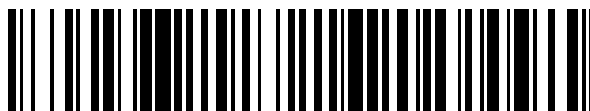


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 468 022**

51 Int. Cl.:

**H01M 8/04** (2006.01)

**H01M 8/10** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.09.2008** **E 12185536 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.04.2014** **EP 2538482**

54 Título: **Sistema de celdas de combustible**

30 Prioridad:

**26.09.2007 GB 0718761**

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

**13.06.2014**

73 Titular/es:

**INTELLIGENT ENERGY LIMITED (100.0%)  
Charnwood Building, Holywell Park, Ashby Road,  
Loughborough  
Leicestershire LE11 3GB, GB**

72 Inventor/es:

**ADCOCK, PAUL;  
HOOD, PETER DAVID y  
BAIRD, SCOTT**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 2 468 022 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**

Sistema de celdas de combustible

**Campo de la invención**

5 La invención se refiere a la operación de, y aparato relativo a, un sistema de celdas de combustible, y en particular, aunque no exclusivamente, a una estrategia para el apagado de un sistema de celdas de combustible.

**Antecedentes**

10 El agua es esencial para el funcionamiento de un sistema de celdas de combustible, por ejemplo el sistema descrito en la presente memoria comprende una pila de celdas de combustible basada en una membrana de intercambio de protones (PEM). La reacción de los protones (iones hidrógeno) realizada a través de la PEM de una trayectoria de flujo de ánodo, con oxígeno presente en la trayectoria de flujo de cátodo, produce agua. El exceso de agua tiene que ser retirado de la pila de celdas de combustible para evitar las inundaciones y provocar el consiguiente deterioro en el rendimiento. Una cantidad de agua, sin embargo, tiene que estar presente en al menos la trayectoria de flujo de cátodo para mantener la hidratación de la PEM, a fin de lograr un rendimiento óptimo de la pila de combustible. La gestión de esta agua, por inyección y extracción deliberada, también puede proporcionar un mecanismo útil para eliminar el exceso de calor de la pila de celdas de combustible.

20 Para optimizar el rendimiento, el agua puede emplearse deliberadamente en tales sistemas de celdas de combustible por inyección en la trayectoria de flujo de cátodo de la pila. Tales sistemas de inyección de agua de pilas de combustible tienen ventajas potenciales en la reducción del tamaño y complejidad, en comparación con otros tipos de sistemas de pilas de combustible que emplean diferentes canales de refrigeración. El agua puede ser inyectada directamente en la trayectoria de flujo de cátodo a través de colectores de distribución de agua, como por ejemplo se describe en GB2409763.

30 Para los sistemas de inyección de agua, es importante que cualquier agua retroalimentada en la trayectoria de flujo de cátodo sea de alta pureza, para evitar contaminación de la PEM y la consiguiente degradación del rendimiento de la pila. Este requisito de alta pureza, sin embargo, significa que no se pueden utilizar los aditivos para disminuir el punto de congelación del agua. Para aplicaciones de automoción en particular, los requisitos normales incluyen la puesta en marcha desde por debajo del punto de congelación, normalmente tan bajo como -20 °C para reproducir entornos en los que puede ser utilizada la celda de combustible en la práctica. Puesto que el agua de alta pureza tiene un punto de congelación de 0 °C (a presión de 100 kPa (1 bar)), cualquier agua que quede en el sistema de celdas de combustible, con tiempo suficiente, se congela después del apagado de la celda de combustible.

40 El hielo en el sistema de celdas de combustible, y en particular dentro de la trayectoria de flujo de cátodo, puede impedir que la pila funcione correctamente, o incluso no funcione. Si cualquier parte de la trayectoria de flujo de cátodo está bloqueada con hielo, el aire no puede pasar a través del cátodo y la pila de combustible puede no ser capaz de autocalentarse por encima del punto de congelación. Entonces serán necesarios otros métodos de calentamiento de la totalidad de la pila, lo que requiere el consumo de alimentación externa antes de que la celda de combustible pueda comenzar a suministrar energía eléctrica y calor por sí misma.

45 Se puede utilizar una operación de purga para el apagado de una pila de celdas de combustible, como la que se describe en US 6479177. Este documento describe una pila de celdas de combustible que tiene conductos de agua de enfriamiento separados de la trayectoria de flujo de cátodo. Se utiliza una alimentación de nitrógeno seco presurizado para purgar el agua de la pila antes de permitir que la temperatura de la pila caiga por debajo de la congelación. Este método, sin embargo, requiere un suministro de nitrógeno a presión, que podría no estar disponible o incluso ser deseable en un entorno de automoción. Es un objeto de la invención abordar uno o más de los problemas mencionados anteriormente.

55 El documento JP 2003-317754 describe un sistema de celdas de combustible que tiene una operación de apagado que incluye un primer proceso de drenaje de agua y un segundo proceso de drenaje de agua, en el que el primer proceso de drenaje de agua purga un conducto de agua situado entre el condensador de descarga del cátodo de la pila y un depósito de agua, y el segundo proceso de drenaje de agua purga un conducto de agua situado entre un humidificador del cátodo y un depósito de agua usando la presión de un compresor de suministro de aire del cátodo. El documento WO 2004/051779 desvela un sistema de celdas de combustible que tiene una operación de apagado en la que el agua del colector de salida del cátodo es devuelta a un depósito de agua elevando la presión del cátodo, tras lo que se cierra una válvula de apagado para mantener el estado drenado del colector y, a continuación, se drenan una trayectoria de descarga y una trayectoria de retorno.

**Resumen**

65 En un primer aspecto, la invención proporciona un método de interrupción del funcionamiento de un sistema de celdas de combustible que comprende una pila de celdas de combustible, comprendiendo el método las etapas secuenciales de:

- i) detener un suministro de combustible a la pila de celdas de combustible;
- ii) cerrar una válvula de cierre en una conducción de escape en comunicación fluida con un sistema de cátodo del sistema de celdas de combustible, sistema de cátodo que comprende una trayectoria de flujo de fluido del cátodo que pasa a través de la pila de celdas de combustible;
- iii) presurizar el sistema de cátodo con un compresor de aire en comunicación fluida con un puerto de entrada de aire del cátodo en la pila de celdas de combustible, y
- iv) expulsar agua de la trayectoria de flujo del cátodo a través de una conducción de inyección de agua del cátodo en comunicación fluida con una entrada de inyección de agua del cátodo en la pila de celdas de combustible.

En un segundo aspecto, la invención proporciona un sistema de celdas de combustible que comprende:

- una pila de celdas de combustible;
- un sistema de cátodo que tiene una trayectoria de flujo de fluido de cátodo que comprende una conducción de entrada de aire de cátodo, un volumen de cátodo dentro de la pila de celdas de combustible y una conducción de salida de cátodo conectada en serie y configurada para permitir el paso de aire a través de la pila de celdas de combustible;
- un compresor de aire en comunicación fluida con la conducción de entrada de aire de cátodo,
- un recipiente de contención aislado térmicamente configurado para recibir agua por una conducción de retorno de agua de la trayectoria de flujo de cátodo y proporciona agua a una entrada de inyección de agua del cátodo de la pila de celdas de combustible por una conducción de inyección de agua del cátodo.,
- en el que el sistema de celdas de combustible está configurado para expulsar agua de la trayectoria de flujo de cátodo al recipiente de contención por la conducción de inyección de agua del cátodo al cerrar la operación del sistema.

También se describe en la presente memoria una válvula de alivio de caudal inverso que comprende:

- un primer puerto de alimentación;
- un segundo puerto de alimentación;
- una válvula anti retorno dentro de un conducto de fluido principal que se extiende entre los puertos de alimentación primero y segundo, la válvula anti retorno configurada para permitir que el fluido pase desde el primero de los puertos de alimentación al segundo para bloquear el paso de fluido en la dirección inversa;
- un conducto de fluido de derivación en comunicación fluida con el conducto de fluido principal;
- una válvula de sellado desviada contra un extremo del paso de derivación entre el conducto de bypass y un puerto de purga, en el que la válvula de sellado está configurada para mantener un sellado contra el conducto de derivación cuando la presión del fluido en el puerto de alimentación primero supera la presión de fluido en el puerto de alimentación segundo para evitar el flujo de fluido desde el conducto de fluido principal hasta el puerto de purga a través del conducto de fluido de derivación, y para permitir el flujo de fluido desde el segundo puerto de alimentación al puerto de purga a través del conducto de fluido de derivación cuando la presión del fluido en el puerto de alimentación segundo supera la presión del fluido en el puerto de alimentación primero.

También se describe en la presente memoria un sistema de celdas de combustible que comprende:

- una pila de celdas de combustible;
- un sistema de cátodo que tiene una trayectoria de flujo de fluido de cátodo que comprende una conducción de entrada de aire de cátodo, un volumen de cátodo dentro de la pila de celdas de combustible y una conducción de salida de cátodo conectada en serie y configurada para permitir el paso de aire por la pila de celdas de combustible,
- un intercambiador de calor conectado en serie con un separador de agua a la conducción de salida del cátodo de la trayectoria de flujo de fluido del cátodo,
- donde una conducción de salida de expulsión de agua del separador de agua está conectada a un recipiente de contención de agua por una primera conducción de retorno de agua.

### Breve descripción de las figuras

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

- La figura 1 ilustra un diagrama esquemático de la disposición de los diversos componentes dentro de un sistema de celdas de combustible en general;
- la figura 2 ilustra un diagrama esquemático de un recipiente de contención de agua a modo de ejemplo;
- la figura 3 ilustra una vista en perspectiva en corte de una válvula de alivio de flujo inverso a modo de ejemplo;
- las figuras 4a y 4b ilustran esquemáticamente el funcionamiento de la válvula de alivio de caudal inverso de la figura 3; y
- las figuras 5a y 5b ilustran esquemáticamente dos configuraciones alternativas para la salida de cátodo corriente de líquido de separación. 5b ilustran esquemáticamente dos configuraciones alternativas para la separación de la corriente líquida de salida de cátodo.

## Descripción detallada

La figura 1 muestra un diagrama esquemático de un sistema de celdas de combustible de ejemplo 100 que comprende una pila de celdas de combustible 100 y otros componentes asociados. La pila de combustible 110 tiene una trayectoria de flujo de cátodo que pasa por él, la trayectoria de flujo de cátodo que comprende una entrada de aire 124 que conduce a una conducción 123 de entrada de aire y a la pila en la entrada de aire del cátodo 126. Después de pasar a través de un volumen interno de cátodo (no mostrado) dentro de la pila de celdas de combustible 110, la trayectoria de flujo del cátodo sale de la pila de celdas de combustible 110 a la conducción de salida del cátodo 121, por la conducción de escape del cátodo 122 y una válvula de cierre de escape 120. Durante la operación normal, la válvula de cierre de escape 120 está parcial o completamente abierta. Diversos componentes, tales como un intercambiador de calor 130, con un ventilador de enfriamiento asociado 139, y un separador de agua 131 pueden estar conectados a, o parte de la conducción de salida del cátodo 121 y la conducción de escape 122 en la trayectoria de flujo del cátodo. Los sensores de temperatura TX1, TX2, TX3, TX5 y sensores de presión PX2, PX3 también pueden estar presentes, conectados en los lugares apropiados para controlar la conducción de entrada 123 y la conducción de salida 121 de la trayectoria de flujo de cátodo.

La expresión "sistema de cátodo" en el presente contexto pretende abarcar aquellas partes del sistema de celdas de combustible 100 que están asociadas con el volumen del cátodo dentro de la pila de celdas de combustible. Estos incluyen los diversos componentes internos de la celda de combustible, como las entradas, salidas, la trayectoria de flujo interna y estructuras de distribución de agua, así como los componentes en comunicación de fluido con el volumen de cátodo, tales como las distintas conducciones de entrada, salida, recirculación y conducciones de escape tanto para líquidos como para gases. El término "trayectoria de flujo de cátodo" pretende abarcar un subconjunto del sistema de cátodo que incluye una trayectoria de flujo de fluido desde la entrada de aire 124 a través de un compresor de aire 133, la conducción de entrada 123, el volumen del cátodo de la pila de celdas de combustible 110, y la conducción de salida del cátodo 121. Los términos "sistema de ánodo" y "trayectoria de flujo de ánodo" se han de interpretar de manera similar, con referencia a los diversos componentes del sistema de celdas de combustible 100 asociados con el volumen del ánodo.

El compresor de aire 133, conectado a la conducción de entrada de aire de cátodo 123, proporciona aire comprimido a la trayectoria de flujo de cátodo. Otros componentes tales como un intercambiador de calor de entrada de aire 134, un medidor de flujo 135, uno o más filtros de aire 136, 137 y un calentador de aire 138 pueden estar presentes en la conducción de entrada de cátodo 123 entre la entrada de aire 124 y la pila de celdas de combustible 110. El intercambiador de calor de entrada de aire 134 puede utilizarse en conjunción con una conducción de refrigerante 141, una válvula 142 de tres vías y un sensor de temperatura TX7 para precalentar el aire desde el compresor de aire 133 con refrigerante del conducto refrigerante 141 durante el funcionamiento del sistema de celdas de combustible 100. La conducción refrigerante 141 que pasa a través del intercambiador de calor de entrada de aire 134 forma un circuito de refrigeración independiente configurado para extraer calor de la corriente de aire después del compresor 133. Esta conducción refrigerante 141 funciona preferiblemente después de que la pila de celdas de combustible 110 alcanza una temperatura normal de funcionamiento, con el fin de evitar la extracción de calor de la corriente de entrada de aire en la conducción de aire de entrada de cátodo 123 durante el arranque del sistema 100. El desvío del refrigerante en la conducción 141 se puede lograr mediante el uso de la válvula 142, permitiendo el control de suministro del refrigerante al intercambiador de calor 134. Puesto que la conducción refrigerante 141 está separada del agua que alimenta al sistema de cátodo, la necesidad de agua de alta pureza no es igual. El refrigerante usado en la conducción de refrigerante 141 por lo tanto puede comprender aditivos tales como glicol para disminuir el punto de congelación del refrigerante utilizado.

El combustible, normalmente en forma de hidrógeno gaseoso, entra en el sistema de celdas de combustible a través de una válvula reductora de presión 151 y una válvula de accionamiento 152, preferiblemente en la forma de una válvula accionada por solenoide normalmente cerrada. El suministro de combustible 150, cuando está en forma de gas hidrógeno, se encuentra normalmente situado lejos del sistema de celdas de combustible, por ejemplo en forma de un tanque a presión hacia la parte trasera de un vehículo. Otra válvula accionada por solenoide 153 - y una válvula reductora de presión 154 se pueden proporcionar más cerca de la pila de celdas de combustible en la conducción de entrada de combustible 155 de la trayectoria de flujo de ánodo entre la fuente de combustible 150 y la entrada del ánodo 156 de la pila de celdas de combustible 110. Por lo tanto se proporcionan dos conjuntos separados de válvulas que conducen a la entrada del ánodo 156, un conjunto 151, 152 cerca del tanque y el otro conjunto 153, 154 más cerca de la pila de celdas de combustible 110, con una conducción intermedia de combustible a presión 119 entre ellas. La válvula reductora de presión 154 regula la presión del gas combustible seco a un nivel adecuado para introducción en la pila de celdas de combustible 110. La válvula reductora de presión 154 es preferentemente un dispositivo pasivo que tiene aplicado un ajuste de presión pre-establecido, aunque puede usarse un dispositivo controlado activamente. Se proporciona opcionalmente un calentador de combustible 145, por ejemplo, en la conducción de combustible presurizado 119 antes de la válvula 153, como se muestra en la figura 1, o alternativamente en la conducción de entrada de combustible 155, ya sea antes o después de la válvula reductora de presión 154.

Se proporciona una válvula de accionamiento adicional 161 en la conducción de salida de ánodo 165. Cada válvula

accionada 152, 153, 161 puede estar provista de un elemento calefactor local para descongelar la válvula según sea necesario, aunque la activación de las válvulas 152, 153, 161 por el paso de corriente a través del solenoide proporcionará un cierto grado de calefacción. Preferiblemente, cada una de las válvulas de accionamiento 152, 153, 161 está configurada a prueba de fallos, es decir, sólo se abre cuando se acciona por paso de corriente a través del solenoide.

Para controlar y aliviar la presión de combustible dentro de la trayectoria de flujo de ánodo, se puede proporcionar un sensor de presión PX1 y / o una válvula de alivio de presión 157. La válvula de alivio de presión 157 se ajusta preferentemente para abrir y aliviar el fluido desde la trayectoria de flujo del ánodo por una conducción de alivio de presión de escape 158 cuando la presión en la trayectoria de flujo de ánodo excede un nivel de funcionamiento seguro.

Una válvula adicional de accionamiento manual 162 en la conducción de salida de ánodo 165 puede estar presente, esta válvula 162 pudiendo ser utilizada, por ejemplo, durante el mantenimiento para asegurar la despresurización de la trayectoria de flujo de ánodo. La acumulación de agua en la trayectoria de flujo de ánodo en la pila de celdas de combustible 110 se puede producir, por ejemplo, como resultado de la difusión de agua a través de la PEM desde el lado del cátodo. Por consiguiente, se puede proporcionar un separador de agua de escape del ánodo 163 en la conducción de escape del ánodo 164 para separar cualquier agua presente en el conducto de escape 164. Este agua puede opcionalmente agotarse o recircularse. Durante el funcionamiento de la pila de celdas de combustible 110, la válvula 161 normalmente se mantiene cerrada, y sólo se abre de forma intermitente para agotar cualquier agua acumulada de la trayectoria de fluido de ánodo.

Se proporciona una entrada de inyección de agua del cátodo 127 en la pila de celdas de combustible 110, la entrada 127 conectada a una conducción de inyección de agua del cátodo 125. La conducción de inyección de agua del cátodo 125 puede ser calentada a lo largo de una parte o la totalidad de su longitud, y se extiende entre un recipiente de contención de agua 140 y la entrada de inyección de agua del cátodo 127. Un calentador 129 se puede proporcionar para aplicar calor a una región específica de la conducción 125 para calentar el agua que pasa por la conducción de inyección 125 hacia la entrada de inyección de agua del cátodo 127. Un sensor de presión adicional PX4 se puede proporcionar en la conducción de inyección de agua del cátodo 125 con el fin de controlar la presión de retroceso en la conducción 125 durante el funcionamiento.

El agua de la conducción de salida de cátodo 121 se bombea con una bomba de agua 132, opcionalmente provista de un calentador 143, por una conducción de retorno de agua 128 hacia el recipiente de contención de agua 140, más detalles de los cuales se proporcionan a continuación con referencia a la figura 2. El exceso de agua se expulsa del sistema de celdas de combustible 100 de la vasija de contención de agua 140 por una conducción de rebose de agua 144.

La figura 2 muestra una vista esquemática en sección transversal de la vasija de contención de agua 140 de la figura 1. El recipiente 140 comprende una pared térmicamente aislante 210 y una tapa 211, que también puede ser térmicamente aislante. Preferiblemente, la pared 210 del recipiente 140 es de una construcción de doble pared, con un vacío u otra capa térmicamente aislante, tal como aire o poliestireno expandido entre las dos paredes. La superficie interior 215 de la vasija 210 está hecha preferiblemente de un material que tiene resistencia a la corrosión, tal como acero inoxidable, para evitar la contaminación del agua 212 dentro del recipiente.

El propósito de la tapa 211 es permitir las conexiones a los diferentes elementos alojados dentro del recipiente 140, manteniendo al tiempo un buen grado de aislamiento. Normalmente, la tapa 211 se fabrica a partir de nylon reforzado vidrio con una capa adicional de espuma aislante. Los puertos de la tapa para facilitar el paso de las conducciones 125, 144, 128 están configurados preferiblemente de tal manera que cuando el sistema está apagado, cualquier agua residual va nuevamente dentro del recipiente. Esto implica el uso de tubería de un diámetro suficientemente grande de tal manera que no se forman gotas de agua que abarcan el orificio interior de la tubería y obstruyen la conducción. Preferiblemente, no se utilizan accesorios en la tapa de manera que los tubos que pasan a través de la tapa 211 no contienen curvas cerradas. En un aspecto general, por lo tanto, la conducción de inyección de agua 125 se extiende entre el recipiente de contención de agua 140 y la entrada de inyección de agua de cátodo 127, y una conducción de escape 121, 128 se extiende entre una conducción de salida de cátodo 121 y el recipiente de contención de agua 140, ambas comprenden tuberías que tienen un orificio interno de tal manera que las gotas de agua no abarcan el orificio después de la expulsión de agua del sistema de cátodo.

Se proporciona un elemento de calentamiento termostático 236 dentro del recipiente 140 para mantener la temperatura del agua 212 dentro del recipiente 140 por encima del punto de congelación. Un sensor 233 de nivel proporciona una señal que indica el nivel de agua dentro del recipiente 212. Se proporciona un calentador 237 además del elemento de calentamiento termostático 236 con el fin de proporcionar un calentamiento más rápido para descongelar el agua 212 si se congela. Debido a los requerimientos de energía de cambio de fase del agua de sólido a líquido, este calentador 237 es normalmente de una potencia más alta que el elemento de calentamiento termostático 236, por ejemplo alrededor de 180 W o superior. El calentador termostático 236 está configurado para asegurar que la temperatura del agua 212 en el recipiente 140 permanezca por encima de un punto de ajuste. Este punto de ajuste es normalmente 5 °C, con el fin de evitar que el agua se congele. El calentador termostático 236

puede ser alimentado por una batería de alimentación de 12 V, y puesto a funcionar durante un período determinado. Por lo tanto, durante este período, puede garantizarse agua líquida en el recipiente. Para períodos más largos a temperatura ambiente bajo cero, el calentador termostático 236 está desactivado para ahorrar energía de la batería. El agua 212 se puede entonces congelar, y requerirá la descongelación con el calentador de mayor potencia 237. El calentador termostático es normalmente de una potencia tal que una salida de calor máxima es ligeramente mayor que las pérdidas máximas nominales del recipiente. Una potencia normal está en el intervalo de 2 a 4 W.

Un sensor de temperatura TX4, que comprende preferiblemente un termistor sumergido, se instala con el fin de permitir supervisar la temperatura del agua 212 en el recipiente 140.

Una conducción de rebose 144 se proporciona para expulsar el exceso de agua del recipiente de contención si un nivel de agua en el recipiente excede una cantidad preestablecida.

El agua de la conducción de retorno de agua 128 entra en el recipiente 140 a través de un filtro 234. Una bomba 230, 231, 240 bombea el agua 212 desde el recipiente 140 a través de un filtro adicional 214, una válvula de alivio de caudal inverso 213 y a la conducción de inyección de agua del cátodo 125. Un medidor de flujo 235 está configurado para supervisar la cantidad de agua que pasa por la conducción de inyección de agua de cátodo 125.

La bomba se construye preferiblemente de manera que una parte motorizada 231 esté situado fuera del volumen de contención del recipiente 140 y por lo tanto evite que esté en contacto directamente con el agua 212 dentro del recipiente. Un eje 240 entre el motor 231 y un cabezal de bomba 230 permite que el motor 231 accione el cabezal de la bomba 230. El cabezal de la bomba, que comprende al menos la entrada, salida e impulsor, preferiblemente es de una construcción tal que, después de ser sumergida en el agua helada la bomba es capaz de operar de nuevo una vez que el agua se haya descongelado. El motor 231 está preferiblemente nominado para operar a temperaturas bajo cero.

El cabezal de la bomba 230 está situado de manera que quede sumergido por el agua 212 en el recipiente 140. Esto tiene la ventaja de que no existe necesidad de purgar el cabezal de la bomba 230 durante el apagado o calentarlo durante el arranque, en particular cuando se mantiene agua 212 dentro del recipiente después de la parada. El cabezal de la bomba 230 se configura preferentemente para tener una masa térmica pequeña. Se consigue la descongelación del hielo dentro del cabezal de la bomba 230 mediante calor transferido del agua circundante a medida que se descongela. El cabezal de la bomba 230 también está preferiblemente configurado para adaptarse a la expansión debida a formación de hielo. En la descongelación, el cabezal de la bomba 230 vuelve entonces a su forma original sin comprometer su funcionamiento.

El flujo inverso de la válvula de alivio 213 está construido de forma que puede pasar agua del cabezal de la bomba 230 por la conducción de inyección de agua del cátodo 125 hacia la entrada de inyección de agua del cátodo 127 cuando la bomba está en funcionamiento, creando una caída de presión en la válvula en la dirección de flujo. Sin embargo, cuando se detiene la bomba y sube la presión en la conducción de inyección de agua del cátodo 125, la válvula 213 permite que el agua vuelva a fluir hacia el recipiente 140 a través de un puerto de purga 238.

El propósito de la válvula de alivio de flujo inverso 213 es permitir que el agua sea introducida de nuevo en el recipiente 140 desde la pila de celdas de combustible 110 y las conducciones de conexión durante el cierre del sistema 100. El cierre de la válvula de escape del cátodo 120 permite que el agua en la pila de celdas de combustible 110 sea forzada a presión desde el compresor de aire 133 de nuevo a través de la entrada de inyección de agua del cátodo 127, fuera de la pila 110 y por la conducción de inyección de agua 125 hacia el recipiente de contención de agua 140. Sin embargo, si se utiliza una bomba de engranajes en el recipiente de contención, sin la válvula de alivio de caudal inverso 213 no fluiría el agua debido a la presión requerida para empujar el agua a través del cabezal de la bomba 230. Por lo tanto, la válvula de alivio de flujo inverso 213 está configurada de tal manera que en funcionamiento normal permite que el agua pase a través de ella desde la bomba a la pila de celdas de combustible 110. Cuando se somete a una contrapresión pequeña (por ejemplo en la región de 30 kPa.g (300 mBar.g)) cuando el cabezal de la bomba 230 no está en funcionamiento, el diafragma se abre y permite que el agua fluya de vuelta al recipiente a través del puerto de purga 238.

Un ejemplo de realización de la válvula de alivio de caudal inverso 213 se muestra en la figura 3 en corte transversal. En funcionamiento normal, el agua fluye desde el recipiente de contención 140 por la válvula de alivio de caudal inverso 213 en las direcciones indicadas por las flechas 301. El agua fluye por un primer puerto de alimentación 314, a través de una válvula 316 de no retorno y de la válvula 213 por un segundo puerto de alimentación 320 hacia la conducción de inyección de agua del cátodo 125. La presión de agua en el primer puerto de alimentación 314 se transmite por un paso de conexión 313 y un conducto de transferencia 312 a una cavidad 311 sellada por una válvula de sellado, por ejemplo en forma de un diafragma 321, y cerrado por una cara de cubierta 323. La presión mantiene una cara de sellado 317 del diafragma 321 contra una cara de un conducto de derivación 318, y por lo tanto impide que el fluido pase entre el segundo puerto de alimentación 320 y una cavidad de baja presión 315 detrás del diafragma 321.

Una vez que la bomba del recipiente de contención de agua 230 está desactivada, una pérdida de presión en el

primer puerto de alimentación 314 y un aumento de la presión en el segundo puerto de alimentación 320 causado por un aumento de presión en el volumen del cátodo de la pila de celdas de combustible 110 hacen que la válvula de no retorno 316 se cierre. El aumento de la presión en el segundo puerto de alimentación hace que el diafragma 321, que se compone preferiblemente de un material elástico como caucho, se flexione y abra un paso entre el conducto de derivación 318 y la cavidad de baja presión 315. Así permite que el agua fluya desde el segundo puerto de alimentación 320 por el paso de derivación 318, a la cavidad de baja presión 315, por un pasaje de purga 322 y fuera de la válvula 213 por el puerto de purga 238. La dirección general de flujo en la dirección inversa se indica por las flechas 302.

La configuración de la válvula de alivio de caudal inverso permite que el agua sea expulsada desde el volumen de cátodo en la pila de celdas de combustible y la conducción de inyección de agua del cátodo permitiendo al mismo tiempo que el cabezal de la bomba 230 en el recipiente de contención 140 permanezca cebado con agua.

Siempre que el agua en el recipiente 212 no esté congelada, el cabezal de la bomba 230 entonces permanece preparado para comenzar inmediatamente el bombeo de agua para inyección en el volumen del cátodo de la pila de celdas de combustible 110.

Las figuras 4a y 4b muestran esquemáticamente los dos modos diferentes de funcionamiento posibles con la válvula de alivio de caudal inverso 213. En la figura 4a, se muestra la operación de purga, en la que el aire a baja presión de la pila de celdas de combustible entra en la válvula 213 a través del segundo puerto de alimentación 320, y no hay flujo en el primer puerto de alimentación 314. Este aire a baja presión hace que el diafragma 321 se flexione y permita el flujo a través del conducto de derivación 318 y fuera de la válvula por el puerto de purga 238 para suministro a la reserva de agua en el recipiente de contención de agua 140. La válvula de no retorno 316 impide el flujo a través del primer puerto de alimentación 314.

En la figura 4b, se muestra la operación de suministro de agua de la válvula de alivio de caudal inverso 213, en la que el agua a alta presión bombeada desde el depósito en el recipiente de contención de agua 140 entra en la válvula 213 a través del primer puerto de alimentación 314. La presión, transmitida a través del conducto de conexión 313 a la cavidad de alta presión 311, mantiene el diafragma 321 en una posición cerrada contra el conducto de derivación 318. El flujo de agua pasa por la válvula 316 de no retorno y de la válvula de alivio de caudal inverso 213 a través del segundo puerto de alimentación 320. No se produce flujo a través del puerto de purga 238.

Dos disposiciones alternativas de la salida del cátodo, las conducciones de escape y el agua de inyección se muestran esquemáticamente en las figuras 5a y 5b. En la figura 5a, el separador de agua 131 se conecta primero en conducción con la conducción de salida de cátodo 121, en serie con y antes del intercambiador de calor 130, y dos conducciones de inyección de agua 128a, 128b se utilizan para enviar agua por bombas 132a, 132b al recipiente de contención 140. En la figura 5b, el separador de agua 131 está conectado en serie con, pero después de, el intercambiador de calor 130, y una única bomba 132 se utiliza para bombear agua por la conducción de retorno de agua 128 al recipiente de contención 140.

En la configuración de la figura 5a, la corriente de salida del cátodo pasa por la conducción de salida 121 del cátodo a un separador ciclónico de agua 131, que elimina el contenido de líquido antes de redirigir el aire saturado a un intercambiador de calor 130. El intercambiador de calor 130 enfría la corriente de aire saturado, que hace que una proporción del agua arrastrada cambie a la fase líquida. Dos bombas 132a, 132b se utilizan para transferir el agua recuperada al recipiente de contención 140, una bomba 132a conectada por la conducción de retorno de agua 128a a la base del separador 131 y la otra 132b conectada por la conducción de retorno de agua 128b a la caja de salida del colector del intercambiador de calor 130. Durante el funcionamiento normal de las celdas de combustible el cierre variable de la válvula 120 se mantiene abierto. Sin embargo, durante el cierre del sistema de celdas de combustible, esta válvula está cerrada para proporcionar contrapresión a la trayectoria de flujo del cátodo. En este caso, el compresor 133 (u otro dispositivo que suministra aire a la pila de combustible según un punto de ajuste de caudal definido) trabaja más intensamente para mantener un caudal fijo de aire. El separador 131 contiene una válvula de alivio de presión (no mostrada) que, durante esta fase de apagado a contrapresión, se abre permitiendo la expulsión de agua del separador de agua 131 por una conducción de purga de agua 510 (normalmente a la atmósfera). Antes de proveer contrapresión la trayectoria de flujo de cátodo cuando se apaga el sistema, la bomba 132a normalmente se deja funcionar durante unos pocos segundos para eliminar la mayor parte del agua del separador 131.

En la configuración de la figura 5b, la operación es similar a la de la figura 5a, excepto que el separador ciclónico 131 se coloca detrás del intercambiador de calor 130. Por ello, el elemento líquido de la corriente de salida del cátodo se pasa por el intercambiador de calor 130. Además, sólo se requiere una bomba 132 para transferir el agua recuperada de vuelta al recipiente de contención 140. Una ventaja de esta configuración es que como la entrada al intercambiador de calor 130 es parte del camino desde la parte inferior, cualquier agua residual que queda en el intercambiador de calor 130 después de la parada descenderá para ocupar la parte inferior del intercambiador de calor 130. En el caso de que el intercambiador de calor 130 sea entonces sometido a temperatura bajo cero, esta agua se congela. Sin embargo, el flujo todavía será posible por la trayectoria de flujo de cátodo a través del resto del intercambiador de calor, que a continuación calentará y descongelará el agua congelada en la parte inferior.

El puerto de purga 510 en cada caso permite que el separador ciclónico se limpie y seque, lo que permite el posterior almacenamiento a bajas temperaturas.

5 Preferiblemente, la inercia térmica del separador ciclónico 131 es baja de manera que cuando una pequeña cantidad de agua líquida entra en el separador cuando el separador 131 está por debajo de 0 °C, el agua líquida no se congela.

Opcionalmente, puede ser utilizada una válvula de alivio de presión para aumentar la presión de retorno del sistema hasta el punto de que no se requieren las bombas de transferencia 132, 132a, 132b.

10 Sin embargo, en este caso podrían no estar instalados la válvula de alivio ciclónico y puerto de purga 510, para garantizar que la presión interna en la conducción de salida del agua de cátodo 121 fuerza al agua por la conducción de eyección de agua hacia el recipiente de contención de agua 140. Si no está montada una bomba de transferencia 132, es más preferible la disposición mostrada en la figura 5b, para asegurar que el agua expulsada desde la conducción de salida de cátodo pase por una conducción de expulsión de agua única 128.

15 Durante el funcionamiento del sistema de celdas de combustible 100 (con referencia a las figuras 1 y 2), el agua del recipiente de contención 140 se bombea por la trayectoria de flujo de cátodo por la conducción de inyección de agua del cátodo 125 y la entrada de inyección de agua del cátodo 127. Después de pasar a través del volumen de cátodo dentro de la pila de celdas de combustible 110, el agua pasa fuera de la pila 110 por la conducción de salida de agua de cátodo 121 y al intercambiador de calor 130. Una mezcla de gas de escape y agua condensada pasa a través del separador de agua 131. El agua condensada pasa por la conducción de retorno de agua 128 y al recipiente de contención de agua 140. Cualquier exceso de agua se expulsa por la conducción de rebose de agua 144. Los gases de escape son expulsados a través de una válvula de cierre de escape 120, que se mantiene al menos parcialmente abierta para controlar la presión dentro de la trayectoria de flujo de cátodo.

20 Con referencia a la figura 1, el gas combustible es alimentado a la entrada del ánodo 156 y al volumen del ánodo (no mostrado) dentro de la pila de celdas de combustible 110. Las válvulas 153, 161 son accionadas para mantener la presión deseada dentro del volumen de ánodo. La válvula manual 162 conectada a la salida del ánodo 159 permanece cerrada. Opcionalmente, el agua expulsada de la corriente de escape del ánodo se separa en fases líquida y gaseosa con un separador de agua adicional 163.

25 En el apagado del sistema de celdas de combustible 100, el suministro de combustible a la pila de celdas de combustible 110 se corta primero mediante el cierre de la válvula accionada por solenoide 153 en la conducción de suministro de combustible 155. La válvula de cierre 120 en la conducción de escape del cátodo 122 se cierra entonces, mientras que el compresor de aire 133 continúa la operación. En la práctica, puede requerirse un tiempo para eliminar el agua en la trayectoria de flujo de cátodo con aire antes de que la válvula de cierre 120 esté cerrada. La presión en la vía de flujo de cátodo entonces se eleva. La bomba de la conducción de expulsión de agua 132, si está presente, preferiblemente continúa operando durante un tiempo después de que la válvula de cierre está cerrada, para permitir que el agua continúe pasando a través del recipiente de contención 140. La bomba del recipiente de contención 230 deja de funcionar, y por consiguiente el agua deja de alimentar la conducción de inyección de agua del cátodo 125.

30 Una corta operación de purga de la ruta de flujo de ánodo también se puede usar durante el apagado para expulsar agua presente en la trayectoria de flujo de ánodo, siendo el agua forzada a través de la válvula abierta de salida del ánodo 161, seguido por despresurización del volumen del ánodo en la pila de celdas de combustible 110.

35 El aire soplado a través de la trayectoria de flujo de cátodo fuerza al agua residual fuera del volumen de cátodo en la pila de celdas de combustible 110 por la conducción de salida de cátodo 121, y a través del intercambiador de calor 130 al separador de agua 131. La bomba 132 bombea agua desde el separador 131 por la conducción de retorno de agua 128 y al recipiente de contención de agua 140. Cuando la válvula de cierre 120 cierra la presión de aire del cátodo se elevará, forzando el agua fuera del volumen de cátodo en la pila de celdas de combustible 110 por la entrada de inyección de agua del cátodo 127 y por la conducción de inyección de agua del cátodo 125 y el puerto de purga 238 de la válvula de alivio de caudal inverso 213 hacia el recipiente de contención de agua 140.

40 La capacidad de purgar agua de la trayectoria de flujo de cátodo a través del recipiente de contención de agua 140 permite que el agua, que puede estar atrapada en los elementos internos y galerías de distribución de agua, se elimine. Para un tamaño normal de la pila de celdas de combustible para aplicaciones de automoción, esto puede dar lugar a que unos 30 ml de agua se eliminen de la trayectoria de flujo de cátodo. El uso del compresor de aire 133 en lugar de una alimentación de purga de nitrógeno reduce el número de componentes necesarios y evita la excesiva sequedad de la pila de celdas de combustible. Las membranas de la pila se pueden mantener entonces en un estado más adecuado para una posterior operación de puesta en marcha. El funcionamiento temporizado del compresor de aire en el apagado puede optimizarse para proporcionar un equilibrio entre la eliminación suficiente de agua para evitar los efectos adversos de condiciones bajo cero y la deshidratación de las membranas. Para un sistema de celdas de combustible normal, el compresor de aire puede operar alrededor de 1 a 2 minutos después de cerrar la válvula de escape 120. El gas hidrógeno puede también ser utilizado para purgar el exceso de agua de la trayectoria de flujo de ánodo.



Se pretende que otras realizaciones de la invención estén dentro del alcance de la invención, tal como se define por las reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

1. Un método de interrupción del funcionamiento de un sistema de celdas de combustible que comprende una pila de celdas de combustible (110), comprendiendo el método las etapas secuenciales de:
- 5
- i) detener un suministro de combustible a la pila de celdas de combustible;
  - ii) cerrar una válvula de cierre (120) en una conducción de escape (122) en comunicación fluida con un sistema de cátodo del sistema de celdas de combustible, comprendiendo el sistema de cátodo una trayectoria de flujo de fluido del cátodo que pasa a través de la pila de celdas de combustible;
  - 10
  - iii) presurizar el sistema de cátodo con un compresor de aire (133) en comunicación fluida con un puerto de entrada de aire del cátodo (126) en la pila de celdas de combustible,
  - y
  - iv) expulsar agua de la trayectoria de flujo del cátodo a través de una conducción de inyección de agua del cátodo (125) en comunicación fluida con una entrada de inyección de agua del cátodo (127) en la pila de celdas de combustible.
  - 15
2. El método de la reivindicación 1, en el que la etapa iv) comprende además la expulsión de agua de la trayectoria de flujo del cátodo a través de uno o más de:
- 20
- un separador de agua (131);
  - un intercambiador de calor (130); y
  - una conducción de retorno de agua (128).
3. El método de la reivindicación 2, en el que el agua es expulsada de la trayectoria de flujo del cátodo a un recipiente de contención (140) aislado térmicamente.
- 25
4. El método de la reivindicación 3, en el que el agua es expulsada a través del separador de agua (131) a una conducción de escape (122) de la trayectoria de flujo del cátodo y a un recipiente de contención (140).
- 30
5. El método de cualquiera de las reivindicaciones 3 a 4, en el que el recipiente de contención (140) comprende una bomba (230, 231, 240) configurada para proporcionar agua desde el recipiente de contención a la entrada de inyección de agua (127) de la pila de celdas de combustible.
- 35
6. El método de la reivindicación 5, en el que un cabezal de bomba (230) de la bomba está sumergido en agua dentro del recipiente de contención (140).
- 40
7. El método de la reivindicación 6, en el que una parte motorizada (231) de la bomba está dispuesta fuera del volumen de contención de agua del recipiente de contención (140), estando la parte motorizada conectada al cabezal de bomba (230) por un eje de accionamiento (240).
- 45
8. El método de la reivindicación 4, en el que el compresor de aire (133) está en funcionamiento hasta que sustancialmente todo el agua presente en la conducción de escape (122) y en la conducción de inyección de agua (125) situada entre la pila de celdas de combustible (110) y el recipiente de contención (140) es expulsado al recipiente de contención.
- 50
9. El método de cualquiera de las reivindicaciones 3 a 8 que comprende además la etapa subsiguiente de:
- v) mantener el agua del recipiente de contención (140) por encima de una temperatura preestablecida por medio de un elemento de calentamiento controlado termostáticamente (236).
  - 50
10. El método de la reivindicación 9, en el que el elemento de calentamiento controlado termostáticamente (236) se desconecta un tiempo preestablecido después de cerrarse la válvula de cierre (120).
- 55
11. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 10, en el que el recipiente de contención (140) comprende un calentador (237) configurado para descongelar agua en el recipiente de contención tras el apagado del sistema de celdas de combustible.
- 60
12. El método de la reivindicación 3, en el que el agua expulsada de la trayectoria de flujo del cátodo pasa a través del intercambiador de calor (130) antes de pasar a través del separador de agua (131) y llegar al recipiente de contención (140).
- 65
13. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en el que el compresor de aire (133) está en funcionamiento durante un tiempo preestablecido tras cerrarse la válvula de cierre (120) y hasta alcanzarse un nivel de agua predeterminado en la trayectoria de flujo del cátodo.

14. Un sistema de celdas de combustible (100) que comprende:

una pila de celdas de combustible (110);

5 un sistema de cátodo que tiene una trayectoria de flujo de fluido de cátodo que comprende una conducción de entrada de aire de cátodo (123), un volumen de cátodo dentro de la pila de celdas de combustible y una conducción de salida de cátodo (121) conectadas en serie y configuradas para permitir el paso de aire a través de la pila de celdas de combustible;

un compresor de aire (133) en comunicación fluida con la conducción de entrada de aire del cátodo;

10 un recipiente de contención (140) aislado térmicamente configurado para recibir agua a través de una conducción de retorno de agua de cátodo (128) de la trayectoria de flujo de cátodo y proporcionar agua a una entrada de inyección de agua de cátodo (127) de la pila de celdas de combustible a través de una conducción de inyección de agua de cátodo (125),

15 en donde el sistema de celdas de combustible está configurado para expulsar agua desde la trayectoria de flujo de cátodo al recipiente de contención (140) a través de la conducción de inyección de agua de cátodo (125) al interrumpirse el funcionamiento del sistema.

15. El sistema de celdas de combustible de la reivindicación 14, en el que el recipiente de contención (140) está conectado con fluidez a una conducción de inyección de agua (125) que comprende una entrada de inyección de agua de cátodo (127) en la pila de celdas de combustible (110), estando la conducción de inyección de agua configurada para permitir el paso del agua desde el volumen del cátodo de la pila de celdas de combustible al recipiente de contención.

20

16. El sistema de celdas de combustible de la reivindicación 15, en el que la conducción de inyección de agua (125) comprende una válvula de alivio de flujo inverso (213) configurada para permitir el paso del agua desde la trayectoria de flujo del cátodo al recipiente de contención (140) cuando se invierte una diferencia de presión a través de la válvula desde la misma durante el funcionamiento del sistema de celdas de combustible.

25

17. El sistema de celdas de combustible de la reivindicación 14 que comprende además:

30 un intercambiador de calor (130) conectado en serie con un separador de agua (131) hasta la conducción de salida de cátodo (121) de la trayectoria de flujo de fluido del cátodo, en el que hay una conducción de salida de expulsión de agua del separador de agua (131) conectada a un recipiente de contención de agua (140) por una primera conducción de retorno de agua (128a).

35 18. El sistema de celdas de combustible de la reivindicación 17, en el que la salida de expulsión de agua del intercambiador de calor (130) está conectada al recipiente de contención de agua (140) por una segunda conducción de retorno de agua (128b).

40 19. El sistema de celdas de combustible de la reivindicación 18 que comprende una bomba de agua (132a, 132b) en cada una de las primera (128a) y segunda (128b) conducciones de retorno de agua.

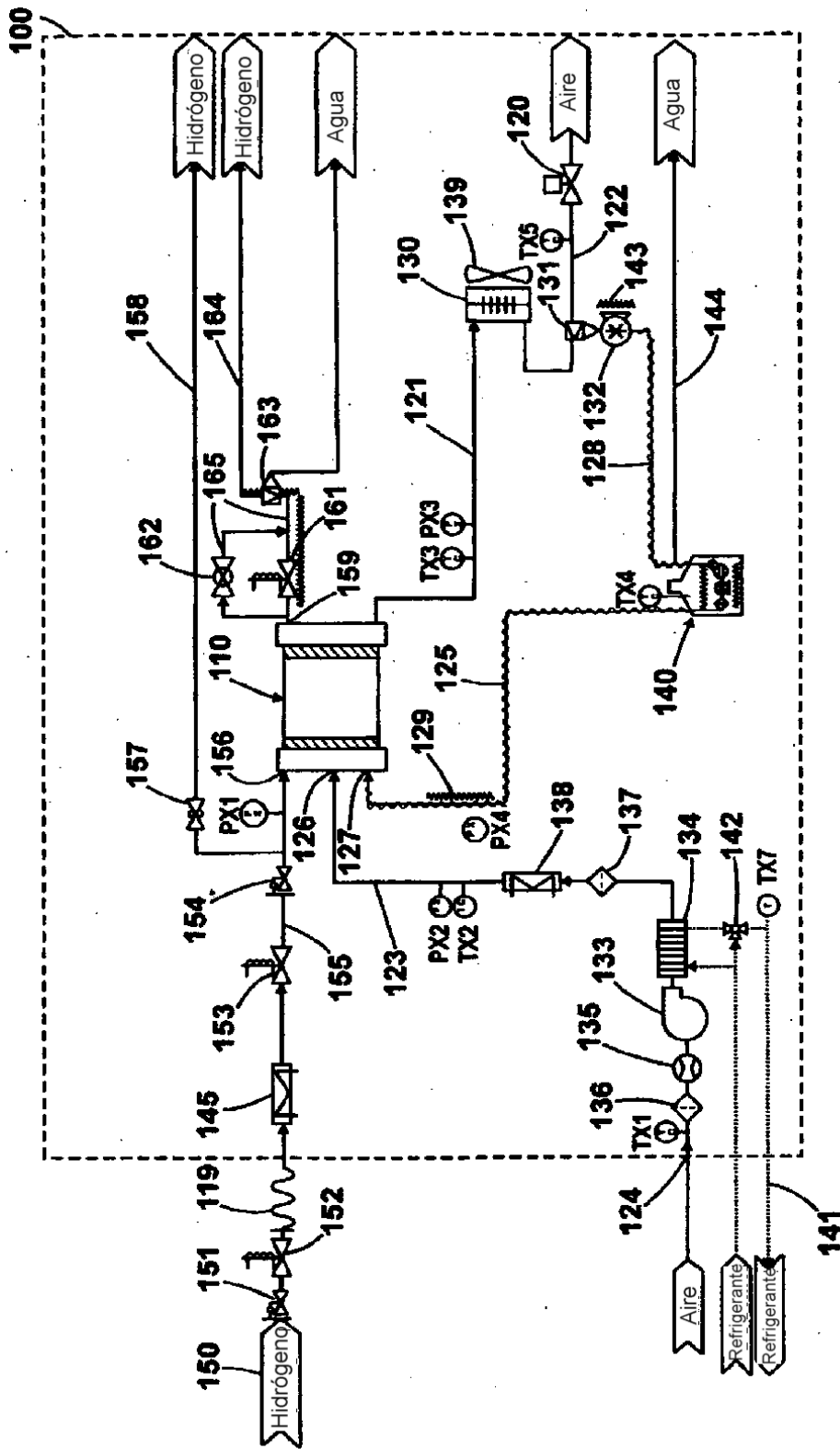
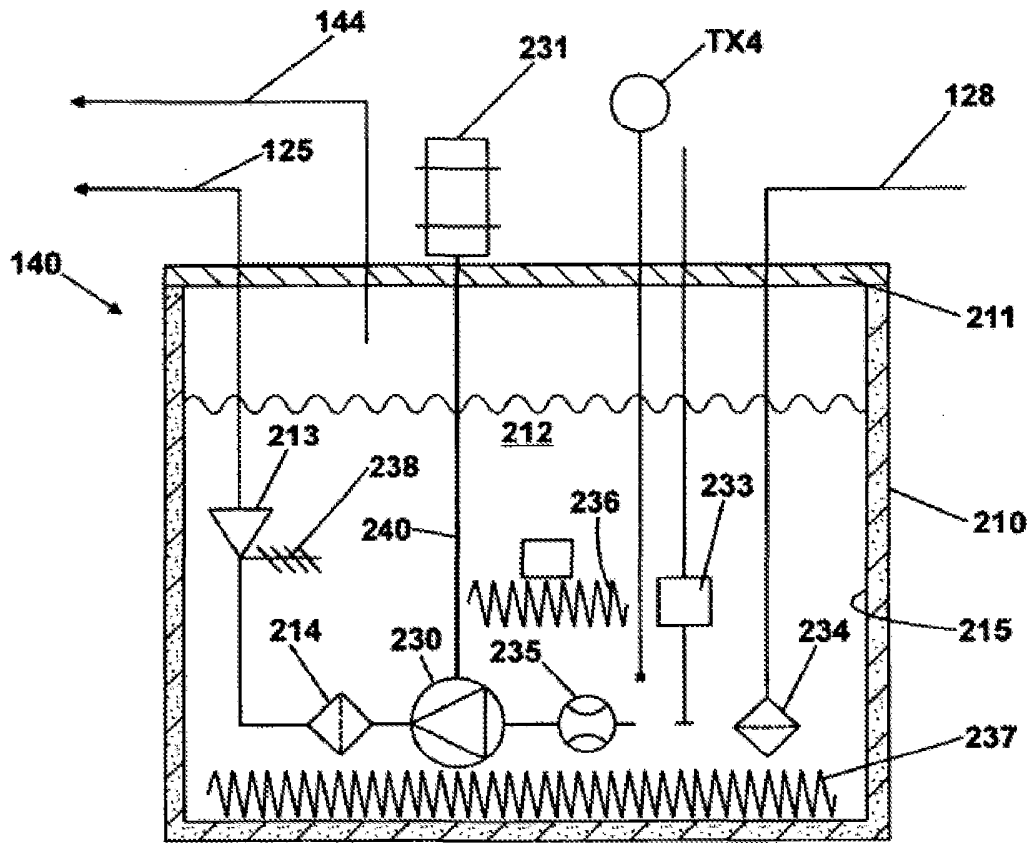
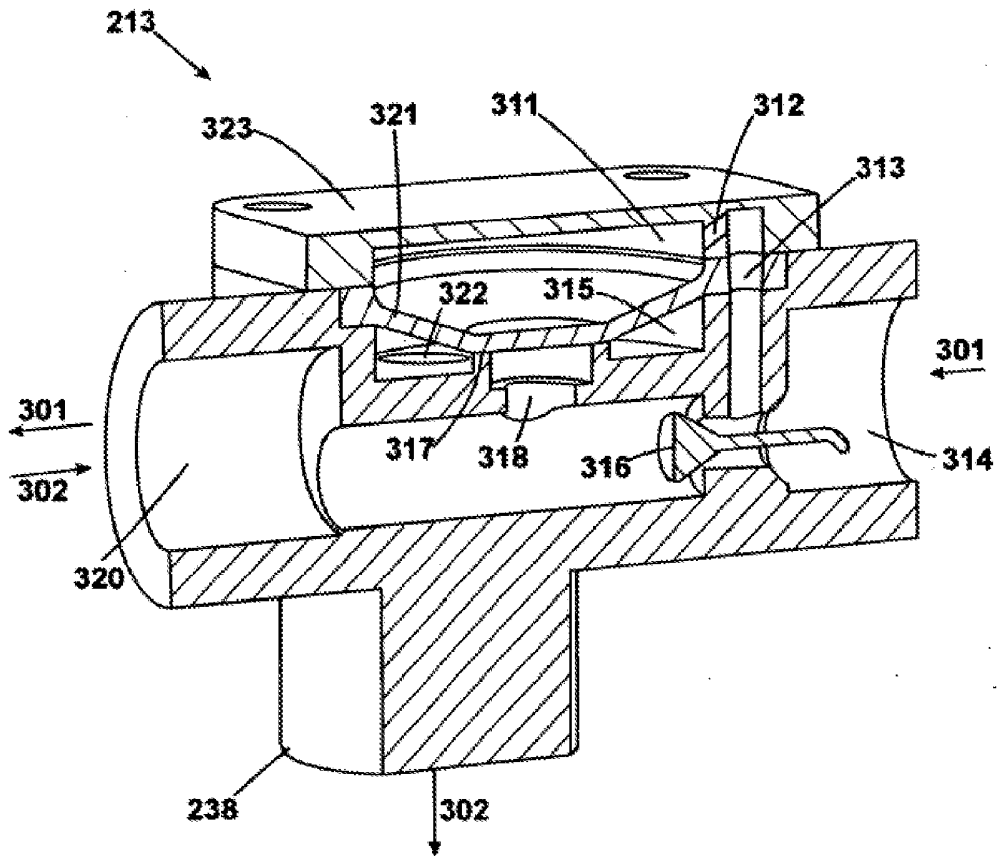


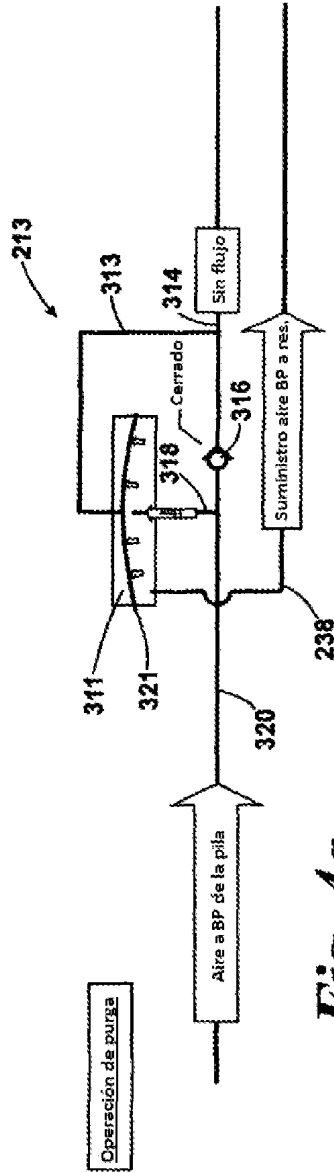
Fig. 1



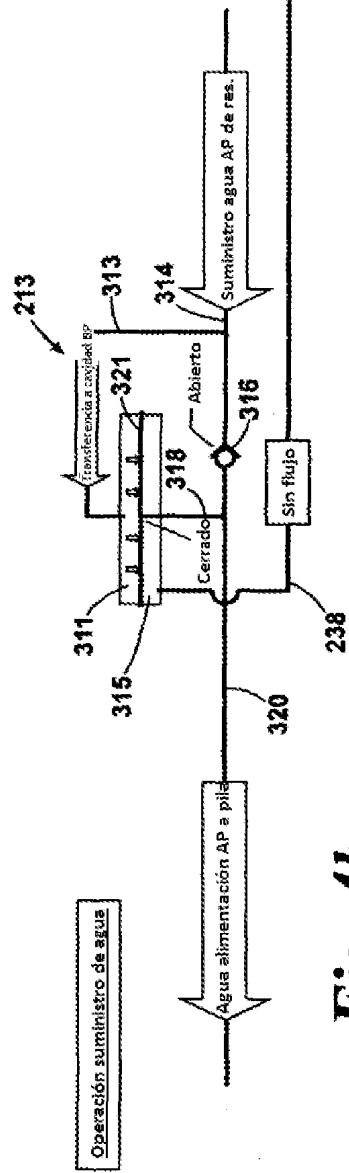
**Fig. 2**



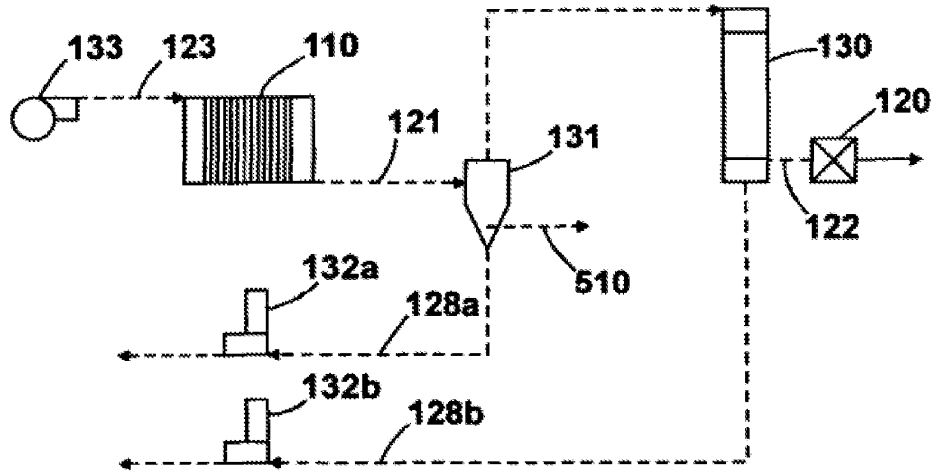
**Fig. 3**



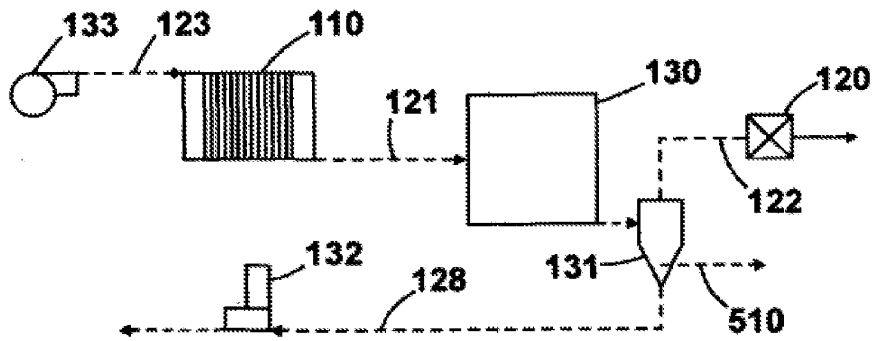
**Fig. 4a**



**Fig. 4b**



***Fig. 5a***



***Fig. 5b***