio de presión, que comprende:
al menos un tanque (110) de almacenamiento configurado para contener un gas (111);
un transductor (160) de presión configurado para leer la presión del gas;
un dispositivo (140) regulador de presión configurado para controlar la descarga del gas durante el funcionamiento normal;
40 un dispositivo (150) de alivio de presión configurado para activar y descargar el gas para evitar una sobrepresurización de al menos el tanque (110) de almacenamiento;
un controlador (170) configurado para recibir la lectura de presión a lo largo del tiempo desde el transductor (160) de presión, calcular una lectura de presión diferencial a lo largo del tiempo y comparar la lectura de presión diferencial a lo largo del tiempo con una tasa de liberación del dispositivo de alivio de presión determinada con base en un conjunto de entradas, y con base en la comparación, el controlador detecta si el dispositivo (150) de alivio de presión ha sido activado.
45 10. El sistema de la reivindicación 9, en donde el conjunto de entradas incluye el volumen del tanque de almacenamiento, un punto de referencia de alivio de presión, un tamaño de orificio del dispositivo de alivio de presión, la densidad del gas y un punto de reasentamiento para el dispositivo (150) de alivio de presión
50

11. El sistema de la reivindicación 9, en donde el cálculo de la velocidad de liberación del dispositivo de alivio de presión se basa en ecuaciones de estrangulamiento de caudal para el dispositivo (150) de alivio de presión.
12. El sistema de la reivindicación 9, en donde se repite el cálculo de la lectura de la presión diferencial a lo largo del tiempo y los resultados se promedian a lo largo del tiempo.
- 5 13. El sistema de la reivindicación 9, en donde el controlador (170) está configurado además para activar una alarma del sistema después de detectar la activación del dispositivo de alivio de presión, y la alarma del sistema está configurada para proporcionar notificación a al menos el personal o sistema apropiado para responder.
14. El sistema de la reivindicación 9, en donde el área de sección transversal del orificio del dispositivo de alivio de presión es mayor que el área de sección transversal del dispositivo (140) de regulación de presión.
- 10 15. El sistema de la reivindicación 9, en donde el controlador (170) está configurado para tener en cuenta la posición del dispositivo (140) regulador de presión cuando se calcula la velocidad de liberación del dispositivo de alivio de presión.

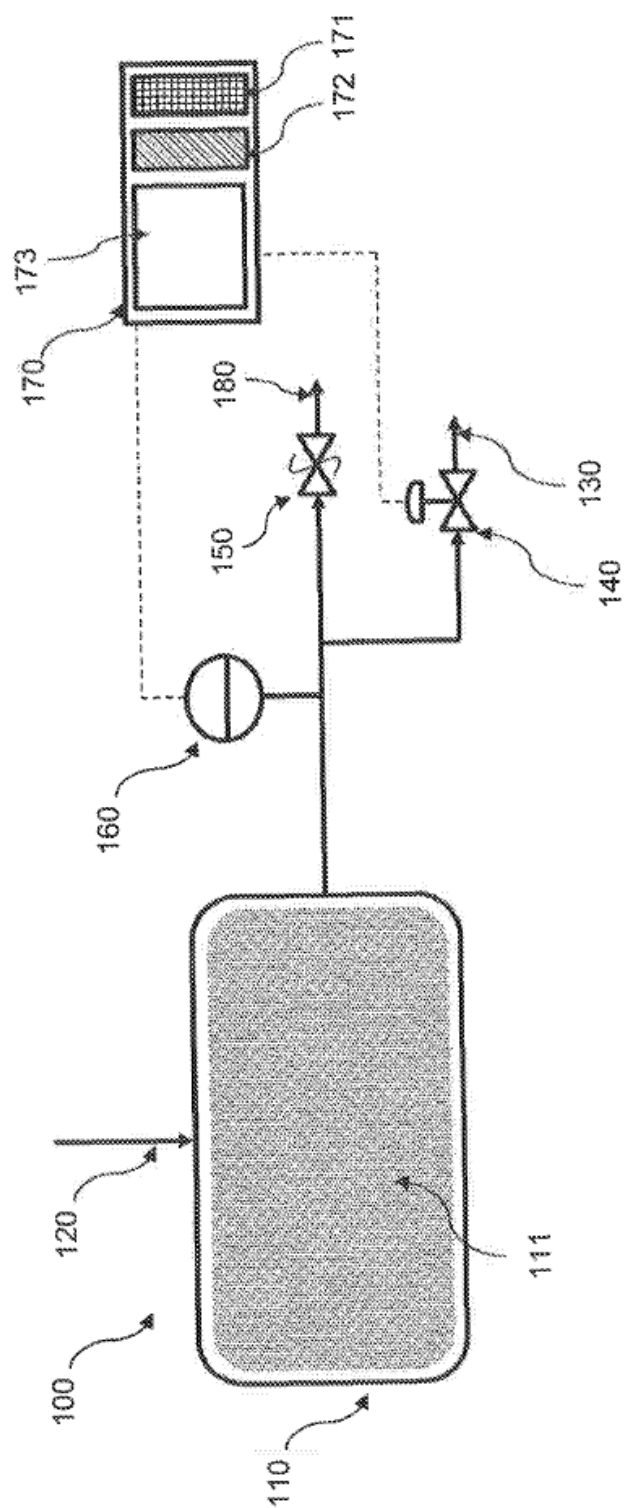


FIG. 1

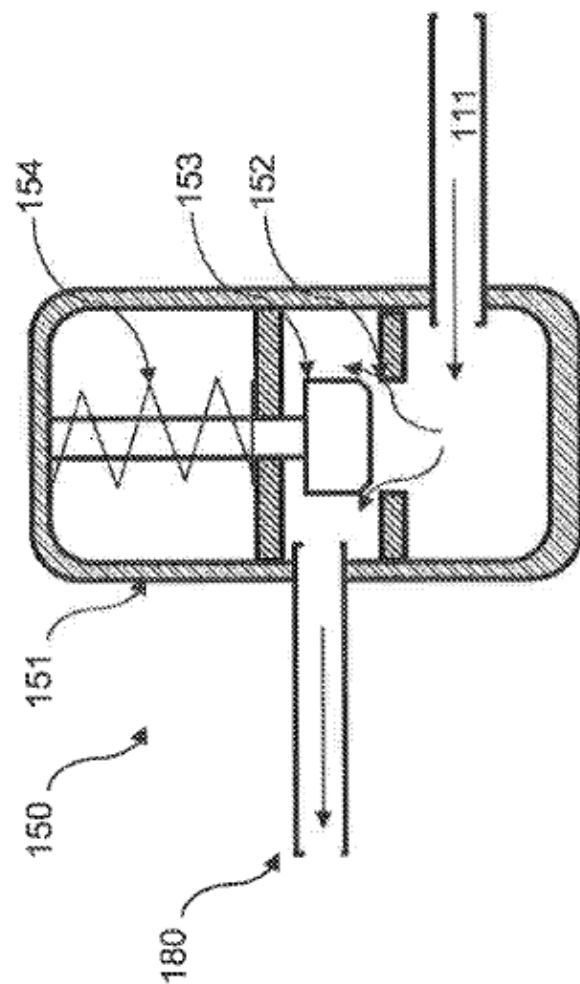


FIG. 2

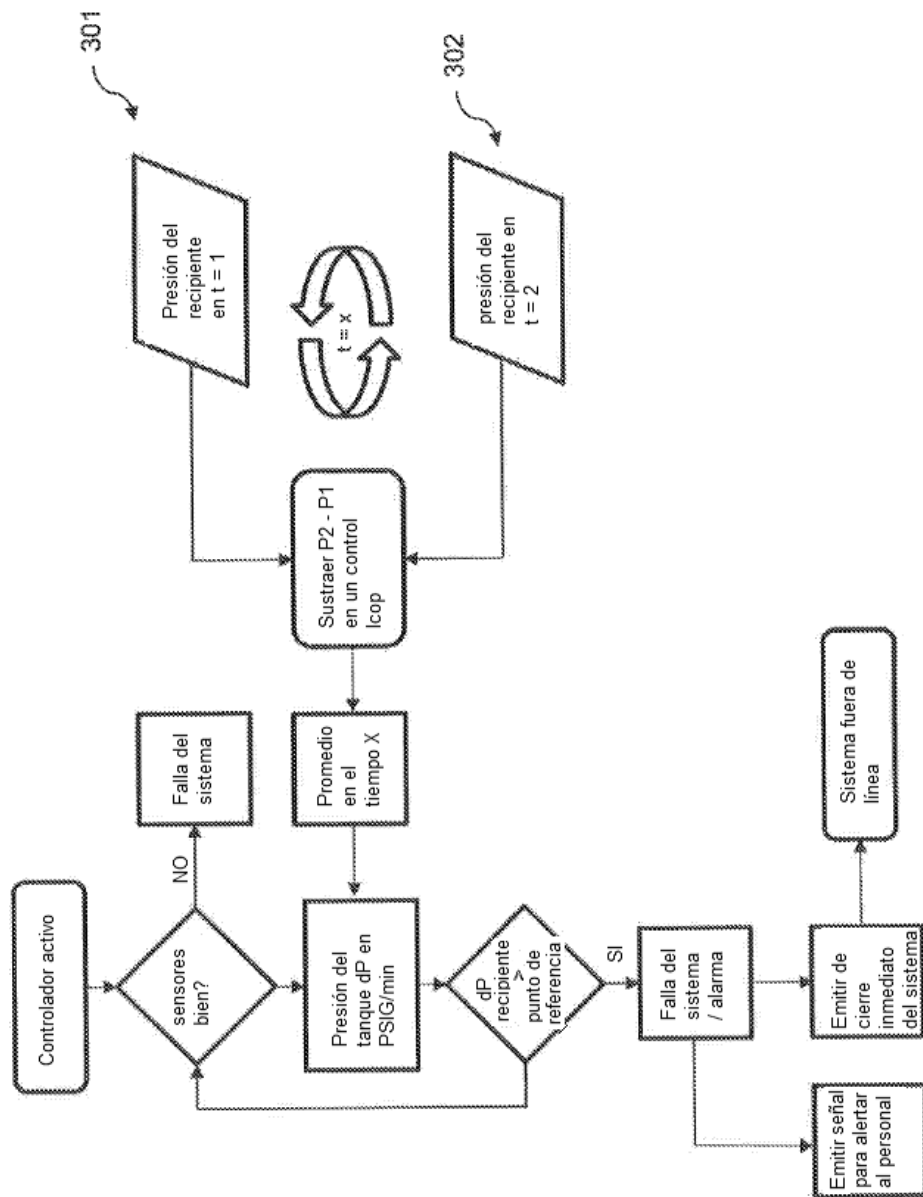


FIG. 3