

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 398 207**

51 Int. Cl.:

F17C 1/00 (2006.01)

F17C 5/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.02.2004** **E 11003251 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.12.2012** **EP 2354625**

54 Título: **Estación de abastecimiento de combustible autónoma y móvil**

30 Prioridad:

21.02.2003 US 371602

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

14.03.2013

73 Titular/es:

AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC. (100.0%)
7201 Hamilton Boulevard
Allentown, PA 18195-1501, US

72 Inventor/es:

COHEN, JOSEPH PERRY;
EICHELBERGER, DONALD PAUL;
FARESE, DAVID JOHN y
COLWELL, RICHARD L.

74 Agente/Representante:

TEMIÑO CENICEROS, Ignacio

ES 2 398 207 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

Estación de abastecimiento de combustible autónoma y móvil.

5 Antecedentes de la invención

La presente invención se refiere a un procedimiento y aparato para controlar una velocidad de transferencia de un fluido presurizado, tal como hidrógeno u otro gas comprimido, a un depósito receptor, tal como un depósito de combustible de un vehículo.

10 Aunque la invención se analiza en este documento con respecto a la transferencia de gas hidrógeno a depósitos de combustible de vehículos impulsados por hidrógeno, los expertos en la técnica reconocerán que la invención tiene otras aplicaciones. Por ejemplo, puede usarse para transferir otros fluidos presurizados que pueden o no usarse como combustibles, y los fluidos presurizados pueden transferirse a diversos tipos de depósitos receptores distintos de los depósitos de combustible de vehículos.

15 Con el creciente interés en combustibles limpios y eficientes, los fabricantes de automóviles están diseñando y fabricando vehículos impulsados por hidrógeno que son impulsados por celdas de combustible o motores de combustión interna de hidrógeno. Se está probando en estos vehículos el hidrógeno y tiene el potencial para ser el combustible de elección en el futuro.

20 Estos vehículos impulsados por hidrógeno están en fase de desarrollo y los fabricantes están realizando numerosas pruebas para mejorar los vehículos y las tecnologías relacionadas. Ya que no existe una infraestructura de abastecimiento de hidrógeno establecida in situ, algunos fabricantes están instalando estaciones de abastecimiento de hidrógeno en sitios de prueba y otros lugares. Las pruebas se están realizando a lo largo de América del Norte sin capacidad suficiente para abastecer a los vehículos de prueba lejos de las estaciones de abastecimiento de hidrógeno fijas.

25 Además, se hacen demostraciones de los vehículos impulsados por hidrógeno y se promueven en eventos públicos para aumentar la concienciación y el interés de los consumidores. Estos eventos tienen lugar en muchos lugares en los que el abastecimiento de combustible de hidrógeno es necesario pero no está disponible. Actualmente, el hidrógeno se entrega a estos eventos en forma líquida o como un producto de cilindros.

30 Se usan típicamente cilindros BX, de forma individual o en paquetes, para proporcionar hidrógeno a los clientes. Sin embargo, estos cilindros son muy pesados y difíciles de transportar (caros).

35 En vista de lo anterior, existe la necesidad de estaciones de abastecimiento de hidrógeno móviles para el abastecimiento de combustible de vehículos de prueba y vehículos de demostración en eventos públicos. Las estaciones de abastecimiento de hidrógeno móviles también pueden usarse para mantener pequeñas flotas de vehículos impulsados por hidrógeno, proporcionando combustible para asistencia de emergencia en carretera, y para abastecer de combustible celdas de combustible estacionarias o instalaciones impulsadas por hidrógeno en sitios remotos.

40 Powertech Labs and Dynatek, Inc. han sacado a la venta una estación de abastecimiento móvil que se cree que tiene una presión de suministro de 25 MPa (3.600 psig).

45 Existe un vacío en la disponibilidad de combustible para vehículos impulsados por hidrógeno. Los proyectos de demostración del gobierno y las industrias se ven obstaculizados por la incapacidad de abastecer de combustible los vehículos prototipo que se prueban y demuestran.

50 En vista de las necesidades actuales de los programas de las industrias y el gobierno, se necesita una estación de abastecimiento de hidrógeno móvil. Preferiblemente, una estación de este tipo debería ser una estación de abastecimiento móvil, autónoma y autoalimentada capaz de transferir gas de alta presión (por ejemplo, a presiones de 25 MPa (5.000 psig) o más) de una manera óptima (por ejemplo, tiempo de abastecimiento mínimo y aprovechamiento máximo del combustible transportado por la estación de abastecimiento móvil para minimizar la necesidad de recargar la estación).

55 Como se usa en este documento, el término "autónoma" significa que la energía necesaria para accionar las válvulas, transferir el gas comprimido a la máxima presión y a velocidades máximas, proporcionar una comunicación entre la estación de servicio y un vehículo a llenar, y proporcionar una comunicación entre la estación de servicio y un monitor remoto es inherente a la estación de abastecimiento de combustible. El término "autoalimentada" significa que no se necesita energía eléctrica externa u otras utilidades externas para hacer funcionar las funciones de abastecimiento de combustible de la estación de abastecimiento móvil.

Aunque la técnica anterior incluye diversos tipos de estaciones de abastecimiento móviles, ninguna de estas estaciones satisface las necesidades actuales. Por ejemplo, cada una de las patentes de Estados Unidos N° 5.983.962 y 3.257.031 desvela una estación de abastecimiento móvil. Sin embargo, estas patentes no muestran cómo transferir hidrógeno de alta presión de una manera óptima.

Otras patentes y publicaciones también desvelan estaciones de suministro móviles para almacenar y dispensar combustible, pero estas estaciones no son autoalimentadas y no están diseñadas para transferir hidrógeno de alta presión de una manera óptima. Véanse, por ejemplo, las patentes de Estados Unidos N° 5.887.567 y 5.682.750. Véanse también la solicitud de patente de Estados Unidos N° 2002/0046773 y la solicitud internacional WO 98/52677.

La patente de Estados Unidos N° 5.596.501 desvela un sistema de suministro de combustible en ubicaciones remotas y un procedimiento de funcionamiento del mismo. Sin embargo, no muestra una estación autónoma y móvil para la transferencia de hidrógeno de alta presión de una manera óptima.

La presente invención muestra la transferencia de hidrógeno de alta presión en cascada para optimizar el tiempo de abastecimiento de combustible. Aunque la técnica anterior desvela el procedimiento en cascada (por ejemplo, las patentes de Estados Unidos N° 5.673.735 y 5.810.058), no desvela la transferencia en cascada de una manera óptima (por ejemplo, para proporcionar una velocidad de llenado óptima) para su uso en una estación de abastecimiento de hidrógeno automatizada, móvil y autoalimentada.

La técnica anterior más cercana, la solicitud de patente de Estados Unidos N° 2002/0014277, desvela un aparato y un procedimiento para llenar un depósito con gas hidrógeno. Sin embargo, no trata los problemas implicados en el llenado de depósitos o recipientes de almacenamiento de diversos tamaños. Para llenar el depósito, el documento US 2002/0014277 desvela un mecanismo en el que la velocidad de llenado con hidrógeno varía durante el proceso de llenado dependiendo de la presión en el interior del depósito de hidrógeno a llenar.

Se desea tener un procedimiento y un sistema mejorados para la transferencia de un fluido presurizado, tal como gas hidrógeno, a un depósito receptor, tal como un depósito de combustible de un vehículo.

Se desea adicionalmente tener un procedimiento y un sistema para permitir el abastecimiento de combustible de vehículos impulsados por hidrógeno en áreas en las que no hay infraestructura para hidrógeno (tuberías, plantas, estaciones de llenado, etc.).

Se desea aún adicionalmente tener una estación autónoma y móvil de abastecimiento de combustible que pueda desplegarse en cualquier parte y proporcione combustible, tal como hidrógeno, para proyectos de demostración de vehículos con una base eficiente y económica.

Se desea todavía adicionalmente tener un procedimiento y un sistema automáticos para almacenar y dispensar con seguridad gas hidrógeno a diferentes presiones, haciendo posible abastecer combustible a un vehículo clasificado para 5.000 psig o más sin el uso de un compresor.

Se desea aún adicionalmente tener una estación de abastecimiento de hidrógeno móvil autoalimentada para soportar proyectos de demostración con hidrógeno y pequeñas flotas de vehículos impulsados por hidrógeno sin el uso de energía eléctrica externa u otras utilidades externas.

Se desea aún adicionalmente tener una estación de abastecimiento de hidrógeno móvil autoalimentada que también pueda usarse para proporcionar asistencia de emergencia en carretera para vehículos impulsados por hidrógeno y/o para celdas de combustible fijas o instalaciones impulsadas por hidrógeno en ubicaciones remotas.

Se desea aún adicionalmente tener un procedimiento y sistema mejorados para controlar la velocidad de transferencia de un fluido presurizado, tal como gas hidrógeno, a un depósito receptor, tal como un depósito de combustible de un vehículo.

También se desea tener un procedimiento y un sistema para transferir un fluido presurizado, tal como un combustible de hidrógeno, a una velocidad de suministro controlada a depósitos receptores de diversos tamaños, tales como depósitos de combustible de vehículos, que proporcionan un rendimiento mejor que el de la técnica anterior, y que, además, superan muchas de las dificultades y desventajas de la técnica anterior para proporcionar resultados mejores y más ventajosos.

Breve resumen de la invención

La invención es un aparato y un procedimiento para controlar una velocidad de transferencia de un fluido presurizado procedente de un recipiente de almacenamiento a un depósito receptor a través de un conducto en

comunicación fluida con el recipiente de almacenamiento y el depósito receptor.

La presente invención también incluye un aparato para controlar una velocidad de transferencia de un fluido presurizado procedente de un recipiente de almacenamiento a un depósito receptor a través de un conducto en comunicación fluida con el recipiente de almacenamiento y el depósito receptor. El aparato incluye: un medio para establecer una velocidad predeterminada del aumento de presión que se mantendrá durante un periodo de tiempo predeterminado para el llenado del depósito receptor con el fluido presurizado; y un medio para mantener la velocidad predeterminada del aumento de presión durante el llenado del depósito receptor con el fluido presurizado durante el periodo de tiempo predeterminado.

Existen varias variaciones del aparato. En una variación, el medio para establecer una velocidad predeterminada del aumento de presión incluye un ordenador/controlador para generar una señal eléctrica que puede convertirse en una señal de gas de baja presión, y un regulador para amplificar la señal de gas de baja presión y controlar una presión de llenado en el depósito receptor.

En otra variación, el medio para mantener la velocidad predeterminada del aumento de presión incluye: un dispositivo de control de la presión en comunicación con el conducto u otro conducto a través del cual el fluido presurizado fluye a una presión real antes de entrar en el depósito receptor, el dispositivo de control de la presión está adaptado para aumentar o disminuir la presión real del fluido presurizado; medios para calcular periódicamente una velocidad del aumento presión con el tiempo; y medios para ordenar al dispositivo de control de la presión disminuir la presión real cuando la velocidad del aumento de presión es mayor que la velocidad predeterminada establecida del aumento de presión, y aumentar la presión real cuando la velocidad del aumento de presión es menor que la velocidad predeterminada establecida del aumento de presión.

En otra variación más del aparato, la velocidad de transferencia está controlada en función de un porcentaje de una presión de destino designada ya conseguida o un porcentaje de una presión de destino designada a conseguir durante una porción restante del periodo de tiempo predeterminado. En una variante de esta variación, la función es lineal. En otra variante, la función es geométrica. En otra variante más, el depósito receptor tiene un estado termodinámico instantáneo en el que la función varía con el tiempo con cualquier cambio en el estado termodinámico instantáneo para proporcionar una velocidad de llenado óptima.

Otra realización es un aparato para controlar una velocidad de transferencia de un gas hidrógeno presurizado a 35 MPa (5.000 psig o mayor de al menos un recipiente de almacenamiento para un depósito de almacenamiento de un vehículo impulsado por hidrógeno a través de un conducto en comunicación fluida con el al menos un recipiente de almacenamiento y el depósito de almacenamiento del vehículo impulsado por hidrógeno. Esta realización incluye: un medio para establecer una velocidad predeterminada del aumento de presión que se mantendrá durante un periodo de tiempo predeterminado para el llenado del depósito de almacenamiento de combustible del vehículo impulsado por hidrógeno con el gas hidrógeno presurizado, que comprende un ordenador/controlador para generar una señal eléctrica que puede convertirse en una señal de gas de baja presión, y un regulador para amplificar la señal de gas de baja presión y controlar una presión de llenado en el depósito receptor; un medio para mantener la velocidad predeterminada del aumento de presión durante el llenado del depósito de almacenamiento de combustible del vehículo impulsado por hidrógeno con el gas hidrógeno presurizado durante el periodo de tiempo predeterminado, que comprende un dispositivo de control de la presión en comunicación con el conducto u otro conducto a través del cual el gas hidrógeno presurizado fluye a una presión real antes de entrar en el depósito de almacenamiento de combustible del vehículo impulsado por hidrógeno, el dispositivo de control de la presión adaptado para aumentar o disminuir la presión real del gas hidrógeno presurizado, medios para calcular periódicamente una velocidad del aumento presión con el tiempo, y medios para ordenar al dispositivo de control de la presión disminuir la presión real cuando la velocidad del aumento de presión es mayor que la velocidad predeterminada establecida del aumento de presión, y aumentar la presión real cuando la velocidad del aumento de presión es menor que la velocidad predeterminada establecida del aumento de presión, donde la velocidad de transferencia está controlada en función de un porcentaje de una presión de destino designada ya conseguida o un porcentaje de una presión de destino designada a conseguir durante una porción restante del periodo de tiempo predeterminado.

La presente invención también incluye un procedimiento para controlar una velocidad de transferencia de un fluido presurizado procedente de un recipiente de almacenamiento a un depósito receptor a través de un conducto en comunicación fluida con el recipiente de almacenamiento y el depósito receptor. El procedimiento incluye dos etapas. La primera etapa es establecer una velocidad predeterminada del aumento de presión a mantener durante un periodo de tiempo predeterminado para el llenado del depósito receptor con el fluido presurizado. La segunda etapa es mantener la velocidad predeterminada del aumento de presión durante el llenado del depósito receptor con el fluido presurizado durante el periodo de tiempo predeterminado.

Existen varias variaciones del procedimiento para controlar la velocidad de transferencia del fluido presurizado. En una variante, la etapa de establecer una velocidad predeterminada del aumento de presión incluye múltiples sub-etapas. La primera sub-etapa es generar una señal eléctrica que puede convertirse en una señal de gas de baja

presión. La segunda sub-etapa es amplificar la señal de gas de baja presión. La tercera sub-etapa es controlar una presión de llenado en el depósito receptor.

En otra variación, la etapa de mantener la velocidad predeterminada del aumento de presión incluye múltiples sub-etapas. La primera sub-etapa es proporcionar un dispositivo de control de la presión en comunicación con el conducto u otro conducto a través del cual el fluido presurizado fluye a una presión real antes de entrar en el depósito receptor, el dispositivo de control de la presión está adaptado para aumentar o disminuir la presión real del fluido presurizado. La segunda sub-etapa es calcular periódicamente una velocidad del aumento de presión con el tiempo. La tercera sub-etapa es ordenar al dispositivo de control de la presión disminuir la presión real cuando la velocidad del aumento de la presión es mayor que la velocidad predeterminada establecida del aumento de presión, y aumentar la presión real cuando la velocidad del aumento de presión es menor que la velocidad predeterminada establecida del aumento de presión.

En otra variación del procedimiento, la velocidad de transferencia está controlada en función de un porcentaje de una presión objetivo designada ya conseguida, o un porcentaje de una presión de destino designada a conseguir durante una porción restante del periodo de tiempo predeterminado. En una variante de esta variación, la función es lineal. En otra variante, la función es geométrica. En otra variante más, el depósito receptor tiene un estado termodinámico instantáneo y la función varía con el tiempo con cualquier cambio en el estado termodinámico instantáneo para proporcionar una velocidad de llenado óptima.

Otra realización es un procedimiento para controlar una velocidad de transferencia de un gas hidrógeno presurizado a 35 MPa (5.000 psig) o superior de al menos un recipiente de almacenamiento para un depósito de almacenamiento de combustible del vehículo impulsado por hidrógeno a través de un conducto en comunicación fluida con el al menos un recipiente de almacenamiento y el depósito de almacenamiento de combustible del vehículo impulsado por hidrógeno. Esta realización incluye múltiples etapas. La primera etapa es establecer una velocidad predeterminada del aumento de presión a mantener durante un periodo de tiempo predeterminado para el llenado del depósito de almacenamiento de combustible del vehículo impulsado por hidrógeno con el gas hidrógeno presurizado. Esta primera etapa incluye varias sub-etapas. La primera sub-etapa es generar una señal eléctrica que puede convertirse en una señal de gas de baja presión. La segunda sub-etapa es amplificar la señal de gas de baja presión. La tercera sub-etapa es controlar una presión de llenado en el depósito de almacenamiento de combustible del vehículo impulsado por hidrógeno. La segunda etapa del procedimiento es mantener la velocidad predeterminada del aumento de presión durante el llenado del depósito de almacenamiento de combustible del vehículo impulsado por hidrógeno con el gas hidrógeno presurizado durante el periodo de tiempo predeterminado. Esta segunda etapa incluye varias sub-etapas. La primera sub-etapa es proporcionar un dispositivo de control de la presión en comunicación con el conducto u otro conducto a través del cual fluye el gas hidrógeno presurizado a una presión real antes de entrar en el depósito de almacenamiento de combustible del vehículo impulsado por hidrógeno, el dispositivo de control de la presión adaptado para aumentar o disminuir la presión real del gas hidrógeno presurizado. La segunda sub-etapa es calcular periódicamente una velocidad del aumento de presión con el tiempo. La tercera sub-etapa es ordenar al dispositivo de control de la presión disminuir la presión real cuando la velocidad del aumento de presión es mayor que la velocidad predeterminada establecida del aumento de presión, y aumentar la presión real cuando la velocidad del aumento de presión es menor que la velocidad predeterminada del aumento de presión. En esta realización, la velocidad de transferencia está controlada en función de un porcentaje de una presión de destino designada ya conseguida, o un porcentaje de una presión de destino designada a conseguir durante una porción restante del periodo de tiempo predeterminado.

Breve descripción de los dibujos

La invención se describirá a modo de ejemplo con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 es un diagrama esquemático que ilustra una vista en alzado de una realización de una estación autónoma y móvil de abastecimiento de combustible;
la figura 2 es un diagrama esquemático que ilustra una vista en planta de una realización de una estación autónoma y móvil de abastecimiento de combustible;
la figura 3 es una ilustración esquemática de una vista de frente de una realización de una estación autónoma y móvil de abastecimiento de combustible;
la figura 4 es un diagrama esquemático que ilustra algunas de las tuberías e instrumentos en comunicación con un controlador lógico programable (PLC) en una realización de la presente invención;
las figuras 5A-5C ilustran un diagrama de flujo de procesos para una realización de la presente invención;
la figura 6 es un diagrama de flujo de bloques lógico que ilustra la operación de recarga para una realización de una estación autónoma y móvil de abastecimiento de combustible;
la figura 7 es un diagrama de flujo de bloques lógico que ilustra las etapas preliminares para iniciar el llenado para una realización de una estación autónoma y móvil de abastecimiento de combustible; y
las figuras 8A-8C ilustran un diagrama de flujo de bloques lógico de un llenado sin comunicación para una realización de una estación autónoma y móvil de abastecimiento de combustible.

Las estaciones autónomas y móviles de abastecimiento de combustible ilustradas en las figuras no forman parte de la presente invención.

Descripción detallada de la invención

No es parte de la presente invención una estación autónoma, autoalimentada y móvil de abastecimiento de combustible que satisfaga una necesidad creciente en la construcción de una infraestructura de hidrógeno. La estación de servicio aprovecha los beneficios del llenado en cascada para optimizar el uso de las presiones disponibles y el volumen para proporcionar una velocidad óptima de llenado del depósito de combustible de un vehículo impulsado por hidrógeno. Como la estación de servicio está autoalimentada, su transferencia de combustible al vehículo no necesita ninguna compresión adicional y, por lo tanto, no requiere ninguna conexión a energía eléctrica externa u otros servicios externos.

El llenado automático del depósito de un vehículo por la estación de servicio se proporciona por el uso de un PLC de control de válvulas solenoidales enclavadas. Las válvulas se accionan por una porción del inventario de gases de hidrógeno o por un gas regulado de un cilindro de alta presión dedicado, que es más seguro que la operación manual de las válvulas. La potencia requerida para operar el PLC se proporciona por una batería de ciclo profundo, que se recarga por celdas fotovoltaicas de techo, generadores regenerativos (eje) o una celda de combustible relativamente pequeña alimentada por el inventario de hidrógeno del sistema.

Cuando el inventario de hidrógeno disminuye hasta una cantidad en el que es necesario la recarga del sistema, la unidad comunica (de forma inalámbrica) con una instalación de vigilancia, haciendo que alguien sepa que es el momento de recuperar la unidad para su recarga. El uso de materiales compuestos en los recipientes de almacenamiento de la estación de servicio permite el transporte de la estación a cualquier región por vehículos ligeros (<4.536 kg (<10.000 libras)), y, por lo tanto, no requiere ninguna licencia especial.

La capacidad de proporcionar combustible en una plataforma móvil permite la extensión de proyectos de demostración de un vehículo impulsado por hidrógeno con un pequeño coste relacionado con el repostaje. La estación de abastecimiento de hidrógeno móvil autónoma autoalimentada se puede desplegar en cualquier lugar. El único requisito es una superficie plana para estacionar. No se requiere ningún cableado eléctrico. No se requiere ninguna construcción en el lugar, eliminando obstáculos económicos para el desarrollo y demostraciones adicionales.

Una realización de la invención se ilustra en las figuras 1-9. Haciendo referencia a las figuras 1, 2 y 3, la estación autónoma y móvil de abastecimiento de combustible 20 incluye una plataforma móvil 14, un conjunto de recipientes de almacenamiento 1, un sistema de soporte del recipiente compuesto 2, un sistema de protección de sobrepresión del recipiente compuesto 3, válvulas de accionamiento 4, un colector de gas 5, un sistema de ventilación de gas inflamable 6, un panel del dispensador que incluye un PLC 7 montado en una pared de división 26, una manguera de combustible 8 y una tobera 9, celdas fotovoltaicas de techo 10 y una batería 11 para el almacenamiento eléctrico.

La estación de servicio 20 proporciona un abastecimiento móvil a través de un remolque remolcable (mostrado en líneas fantasma) que tienen un peso al vacío del vehículo en bruto menor de 4.536 kg (10.000 libras). Esta limitación de peso permite el remolque por un vehículo comercial de un solo eje (por ejemplo, camioneta de 3/4 toneladas). Otras opciones incluyen, pero sin limitación, sistemas montados sobre un ferrocarril de carga, a bordo de un barco o en un camión.

Preferiblemente, los recipientes de almacenamiento 1 son recipientes compuestos recubiertos con fibra de carbono. También pueden usarse otros recipientes de gran capacidad y ligeros. Se usan recipientes ligeros porque los recipientes de acero convencional o de acero envuelto en fleje tienen masas relativamente mayores que no son propicias para el transporte por carretera por vehículos ligeros (por ejemplo, camioneta de 3/4 toneladas). Los recipientes envueltos de fibra carbono tienen diferentes ventajas, ya que son muy rígidos (alto módulo), muy fuertes y no experimentan muchos de los mecanismos de fractura (por ejemplo, absorción de hidrógeno), como los recipientes de acero.

Se incluyen al menos dos recipientes de almacenamiento 1 en el conjunto de recipientes de almacenamiento de manera que el abastecimiento de combustible pueda darse por presiones en cascada, permitiendo así el desarrollo de presiones diferenciales lo más altas posibles, aumentando de este modo los caudales de gas durante el llenado del depósito del vehículo, y minimizando el tiempo requerido para el llenado del depósito del vehículo. Se usan nueve recipientes de almacenamiento en la realización ilustrada en las figuras 1-3.

Los recipientes de almacenamiento 1 se soportan por un sistema de soporte 2 un bastidor ligero (no mostrado) fabricado de una aleación de aluminio, un material compuesto u otro material ligero de alta resistencia. El bastidor está construido para soportar un múltiplo de fuerzas G, como se requiere por las normas del DOT. El bastidor de soporte puede fijar los recipientes de almacenamiento mediante el montaje de correas o soportando los recipientes

de almacenamiento desde el empalme "de resalte" final. El bastidor de soporte también está diseñado para proteger las válvulas (opuestas a la parte trasera del remolque) de la cizalladura, en el caso de que la estación de abastecimiento móvil 20 esté involucrada en una colisión con un objeto fijo o un vehículo en movimiento. También está diseñado para permitir que la flotación final delantera quede relativamente libre en el sentido longitudinal, mitigando así los daños causados por la expansión y la contracción debidas a los cambios de temperatura. La extensión del bastidor ligero de alta resistencia más allá de las válvulas actúa para colocar los cuerpos de válvula en la estructura principal del bastidor, protegiendo así las válvulas de un impacto y las cargas de cizalladura.

La figura 5 ilustra un diagrama de flujo de procesos para una realización de la invención. A continuación, se proporciona un análisis acerca de los instrumentos, válvulas, etc. La figura 4 ilustra algunos de los instrumentos y válvulas relacionados con un recipiente de almacenamiento 1 y las líneas por las que se transmiten las señales entre el PLC y los instrumentos y las válvulas.

Haciendo referencia a la figura 5 (5A-5C), un primer transmisor de presión 112 mide directamente la presión en el colector de alta presión 5, y mide o refleja indirectamente la presión en cualquiera de los recipientes de almacenamiento (V1-V9) cuando la válvula de accionamiento asociada 4 se abre para un recipiente de almacenamiento. La caída de presión que tiene lugar en una primera válvula de control de la presión 110 es mucho mayor que en el resto del sistema, haciendo válida esta suposición de la medición indirecta.

Un segundo transmisor de presión 114 mide directamente la presión en el conjunto del colector 5 y la manguera 8 corriente abajo de la válvula de control de la presión 110, y mide o refleja indirectamente la presión del depósito del vehículo (no mostrado).

La válvula de control de la presión 110 se usa para regular el caudal de hidrógeno en el depósito del vehículo. Caudales excesivamente altos (y, por lo tanto, altas tasas de presión) en el depósito del vehículo generan un calor que puede dañar el revestimiento del depósito. Por lo tanto, la válvula de control de la presión mantiene entrada de calor manejable en el depósito del vehículo manteniendo velocidades aceptables del aumento de la presión.

Un transmisor de temperatura 116 se coloca en uno de los recipientes de almacenamiento 1, tal como un recipiente de almacenamiento V4, como se muestra en la figura 5. El transmisor de temperatura puede proporcionar los datos de temperatura usados en ecuaciones de estado para calcular la masa y la densidad. Un dispositivo de medición de la temperatura 115 proporciona los datos de la temperatura para el hidrógeno en el depósito del vehículo.

Se incluyen diversas válvulas en el sistema. Una válvula de retención 101 en cada recipiente de almacenamiento (V1-V9) inhibe un flujo inverso del gas. Una primera válvula de mano 131 es una válvula de accionamiento manual para el estado encendido/apagado. Una válvula solenoide de accionamiento eléctrico 102 relacionada con cada recipiente de almacenamiento presuriza o despresuriza una válvula de accionamiento accionada con gas 4 en cada recipiente de almacenamiento. Se incluyen diversas válvulas de retención 104 y válvulas de mano 136 mostradas en la figura 5 para la seguridad y el control de los flujos en el sistema.

La estación de abastecimiento móvil 20 se llena de la siguiente manera. En primer lugar, el PLC solicita una señal desde el transmisor de presión 112 para determinar si la presión residual está por encima de X kPa (X psig), verificando así que hay una presión positiva y que no hay una entrada de aire en el sistema. Después, el PLC energiza la válvula solenoide 102 para el recipiente de almacenamiento V1, permitiendo que la presión del gas del instrumento llene la línea de gas del instrumento 24, donde la presión del gas de servicio de la línea del dispositivo de alivio de presión 123 en el recipiente de almacenamiento V1 se regula en una segunda válvula de control de la presión 125 bajando hasta 650 kPa (80 psig). Después, el hidrógeno a 650 kPa (80 psig) fluye hasta la válvula de accionamiento 4 para el recipiente de almacenamiento V1 haciendo que la válvula de accionamiento se abra. Después de abrirse, el gas de hidrógeno de la línea de llenado 129 (conectada a una fuente de hidrógeno a través de un conector de llenado 23) entra en el colector de alta presión 5 a través de una segunda válvula de mano 133 y fluye hasta el recipiente de almacenamiento V1 hasta que el transmisor de presión 112 reza 48 MPa (7.000 psig). Cuando el transmisor de presión 112 alcanza 48 MPa (7.000 psig), la presión energiza la válvula solenoide 102 para el recipiente V2, provocando una compensación entre el recipiente de almacenamiento V1 y el recipiente de almacenamiento V2, y después la presurización de ambos recipientes vuelve a 48 MPa (7.000 psig).

Después, el proceso se repite. En este momento, la válvula solenoide 102 para el recipiente de almacenamiento V3 se abren haciendo que la válvula de accionamiento 4 para el recipiente de almacenamiento V3 se abra. Después, tiene lugar la compensación entre el recipiente de almacenamiento V1, el recipiente de almacenamiento V2 y el recipiente de almacenamiento V3. Este proceso se repite hasta que el último recipiente de almacenamiento V9 se llena a 48 MPa (7.000 psig).

Cuando el sistema alcanza 48 MPa (7.000 psig) con todas las válvulas de accionamiento 4 para todos los recipientes de almacenamiento (V1-V9) abiertas, el PLC ordena desenergizar las válvulas solenoides 102 para todos los recipientes V1-V9, cerrando así las válvulas de accionamiento 4 para cada uno de los recipientes V1-V9.

Cuando el sistema está a pleno rendimiento, una tercera válvula de mano 135 se cierra de forma manual. La válvula de mano 131 se cierra, completando así el aislamiento de cada uno de los recipientes de almacenamiento (V1-V9) del entorno.

5 Se incorporan varias medidas de seguridad en el sistema. Por ejemplo, se proporcionan dispositivos de alivio de presión activados por la temperatura (12A, 12B, 12C) en cada recipiente de almacenamiento (V1-V9). Si la temperatura local aumenta por encima de 103 °C (217 °F), un tapón de fusión interna se licua, permitiendo el movimiento del tapón, creando una comunicación entre el contenido del recipiente (hidrógeno) del recipiente de almacenamiento y el sistema de ventilación.

10 Además, cada recipiente de almacenamiento 1 tiene una línea de ventilación en el bonete de su válvula de accionamiento accionada con gas 4. Si las partes internas de la válvula se dañan, el gas de escape se canaliza al sistema de ventilación 6 en lugar de escaparse por el compartimiento del recipiente del remolque.

15 El dispositivo de alivio de presión de seguridad 139 es parte del sistema de protección contra sobrepresión 3, que protege al sistema de una sobrepresurización excesiva. Este dispositivo se configura en aproximadamente 44 MPa (6.350 psig) y se elevará al llegar la presión del sistema a este valor, permitiendo así que el hidrógeno se ventile con seguridad en el sistema de ventilación dedicado 6. El "punto" 150 en la descarga de cada dispositivo de alivio de presión de seguridad y la válvula de retención 101 indica que la salida o la válvula del dispositivo está en comunicación con un colector de ventilación del sistema de ventilación.

20 Se proporcionan detectores térmicos 117-120 en el caso de altas presiones (por ejemplo, debido a un incendio) en el entorno clasificado. Tras recibir una señal de los detectores térmicos, el PLC apagará el sistema.

25 A continuación, se expone el funcionamiento de la estación de abastecimiento móvil 20 para llenar un vehículo (no mostrado) para la realización mostrada en la figura 5. La válvula de mano 131 se abre para dejar que la presión del gas se acumule, lo que puede usarse para accionar las válvulas de accionamiento 4 para cada uno de los recipientes (V1-V9) y la válvula de control de la presión 110. El PLC determina si estos permisos están en su lugar. Si es así, el proceso de llenado continúa.

30 La válvula de control de la presión 110 se abre a 48 MPa (7.000 psig). Una señal a la válvula solenoide 102 para el recipiente de almacenamiento V1 energiza la válvula solenoide durante aproximadamente un segundo, permitiendo así que el hidrógeno del instrumento regulado a 650 kPa (80 psig) accione la válvula de accionamiento 4 para el recipiente de almacenamiento V1 durante aproximadamente un segundo. El gas hidrógeno del recipiente de almacenamiento V1 presuriza el conjunto del colector 5 y la manguera 8 durante aproximadamente un segundo.

35 Después, el PLC envía una orden para desenergizar la válvula solenoide 102 para el recipiente de almacenamiento V1, cerrando así la válvula de accionamiento 4 para el recipiente de almacenamiento V1.

40 El PLC repite el proceso con la válvula solenoide 102 y la válvula de accionamiento 4 para el recipiente V2, presurizando el conjunto del colector 5 y la manguera 8 a la presión más alta en la etapa en cascada para el recipiente de almacenamiento V2. En cada etapa, la presión medida en el transmisor de presión 112 se almacena en el PLC.

45 El proceso se repite hasta que el recipiente de almacenamiento V9 se ha compensado con el colector 5. Después, la válvula de accionamiento 4 para el recipiente de almacenamiento V9 se cierra. Estas etapas validan la seguridad del sistema, proporcionan datos para evaluar la masa del hidrógeno en cada recipiente de almacenamiento, y presurizan el conjunto del colector 5 y la manguera 8 hasta una presión lo suficientemente alta que dará lugar a la compensación con el vehículo (tras la conexión) a partir de un pequeño volumen hasta un gran volumen (rápidamente).

50 Después, la conexión de la manguera 8 con el vehículo se hace a través de la conexión de la manguera 22. El colector 5 y la manguera 8 se despresurizan, compensándose con el depósito del vehículo a un valor estable. El PLC controla las presiones en el transmisor de presión 112 y el transmisor de presión 114 asegurándose de que no haya fugas.

55 Después, el PLC envía una señal a la válvula solenoide 102 para el recipiente de almacenamiento V1 para accionar la válvula de accionamiento 4 para el recipiente de almacenamiento V1, permitiendo al control del recipiente de almacenamiento V1 despresurizar el depósito del vehículo. Cuando la presión diferencial entre el recipiente abierto (medida en el transmisor de presión 112) y el vehículo (medida en el transmisor de presión 114) es menor de 1,5 MPa (200 psig), el PLC desenergiza la válvula solenoide 102 para el recipiente de almacenamiento V1, cerrando la

60 válvula de accionamiento 4 para el recipiente de almacenamiento V1.

Después, el PLC ordena que la válvula solenoide 102 para el recipiente de almacenamiento V2 se abra, repitiendo el proceso, excepto a una presión superior. Tras la finalización de esta etapa, la presión de compensación estará a un

nivel superior que en la etapa anterior. El proceso de apertura y cierre de las válvulas sucesivas se repite hasta que se completa el llenado (densidad $>240 \text{ kg/m}^3$ ($>1,5$ libras por pie cúbico)) o la presión en el recipiente V9 y el depósito del vehículo se han compensado a la mayor presión posible.

5 Como se muestra en la figura 5A, los recipientes de almacenamiento están protegidos contra la sobrepresurización de dos formas: por un dispositivo de alivio de presión de seguridad 139 en el sistema de protección contra sobrepresión del recipiente 3, y por el conjunto de dispositivos de alivio de presión termoactivados (12A, 12B y 12C).

10 El dispositivo de alivio de presión de seguridad 139 está en comunicación con el colector de alta presión 5, que está en comunicación directa con las válvulas de accionamiento 4 en cada uno de los recipientes de almacenamiento (V1-V9). La descarga del dispositivo de alivio de presión está en comunicación con el sistema de ventilación de gas inflamable 6, que sale del remolque a través del techo 15. Como alternativa, el techo puede estar hecho de un material permeable al gas, reduciendo así la necesidad de usar la ventilación del techo.

15 Los dispositivos de alivio de presión termoactivados (12A, 12B, 12C) se fijan a cada extremo de, y en el centro de, cada recipiente compuesto de almacenamiento 1. Cada dispositivo de alivio de presión (PRD) está diseñado para descargar el contenido de su recipiente de almacenamiento asociado cuando la temperatura aumenta por encima de un límite predeterminado (por ejemplo, 103°C (217°F)), una situación que podría ocurrir si existe un incendio. El tapón eutéctico de baja fusión del PRD no está en la trayectoria del gas y, por lo tanto, no puede solidificarse de nuevo ni bloquear la trayectoria del gas. Cada PRD está en comunicación directa con el contenido de hidrógeno de alta presión de su recipiente de almacenamiento asociado. La descarga de cada PRD se expulsa al sistema de ventilación de gas inflamable 6, que sale del techo 15 del remolque.

25 El sistema de tuberías del sistema de ventilación de gas inflamable 6 está diseñado de tal forma que haya una contrapresión limitada en el sistema durante un evento de control (por ejemplo, la apertura de un PRD de seguridad 139, expulsando hidrógeno a 48 MPa (7.000 psig)). También está diseñado para ventilar en sentido vertical y para impedir una detonación en el interior de la tubería de ventilación no purgada.

30 En una realización alternativa, el PRD central 12B puede eliminarse si los espacios entre los recipientes en el interior del banco de recipientes compuestos de almacenamiento 1 está cargado/relleno con un material de aislamiento (por ejemplo, perlita, lana de vidrio). El uso de materiales de aislamiento y/o otros materiales de aislamiento de llenado de huecos, incluyendo revestimientos intumescentes, inhibe la incidencia de las llamas sobre los recipientes compuestos de almacenamiento 1 en el caso de que tenga lugar una fuga. Además, la eliminación del PRD central 12B y el conducto asociado reduce la probabilidad de una fuga de hidrógeno reduciendo el número de racores y la longitud del tubo/tubería bajo una presión constante de hidrógeno. En esta realización, la reducción de la probabilidad de fugas reduciendo el número de PRD, acoplados con la inhibición de la incidencia de las llamas en el centro del recipiente por el uso de aislamiento con perlita, aumenta el margen de seguridad para la unidad.

40 El interior de la estación de servicio 20 se considera un área clasificada, con la excepción de un espacio de almacenamiento frontal. Una pared de aislamiento 13 impide la migración del gas hidrógeno a esta zona. Todos los componentes eléctricos en el área clasificada son antichispas y cumplen los requisitos de la NF-Pa de clase 1 Div. 2 grupo B. La pared de aislamiento 13 separa el área clasificada 18 del área no clasificada 19, permitiendo así el uso de componentes antichispas, siempre que los componentes estén a al menos 15 pies de distancia de la ventilación montada en el techo del sistema de ventilación de gas 6. La pared de aislamiento está sellada, evitando así la entrada de hidrógeno de los recipientes de almacenamiento 1.

50 Un sistema eléctrico de 12 voltios alimenta las luces de cruce del remolque y energiza el panel del dispensador que incluye el PLC 7. El PLC es responsable de controlar la transferencia de gas de hidrógeno de alta presión al depósito de almacenamiento de combustible de un vehículo impulsado por hidrógeno, y de controlar la recarga de los recipientes de almacenamiento 1 con hidrógeno. El PLC realiza esta función activando las válvulas solenoides 102 que, a su vez, permiten la presurización de las líneas 28 alimentando las válvulas de accionamiento 4 en cada uno de los recipientes compuestos de almacenamiento 1. Las válvulas de accionamiento se energizan por hidrógeno suministrado desde las líneas del PRD de los recipientes compuestos de almacenamiento, pero regulado a 650 kPa (80 psig).

55 El PLC se alimenta por una batería de ciclo profundo de 12 voltios 11 que se sitúa en el área no clasificada 19 cerca de la parte delantera del remolque. El sistema autónomo proporciona su propio mecanismo para mantener la carga en la batería, preferiblemente un panel de celdas fotovoltaicas 10 montadas en el exterior sobre el techo 15 del remolque. La salida de 15 voltios de esta panel está conectada por cables a la batería, manteniéndola cargada. Opcionalmente, puede utilizarse una celda de combustible para la producción de electricidad. La celda de combustible puede recargar la batería, o puede alimentar el propio PLC. (Pueden usarse otros medios, tales como generación por turbina eólica o el sistema de energía del vehículo impulsado por hidrógeno "a llenar" para mantener la carga de la batería y energizar el PLC).

Para usar la estación de abastecimiento móvil 20, la válvula de mano 131 debe abrirse para suministrar presión de gas a las válvulas solenoides 102. El hidrógeno de alta presión se reduce a 80-90 psig por la válvula de control de la presión 110 para el accionamiento de las válvulas solenoides en cada uno de los recipientes de almacenamiento (V1-V9). Esta acción se realiza una vez que la estación de abastecimiento móvil se ha desconectado del vehículo de remolque. El gas de accionamiento puede ser hidrógeno de uno de los recipientes de almacenamiento, o puede ser hidrógeno o cualquier gas inerte (por ejemplo, nitrógeno) de un cilindro adicional 141 dedicado a esta tarea. En cualquier caso, el gas se transfiere a las válvulas de accionamiento 4 a través de las líneas del instrumento 144 mostradas en las figuras 5. Las líneas del instrumento se ventilan en 145. Como alternativa, pueden usarse válvulas solenoides eléctricas, con la condición de que lleven una denominación NEC de Clase 1, Div. 1 o de la Clase 1 Div. 2, grupo B.

La figura 5 ilustra tanto el accionamiento del nitrógeno opcional 16 como el accionamiento del hidrógeno opcional o alternativo 29. El accionamiento de nitrógeno incluye un cilindro 142 de gas nitrógeno que está conectado a la línea del instrumento 24 a través de un conector 146.

El accionamiento de hidrógeno alternativo 29 incluye un cilindro 141, que está conectado a las líneas principales para el hidrógeno del instrumento a través de la línea 148. El sistema de accionamiento de hidrógeno incluye una botella de compensación 147 y diversas válvulas de retención 149 y válvulas de mano 150 para la seguridad y control de los flujos en el sistema.

Durante el llenado de un depósito de combustible de un vehículo impulsado por hidrógeno, se verifica el cable de comunicación 17 conectado al vehículo impulsado por hidrógeno, actuando como un permisivo que permite que comience la siguiente etapa. Las comunicaciones pueden ser inalámbricas (por ejemplo, por infrarrojos, radiofrecuencia, etc.). Se hace una conexión a tierra entre la estación autónoma y móvil de abastecimiento de combustible 20 y el vehículo impulsado por hidrógeno usando un cable apropiado (no mostrado). Esto impide una descarga estática, que podría servir como una fuente potencial de ignición.

Antes de iniciar un llenado presionando un botón de inicio, introducir un número de identificación personal (PIN), u otro proceso, el sistema lee los datos recibidos del PLC. El PLC determina la presión en cada uno de los recipientes de almacenamiento 1 evaluando la señal recibida de un monitor de gas combustible (no mostrado) en el área clasificada 18. Si en este momento, o cualquier momento durante el llenado, se detecta que la concentración de hidrógeno es superior al 25% del límite inferior de inflamabilidad (LFL) para el hidrógeno, el sistema se apaga. Después, el programa pedirá al operario verificar que el vehículo impulsado por hidrógeno a llenar (el "vehículo lleno") se ha apagado.

Para permitir que el sistema funcione, la válvula de mano 131 que permite al hidrógeno de alta presión regulado energizar las válvulas de accionamiento 4 debe estar abierta. Tras iniciar el proceso de llenado, después el PLC envía una señal para desenergizar cada una de las válvulas solenoides 102 que controlan cada una de las válvulas de accionamiento 4 en cada uno de los recipientes de almacenamiento (V1-V9). Se resetea un contador, y una consulta solicita al operario su PIN. Se da tres oportunidades al operario para introducir un PIN correcto. Después de introducir tres veces un PIN erróneo, el sistema se apagará, evitando el inicio de un llenado. Tras introducir un PIN correcto, el programa pedirá al operario levantar o girar una palanca, conectándolo a tierra con la estación de servicio 20. (La puesta a tierra también puede tener lugar cuando el operario abre la puerta trasera 21 para manejar la unidad).

Además, en este momento el PLC explora el sistema para buscar señales del vehículo lleno. Si no se recibe ninguna, entonces el programa comienza con un llenado "sin comunicación". Si se reciben señales del vehículo lleno, entonces tiene lugar un llenado en "comunicación".

En un llenado "sin comunicación", se da a la válvula de control de la presión 110 en el colector de alta presión 5 una orden para regular el gas a la presión de llenado máxima. Después, el PLC ordena abrir secuencialmente cada una de las válvulas de accionamiento 4 durante un periodo de aproximadamente un segundo. En cada una de estas etapas, las temperaturas del gas de los recipientes de almacenamiento y la presión de equilibrio en el colector 5 y la manguera 8 se registran y se almacenan por el PLC. Los valores almacenados se manipulan adicionalmente mediante el uso de los segundos coeficientes virales de hidrógeno para producir la masa del hidrógeno en cada recipiente de almacenamiento (V1-V9). Cuando se ha ciclado la última válvula de accionamiento en el último recipiente de almacenamiento V9, se calcula la masa de hidrógeno total del sistema.

Después, la tobera de servicio 9 se fija al vehículo de llenado, asegurándose de que la conexión integral de "doble cierre y venteo" está firmemente en su lugar y en la posición cerrada. El PLC detecta el estado de esta conexión controlando la respuesta a la presión del colector 5/manguera 8 y el sistema del depósito del vehículo. La verificación de la estabilización de la presión proporciona enclavamientos de seguridad para fallos de la manguera o fugas en el sistema. Si no se equilibra la presión del sistema, como se controla por el transmisor de presión 112, entonces el sistema se apaga. Cuando el sistema se equilibra, los valores de presión y temperatura del gas (como

se miden por el detector 116) se manipulan matemáticamente para determinar la masa en el depósito del vehículo.

El tiempo requerido para llenar el depósito del vehículo se calcula en base a la diferencia entre la presión de equilibrio del colector 5/manguera 8 y la presión final de llenado requerida, y en base a la temperatura ambiente (medida por el indicador de temperatura 115). Para mitigar el recalentamiento del depósito del vehículo, se selecciona una de tres velocidades de llenado. Si la temperatura ambiente es menor de 15 °C, la velocidad de llenado seleccionada es de 15 bar/min. Si la temperatura ambiente está entre 15 °C y 30 °C, entonces la velocidad de llenado seleccionada es de 7,5 bar/min. Si la temperatura ambiente está por encima de 30 °C, entonces la velocidad de llenado seleccionada es de 5 bar/min. La válvula de control de la presión accionada se controla por el PLC para proporcionar la velocidad dependiente de la temperatura del aumento de presión como una función lineal del tiempo como se determinó anteriormente por diferencias en el colector y la presión final de llenado y la temperatura ambiente.

La diferencia entre el llenado sin comunicación y un llenado en comunicación es doble. En primer lugar, las señales de comunicación del depósito de combustible del vehículo impulsado por hidrógeno proporcionan al PLC de la estación de abastecimiento móvil 20 señales de presión y temperatura instantáneas en lugar de depender del transmisor de presión de la manguera/colector (PT-114) y los valores de la temperatura ambiente. En segundo lugar, la sub-rutina de control I/P proporciona una velocidad de desnivel de la presión mucho mayor en el llenado en comunicación en comparación con el llenado sin comunicación. La velocidad de desnivel se mantiene en valores mucho mayores hasta que la temperatura medida en el depósito de combustible del vehículo impulsado por hidrógeno alcanza un punto de referencia alto. Después de alcanzar esta alta temperatura, el controlador I/P ordena pausar de forma temporal la válvula de control de la presión 110 en el nivel de presión instantánea. La pausa permanece en efecto hasta que la temperatura instantánea en el depósito de combustible de un vehículo cae hasta un valor de 5 °C por debajo del punto de referencia, momento en el que la velocidad de desnivel de la presión aumenta, volviendo a su alta velocidad de llenado anterior.

La velocidad del aumento de la presión debe habilitarse por un aumento de la presión en el colector 5 para mantener significativamente alto el diferencial de presión entre el colector (como se mide por el transmisor de presión 114) y el depósito del vehículo (como se mide por el transmisor de presión 112) para mantener los caudales que dan como resultado un llenado rápido. Si la presión diferencial disminuye hasta un valor menor de 1,5 MPa (200 psig), entonces se dan ordenas del PLC para cerrar la válvula de accionamiento (x) y abrir la válvula de accionamiento (x+1), secuenciando así los depósitos y permitiendo proporcionar una disposición en cascada. La disposición de llenado en cascada tiene dos beneficios principales:

1. el llenado en cascada proporciona un gran número de llenados a presión máxima;
- y
2. el llenado en cascada minimiza el tiempo requerido para el llenado.

Al comienzo del llenado inicial, cada recipiente de almacenamiento 1 está a su presión máxima de diseño. Tras la conexión al depósito de un vehículo de llenado, y la apertura posterior del primer recipiente de almacenamiento, tiene lugar la compensación de la presión entre el depósito del vehículo de llenado y el primer recipiente de almacenamiento. Cuando la presión diferencial a través de la válvula de control de la presión 110 es menor de 1,5 MPa (200 psig), la válvula de accionamiento 4 para el ahora "agotado" recipiente de almacenamiento se cierra y la válvula de accionamiento en el siguiente recipiente de almacenamiento se abre, permitiendo que el proceso se repita.

En cada etapa, la presión en el recipiente de almacenamiento abierto desciende desde su valor de partida pero es mayor que la presión final del recipiente de almacenamiento sometido en la secuencia. La presión aumenta del primer recipiente de almacenamiento al último recipiente de almacenamiento, ya que cada recipiente de almacenamiento se equilibra a una presión más alta que el recipiente de almacenamiento anterior. Si no se usa el escenario de llenado en cascada, entonces la presión total del sistema se compensará a valores inferiores durante cada llenado hasta un punto en el que la presión del sistema más alta no será suficiente para llenar completamente el depósito de un vehículo.

En un sistema en cascada, se conserva una presión alta, ya que cada recipiente de almacenamiento posterior se compensa a presiones progresivamente mayores. Además, en cada etapa consecutiva, el hidrógeno comprimido cuya a una velocidad significativamente más rápida que la experimentada al final de la etapa anterior debido a las presiones más altas encontradas. Este uso de presiones en cascada permite un llenado a mayor velocidad con menos calentamiento en el depósito receptor en comparación con un llenado de una presión.

Mientras se inicia el llenado, el sistema continua para detectar cualquier rotura en la manguera 8, buscando despresurización (evaluada por el transmisor de presión 112). Además, el sistema controla el "flujo de hidrógeno virtual", un parámetro que se genera por sub-rutinas usando las relaciones paramétricas que se han descrito anteriormente en base a la compresibilidad del hidrógeno, las presiones del sistema y la temperatura del gas. Se

hacen cálculos continuos comparando la pérdida de masa calculada del remolque con la ganancia de masa calculada en el vehículo. Si en cualquier momento el flujo de hidrógeno virtual excede un valor determinado para ser coherente con el depósito lleno, tiene lugar el apagado.

5 Se dan comandos para ajustar el controlador I/P 27 en la válvula de control de la presión programable 110 para mantener caudales con el fin de soportar el tiempo predeterminado para el llenado. Si el caudal instantáneo está por encima o por debajo de los valores establecidos, el sistema se apaga. La válvula de control de la presión 110 recibe sus señales de entrada de presión del controlador I/P, que recibe señales en miliamperios del PLC. Su señal de entrada de la presión I/P se proporciona por la presión del gas, suministrándose el gas desde la misma alimentación regulada a las válvulas de accionamiento 4. Este proceso se repite hasta que se consigue la densidad del hidrógeno deseada en el depósito receptor.

15 Se usa la densidad del hidrógeno como el factor de control ya que éste puede determinarse conociendo únicamente la presión, la temperatura y la composición del gas. Las ecuaciones de segundo orden que usan coeficientes virales ayudan a determinar el factor de compresibilidad para el hidrógeno. El factor de compresibilidad del hidrógeno proporciona una relación entre las condiciones ideales y las reales, permitiendo el uso de ecuaciones paramétricas simples para calcular la masa en función de la presión, el volumen, la temperatura y la composición. El uso de coeficientes virales proporciona un procedimiento conveniente para determinar una medición precisa de la masa y, por lo tanto, la densidad del hidrógeno a diferentes temperaturas y presiones.

20 En el punto en el que la densidad del hidrógeno calculada excede un valor coherente con un depósito lleno, el abastecimiento de combustible finaliza y el PLC no permitirá que fluya más cantidad de gas hidrógeno. El llenado está completo.

25 Las válvulas de accionamiento de apertura y cierre alimentadas por hidrógeno, accionadas por solenoides enclavadas 4 permiten que tenga lugar el abastecimiento de combustible sin requerir un operario para abrir y cerrar manualmente las válvulas. Tras el abastecimiento de combustible, el PLC envía señales que energizan las válvulas relacionadas con la etapa particular que se realizará. Todas las demás válvulas están cerradas. El programa del PLC contiene instrucciones que identifican que válvulas solenoides 102 pertenecen a qué válvula de accionamiento (relacionada con qué recipiente de almacenamiento). Según tiene lugar el abastecimiento de combustible, una secuencia programada de aperturas y cierres de válvulas asegura una repetición exacta.

35 El uso de válvulas manuales sometería al operario a un entorno de espacio cerrado, que es intrínsecamente peligroso. Además, el uso de válvulas manuales dará confianza al operario para abrir/cerrar la válvula derecha en el momento adecuado y en la secuencia correcta. La operación manual introducirá los errores del operario y requerirá una preparación significativa. El sistema de control de válvulas enclavadas automatizado del PLC de la presente invención reduce la cantidad de preparación necesaria, elimina o minimiza la posibilidad de un error del operario, y permite un llenado más rápido.

40 En una realización preferida, el PLC también controla el aspecto comercial del llenado. El operario (por ejemplo, el conductor del vehículo) es necesario inicialmente para elevar la puerta trasera 21 en la parte posterior de la estación de abastecimiento móvil 20, dando acceso así al conductor del vehículo a tierra (no mostrado), el cable de comunicación del vehículo 17, la manguera de combustible 8 y el teclado del panel de control de abastecimiento (no mostrado). La puerta trasera elevada proporciona al operario un buen refugio de los elementos (por ejemplo, un sol cálido, lluvia, nieve, etc.). El operario usa el conector a tierra para crear un circuito entre la estación de servicio y el vehículo que va a repostar, mitigando así la posibilidad de descarga estática y un posible incendio. Después, el operario introduce un número de identificación personal (PIN) al inicio del repostaje. Además, desenrolla y conecta el cable de comunicación de manera que el PLC pueda evaluar los recipientes de almacenamiento 1, la temperatura inicial y la presión del depósito de almacenamiento de combustible del vehículo, y la condición del sistema de combustible del vehículo. Esta conexión puede ser inalámbrica en otras realizaciones.

55 Tras una entrada con éxito del PIN y la conexión del cable de comunicación 17, el PLC verifica que el operario ha conectado con éxito a tierra el vehículo, y que la tobera 9 se ha colocado/asegurado correctamente en el vehículo. Cuando estos permisivos se satisfacen, el abastecimiento de combustible comienza. Al mismo tiempo una cuenta de la masa de hidrógeno transferido se muestra en una pantalla (por ejemplo, una pantalla LCD). Las unidades de transferencia pueden ser galones, litros o cualquier otra unidad. Los cargos pueden atribuirse a la entidad del PIN.

60 Una realización preferida incluye un sistema de llamada automático (no mostrado) para la recarga de la estación autónoma y móvil de abastecimiento de combustible 20 con gas hidrógeno cuando está casi vacío. Un transmisor inalámbrico (alimentado por el sistema eléctrico de la estación de servicio) se activa cuando la presión del colector de hidrógeno disminuye hasta un valor predeterminado en el nivel de presión más alta. La recepción de esta señal precipita acciones encaminadas a la recuperación de la estación autónoma y móvil de abastecimiento de combustible 20 para la recarga con gas hidrógeno. También es posible controlar la estación de servicio en tiempo real desde una ubicación remota para determinar cuando está casi vacía y debe recargarse.

- La recarga de los recipientes de almacenamiento con hidrógeno tiene lugar en una instalación central. La estación de abastecimiento móvil 20 está estacionada cerca de una salida del compresor (no mostrada). Después, un operario fija el cable de comunicación 17, y el cable de conexión a tierra a las juntas de acoplamiento de la salida del compresor. Una manguera flexible de la estación del compresor está conectada al adaptador de acoplamiento 23 en el colector de alta presión 5. Se proporciona un sobremando para el sistema de control de válvulas enclavadas y puede accederse mediante el uso de una secuencia de código especial en la interfaz de teclado del PLC. El sobremando abre cada una de las válvulas de accionamiento 4 de cada uno de los recipientes de almacenamiento (V1-V9) en orden secuencial partiendo del recipiente de almacenamiento de presión inferior V1 con el fin de minimizar las pérdidas de la presión de compensación. Este sobremando reduce significativamente el tiempo y la energía necesarios para recargar la estación de abastecimiento de hidrógeno móvil. Cuando el recipiente de almacenamiento de presión inferior está a una presión objetivo especificada, las válvulas se abren en cada uno de los recipientes de almacenamiento a la siguiente presión más alta. Existe un permisivo adicional en el sistema de recarga, de tal forma que si el transmisor de presión 112 lee menos de 10 psig en el colector, no se llenará. Esto impide la introducción de hidrógeno en un recipiente de almacenamiento que puede contener aire, reduciendo así el potencial para la liberación de energía debida a la combustión. Además, de forma similar a los cálculos realizados durante el llenado del vehículo, el sistema puede detectar si hay una fuga o rotura en alguna de las líneas o adaptadores. Si durante el llenado, la presión en los recipientes de almacenamiento no aumenta a una velocidad especificada durante un período de tiempo determinado, el sistema se apagará.
- La estación de abastecimiento móvil 20 está en contacto con el compresor usado para rellenar los recipientes de almacenamiento 1. La misma conexión que se hace con el depósito del vehículo a llenar durante un llenado se hace con la estación del compresor. Después de alcanzar 48 MPa (7.000 psig), como se mide en el transmisor de presión 112, la estación del compresor se apaga.
- Después de la finalización de un rellenado normal, cada una de las válvulas solenoides 102 se desenergizan, cerrando las válvulas de accionamiento 4 de los recipientes de almacenamiento (V1-V9). Además, la válvula de mano 131 en el gas de suministro para las válvulas solenoides debe cerrarse antes de transportar la estación de abastecimiento de hidrógeno móvil 20.
- La figura 6 es un diagrama de flujo de bloques lógico que ilustra una operación de recarga 200 para una realización de la estación autónoma y móvil de abastecimiento de combustible 20. Los términos que corresponden a las abreviaturas de la figura 6 son: "PT" es transmisor de presión; "HV" es válvula de mano; "P" es presión; "N" es un número entero de 1 a 9; "AOV" es una válvula de accionamiento; "t" es tiempo; y "p" es densidad del gas.
- En la etapa 201 se establece un enlace de comunicación entre la estación de abastecimiento móvil 20 y una estación del compresor que usa el mismo enlace de comunicación 17 que se usa con los vehículos impulsados por hidrógeno. En la etapa 202 se hace una conexión de la manguera entre el colector de alta presión 5 del remolque y la manguera de descarga del compresor. En la etapa 203, la estación del compresor requiere una señal (transmisor de presión 112) procedente del PLC. Este requisito debe establecerse para continuar. Si no se recibe una señal, la recarga no puede continuar. Si se establece una comunicación, el llenado continúa.
- Si no se recibe una señal en la etapa 203, el sistema se apaga en la etapa 204 debido a la falta de comunicación entre la estación del compresor y el PLC de la estación de abastecimiento móvil 20. Si se recibe una señal, la válvula manual (válvula de mano 131) debe abrirse en la etapa 205 para proporcionar una presión de accionamiento a las válvulas de accionamiento 4 de la estación de abastecimiento móvil.
- En la etapa 206, un contador para las válvulas de accionamiento 4 y los recipientes de almacenamiento relacionados 1 se resetea a 1 (el primer recipiente V1). Además, se introduce un valor de la presión mínimo de 270 kPa (25 psig) en la etapa 206.
- En la etapa 207, el PLC ordena abrir la válvula de accionamiento (N) durante aproximadamente un segundo para permitir al transmisor de presión 112 determinar si existe una presión residual en el recipiente de almacenamiento. Si no es así, existe una alta probabilidad de fuga. En la etapa 208, el PLC determina si existe una presión residual de 270 kPa (25 psig) para el recipiente de almacenamiento V1, y si la presión en cascada asciende, como debería, para cada recipiente de almacenamiento posterior. Si no es así, entonces se presume una fuga y el sistema se apaga (así en la etapa 204). De lo contrario, el sistema está listo para proceder con un llenado del depósito de combustible del vehículo.
- En la etapa 209, el PLC pregunta si la última etapa está abierta (es decir, el contador está en 9). Si no es así, es necesario volver a la etapa 207 a través de la etapa 210. En la etapa 210, antes de volver a la etapa 207, el contador (N) aumenta en una unidad, y la válvula de presión P se ajusta a la última presión registrada en el colector de alta presión 5. Si se requiere un retorno, las etapas 207, 208 y 209 se repiten hasta que el PLC recibe una señal de que la última válvula está abierta (es decir, el contador está en 9).

En la etapa 211, el operario abre la válvula de mano 133, proporcionando una comunicación entre el sistema de almacenamiento de la estación del compresor y el sistema de almacenamiento de la estación de abastecimiento móvil 20. En la etapa 212, el compresor se inicia, manteniendo una alta presión en el colector de llenado.

- 5 En la etapa 213, un segundo contador se establece en 1. En la etapa 214, la válvula de accionamiento relacionada con el presente número del contador se abre, permitiéndole aceptar gas procedente del colector de alta presión 5.

10 En la etapa 215, la densidad del gas (p) en el sistema de almacenamiento del remolque se calcula usando una relación paramétrica en base a la presión, la temperatura y la compresibilidad para determinar la capacidad de llenado de los recipientes de almacenamiento 1. La presión del colector se mide en el transmisor de presión 112, la temperatura del gas del recipiente de almacenamiento se mide en el detector 116, y se determina el factor de compresibilidad relacionado con la presión y la temperatura medidas. Si la densidad (p) está por encima de un punto de referencia relacionado con la presión de llenado máxima compensada con la temperatura, entonces se inicia la secuencia de apagado en la etapa 219. De lo contrario, la recarga continua en la etapa 216.

15 En la etapa 216, el PLC determina si cada uno de los recipientes de almacenamiento 1 están abiertos para el colector. Si el contador no está en el último recipiente (V9), entonces el sistema sigue hasta la etapa 217, en el que el contador del recipiente se adelanta en uno y el sistema vuelve a la etapa 214. (entonces las Etapas 214, 215 y 216 se repiten). Si el contador está en 9 en la etapa 216, entonces el sistema sigue hasta la etapa 218.

20 En la etapa 218, se determina de nuevo si la densidad en los recipientes de almacenamiento 1 está por encima de un punto de referencia relacionado con la presión de campo máxima compensada con la temperatura. Si es así, entonces se inicia un apagado en la etapa 219 (en la que el compresor se apaga). De lo contrario, el sistema deja tiempo para una compensación adicional.

25 En la etapa 220, el PLC ordena el cierre de todas las válvulas accionadas por gas de los recipientes de almacenamiento, interrumpiendo así la comunicación con el colector de alta presión 5. Después, la válvula de mano 133 se cierra en la etapa 221, proporcionando un doble cierre para el sistema del remolque, y la recarga del remolque está completa en la etapa 222.

30 La figura 7 es un diagrama de flujo de bloques lógico que ilustra las etapas preliminares para iniciar el llenado 300 de una realización de la estación autónoma y móvil de abastecimiento de combustible 20. Los términos que corresponden a las abreviaturas de la figura 6 también se aplican a la figura 7. Los términos adicionales que corresponden a las abreviaturas adicionales de la figura 7 son: "H₂" es hidrógeno; "V" es volumen del depósito o los depósitos de los vehículos; y "LFL" es límite de inflamabilidad inferior.

35 La etapa 301 es el "inicio". En la etapa 302 se pide al operario que apague el vehículo, reduciendo así la aparición de chispas y combustión. En la etapa 303, se pide a un monitor de gas de combustible que controle continuamente la atmósfera del área de almacenamiento en el inicio (es decir, comenzando con la etapa 1). El PLC pregunta si se ha percibido o detectado una concentración de hidrógeno por encima del 25% del límite de inflamabilidad inferior (LFL).

40 En la etapa 304 (un "permisivo") se pide al operario que verifique que la válvula de mano 131 está abierta y el gas de suministro para las válvulas de accionamiento 4 y la válvula de control de la presión 110. En la etapa 305, el PLC envía una señal para desenergizar los solenoides relacionados con cada una de las válvulas de accionamiento accionadas por gas 4 en cada uno de los recipientes de almacenamiento (V1-V9).

45 En la etapa 306 un contador asociado con la entrada de un PIN se resetea a cero. El contador registra el número de veces que se introduce erróneamente un número de identificación personal (PIN). Se pide al operario que introduzca su PIN en la etapa 307. Después, en la etapa 308, se toma la decisión de avanzar, o en el caso de un PIN inválido, regresar a la pantalla de entrada del PIN. El contador que registra el número de entradas del "PIN" inválidas o erróneas se adelanta en uno en la etapa 309. En la etapa 310 se toma la decisión de permitir otro intento en la entrada del PIN, o proceder al apagado en base a si el PIN se introdujo erróneamente tres veces.

50 En la etapa 311 se inicia un temporizador, inhibiendo al operador de nuevos intentos para el abastecimiento de combustible. El tiempo se ajusta a aproximadamente 10 minutos para desalentar a un operario no deseado. El proceso de llenado se apaga en la etapa 312 y no puede reiniciarse durante aproximadamente 10 minutos.

55 En la etapa 313 se pide al operario que establezca un enlace de comunicación 17 con el vehículo. Esto puede realizarse conectando un cable. Como alternativa, puede establecerse un enlace de comunicación inalámbrica usando tecnologías de radio frecuencia o de infrarrojos. En la etapa 314, se toma una decisión. El llenado puede continuar si la palanca a tierra está en la posición bajada. Si no se mostró la palanca a tierra, se dan instrucciones para hacer descender la palanca al operario de abastecimiento de combustible en la etapa 315. El operador es instruido para levantar la palanca a tierra en la etapa 316, disipando así la electricidad estática y reduciendo el

potencial de ignición.

En la etapa 317 se toma la decisión sobre cómo continuar en base a si se ha recibido una señal del vehículo que requiere el llenado. La señal incluye la presión residual (P) en el depósito del vehículo, la temperatura del gas (T), y el volumen (V) del depósito.

En la etapa 318, si se recibió una señal, entonces el programa continúa, pero usa una sub-rutina relacionada con un llenado "en comunicación". De lo contrario, en la etapa 319, si no se recibió una señal, el llenado continúa usando un procedimiento relacionado con un llenado "sin comunicación" ilustrado en la figura 8 y analizado a continuación.

Las figuras 8A-8C proporcionan un diagrama de flujo de bloques lógico que ilustra un llenado sin comunicación 400 para una realización de la estación autónoma y móvil de abastecimiento de combustible 20. Los términos que corresponden a las abreviaturas en las figuras 6 y 7 también se aplican a la figura 8. Los términos adicionales que corresponden a abreviaturas adicionales en la figura 8 son: "PCV" es válvula de control de la presión; "Pf" es presión de llenado máxima; "ID" es identificación; "X" es un número entero de 0 a 10 (uno más del número de recipientes de almacenamiento); "TE" es un elemento de medición de la temperatura; "Tamb" es temperatura ambiental; "tss" es "t" en un estado estacionario; y "S.R." es sub-rutina.

En la etapa 401 el inicio del llenado sin comunicación continúa desde las etapas preliminares para el llenado en la figura 7 (es decir, desde la etapa 319 en la figura 7). En la etapa 402 de la figura 8, la válvula de control de la presión 110 se abre hasta una posición relacionada con la presión de llenado máxima. En la etapa 403 el contador de identificación del recipiente se ajusta en cero. La temperatura del gas en el recipiente relacionado con la válvula de accionamiento relacionada con el primer recipiente de almacenamiento V1 se lee a través del detector 116, y una presión mínima aceptable para la válvula de accionamiento de cualquier recipiente de almacenamiento se establece en 790 kPa (100 psig).

El bucle de secuenciación del recipiente se inicia en la etapa 404 y avanza en uno a la válvula o las válvulas/recipiente o recipientes. En la etapa 405 se da una orden para abrir una válvula de accionamiento accionada por gas 4 en el recipiente de almacenamiento asociado 1 en la secuencia para un segundo. Se toma una decisión en la etapa 406. Si la presión (controlada por el transmisor de presión 112) es menor de 100 psig, entonces la unidad se apaga en la etapa 406A debido a una fuga del sistema o un recipiente de almacenamiento vacío. Esto sirve para garantizar que no entra aire en el colector. Si la presión es mayor de 790 kPa (100 psig), entonces el llenado continúa.

En la etapa 407 se toma la decisión de continuar en base a si la presión en el recipiente de almacenamiento es mayor de o igual a la presión en el recipiente de almacenamiento anterior. Si es así (es decir, no hay fugas), entonces el sistema continúa con el llenado. De lo contrario, la estación de servicio 20 se apaga en la etapa 407A.

En la etapa 408, durante aproximadamente un segundo, la presión compensada en el recipiente/colector/manguera se registra y se almacena por el PLC. En la etapa 409, usando la presión de equilibrio y la temperatura del gas como se registró en el TE-116, los valores de la masa y la densidad del gas en el recipiente de almacenamiento se determinan y se registran. Estos valores se calculan conociendo el volumen del recipiente de almacenamiento y el factor de compresibilidad, que se calcula usando un parámetro basado en la temperatura y la presión y el coeficiente viral de segundo orden. En la etapa 410 la masa y la densidad para el recipiente de almacenamiento se almacenan en un registro que realiza un seguimiento de la cantidad de gas en el recipiente de almacenamiento.

Se toma otra decisión en la etapa 411. Si el sistema no está en el último recipiente de almacenamiento (es decir, en la válvula de accionamiento 4 para el recipiente V9), entonces el sistema vuelve y repite el proceso para el siguiente recipiente de almacenamiento (es decir, las etapas 404-411). Por otro lado, Si el sistema está en el último recipiente de almacenamiento, entonces el sistema continúa con el llenado.

En la etapa 412, se calcula la masa total de hidrógeno en el sistema, y este valor se almacena. La etapa 413 selecciona la velocidad de desnivel de presurización en función de la temperatura ambiente (Tamb). Si la temperatura ambiente es menor de 15 °C, entonces el sistema se llena a una velocidad de desnivel de la presión de 15 bar/min. Si la temperatura es mayor de 15 °C, pero menor de 30 °C, entonces el llenado tiene lugar a 7,5 bar/min. Si la temperatura es mayor de 30 °C, entonces el llenado tiene lugar a 5 bar/min. Estas velocidades de desnivel se escogen para minimizar el calentamiento del revestimiento del recipiente. A temperaturas ambientales superiores, los revestimientos del recipiente pueden sobrecalentarse, y la velocidad del aumento del calor debe controlarse. Esto se hace reduciendo el caudal de la masa, mitigando el calentamiento por compresión.

En la etapa 414, el operario es instruido para hacer la conexión de la manguera "a prueba de presión". En la etapa 415 el PLC determina si tras realizar la conexión la presión del colector (como se mide por el transmisor de presión 114) disminuye hasta un valor que es menor de o igual al 95% de la presión registrada en la manguera 8/colector 5 al final de los ciclos de un segundo. Si es así, entonces el sistema continúa hasta la etapa 416. De lo contrario, se

asume que la conexión no se hizo, y el operario lo intenta de nuevo.

En la etapa 416 la presión en el colector/manguera/depósito del vehículo se almacena en el banco de datos del PLC como "PT-114 min". En la etapa 417 el PLC determina si la presión está aún disminuyendo. Si aún está disminuyendo, el PLC pregunta de nuevo. Una vez que el valor en el transmisor de presión 114 se compensa (es decir, satisface $\geq$), entonces el llenado continúa.

En la etapa 418 el temporizador se pone a cero. En la etapa 419 el PLC pregunta si la presión en el transmisor de presión 114 es al menos igual a la presión mínima almacenada en la etapa 415 ("PT-144 min"). Si no es así, entonces el sistema sigue hasta la etapa 420. De lo contrario, sigue hasta la etapa 422.

En la etapa 420 si la presión es menor que "PT-114 min", el PLC pregunta si la condición de presión continuamente inferior ha tenido lugar durante un periodo de 45 segundos. Si no es así, entonces el bucle se inicia durante la etapa 415, estableciendo un nuevo valor inferior de PT-114 min. Si la condición ha tenido lugar durante 45 segundos o más, el sistema continua hasta la etapa 421. En la etapa 421, se ha establecido una determinación de fuga lenta, y se produce un apagado.

En la etapa 422, el PLC determina si la presión mínima ha mantenido su valor y determina si la presión ha mantenido este valor durante 5 segundos. Si es así, el sistema es a prueba de presión, y la secuencia de llenado avanza hasta la etapa 423, en la que se registra una presión en estado estacionario (P-114 SS) una vez que el sistema se ha compensado. Si no es así, se mantiene el bucle de vuelta a la etapa 419 hasta que se satisface el periodo de 5 segundos.

Se establece la presión de equilibrio en el colector/manguera/vehículo, y se almacena. A partir de este valor, puede calcularse una determinación inicial de la masa. En la etapa 424 se verifica la conexión, y la secuencia de llenado continúa.

Se toma otra decisión en la etapa 425. El PLC determina si existe una situación de "culminación". Si la presión es mayor de o igual a 31 MPa (4.500 psig), entonces el sistema avanza hasta la etapa 426. Si la presión es menor de 31 MPa (4.500 psig), entonces el sistema avanza hasta la etapa 428.

En la etapa 426 la secuencia de llenado se detiene. No se transferirá más cantidad de hidrógeno al depósito del vehículo. La pantalla del PLC mostrará "Llenado Completo" en la etapa 427.

En la etapa 428, ya que la presión es menor de 31 MPa (4.500 psig), el llenado puede continuar. El contador relacionado con las válvulas de los recipientes de la estación de servicio se reajusta para el recipiente 1 (V1).

En la etapa 429 el PLC determina si la palanca a tierra está aún en la posición levantada. Si es así, el llenado continúa (etapa 432). De lo contrario, el sistema avanza hasta la etapa 430 (detener secuencia de llenado). La palanca a tierra es una forma de terminar el llenado para el operario, cuando se requiere.

En la etapa 430 el programa de llenado se termina debido a que la palanca a tierra no está en una posición de llenado normal. Entonces, el PLC mostrará "Bajar Palanca de Llenado" en la etapa 431.

En la etapa 432 la válvula de accionamiento 4 relacionada con la posición en el contador (1-9) está abierta, permitiendo que el gas hidrógeno presurice el colector 5. El gas fluye al vehículo a través de la válvula de control de la presión 110 a la velocidad de desnivel de la presión prescrita, ya que se basa en la temperatura ambiente.

Se toma otra decisión en la etapa 433. El PLC determina si la presión en el transmisor de presión 114 es menor del 75% del valor que registró como la presión de estado estacionario en la etapa 423. Si es así, entonces se asume una rotura de la manguera y se ordena el apagado, y el sistema se apaga en la etapa 434 (apagado por rotura de manguera). De lo contrario, el sistema avanza hasta la etapa 435.

En la etapa 435 el temporizador usado para maximizar ΔP se reajusta ($\Delta P < 1,5$ MPa (<200 psig) durante dos segundos?). La densidad se calcula en base a la presión en el transmisor de presión 114 y la temperatura ambiente. Se toma una decisión en la etapa 436. Si la densidad (calculada usando la presión en el transmisor de presión 114, la temperatura ambiente, y el factor de compresibilidad del hidrógeno) es mayor de 24 kg/m^3 (1,5 libras por pie cúbico), entonces el llenado termina en la etapa 437 (detener secuencia de llenado). (En la etapa 437, se muestra "Llenado Completo" en el panel de visualización del PLC). Por otro lado, si la densidad es de 24 kg/m^3 (1,5 libras por pie cúbico), entonces el sistema sigue hasta la etapa 438.

Se toma una decisión en la etapa 438. Si la presión diferencial entre el recipiente que está abierto en la actualidad para el colector 5 y el vehículo (PT-112-PT-114) es menor de 1,5 MPa (200 psig), entonces se espera que el flujo disminuya lentamente. Si esto es así, el sistema avanza hasta la etapa 439.

De lo contrario, vuelve a la etapa 433, permitiendo que tenga lugar una compensación adicional. Obsérvese que en el bucle de retorno el totalizador del flujo virtual está activado (véanse las etapas 440-445).

5 Se toma otra decisión en la etapa 439, en la que se pregunta si la presión diferencial (PT-112-PT-114) ha sido menor de 1,5 MPa (200 psig) durante 2 segundos. Si ha sido así, el sistema continúa hasta la etapa 446. De lo contrario, vuelve a la etapa 436, esperando que pasen los 2 segundos.

10 En la etapa 440, se almacena el valor de la presión del hidrógeno en el colector (PT-112). En la etapa 441, usando las ecuaciones virales de segundo orden, se hace un cálculo del cambio de la masa en el sistema de almacenamiento. En la etapa 442 se calcula el cambio de la masa total desde el inicio del llenado.

15 Se toma una decisión en la etapa 443. Si el flujo de masa total es mayor de 9 kg (20 libras), entonces el sistema avanza hasta la etapa 445, en la que el sistema se apaga debido a un flujo excesivo (por ejemplo, una fuga en el depósito del vehículo). De lo contrario, el sistema avanza hasta la etapa 444, en la que, usando el valor de la transferencia de la masa, y las presiones en PT-112 y PT-114, calcula el aumento de la etapa del punto de referencia para la válvula de control de la presión 110 requerido para mantener la velocidad de desnivel de la presión introducida previamente, inhibido así el sobrecalentamiento del depósito del vehículo.

20 En la etapa 446 se almacena el valor de la presión en el recipiente de almacenamiento abierto 1 al final de su etapa de llenado. En la etapa 447 se da una orden para cerrar la válvula de accionamiento 4 relacionada con el recipiente de almacenamiento abierto. En la etapa 448 el contador del recipiente/válvula del recipiente se adelanta en uno, continuando así en la siguiente etapa de la secuencia de llenado.

25 Se toma una decisión en la etapa 449, en la que se pregunta si el contador está en 10. Si es así, esto significa que para un sistema de 9 recipientes se ha alcanzado el final de la presión en cascada. Si es así, el sistema avanza hasta la etapa 426 (detener secuencia de llenado) y muestra "Llenado Completo" (etapa 427). De lo contrario, el sistema vuelve a la etapa 429, permitiendo el accionamiento de los permisos para abrir el siguiente recipiente de almacenamiento de presión superior en la cascada.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato para controlar una velocidad de transferencia de un fluido presurizado procedente de un recipiente de almacenamiento (1) a un depósito receptor a través de un conducto (8) en comunicación fluida con el recipiente de almacenamiento (1) y el depósito receptor, **caracterizado porque** comprende:
un medio para establecer una velocidad predeterminada del aumento de presión que se mantendrá durante un periodo de tiempo predeterminado para el llenado del depósito receptor con el fluido presurizado; y
un medio para mantener la velocidad predeterminada del aumento de presión durante el llenado del depósito receptor con el fluido presurizado durante el periodo de tiempo predeterminado.
2. Un aparato como en la reivindicación 1, en el que el medio para establecer una velocidad predeterminada del aumento de presión comprende:
un ordenador/controlador para generar una señal eléctrica que puede convertirse en una señal de gas de baja presión (7); y
un regulador para amplificar la señal de gas de baja presión y controlar una presión de llenado en el depósito receptor (110).
3. Un aparato como en la reivindicación 1, en el que el medio para mantener la velocidad predeterminada del aumento de presión comprende:
un dispositivo de control de la presión (110) en comunicación con el conducto u otro conducto a través del cual el fluido presurizado fluye a una presión real antes de entrar en el depósito receptor, el dispositivo de control de la presión está adaptado para aumentar o disminuir la presión real del fluido presurizado; medios para calcular periódicamente una velocidad del aumento presión con el tiempo (7); y
medios para ordenar al dispositivo de control de la presión (27) disminuir la presión real cuando la velocidad del aumento de presión es mayor que la velocidad predeterminada establecida del aumento de presión, y aumentar la presión real cuando la velocidad del aumento de presión es menor que la velocidad predeterminada establecida del aumento de presión.
4. Un aparato como en la reivindicación 1, en el que la velocidad de transferencia está controlada en función de un porcentaje de una presión de destino designada ya conseguida o un porcentaje de una presión de destino designada a conseguir durante una porción restante del periodo de tiempo predeterminado.
5. Un aparato como en la reivindicación 4, en el que la función es lineal.
6. Un aparato como en la reivindicación 4, en el que la función es geométrica.
7. Un aparato como en la reivindicación 4, en el que el depósito receptor tiene un estado termodinámico instantáneo y en el que la función varía con el tiempo con cualquier cambio en el estado termodinámico instantáneo para proporcionar una velocidad de llenado óptima.
8. Un procedimiento para controlar una velocidad de transferencia de un fluido presurizado procedente de un recipiente de almacenamiento a un depósito receptor a través de un conducto en comunicación fluida con el recipiente de almacenamiento y el depósito receptor, **caracterizado porque** comprende las etapas de:
establecer una velocidad predeterminada del aumento de presión a mantener durante un periodo de tiempo predeterminado para el llenado del depósito receptor con el fluido presurizado; y
mantener la velocidad predeterminada del aumento de presión durante el llenado del depósito receptor con el fluido presurizado durante el periodo de tiempo predeterminado.
9. Un procedimiento como en la reivindicación 8, en el que la etapa de establecer una velocidad predeterminada del aumento de presión comprende las sub-etapas de:
generar una señal eléctrica que puede convertirse en una señal de gas de baja presión;
amplificar la señal de gas de baja presión; y
controlar una presión de llenado en el depósito receptor.
10. Un procedimiento como en la reivindicación 8, en el que la etapa de mantener la velocidad predeterminada del aumento de presión comprende las sub-etapas de:
proporcionar un dispositivo de control de la presión en comunicación con el conducto u otro conducto a través del cual el fluido presurizado fluye a una presión real antes de entrar en el depósito receptor, el

- dispositivo de control de la presión está adaptado para aumentar o disminuir la presión real del fluido presurizado;
calcular periódicamente una velocidad del aumento de presión con el tiempo; y
ordenar al dispositivo de control de la presión disminuir la presión real cuando la velocidad del aumento de presión es mayor que la velocidad predeterminada establecida del aumento de presión, y aumentar la presión real cuando la velocidad del aumento de presión es menor que la velocidad predeterminada establecida del aumento de presión.
- 5
11. Un procedimiento como en la reivindicación 8, en el que la velocidad de transferencia está controlada en función de un porcentaje de una presión de destino designada ya conseguida o un porcentaje de una presión de destino designada a conseguir durante una porción restante del periodo de tiempo predeterminado.
- 10
12. Un procedimiento como en la reivindicación 11, en el que la función es lineal.
- 15
13. Un procedimiento como en la reivindicación 11, en el que la función es geométrica.
14. Un procedimiento como en la reivindicación 11, en el que el depósito receptor tiene un estado termodinámico instantáneo y en el que la función varía con el tiempo con cualquier cambio en el estado termodinámico instantáneo para proporcionar una velocidad de llenado óptima.

FIG.1

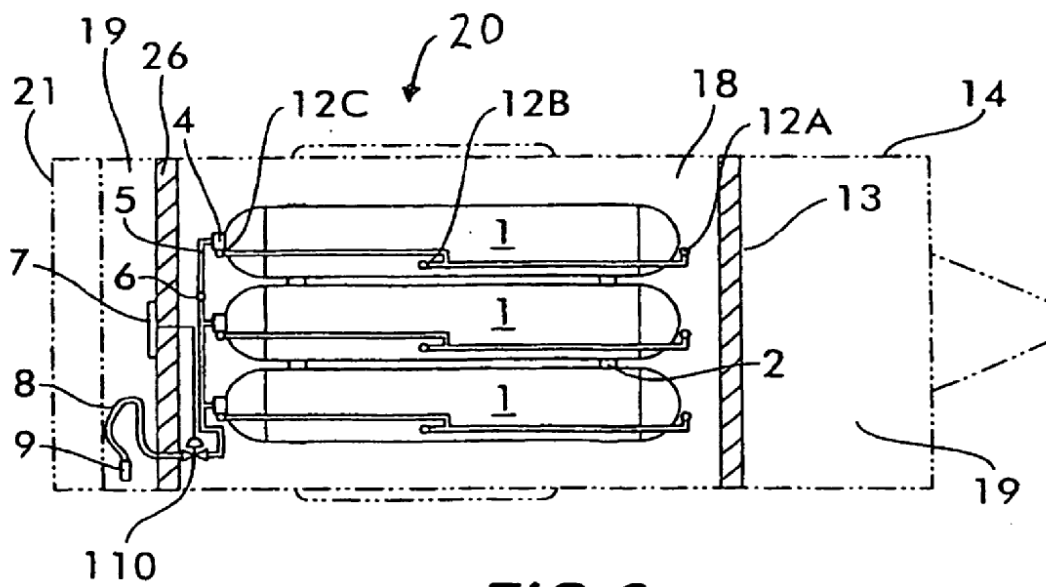
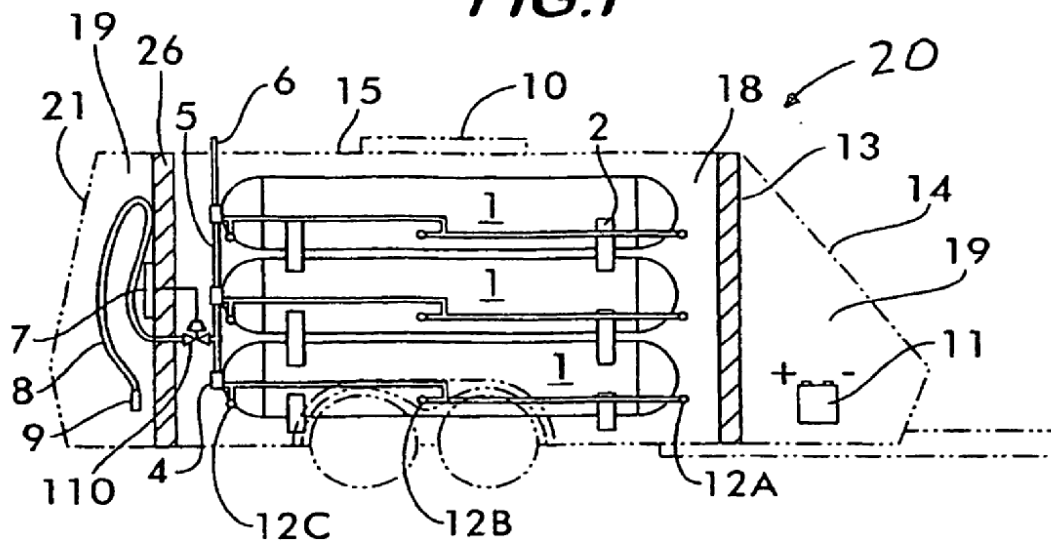
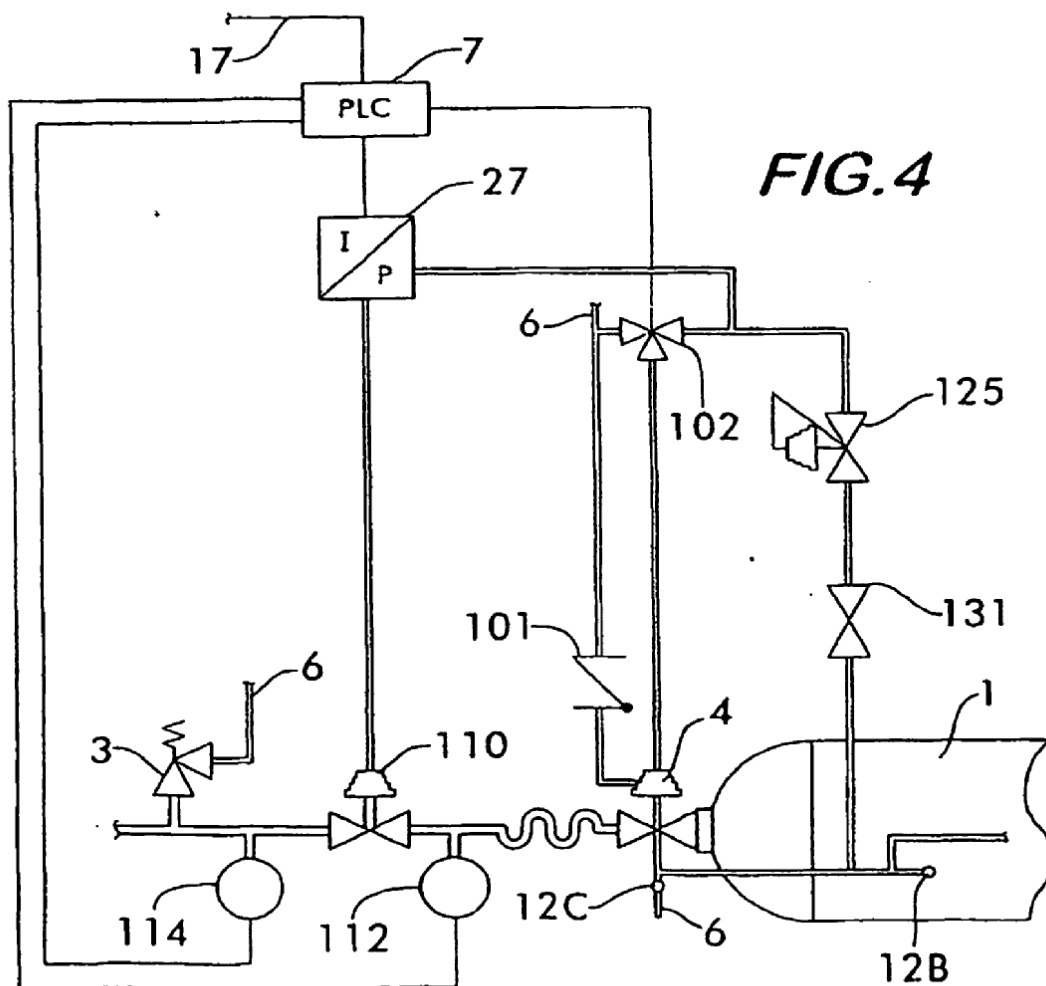
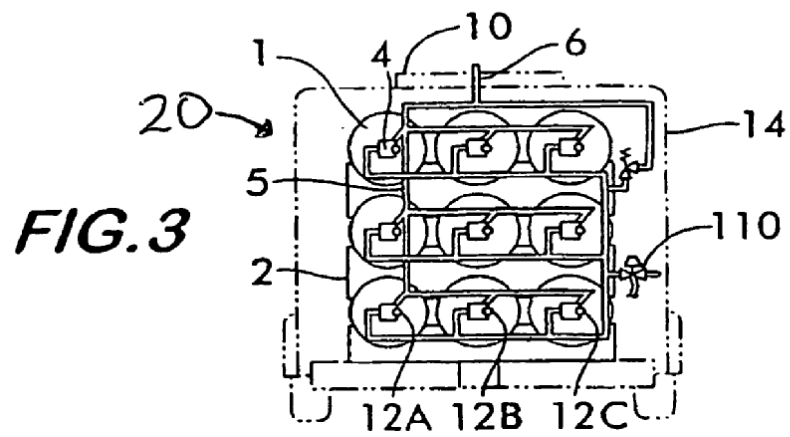


FIG.2



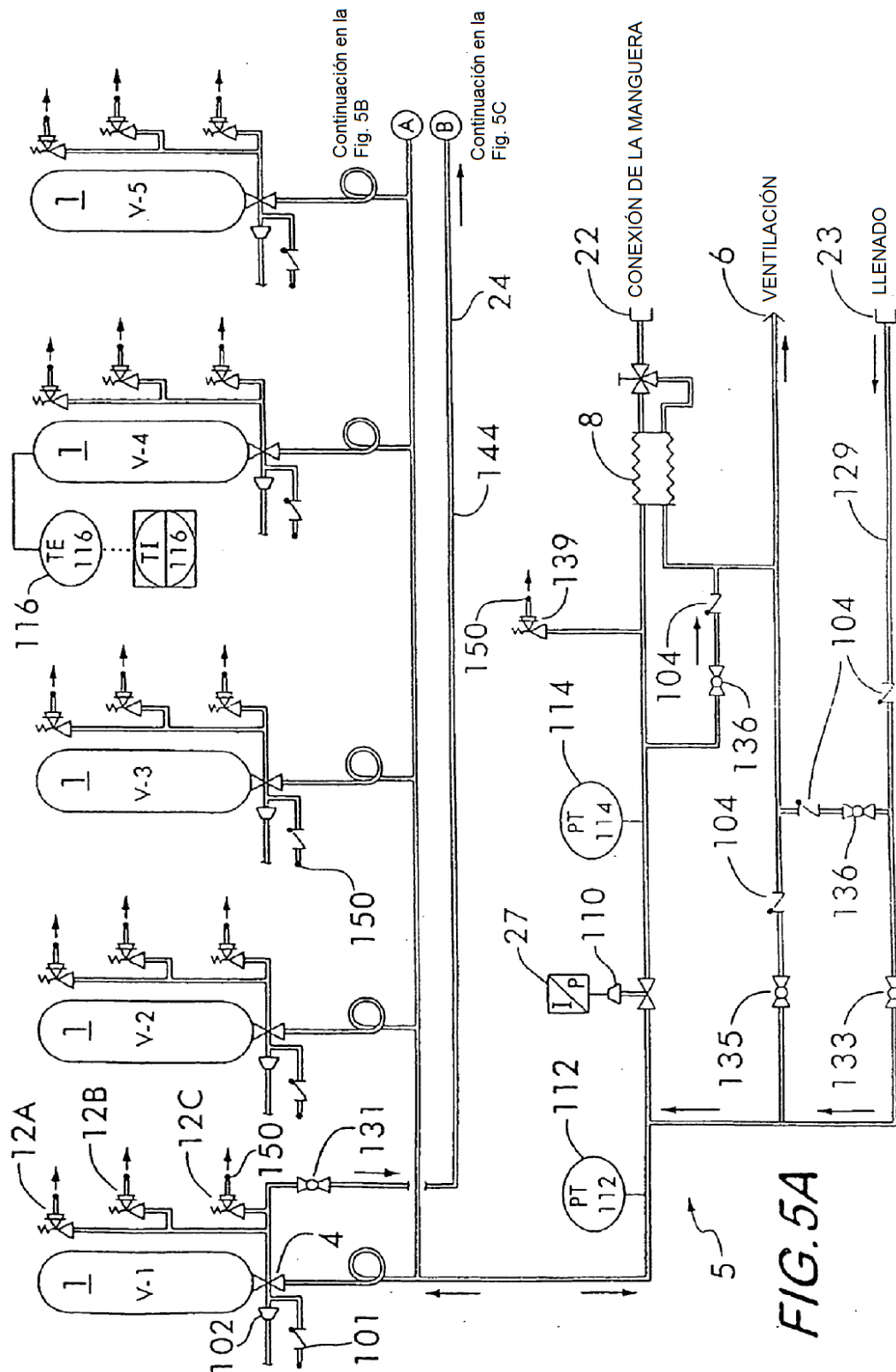


FIG. 5A

