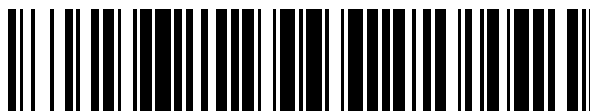


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 394 955**

51 Int. Cl.:

H01M 8/04 (2006.01)

H01M 8/10 (2006.01)

H01M 8/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.12.2004 E 04806257 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la solicitud europea: **08.11.2006 EP 1719199**

54 Título: **Gestión del agua en pilas de combustible**

30 Prioridad:

31.12.2003 GB 0330272

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.02.2013

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**MATCHAM, JEREMY STEPHEN;
GRANGE, NATHAN;
BENSON, PAUL ALAN;
BAIRD, SCOTT;
KELLS, ASHLEY;
COLE, JONATHAN;
ADCOCK, PAUL;
HOOD, PETER DAVID y
FOSTER, SIMON EDWARD**

74 Agente/Representante:

URÍZAR ANASAGASTI, José Antonio

ES 2 394 955 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

Gestión del agua en pilas de combustible.

[0001] La prón se refiere a pilas electroquímicas de combustible, tal como pilas de combustible de electrolito de polímero sólido, que convierten combustible y oxidante en energía eléctrica y un producto de reacción.

5 **[0002]** Se muestra una disposición típica de pila convencional de combustible 10 en la figura 1 que, por claridad, ilustra las diversas capas de forma despiezada. Una membrana de transferencia de iones de polímero sólido 11 está encajada entre un ánodo 12 y un cátodo 13. Normalmente, tanto el ánodo 12 como el cátodo 13 están formados de un material poroso eléctricamente conductor tal como carbono poroso, al que están unidas pequeñas partículas de platino y/u otro catalizador de metal precioso. El ánodo 12 y el cátodo 13 están a menudo unidos directamente a las respectivas superficies contiguas de la membrana 11. Esta combinación es referida comúnmente como conjunto membrana-electrodo, o MEA.

10 **[0003]** Encajando las capas de membrana de polímero y de electrodo poroso está una placa de campo de flujo fluido de ánodo 14 y una placa de campo de flujo fluido de cátodo 15. Capas intermedias de respaldo 12a y 13a pueden emplearse también entre la placa de campo de flujo fluido de ánodo y el ánodo 12 y de modo parecido entre la placa de campo de flujo fluido de cátodo 15 y el cátodo 13. Las capas de respaldo son de naturaleza porosa y fabricadas de tal modo que aseguren la difusión eficaz de gas a y desde las superficies del ánodo y cátodo así como asistir en la gestión de vapor de agua y agua líquida. .

15 **[0004]** Las placas de campo de flujo fluido 14, 15 se forman a partir de un material eléctricamente conductor no poroso por el cual puede hacerse el contacto eléctrico al respectivo electrodo de ánodo 12 o electrodo de cátodo 13. Al mismo tiempo, las placas de campo de flujo de fluido deben facilitar el suministro y/o escape de combustible fluido, oxidante y/o producto de reacción a o desde los electrodos porosos. Esto se efectúa convencionalmente formando pasajes de flujo de fluido en una superficie de las placas de campo de flujo de fluido, tal como ranuras o canales 16 en la superficie presentada a los electrodos porosos 12, 13.

20 **[0005]** Con referencia también a la figura 2(a), una configuración convencional de canal de flujo de fluido proporciona una estructura en zigzag 20 en una cara del ánodo 14 (o cátodo 15) con un colector de admisión 21 y un colector de salida 22 como se muestra en la figura 2(a). Según el diseño convencional, se entenderá que la estructura en zigzag 20 comprende un canal 16 en la superficie de la placa 14 (o 15), mientras que los colectores 21 y 22 cada uno de ellos comprende una abertura a través de la placa de tal modo que el fluido para suministrar a, o salir de, el canal 16 puede estar comunicado por toda la profundidad de una pila de placas en una dirección octogonal a la placa como particularmente se indica por la flecha en la sección A-A mostrada en la figura 2(b).

25 **[0006]** Otras aberturas de colector 23, 25 pueden proporcionarse para comunicación de combustible, oxidante, otros fluidos o escape a otros canales en las placas, no mostradas.

30 **[0007]** Los canales 16 en las placas de campo de flujo de fluido 14, 15 pueden estar abiertos por sus extremos en ambos lados, esto es, extendiéndose los canales entre un colector de admisión 21 y un colector de salida 22 como se muestra, permitiendo un continuo paso de fluido, normalmente utilizados para un combinado suministro de oxidante y escape de reactivo. Alternativamente, los canales 16 pueden cerrarse en un extremo, es decir, cada canal tiene comunicación con solamente un colector de admisión 21 para suministrar fluido, confiando totalmente en la transferencia del 100% de material gaseoso dentro y fuera de los electrodos porosos del MEA. El canal cerrado normalmente puede utilizarse para suministrar combustible de hidrógeno al MEA 11-13 en una estructura de tipo peine.

35 **[0008]** Con referencia a la figura 3, se muestra en esta distribución una vista transversal de parte de un apilamiento de placas formando un conjunto convencional de pila de combustible 30. En esta disposición, las placas de campo de flujo de fluido del ánodo y cátodo se combinan de manera convencional para formar una placa única bipolar 31 con canales de ánodo 32 en una cara y canales de cátodo 33 en la cara opuesta, cada uno de ellos contiguo a un conjunto respectivo membrana-electrodo (MEA) 34. Las aberturas del colector de admisión 21 y las aberturas del colector de salida 22 están todas superpuestas para proporcionar los colectores de admisión y salida a todo el apilamiento. Los diversos elementos del apilamiento se muestran ligeramente separados por claridad, aunque se comprenderá que estarán comprimidos juntos utilizando juntas de sellado si se necesitara.

40 **[0009]** A fin de obtener alta y sostenida capacidad de suministro de energía desde una pila de combustible, es generalmente necesario mantener un alto contenido de agua dentro del conjunto membrana electrodo, y en particular dentro de la membrana.

45 **[0010]** En el estado de la técnica, esto es convencionalmente logrado humidificando los gases de alimentación, bien combustible, aire o ambos, alimentados a través de colectores 21, 22 o 23 y canales 16. En otras palabras, el agua en la fase de vapor (de aquí en adelante 'agua gaseosa') es introducida en los canales 16. Esto también puede contribuir, hasta cierto punto, a la gestión del calor dentro del conjunto de pila de combustible.

50

55

- 5 **[0011]** Otro método es suministrar agua en la fase líquida (en adelante 'agua líquida') directamente a la membrana 11, 34, por ejemplo directamente a las superficies de electrodos o dentro de los canales 16 o las placas bipolares 31. Esta técnica tiene la ventaja de no solamente suministrar el agua para mantener un alto contenido de agua en la membrana sino que también puede actuar para enfriar significativamente la pila de combustible por evaporación y extracción de calor latente de vaporización. Una descripción detallada de técnicas para introducir agua en a fase líquida directamente a las superficies de electrodos o dentro de los canales 16 se ha descrito en la solicitud de patente internacional nº. PCT/GB03/02973 (sin publicar en el momento de la presentación de la solicitud). Partes relevantes de este documento son por tanto reproducidas aquí donde sea apropiado.
- 10 **[0012]** Este proceso directo de extracción del calor que proporciona la extracción de energía térmica por medio de la corriente de salida de gas tiene distintas ventajas asociadas con la eliminación de placas intermedias de refrigeración dentro del conjunto de apilamiento de pilas de combustible
- [0013]** PCT/EP00/03171 describe una pila de combustible con sistema de enfriamiento basado en inyección directa de agua líquida. La pila de combustible comprende colectores los cuales pueden ser alimentados con una corriente de agua desmineralizada, cuyo caudal es regulado manualmente a fin de maximizar el voltaje de las pilas.
- 15 **[0014]** Es un objeto de la presente invención proporcionar un método y aparato para proporcionar funcionamiento mejorado de un apilamiento de pilas de combustible enfriado por evaporación mediante introducción de exceso de agua en los canales 16 del electrodo de cátodo.
- [0015]** Según un aspecto, la presente invención proporciona un método de operar un apilamiento de pilas electroquímica de combustible según la reivindicación 1.
- 20 **[0016]** Según otro aspecto, la presente invención proporciona un conjunto de pila electroquímica de combustible según la reivindicación 13.
- [0017]** Serán descritas ahora realizaciones de la presente invención a modo de ejemplos y con referencia a los dibujos acompañantes en los cuales:
- 25 La Figura 1 muestra una vista esquemática en sección a través de una parte de una pila de combustible convencional;
- Las Figuras 2(a) y 2(b) muestran respectivamente una vista simplificada en planta y sección de una placa de campo de flujo de fluido de la pila de combustible de la figura 1;
- La Figura 3 muestra una vista en sección a través de un apilamiento de pilas de combustible convencional con placas bipolares;
- 30 La Figura 4(a) muestra una vista en planta de una placa de campo de flujo de fluido de una pila de combustible con un conducto del fluido en zigzag; mostrando en trazos la posición superpuesta de una lámina de distribución de agua y una lámina de cubierta;
- La Figura 4(b) muestra una vista en planta de una placa de campo de flujo de fluido de pila de combustible con conducto de fluido interdigitado en forma de peine, mostrando en trazos la posición superpuesta de una lámina de distribución de agua y una lámina de cubierta;
- 35 La Figura 5 muestra una vista en planta de una lámina de distribución de agua;
- La Figura 6 muestra una vista en sección de la placa de campo de flujo de fluido, la lámina de distribución de agua y la lámina de cubierta de las figuras 4 y 5;
- La Figura 7 muestra una vista en perspectiva de parte del conjunto de la figura 6;
- 40 La Figura 8 muestra una vista en sección de una placa de campo de flujo de fluido, lámina de distribución de agua y lámina de cubierta en las que las posiciones relativas de la lámina de distribución de agua y la lámina de cubierta están invertidas;
- La Figura 9 muestra una vista esquemática en planta de puntos de inyección de agua para una estructura de canales interdigitados en forma de peine;
- 45 La Figura 10 es un diagrama esquemático que ilustra los principios de enfriamiento de agua del cátodo de una pila de combustible;
- La Figura 11 es un gráfico que ilustra la variación en la masa de agua gaseosa por unidad de masa de aire como una función de temperatura para condiciones completamente saturadas, por ejemplo al 100% de humedad relativa;
- 50 La Figura 12 es un gráfico que ilustra la variación en el voltaje de un apilamiento de pilas de combustible

como una función del caudal de agua en fase líquida suministrada al cátodo;

La Figura 13 es un gráfico que ilustra el caudal mínimo teórico de agua requerido como una función de la corriente del apilamiento de pilas de combustible; y

5 La Figura 14 es un diagrama esquemático de los componentes de un sistema de apilamiento de pilas de combustible que incluye un sistema de gestión de suministro de agua.

10 **[0018]** Durante el funcionamiento de un conjunto de un apilamiento de pilas de combustible 30, se genera calor dentro del apilamiento de pilas de combustible como consecuencia de pérdidas electroquímicas y eléctricas. En un ejemplo de una pila de combustible enfriada por evaporación 10 en un conjunto de apilamiento, mostrado esquemáticamente en la Figura 10, este calor se elimina por medio de un incremento de temperatura de los productos de escape 100, 101 sobre la temperatura de admisión de los reactivos 102, 103 y por la vaporización de agua líquida 104 suministrada al cátodo 13 y evaporada en la corriente de aire del cátodo 103. A todos salvo los más bajos niveles de potencia se encuentra que, el enfriamiento por evaporación es el mecanismo dominante para extracción de calor.

15 **[0019]** La evaporación de agua líquida 104 sucederá si la presión parcial de agua gaseosa en la corriente de aire del cátodo es suficientemente baja, es decir en condiciones de humedad relativa $< 100\%$, y existe un suministro de calor para vaporizar el agua líquida. Una vez que las condiciones locales son tales que la humedad relativa es 100% , es decir el aire está saturado con vapor de agua, no habrá más evaporación a menos que predomine cualquiera de las tres condiciones siguientes: (i) que el caudal de aire se incremente de tal modo que la presión parcial de agua gaseosa se reduzca en proporción inversa; (ii) que la presión total se reduzca de modo que la presión parcial de agua gaseosa se reduzca proporcionalmente; y (iii) que la temperatura local aumente de modo que el punto de equilibrio cambie por lo que puede ocurrir más evaporación hasta que el aire esté totalmente saturado.

20 **[0020]** Por tanto, para una pila de combustible 10 que funciona con exceso de agua en el cátodo 13 en cada lugar del apilamiento de pilas de combustible 30, a presión constante y con un caudal constante de aire del cátodo, las condiciones locales de equilibrio son tales que el aire está completamente saturado y cualquier extracción adicional de calor solamente puede efectuarse por un incremento en la temperatura local.

25 **[0021]** El incremento real de temperatura para efectuar la evaporación, y por tanto el enfriamiento, depende de la sensibilidad del punto de equilibrio para la evaporación en las condiciones predominantes y el grado de enfriamiento requerido. La Figura 11 muestra, esquemáticamente, la variación en la masa de agua gaseosa por unidad de masa de aire con la temperatura para condiciones totalmente saturadas, es decir en condiciones de 100% de humedad relativa y a una presión total constante. De este modo, la temperatura de operación del apilamiento es establecida en gran manera por la cantidad de evaporación requerida para efectuar enfriamiento y la presión total y el caudal de masa de la corriente de aire del cátodo.

30 **[0022]** Como se muestra en la figura 11, a mayores temperaturas, un pequeño incremento de temperatura ΔT lleva a un incremento significativo Δm de la cantidad de agua gaseosa que puede ser llevada en la corriente de aire y por tanto de la cantidad de evaporación que puede suceder como resultado del calor generado dentro del apilamiento. Por tanto, la temperatura del apilamiento permanecerá aproximadamente constante para una amplia gama de cargas de calor, tanto globalmente (es decir, a medida que varía la potencia total del apilamiento) como localmente (es decir, debido a variaciones en la velocidad local de generación de calor como una consecuencia de no-uniformidades dentro del apilamiento para una potencia total dada de la pila). Esto da un alto grado de control implícito sobre la temperatura de funcionamiento del apilamiento y lleva a un buen equilibrio térmico mantenido a lo largo del apilamiento.

35 **[0023]** Además, la presencia de exceso de agua dentro de los canales individuales 16 o pasajes en el conjunto del apilamiento de pilas de combustible 30 da lugar al control implícito del caudal de aire dentro de cada canal como sigue. Si un pasaje dado tiene un caudal de aire superior a la media, entonces puede evaporarse agua adicional en el flujo de aire para proporcionar enfriamiento adicional si se requiere. Esto lleva a un caudal de volumen superior a la media en la salida desde el pasaje de flujo que, en presencia de una caída de presión uniforme en los pasajes de flujo de aire, limita el caudal de aire en el pasaje de la pila proporcionando regulación implícita del flujo de aire que conduce a un equilibrio térmico mejorado del apilamiento y por ello equilibrio mejorado del voltaje de pila del apilamiento. Se proporciona en general una caída de presión uniforme en los canales 16 por las dimensiones relativas de los colectores 21, 22 y los canales 16.

40 **[0024]** Puede conseguirse control explícito de la temperatura del apilamiento si se requiere por moderación del caudal de aire del cátodo y/o modificación de la presión total de la corriente de aire del cátodo. En otras palabras, el caudal de aire puede incrementarse, de ese modo reduciendo la presión parcial del vapor de agua, aumentando el volumen de aire en el que el agua puede vaporizarse. Por tanto, puede evaporarse agua adicional antes de que suceda la saturación, creando enfriamiento adicional y resultando en una temperatura más baja de funcionamiento del apilamiento.

45 **[0025]** Alternativamente, o además, la presión de salida puede reducirse. Esto de nuevo reducirá la presión parcial

del vapor de agua, disminuyendo la presión total. Esto tiene el efecto de cambiar el punto de equilibrio de modo que puede evaporarse agua adicional antes de que se alcance la saturación, crenado refrigeración adicional y resultando en una temperatura de funcionamiento más baja del apilamiento.

5 **[0026]** Otros factores, tales como el caudal del ánodo, la temperatura de entrada del combustible y el oxidante, las pérdidas superficiales etc., se ha visto que son menos importantes.

10 **[0027]** En una realización preferida de un sistema predominantemente no presurizado, la temperatura normal de funcionamiento del apilamiento de pilas de combustible va de 70 a 80 grados C. sin embargo, en principio, este valor puede ser variado yendo de 65 a 95 grados C mediante ajuste del caudal de aire y/o presión total de la corriente de aire del cátodo. A niveles bajos de potencia, donde el enfriamiento por evaporación no es dominante, la temperatura de funcionamiento del apilamiento puede significativamente ser más fría. Operar el sistema a presiones mayores o menores permitirá una variación significativa de los intervalos de temperatura antes citados.

15 **[0028]** En la práctica, la temperatura media de los reactivos y el agua líquida suministrados al apilamiento de pilas de combustible puede ser menor que la temperatura de operación del apilamiento. Por tanto, se proporcionará algún enfriamiento por el calentamiento de estos flujos de entrada a la temperatura de operación del apilamiento. Una vez que los flujos de entrada han alcanzado la temperatura de operación del apilamiento, el remanente del enfriamiento se proporcionará por evaporación del agua líquida en la corriente de aire del cátodo. La proporción de enfriamiento por evaporación depende de una serie de factores incluyendo el caudal de aire del cátodo, el caudal de agua, la potencia del apilamiento de pilas de combustible y la temperatura de los flujos de entrada. En la mayoría de los casos, el enfriamiento por evaporación es el mecanismo dominante de enfriamiento llevando a un alto grado de control implícito de temperatura como se explicó previamente. Sin embargo, para los casos en que la temperatura media de los flujos de entrada es menor que la temperatura de operación del apilamiento, habrá un gradiente de temperatura en el apilamiento en la zona donde entran los reactivos y el agua líquida.

20 **[0029]** Para que sea eficaz el enfriamiento por evaporación, debe existir suficiente agua líquida presente en cada parte del apilamiento de pilas de combustible. Si está presente insuficiente agua entonces el rendimiento del apilamiento se reducirá con consecuencias potencialmente graves.

25 **[0030]** Posibles problemas incluyen: (i) secado de la membrana, llevando a un voltaje menor a lo largo de la celda relevante; y (ii) puntos calientes causados por la ausencia de agua líquida y por ello falta de enfriamiento por evaporación, que lleva al deterioro de la membrana y a una reducción de la vida.

30 **[0031]** Con el fin de asegurarse de que esté presente suficiente agua líquida para efectuar el enfriamiento por evaporación, pueden adoptarse estrategias alternativas: (i) dosificación precisa de agua líquida al cátodo de modo que haya exactamente la suficiente agua para mantener una humedad relativa del 100 % a lo largo de toda la superficie del cátodo en cada celda del apilamiento de pilas de combustible; o (ii) exceso de suministro de agua líquida a todo el apilamiento de modo que haya siempre exceso de agua presente por toda la superficie del cátodo en cada celda del apilamiento de pilas de combustible. Para lograr el suministro adecuado de agua líquida al cátodo, pueden proporcionarse puntos de inyección de agua para cada uno y todos los canales de cátodo 16 como se ilustra más tarde.

35 **[0032]** En las celdas de combustibles prácticas, es difícil de lograr la dosificación precisa de agua líquida para cada parte del apilamiento de pilas de combustible. Además, las tolerancias de fabricación y condiciones de funcionamiento no uniformes llevan a requisitos divergentes para enfriamiento en cada localización en el apilamiento de pilas de combustible exarcebando de ese modo las dificultades asociadas con la dosificación precisa.

40 **[0033]** Por tanto, el exceso de suministro de agua líquida al cátodo paramodo que haya siempre exceso de agua líquida presente en el cátodo en cada localización dentro del apilamiento es el método preferido ya que asegura que se evite el secado de la membrana y los puntos calientes, llevando a un rendimiento y vida mejorados del apilamiento.

45 **[0034]** Así, en un aspecto general, el suministro de exceso de agua líquida al cátodo asegura que se mantenga una humedad relativa del 100 % básicamente por todos los canales de flujo de fluido en el cátodo.

50 **[0035]** En otro aspecto, la celda de combustible se opera de tal modo que, para cualquier suministro de potencia medido de la celda, se controla la velocidad de inyección de agua líquida al cátodo y/o el flujo de gas por todo el cátodo para asegurar que hay más agua líquida en todas las partes de la superficie del cátodo que pueden evaporarse en las condiciones de temperatura y presión imperantes.

55 **[0036]** En otro aspecto, las condiciones anteriores se aplican a una pluralidad de tales celdas en un apilamiento de pilas de combustible con un colector común de suministro de oxidante y un colector común de inyección de agua de modo que; para cualquier suministro de potencia medido del apilamiento, se controlan la velocidad de inyección de agua líquida dentro del colector de inyección de agua y/o caudal de gas en el colector de suministro de oxidante para asegurar que haya más agua líquida en todas las zonas de la superficie del cátodo de todas las celdas que puede evaporarse en las condiciones de temperatura y presión imperantes.

5 [0037] Para un apilamiento práctico sujeto a faltas de uniformidad reales y bajo condiciones normales de funcionamiento con un factor de agua menor que la unidad, se apreciará que algunas partes del apilamiento pudieran recibir menos agua líquida de la que se necesite para mantener una humedad relativa del 100 % sustancialmente por todos los canales de flujo de fluido en el cátodo. De forma correspondiente, puede haber algunas partes del apilamiento que estén recibiendo más agua líquida de la que se necesita para mantener una humedad relativa del 100% sustancialmente por todos los canales de flujo de fluido en el cátodo. Por tanto, en otro aspecto de la invención, el suministro de exceso de agua líquida al apilamiento se selecciona de modo que todas las partes del apilamiento recibirán al menos la mínima cantidad de agua líquida necesaria para mantener una humedad relativa del 100 sustancialmente por todos los canales de flujo de fluido en el cátodo, que corresponde a un factor de agua mayor que la unidad para el apilamiento.

10 [0038] La figura 12 muestra, de manera esquemática, la variación en el voltaje del apilamiento como una función del caudal de agua líquida suministrada al cátodo para un apilamiento de celdas de combustible enfriado por evaporación, funcionando a corriente constante y caudal constante de aire del cátodo. A caudales menores de agua, se reduce el voltaje total del apilamiento, indicando que algunas partes del apilamiento pueden que no estén recibiendo suficiente agua líquida para asegurar el enfriamiento adecuado y/o hidratación adecuada de la membrana. Cuando el caudal de agua se incrementa, se alcanza un voltaje máximo del apilamiento (indicado en la etiqueta 120) por el que el agua se suministra en exceso de cantidad a todas las partes del apilamiento de pilas de combustible. A mayores caudales de agua, el voltaje del apilamiento se reduce gradualmente, posiblemente como consecuencia de la menor presión parcial resultante del oxígeno en la corriente de aire del cátodo (que es desplazada por el agua) y/o posiblemente como consecuencia del bloqueo de transporte de gas a o desde la membrana por la presencia de agua líquida.

15 [0039] También a caudales mayores, el equilibrio de la celda (como se indica por el control del voltaje de la celda) puede deteriorarse indicando un límite superior al factor máximo de agua que puede utilizarse para el apilamiento. Es también posible que el caudal máximo de agua pueda establecerse por el máximo alcanzable utilizando una bomba de agua adecuada.

20 [0040] A pesar de estos efectos limitativos, se ha determinado que puede definirse una ventana de operación amplia donde puedan suministrarse cantidades significativas de exceso de agua al cátodo que aseguren la hidratación y enfriamiento adecuados de cada parte del apilamiento de pilas de combustible.

25 [0041] Es útil describir la cantidad de agua suministrada al cátodo como un múltiplo de la cantidad teórica mínima requerida para enfriamiento por evaporación, por ejemplo un "factor de agua" WF es aquíello definido en el cual:

$$WF = m_w / m_w (\text{mínimo})$$

donde m_w es el caudal másico de agua líquida suministrado, y m_w (mínimo) es el caudal másico teórico mínimo de agua líquida como se calcula más adelante.

30 [0042] La cantidad teórica mínima de agua requerida para el enfriamiento por evaporación puede ser calculada realizando un balance térmico en la celda de combustible y suponiendo que:

- 35 (i) la entalpía de reacción es igual al poder calorífico inferior del combustible, puesto que el agua gaseosa se produce como un producto (en ausencia de exceso de agua);
- 40 (ii) la carga calorífica en la pila de combustible se deriva de un valor experimental de la eficiencia del apilamiento de pilas de combustible como función de la corriente del apilamiento;
- (iii) la carga calorífica es igual a la subida de la entalpía térmica de los productos respecto a los reactivos incluyendo la completa evaporación de agua líquida suministrada al cátodo.

[0043] El factor real de agua para un punto dado de operación puede por tanto estar definido como un múltiplo de este valor.

45 [0044] Se apreciará que el factor de agua podría definirse de otros modos que la definición dada arriba, lo cual podría resultar en intervalos preferidos ligeramente diferentes de valores de factor de agua, según la definición utilizada.

50 [0045] La Figura 13 muestra, esquemáticamente, la cantidad teórica mínima de caudal de agua requerida como una función de la corriente del apilamiento, por ejemplo un locus de puntos de factor de agua unitario, etiquetado WF = 1. Al aumentar la corriente del apilamiento, la cantidad de agua requerida aumenta no linealmente, ya que se reduce la eficiencia del apilamiento a corrientes más elevadas de apilamiento lo que lleva a un incremento no lineal en la cantidad de calor generado.

[0046] Como se ha tratado, las faltas de uniformidad del apilamiento y el efecto de éstas sobre el caudal de agua

para rendimiento óptimo (como se muestra entre las líneas 121 y 122 de la Figura 12), dictan que un apilamiento de celdas de combustible práctico en que no sea posible la dosificación por separado del suministro de agua para cada localización dentro del apilamiento debe por tanto ser operado con un factor mínimo de agua que permita un margen para las faltas de uniformidad. En otras palabras, el factor de agua utilizado debe ser suficientemente mayor que la unidad para asegurar que todas las celdas en el apilamiento, y todas las partes de cada celda en el apilamiento, alcancen el 100 % de humedad relativa. El factor máximo de agua utilizado está dictado por una caída máxima aceptable del rendimiento. Límites preferidos inferiores y superiores del factor de agua WF en función de la corriente del apilamiento se muestran esquemáticamente como líneas de puntos 130 y 131 en la Figura 13.

[0047] los límites superior e inferior 130, 131 del factor de agua puede estar determinados por ensayos o calibración del apilamiento pertinente de celdas de combustible 30. La calibración de un apilamiento puede lograrse por variación del caudal de agua al cátodo operando a corriente constante y estequiometría constante del aire para determinar los caudales mínimos de agua indicados por la línea 121 y los caudales máximos de agua indicados por la línea 122. Esta calibración se repite para una gama de posibles corrientes de apilamiento (y posiblemente también para una variedad de estequiometrías de aire permisibles) que corresponderán a un intervalo normal de condiciones de operación del apilamiento. Así, la calibración define límites superiores e inferiores del factor de agua en función de la corriente de la pila.

[0048] La expresión "estequiometría de aire" como se utiliza aquí se refiere a la cantidad de oxígeno suministrado en la entrada 103 normalizado por la cantidad de oxígeno consumido en la reacción electroquímica. Así, para una estequiometría de aire de 1, todo el oxígeno en el aire se combina con el hidrógeno para formar agua. Para una estequiometría de 2, 50% del oxígeno se consume en la celda 10 y el 50% está presente en el escape del cátodo 101. La cantidad de oxígeno requerida para la reacción es una función directa de la potencia del apilamiento, la eficiencia del apilamiento y el cambio de energía asociado con la reacción.

[0049] En un entorno de fabricación en serie, es también posible ensayar un número de apilamientos representativos con el fin de que pueda determinarse un único conjunto de límites con márgenes adecuados de error que serán aceptable para todos los apilamientos de una configuración dada.

[0050] En una realización preferida, el caudal de aire 103 está ajustado en proporción a la corriente del apilamiento de modo que el apilamiento funciona con una estequiometría de aire de aproximadamente 2, establecida por requisitos electroquímicos. En la práctica, sin embargo, el caudal de aire puede variarse de modo que la estequiometría de aire esté dentro de la banda 1,1 a 10, y más preferiblemente dentro de la banda 1,4 a 4, dependiendo de los requisitos precisos del apilamiento de pilas de combustible. A corrientes menores, y por ello menor consumo de reactivos en la celda, la estequiometría de aire puede ser significativamente superior a estos valores, el caudal mínimo de aire está limitado por el suministro mínima de caudal del compresor de aire.

[0051] En una realización preferida, el caudal de aire se establece para ser una función lineal de la corriente del apilamiento como se muestra esquemáticamente en la Figura 13. El factor de agua para esta estrategia de control varía generalmente en el intervalo de 1,5 a 40, y más preferiblemente en el intervalo de 3 a 6.

[0052] En la práctica, el factor de agua puede fijarse en cualquier punto en el intervalo de 0 a 40 dependiendo de las condiciones de operación del apilamiento y la caída máxima aceptable en el rendimiento del apilamiento como consecuencia del exceso de agua (ver Figura 12). Por ejemplo, si el apilamiento está funcionando a salida de baja potencia o se ha arrancado desde condiciones de frío y ha alcanzado por tanto su máxima temperatura de operación, el caudal de agua puede establecerse a cero o un factor bajo de agua para temporalmente incrementar la velocidad de calentamiento del apilamiento.

[0053] Puede usarse control de la temperatura de escape del cátodo para indicar la temperatura de operación del apilamiento y proporcionar retrocontrol para la bomba de alimentación de agua. Así, en un aspecto, el sistema puede temporalmente permitir el suministro de una cantidad de agua líquida a los canales de flujo de fluido dentro del cátodo de modo que se mantenga una humedad relativa de menos del 100 % (factor de agua <1) cuando la temperatura de escape del cátodo esté por debajo de un umbral predeterminado correspondiente a una temperatura subóptima de operación, o durante un periodo predeterminado después del arranque en frío de la celda de combustible.

[0054] Una bomba dosificadora, un controlador de flujo o un método de control de presión pueden ser utilizados para regular el caudal de alimentación de agua. A niveles bajos de potencia, la cantidad de agua requerida podría ser inferior a la cantidad mínima de flujo obtenible con la bomba de agua. Por tanto, a niveles bajos de potencia podría establecerse un caudal mínimo de agua correspondiente al punto de establecimiento de voltaje mínimo para que la bomba de agua evite calarse. Esto se muestra esquemáticamente en la Figura 13 para valores de corriente menores que I_{crit} .

[0055] Se apreciará que la cantidad de agua suministrada al apilamiento de pilas de combustible pueda, en principio, seguir cualquier función de corriente siempre que el caudal esté dentro de los niveles mínimo y máximo del factor de agua determinados por calibración del apilamiento de pilas de combustible o de una serie de apilamientos de celdas de combustible representativos.

[0056] Una vez que se ha definido una estrategia de control del factor de agua, puede conseguirse una flexibilidad adicional en la refrigeración por ajuste del caudal de aire del cátodo y/o la presión total de aire del cátodo.

5 **[0057]** Además, el apilamiento puede estar equipado con capacidad de control del voltaje de la celda de modo que el voltaje operacional se utilice como un indicador de insuficiencia o exceso de agua, haciéndose los ajuste necesarios en tiempo real.

[0058] Una disposición a modo de ejemplo para implementar la gestión del agua en un apilamiento de pilas de combustible se describe ahora en conexión con la figura 14.

10 **[0059]** Un sistema de pila de combustible 140 incluye un apilamiento de pilas de combustible 30 con una línea de entrada de combustible 102, una línea de escape del ánodo 100, una línea de alimentación de aire 103, una línea de inyección de agua 104 y una línea de escape del cátodo 101. La línea de admisión de combustible se alimenta desde una fuente de combustible 141, posiblemente a través de un humidificador 142 según principios bien conocidos. La línea de escape del ánodo 100 puede ser conectada directamente al ambiente 143, o puede ser al menos parcialmente reciclada según principios conocidos utilizando un bucle de control de reciclaje 144. La línea de alimentación de aire 103 se alimenta por un compresor de aire 145. La línea de inyección de agua 104 es suministrada por una bomba de agua 146. El agua puede suministrarse a partir de un suministro apropiado de agua purificada o reciclada del escape del cátodo por medio de un condensador adecuado (no mostrado). La línea de escape del cátodo 101 puede estar dirigida al ambiente, y preferiblemente incluye un sensor de escape 147 el cual detecta al menos la temperatura de escape. El escape del cátodo puede incluir una bomba 148 para reducir y/o controlar la presión de escape del cátodo. La bomba 148 puede estar además de, o en lugar de, un suministro de aire bombeado desde el compresor 145, por ejemplo, el suministro de aire podría de otro modo estar a presión ambiente.

20 **[0060]** También se incluye dentro del sistema de pila de combustible 140 un controlador 150 que preferiblemente recibe entradas del sensor correspondientes a voltaje del apilamiento 151, corriente del apilamiento 152 y temperatura de escape 153. El controlador 150 está también acoplado al compresor de aire 145 y la bomba de inyección de agua 146 por líneas de control adecuadas.

[0061] El controlador 150 puede estar configurado para funcionar de dos modos posibles.

30 **[0062]** En un primer modo, el controlador 150 puede ser adaptado para obtener datos de calibración para la operación posterior del apilamiento de pilas de combustible 30. En un modo de calibración, el controlador 150 varía el flujo de agua suministrado por la bomba de inyección de agua 146 bajo condiciones de presión constante de entrada de aire y corriente constante de salida del apilamiento de pilas de combustible, y recibe niveles detectados de voltaje del apilamiento para determinar por ello los factores de agua apropiados máximos y mínimos 121, 122 (figura 12). Estos valores se almacenan en el cuadro de calibración 154. La calibración puede repetirse para una o más intensidades diferentes de corriente, diferentes presiones de aire de entrada, diferentes estequiometrías de aire para recopilar un conjunto completo de datos de control adecuado para controlar el caudal de inyección de agua para una variedad de condiciones de operación de la pila de combustible.

35 **[0063]** En un segundo modo, el controlador 150 está adaptado para utilizar los datos de calibración almacenados en el cuadro de calibración 154 con el fin de mantener condiciones óptimas de funcionamiento del apilamiento de pilas de combustible. Por ejemplo, el controlador 150 se adapta para supervisar la corriente y el voltaje del apilamiento, y para controlar la bomba de inyección de agua 146 (y posiblemente también el compresor de aire de entrada) para mantener un factor de agua adecuado para el rendimiento óptimo de la pila de combustible. En disposiciones preferidas, este factor de agua entra en el intervalo de 1,5 a 40, y más preferiblemente en el intervalo de 3 a 6.

40 **[0064]** Como previamente se ha descrito, el controlador puede también supervisar la temperatura de escape del cátodo por medio de un sensor 147, y suministrar una cantidad menor de agua cuando la temperatura de escape del cátodo está por debajo de un umbral predeterminado correspondiente a una temperatura de operación subóptima, por ejemplo durante la puesta en marcha de la pila de combustible. En otro ejemplo, esta fase de "calentamiento" podría estar controlada por un cronómetro mejor que por la temperatura de escape.

45 **[0065]** En la realización a modo de ejemplo de la figura 14, el controlador se adapta para realizar tanto la calibración inicial del apilamiento de pilas de combustible, como el mantenimiento de las condiciones óptimas de funcionamiento. Se reconocerá, sin embargo, que para tipos conocidos de pilas de combustible, o sistemas precalibrados, el cuadro de calibración 154 podría ser precargado con datos de operación para uso por el controlador de gestión de agua 150.

50 **[0066]** Aunque la realización a modo de ejemplo de la figura 14 muestra control "global" del apilamiento de pilas de combustible 30 por el controlador 150, se comprenderá que podría lograrse un control más fino donde es posible el suministro del agua a diferentes celdas, o a diferentes grupos de celdas. Por ejemplo, donde hay puntos de suministro de agua múltiples independientemente controlados al apilamiento de pilas de combustible, puede efectuarse detección separada de voltaje y corriente para variar localmente el suministro de agua a cada parte del apilamiento de pilas de combustible.

- [0067]** Son posibles diversos mecanismos para suministrar agua líquida en cantidades controladas con precisión a los canales de flujo de fluido en la placa de campo de flujo de fluido del cátodo. Mecanismos a modo de ejemplo se describen en PCT/GB03/02973 (sin publicar en el momento de presentación de la solicitud), detalles de los cuales se describen más adelante con referencia a las figuras 4 to 9.
- 5 **[0068]** Con referencia a las figuras 4(a) and 4(b), la presente invención proporciona una serie de conductos de inyección de agua que se extienden entre un colector de entrada de agua 25 y los canales individuales 16 de una placa de campo de flujo de fluido 40a o 40b. Generalmente hablando, los conductos de inyección de agua se proporcionan en forma de una membrana o estructura laminada que descansa sobre la superficie de la placa de campo de flujo de fluido 40. Los conductos de inyección de agua están provistos de entradas que comunican con el
10 colector de entrada de agua 25 y salidas que definen puntos predeterminados de inyección de agua en los canales 16 en la placa de campo de flujo de fluido.
- [0069]** En una disposición preferida, la estructura laminada se proporciona en forma de capas de dos láminas 41, 42 superpuestas sobre la placa 40, la posición de cuyas láminas se muestran en línea discontinua en las figuras 4(a) y 4(b).
- 15 **[0070]** La Figura 4(a) ilustra una vista en planta de una placa de campo de flujo de fluido 40a con el canal en zigzag 16, con láminas 41a, 42a que tienen primeros bordes 43a, 44a coincidentes con el colector de entrada de agua 25, y segundos bordes 45a, 46a localizados en o contiguos a puntos predeterminados de inyección de agua 49 de los canales 16.
- [0071]** Figura 4(b) ilustra una vista en planta de una placa de campo de flujo de fluido 40b con dos canales interdigitados en forma de peine 47, 48 cada uno de ellos comunicando con un colector respectivo 21, 22, y láminas 41b, 42b que tienen primeros bordes 43b, 44b coincidentes con el colector de entrada de agua 25, y segundos bordes 45b, 46b localizados en o contiguos a puntos predeterminados de inyección de agua del canal 47. Se notará que las láminas pueden repetirse en el borde opuesto de la placa 40b entre un segundo colector de entrada de agua 25 y puntos predeterminados de inyección de agua en el canal 48.
- 20 **[0072]** La Figura 5 muestra una vista en planta detallada del diseño de la lámina de distribución de agua 41, que ilustra los trayectos preferidos de los conductos de inyección de agua 50. Los conductos 50 están formados por una primera serie de canales 51 que se extienden desde el primer borde 43 de la lámina 41 localizado en el colector de entrada del agua 25, a una galería o cámara de distribución de presión 52 que se extiende por toda la longitud de la lámina de inyección de agua 41. La galería de distribución de presión 52 comunica con una segunda serie de canales 53 que se extiende hasta el segundo borde 45 de la lámina para comunicación con los canales 16 en la placa de campo de flujo de fluido. Para este propósito, la segunda serie de canales 53 están agrupados para terminar en estructuras respectivas de convergencia 54 en el segundo borde 45 de la lámina de inyección de agua 41.
- 25 **[0073]** En la realización preferida como se ilustra, las estructuras de convergencia 54 comprenden huecos arqueados 55 cortados en el segundo borde 45 de la lámina 41 en los puntos de inyección de agua 49 adaptados para ser coincidentes con posiciones predeterminadas en los canales 16, que se muestran en trazado en la figura.
- 30 **[0074]** La galería de distribución de presión 52 preferiblemente comprende una disposición de canales intercomunicantes 56 que desvían el agua entrante desde la primera serie de canales 51 y la distribuyen eficazmente por toda la longitud de la lámina 41 de modo que cada grupo de la segunda serie de canales 53 recibe agua a un presión sustancialmente similar.
- 35 **[0075]** Haciendo referencia de nuevo a las figuras 4(a) y 4(b), la lámina de cubierta 42 comprende una lámina sin modelar (es decir sin canales) de forma periférica sustancialmente similar a la lámina inferior. La lámina de cubierta 42 se extiende más allá del borde de la lámina de distribución 41 al menos en los extremos de la segunda serie de canales para asegurar que el agua es dirigida hacia abajo en el canal de placa de flujo de fluido deseado 16. Como más conveniente, este solapamiento se logra por los huecos 55 que se forman en la lámina de distribución 41, pero no en la lámina de cubierta 42. Así, como se ve mejor en el diagrama en sección de la figura 6, en forma exagerada, la lámina de cubierta 42 forma un cierre superior a los canales 51, 52 y 53 para formar los conductos de inyección de agua 50, dejando abiertos los extremos de los canales 51 y 53. En la realización mostrada, la lámina de cubierta 42 puede estar formada ligeramente más grande que la lámina de distribución 41 de modo que solapa el segundo
40 borde 45 (y posiblemente el primer borde 43) para lograr un efecto similar.
- [0076]** Se hace notar que las capas de lámina son muy delgadas comparadas con el espesor de la placa 40, el espesor de las capas de lámina siendo fácilmente absorbidos por el MEA 34 y cualquier junta interpuestas entre las placas. Los componentes en la figura 6 se muestran ligeramente separados por claridad, aunque por supuesto, se comprimirán juntos.
- 45 **[0077]** La Figura 7 muestra un diagrama en perspectiva de la lámina de distribución de agua 41 en posición sobre la placa de campo de flujo 40 mostrando el alineamiento de los diversos canales y colectores.
- 50
- 55

- 5 **[0078]** Se reconocerá que los canales de distribución de agua 51, 52, 53 no necesitan estar formados en la lámina inferior 41. En otra realización, mostrada en la figura 8, los canales de distribución de agua 80 están formados en la superficie inferior de la lámina superior 82, mientras que la lámina inferior 81 sirve para formar el cierre de los canales 80 para formar los conductos de inyección de agua. En otras palabras, las láminas de distribución 82 y de cubierta 81 están invertidas en comparación con la disposición de la figura 6.
- 10 **[0079]** En la disposición de la figura 8, al menos la segunda serie de canales (comparar los canales 53 en la figura 5) no se extenderán justo hasta el segundo borde 83 de la lámina superior, sino que finalizarán en posiciones próximas al segundo borde. La lámina inferior (de cubierta) 81 se extenderá casi hasta el extremo de los canales 80, pero preferiblemente parará ligeramente muy próxima a él a fin de que haya comunicación fluida desde el extremo del canal 80 al canal de placa 16 en los puntos de inyección de agua 49.
- 15 **[0080]** Como antes se indicó, la lámina inferior (de cubierta) 81 proporciona un cierre a los canales 80 formando una barrera que evita que el agua escape a los canales subyacentes 16 en la placa de flujo de fluido 40 en los sitios erróneos, por ejemplo donde los conductos de inyección de agua atraviesan los canales de combustible y/o oxidante 16 (por ejemplo en la localización 85).
- 20 **[0081]** Preferiblemente, las láminas como se describen arriba están formados a partir de un metal, tal como acero inoxidable. Sin embargo, podría utilizarse cualquier material adecuado con propiedades apropiadas de contención de agua a presión, y la expresión "lámina" utilizada en toda la presente especificación debe ser interpretada en consecuencia. Preferiblemente, las láminas son eléctricamente conductoras pero no necesitan serlo, ya que no afectan el área activa del MEA.
- 25 **[0082]** En una realización preferida, los canales de flujo de fluido 16 en las placas de ánodo o cátodo 40 tienen normalmente entre 0,4 mm y 1,2 mm de anchura y profundidad. Se encuentra que un canal de anchura y profundidad 10 micras, químicamente atacado en la lámina de distribución de agua, sirve para proporcionar el grado necesario de inyección de agua.
- [0083]** En uso, la presión de agua que es distribuida por medio del colector 25 se controla para asegurar una diferencia de presión significativa entre el suministro de agua y la presión de gas en los canales de flujo de fluido 16, alcanzando una distribución igual de agua entre los miles de vías de flujo. En la realización preferida, el agua se suministra al colector a una presión efectiva en el intervalo 0,5-3 bar de H₂O.
- 30 **[0084]** Una ventaja de este enfoque es que la membrana de distribución de agua es extremadamente fina y puede fácilmente situarse dentro del espacio disponible en placas bipolares o en la zona de junta.
- [0085]** La exactitud volumétrica de dispensación de agua puede también ser controlada con mucha precisión mediante un diseño adecuado del modelo de conductos de la inyección de agua y dimensiones de los canales.
- 35 **[0086]** Como se ilustra en la figura 9, el agua que se dispensa a los canales interdigitados 90 en la placa de campo de flujo 40 puede introducirse bien en el punto de entrada 91 al canal, después del canal alimentador 92, o alternativamente en la vía de salida 93 en un punto de inyección 94 en el mismo extremo de la placa bipolar que el colector de alimentación.
- [0087]** Una ventaja de la inyección de agua en las vías de salida es una reducción de la caída de presión en los flujos de gas reactivo. Esto es porque el agua no pasa a través del medio de difusión causando enmascaramiento del espacio vacío para el paso de gas. De modo similar la eliminación del flujo de agua a través del medio de difusión también reducirá el desgaste del medio y su fragmentación y deterioro estructural gradual.
- 40 **[0088]** El proceso de enfriamiento por evaporación es eficaz en las vías de salida y el contenido de agua de la membrana se mantiene debido a la saturación del aire con vapor de agua.
- [0089]** Otras realizaciones están intencionadamente dentro del ámbito de las reivindicaciones acompañantes.

REIVINDICACIONES

1. Un método de operar un apilamiento de pilas electroquímicas de combustible que comprende una pluralidad de pilas cada una de ellas con un ánodo, una membrana de transferencia de iones y un cátodo, comprendiendo los pasos de:
 - 5 suministrar combustible fluido a canales de flujo de fluido dentro de los ánodos;
 - suministrar oxidante de fluido a canales de flujo de fluido dentro de los cátodos;
 - expulsar subproductos de reacción y cualquier oxidante sin utilizar de los canales de flujo de fluido dentro de los cátodos;
 - 10 determinar un máximo de voltaje del apilamiento, o en cada voltaje de pila, como una función del caudal de agua líquida para cada una de una pluralidad de corrientes de apilamiento o pila que corresponde a un intervalo normal de condiciones de operación del apilamiento o pila,
 - determinar una función de calibración que expresa el caudal mínimo de agua líquida como una función de la corriente y/o estequiometría del aire; y
 - 15 suministrar al menos dicho caudal mínimo de agua, para la corriente sacada de dicho apilamiento o cada pila y/o para la estequiometría del aire, como se determina por la función de calibración, a los canales de flujo de fluido dentro de los cátodos de modo que se mantenga una humedad relativa del 100 % por todos los canales de flujo de fluido.
2. El método de la reivindicación 1 que incluye además el paso de incrementar la cantidad de agua líquida suministrada como una función de la corriente de la pila o apilamiento para mantener un factor de agua $WF > 1,0$ para todas las corrientes dentro de un intervalo normal de operación de la pila o apilamiento.
3. El método de la reivindicación 1 en el que la función de calibración está determinada por estequiometría de aire en el intervalo 1,1 a 10.
4. El método de la reivindicación 3 en el que la función de calibración está determinada por estequiometría de aire en el intervalo 1,4 a 4,0.
5. El método de cualquiera de las reivindicaciones precedentes en el que el paso de suministrar una cantidad suficiente de agua líquida comprende el suministro de un factor de agua de al menos 1,5.
6. El método de la reivindicación 5 en el cual el paso de suministrar una cantidad suficiente de agua líquida comprende el suministro de un factor de agua de al menos 3.
7. El método de la reivindicación 5 o la reivindicación 6 en el que el paso de suministrar una cantidad suficiente de agua líquida comprende el suministro de un factor de agua menor que 40.
8. El método de la reivindicación 7 en el que el paso de suministrar una cantidad suficiente de agua líquida comprende el suministro de un factor de agua en el intervalo de 3 a 6.
9. El método de cualquiera de las reivindicaciones precedentes que incluye además el paso de permitir temporalmente el suministro de una cantidad de agua líquida a los canales de flujo de fluido dentro del cátodo de modo que se mantiene una humedad relativa de menos del 100 % cuando la temperatura de escape del cátodo está por debajo de un umbral predeterminado correspondiente a una temperatura subóptima de operación.
10. El método de la reivindicación 9 aplicado en la puesta en marcha de la pila de combustible o apilamiento de pilas de combustible.
11. El método de la reivindicación 1 en el que la pila de combustible es operada de tal modo que, para cualquier suministro medido de potencia de pila, el caudal de agua líquida dentro del cátodo y/o flujo de gas a través del cátodo son controlados para asegurar que haya más agua líquida en todas las regiones de la superficie del cátodo que la que pueda evaporarse en las condiciones de temperatura y presión imperantes.
12. El método de la reivindicación 11 aplicado a dicha pluralidad de pilas en un apilamiento de pilas de combustible que tiene un colector común de suministro de oxidante y un colector común de inyección de agua de tal modo que, para cualquier suministro medido de potencia del apilamiento, el caudal de inyección de agua líquida al colector de inyección de agua y/o el caudal de gas al colector de suministro de oxidante son controlados para asegurar que haya más agua líquida en todas las regiones de las superficies del cátodos de todas las pilas que la que puede evaporarse a las condiciones imperantes de temperatura y presión.

- 13.** Un conjunto de pila electroquímica de combustible que comprende un apilamiento de pilas de combustible con una pluralidad de pilas, cada pila teniendo una placa de campo de flujo de fluido del ánodo con canales de flujo de fluido en ella, una membrana de transferencia de iones, y una placa de campo de flujo de fluido del cátodo con canales de flujo de fluido en ella; el conjunto comprendiendo además:
- 5 medios para suministrar combustible fluido a los canales de flujo de fluido del ánodo;
- medios para suministrar oxidante fluido a los canales de flujo de fluido del cátodo;
- un mecanismo de inyección de agua para suministrar agua líquida a los canales de flujo de fluido dentro del cátodo,
- 10 medios para determinar un máximo de voltaje del apilamiento, o de cada votaje de pila, en función del caudal de agua líquida para cada una de una pluralidad de corrientes de apilamiento o de pila que corresponde a un intervalo normal de condiciones de funcionamiento del apilamiento o pila,
- medios para determinar una función de calibración que expresa el caudal mínimo de agua líquida como una función de corriente y/o estequiometría del aire; y un controlador adaptado para controlar el mecanismo de inyección de agua para suministrar al menos dicho caudal mínimo de
- 15 agua, para la corriente extraída de dicho apilamiento o pila y/o para la estequiometría del aire, como se determina por la función de calibración de tal modo que una humedad relativa del 100 % se mantenga por todo los canales de flujo de fluido durante condiciones normales de operación del apilamiento de pilas de combustible.
- 20 **14.** El conjunto de la reivindicación 13 en el que el mecanismo de inyección de agua comprende una bomba y un controlador.
- 15.** El conjunto de la reivindicación 14 en el que el controlador incluye un sensor de voltaje para detectar voltaje de la pila de combustible o el apilamiento de pilas de combustible.
- 25 **16.** El conjunto de la reivindicación 15 en el que el controlador además incluye medios para determinar un máximo de voltaje de pila como una función del volumen del caudal de agua líquida para cada una de las pluralidades de corrientes normales de operación de pila o apilamiento de pilas.
- 17.** El conjunto de la reivindicación 13 que incluye además un sensor de corriente para detectar flujo de corriente a través de la pila de combustible o el apilamiento de pilas de combustible, y medios para controlar el caudal de inyección de agua para mantener el suministro de un factor de agua $WF > 1,0$ para todas las corrientes de pila de combustible o apilamiento de pilas de combustible en dicho intervalo normal de operación.
- 30 **18.** El conjunto de la reivindicación 17 que incluye medios adaptados para controlar el caudal de inyección de agua para mantener el suministro de un factor de agua de al menos 1,5.
- 19.** El conjunto de la reivindicación 18 que incluye medios adaptados paa controlar el caudal de inyección de agua para mantener el suministro de un factor de agua de menos que 40.
- 35 **20.** El conjunto de la reivindicación 19 que incluye medios adaptados para controlar el caudal de inyección de agua para mantener el suministro de un factor de agua de al menos 3.
- 21.** El conjunto de la reivindicación 20 que incluye medios adaptados para controlar el caudal de inyección de agua para mantener el suministro de un factor de agua en el intervalo de 3 a 6.
- 40 **22.** El conjunto de cualquiera de las reivindicaciones 13 a 21 que además incluye medios para permitir temporalmente el suministro de una cantidad de agua líquida a los canales de flujo de fluido dentro del cátodo de tal modo que se mantenga una humedad relativa menor del 100 % cuando la temperatura de escape del cátodo esté por debajo de un umbral predeterminado correspondiente a una temperatura de operación subóptima.

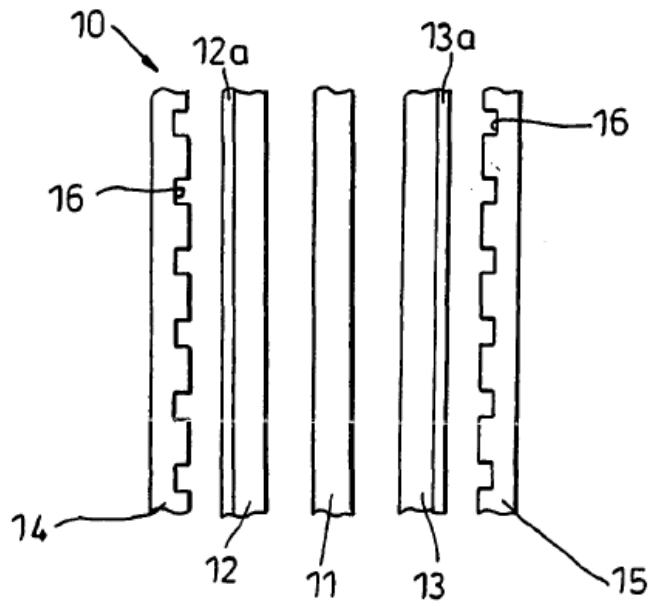


Fig. 1

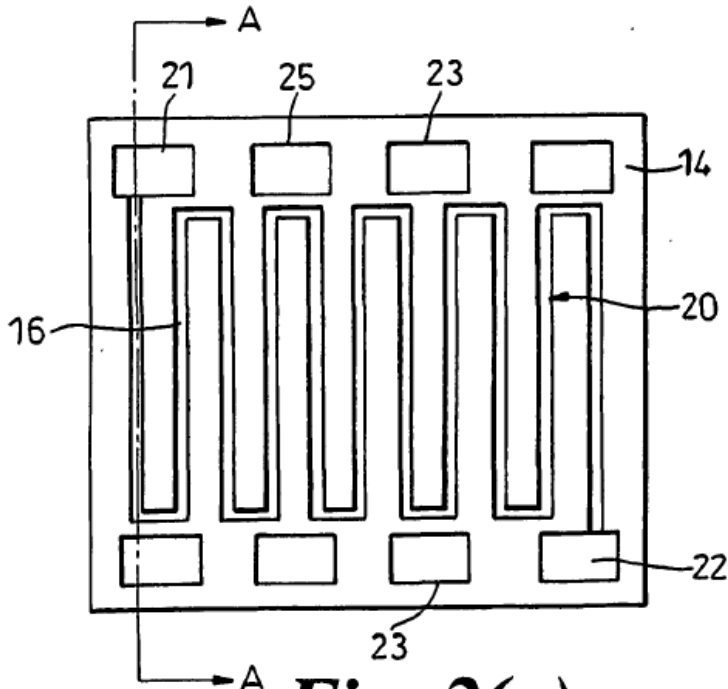


Fig. 2(a)

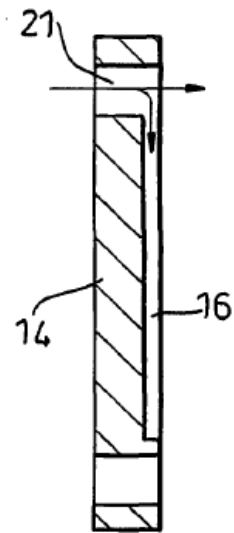


Fig. 2(b)

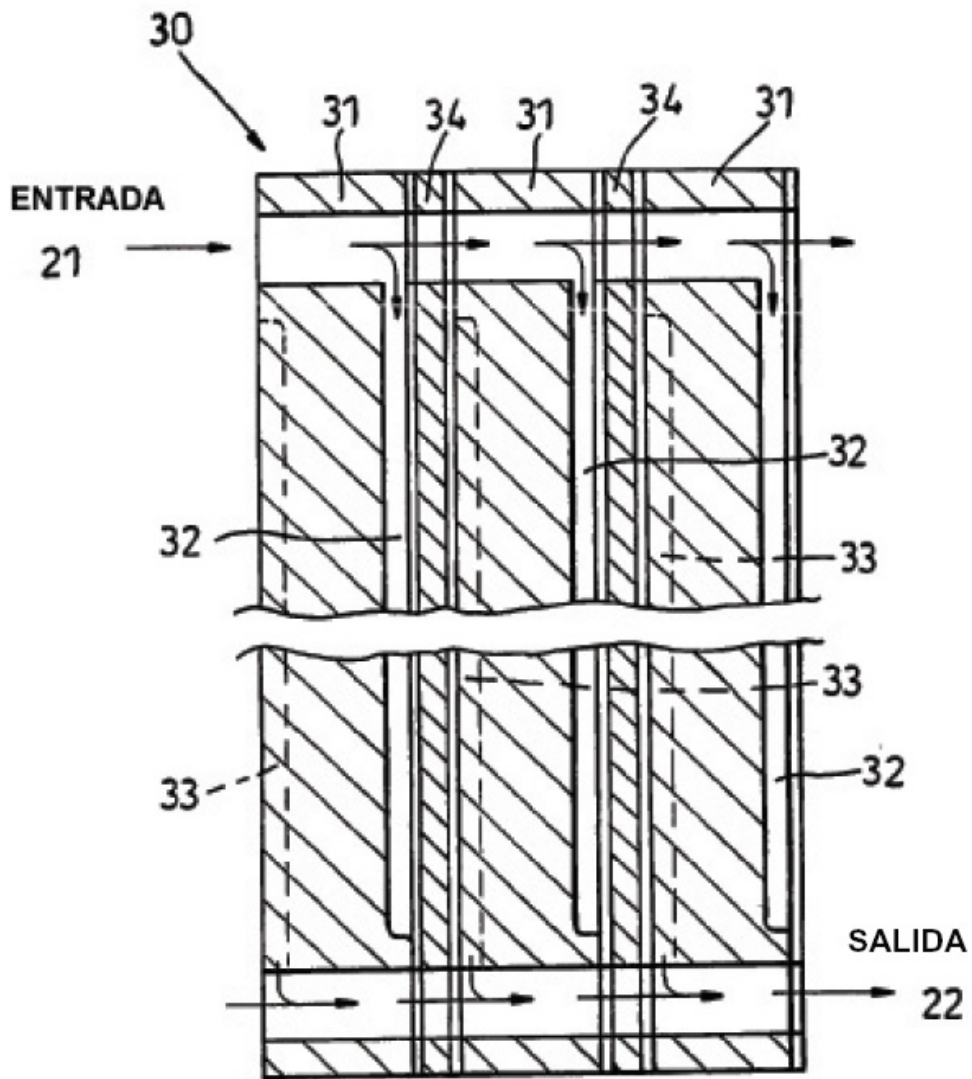


Fig. 3

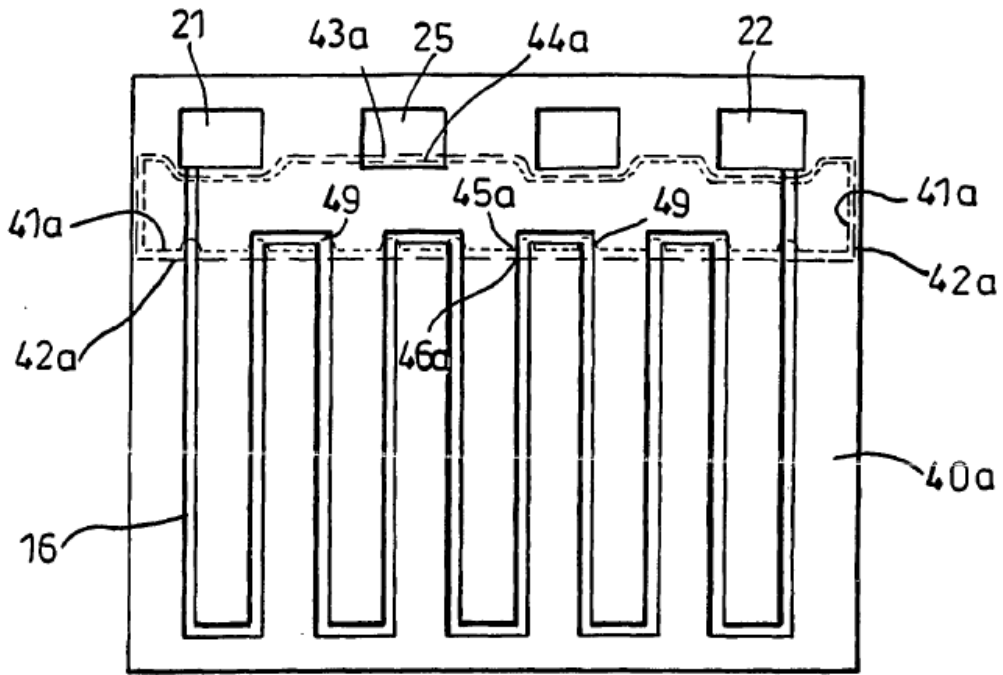


Fig. 4(a)

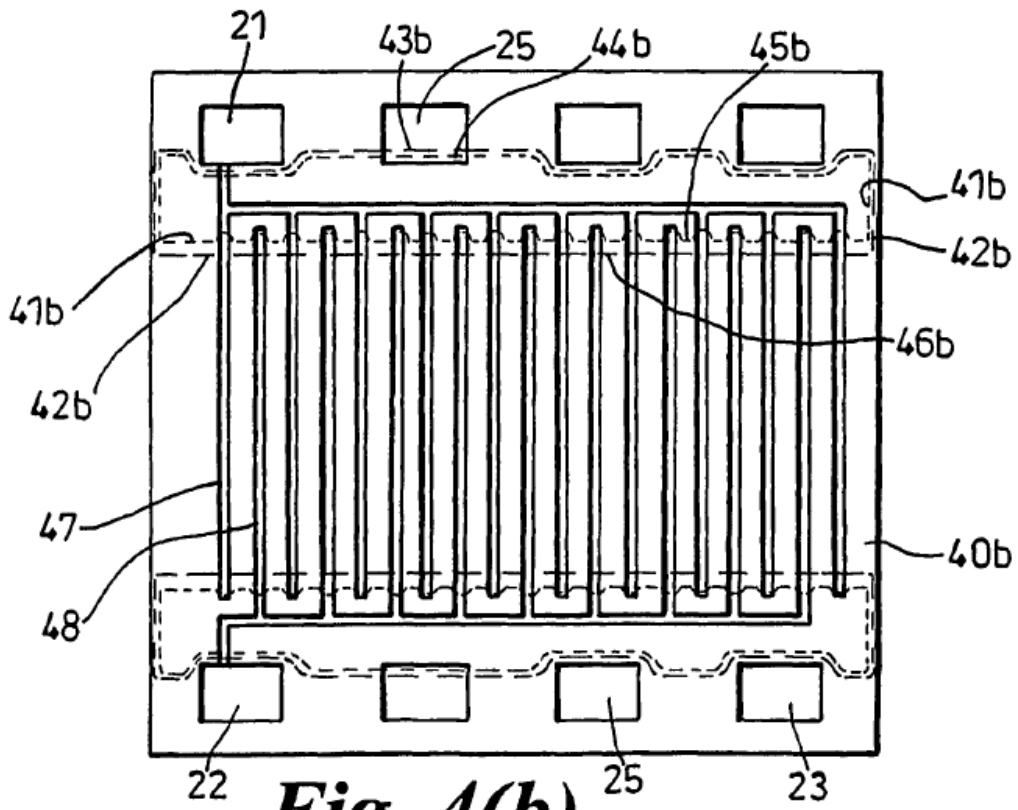


Fig. 4(b)

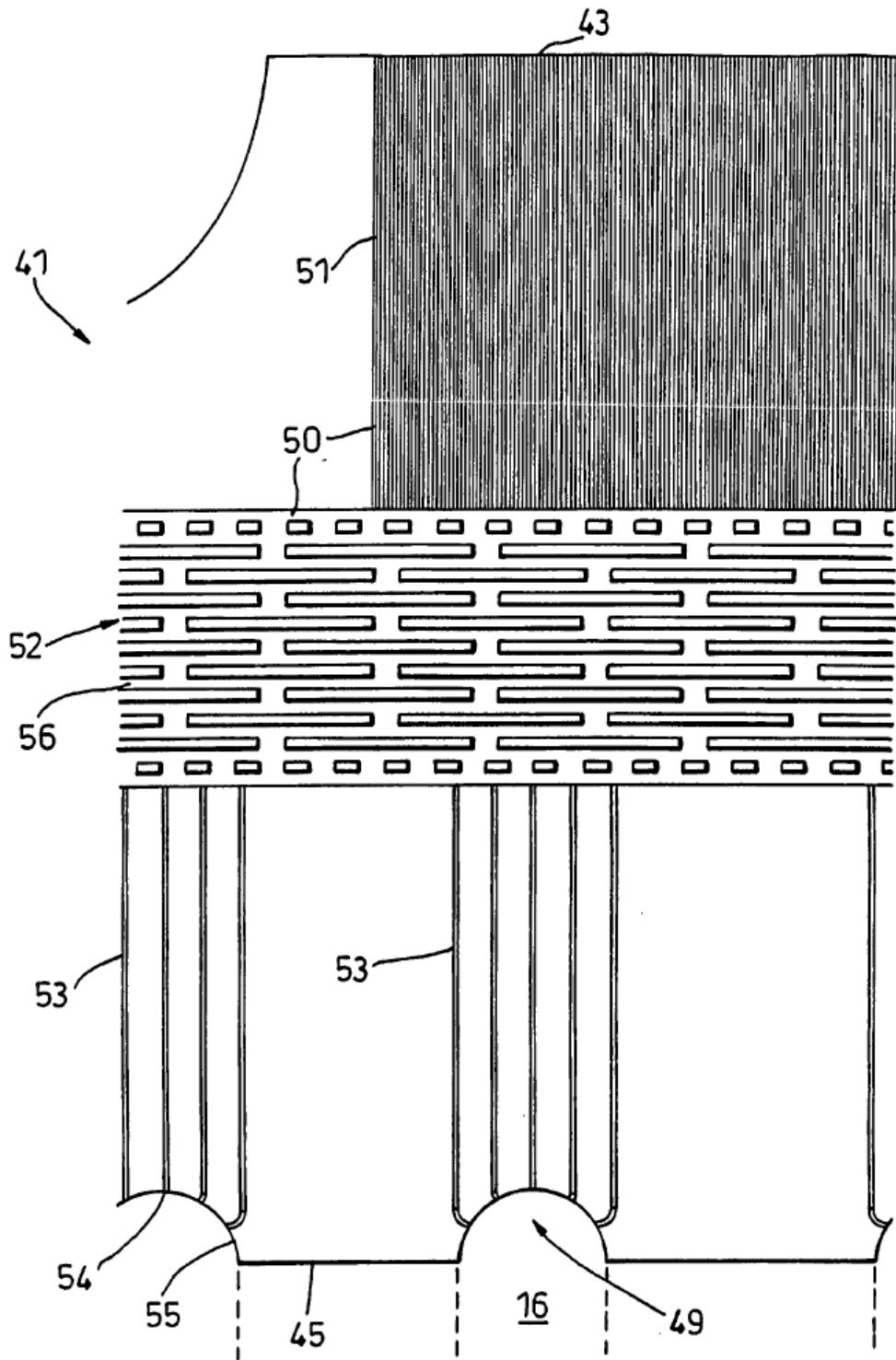


Fig. 5

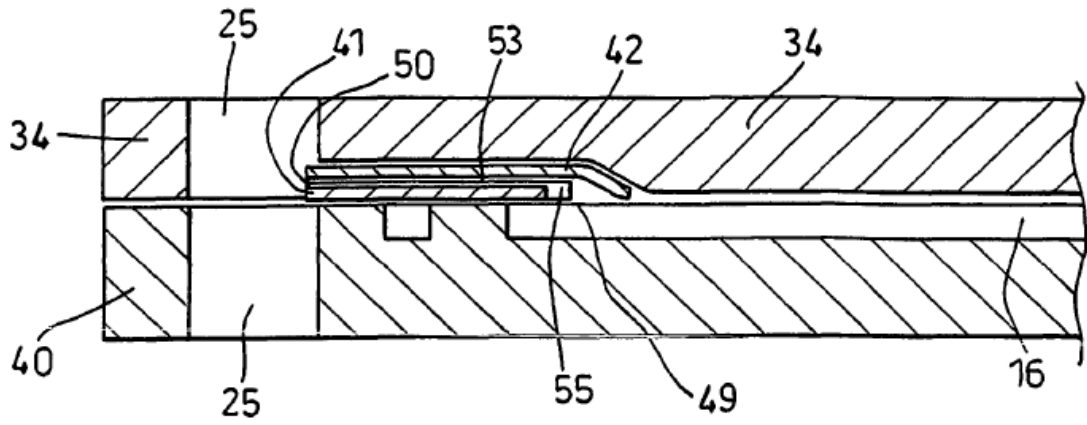


Fig. 6

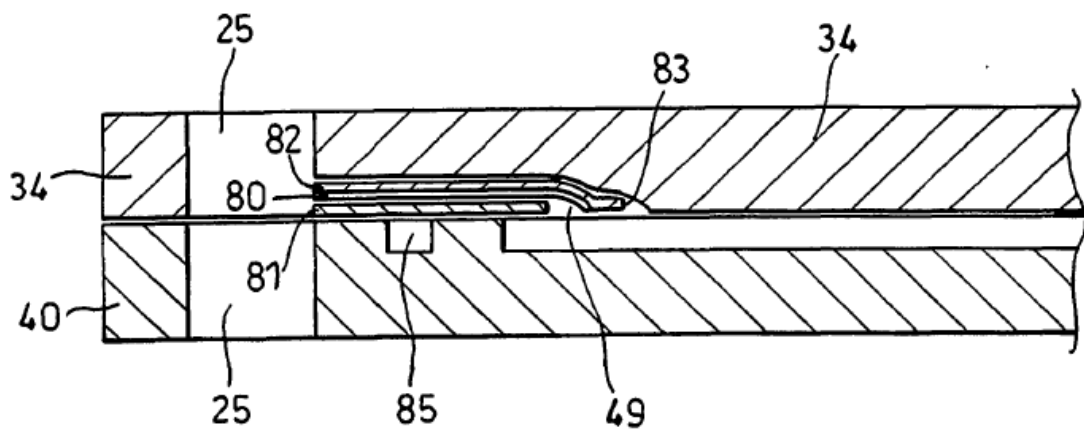
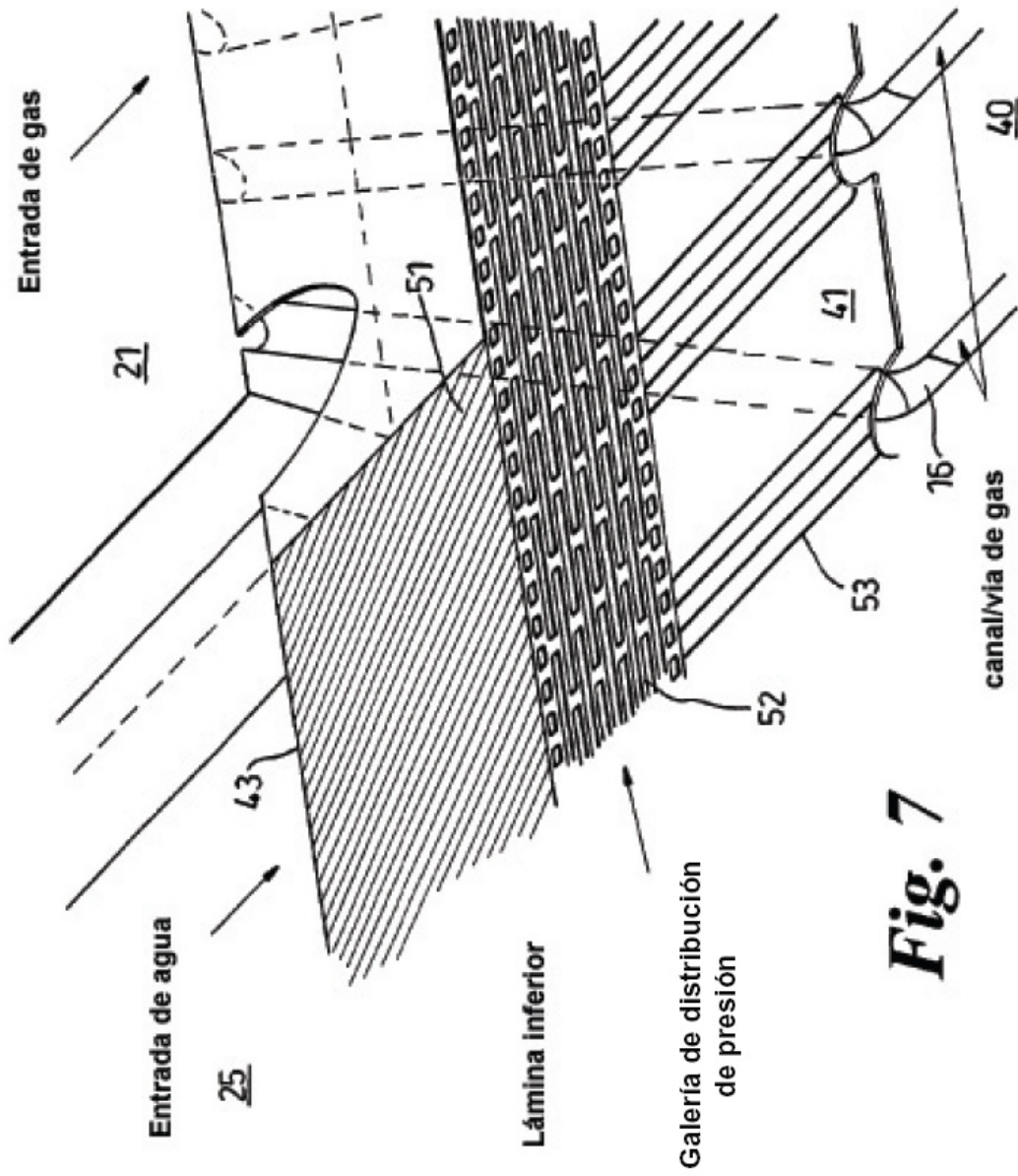


Fig. 8



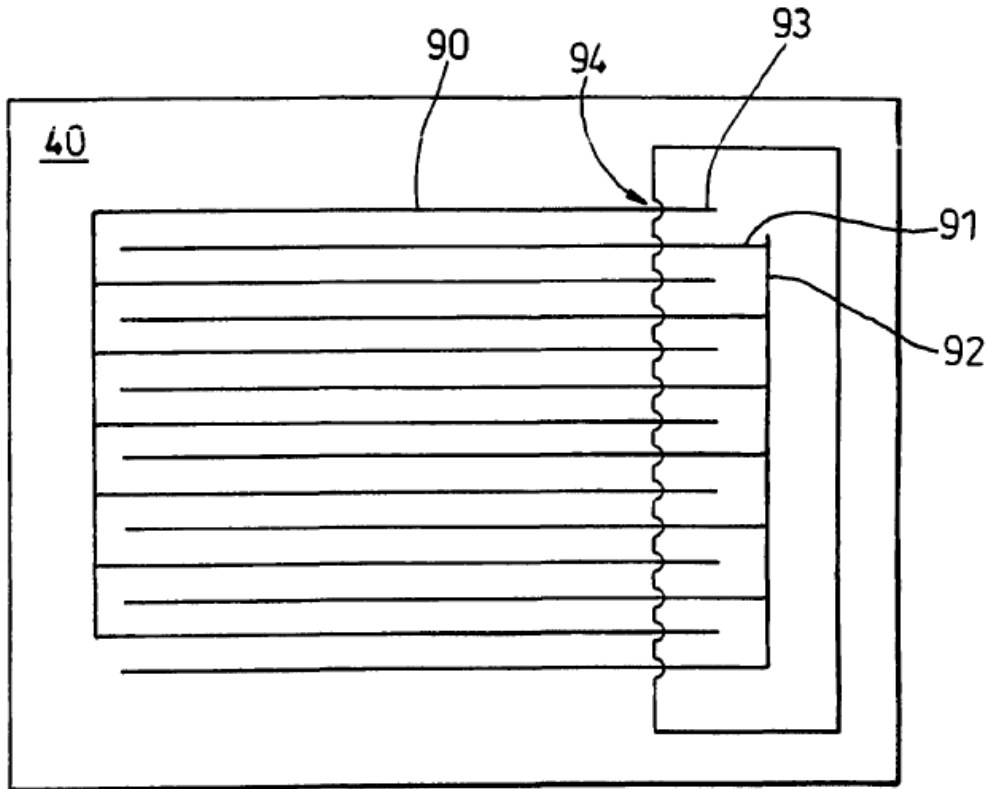


Fig. 9

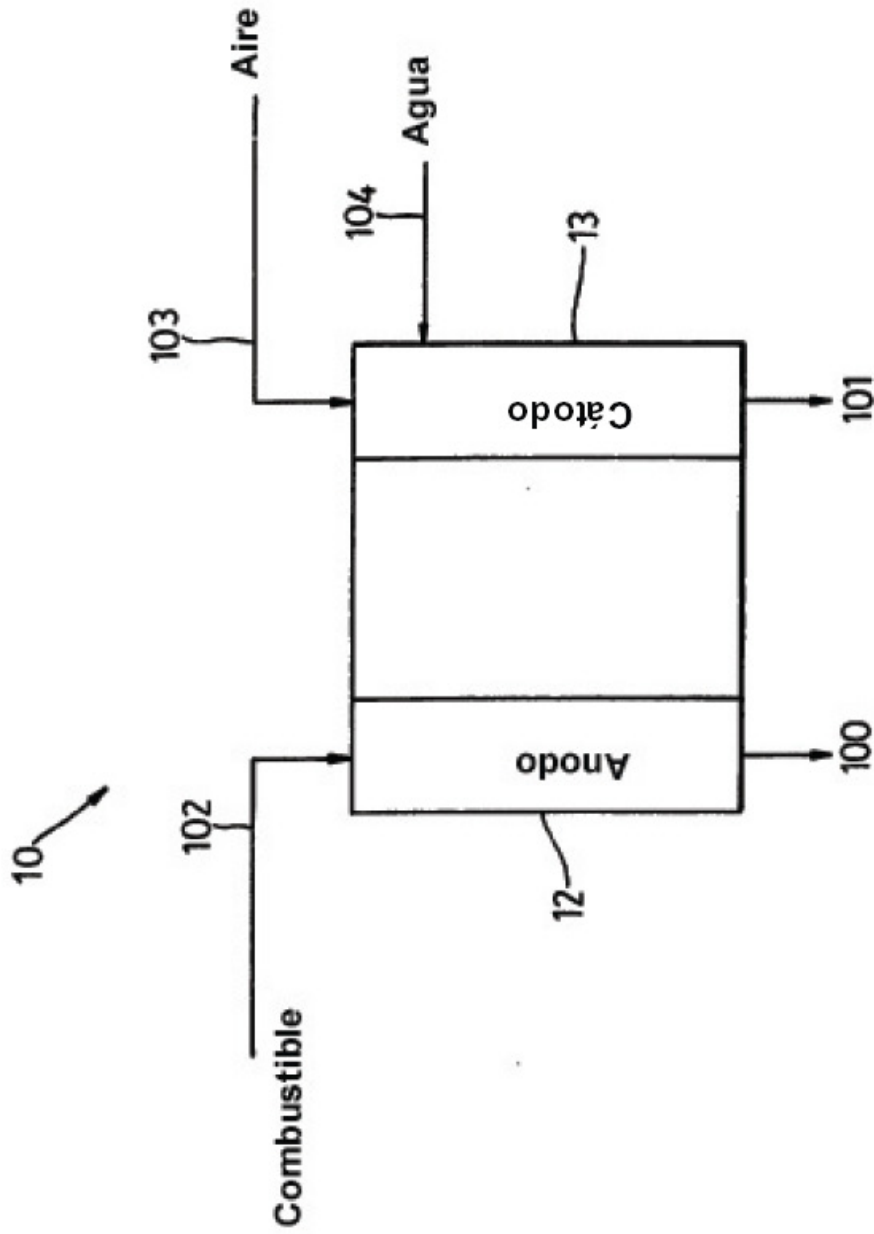


Fig. 10

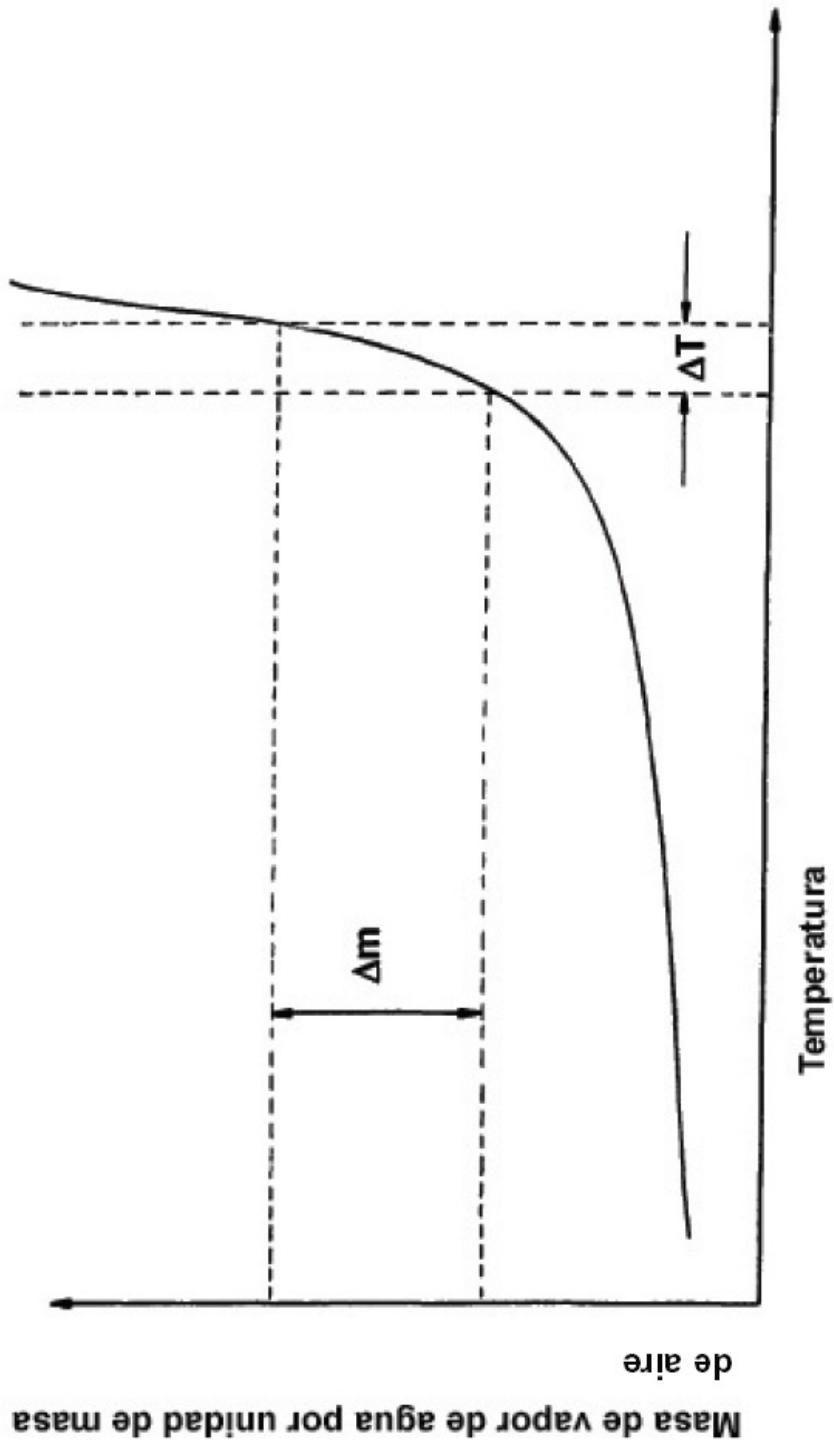


Fig. 11

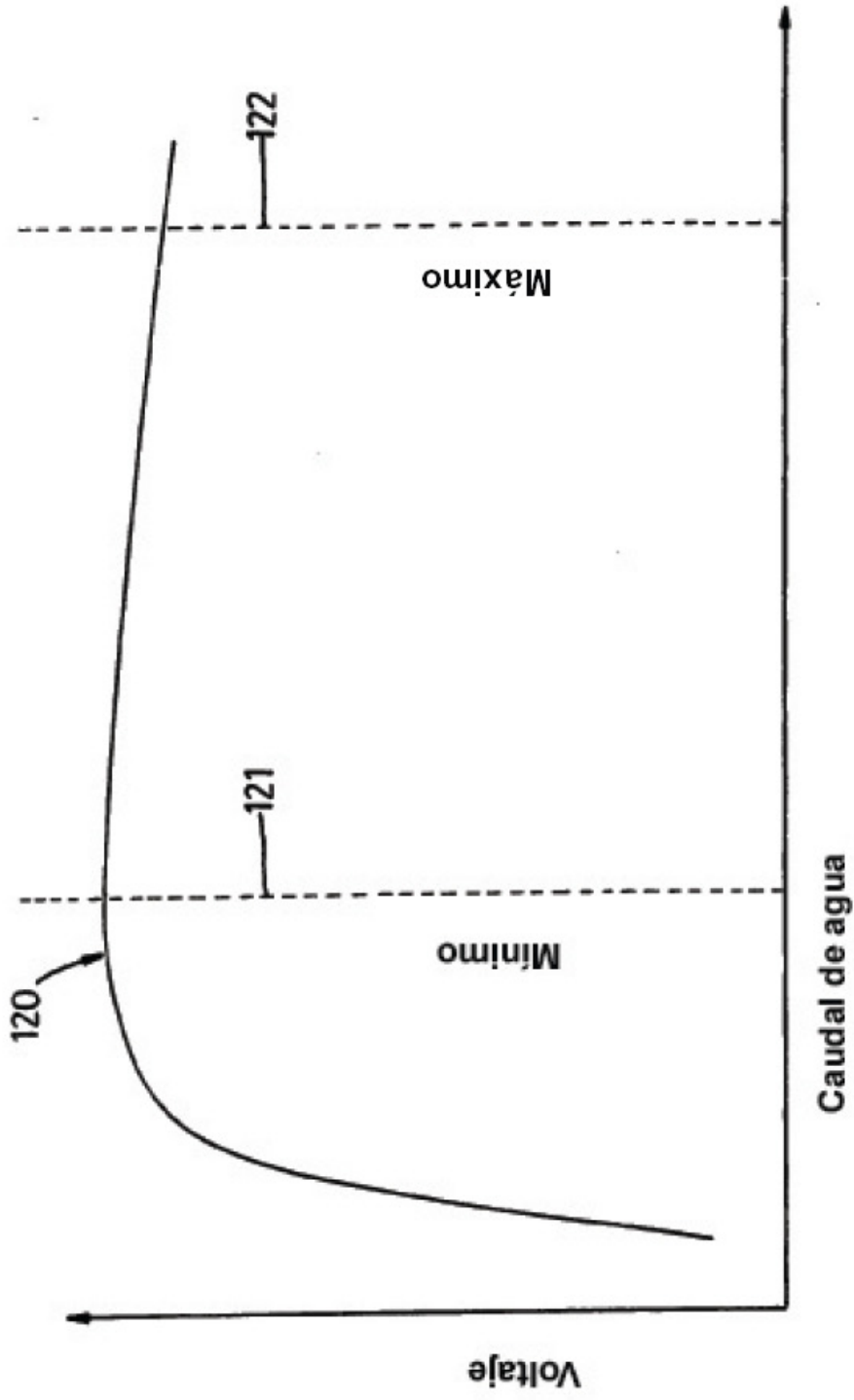


Fig. 12

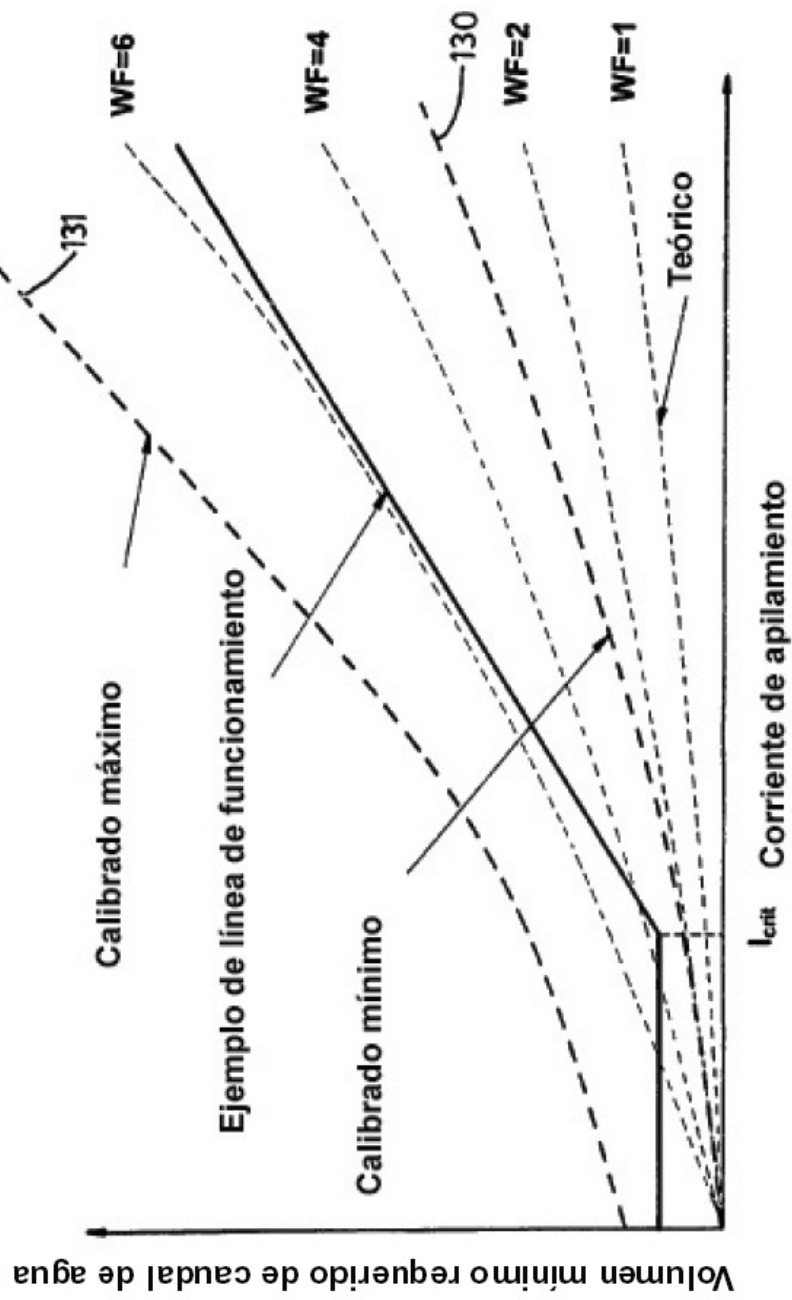


Fig. 13

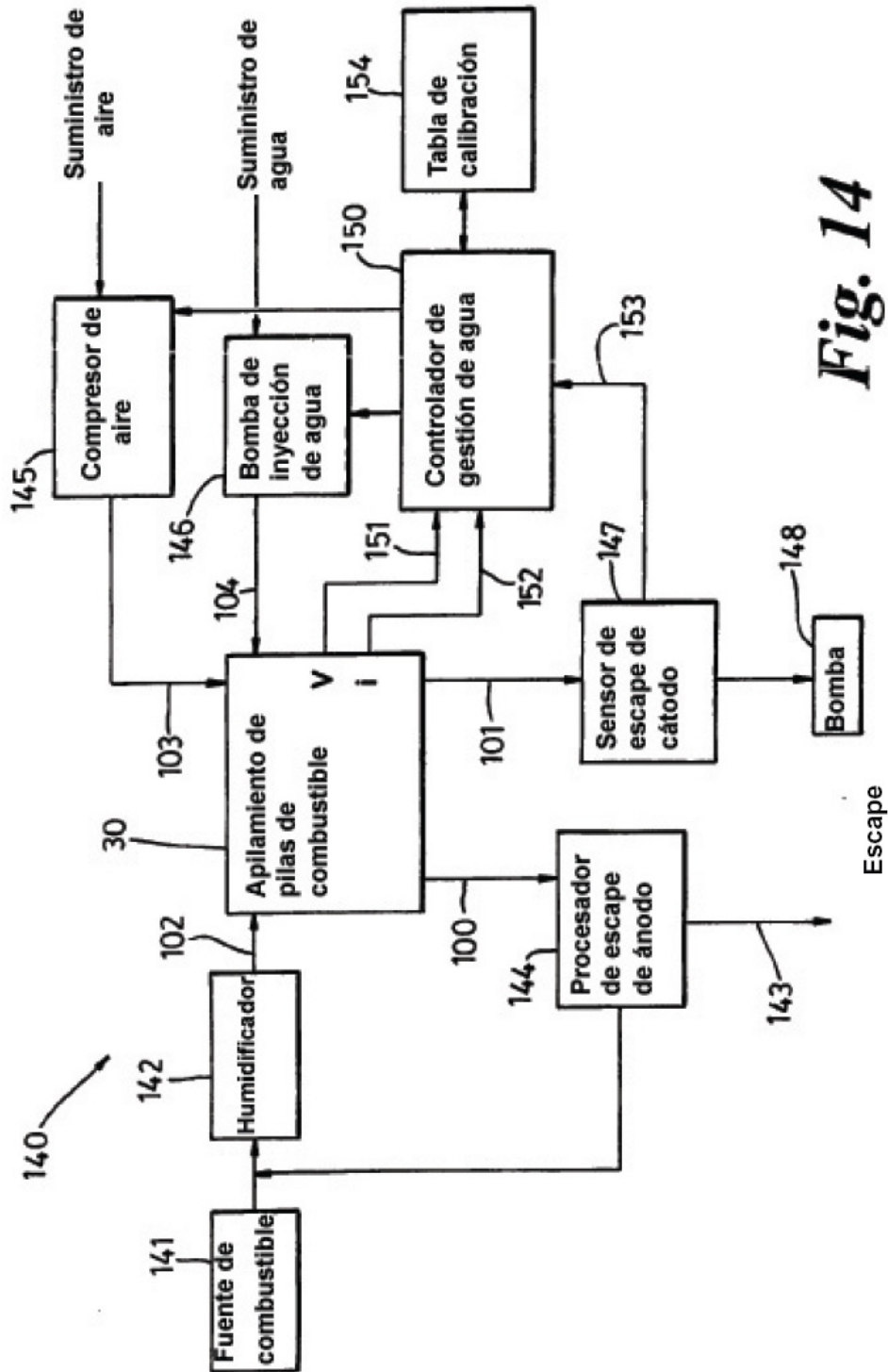


Fig. 14