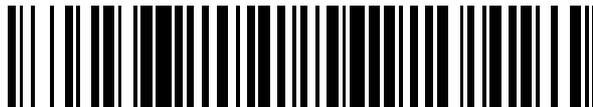


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 629 208**

51 Int. Cl.:

<b>C25B 1/08</b>	(2006.01)	<b>C25B 9/18</b>	(2006.01)
<b>C25B 9/04</b>	(2006.01)		
<b>C25B 9/06</b>	(2006.01)		
<b>C25B 9/20</b>	(2006.01)		
<b>H01M 8/02</b>	(2006.01)		
<b>H01M 8/0206</b>	(2006.01)		
<b>H01M 8/021</b>	(2006.01)		
<b>H01M 8/026</b>	(2006.01)		
<b>C25B 11/02</b>	(2006.01)		
<b>C25B 9/08</b>	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.02.2014 PCT/EP2014/052540**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **14.08.2014 WO14122304**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.02.2014 E 14703389 (8)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.05.2017 EP 2954097**

54 Título: **Placa de flujo de material compuesto para celda electrolítica**

30 Prioridad:

**08.02.2013 US 201361762593 P**

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

**07.08.2017**

73 Titular/es:

**EWII FUEL CELLS A/S (100.0%)  
Emil Neckelmanns Vej 15  
5220 Odense SØ, DK**

72 Inventor/es:

**RØMER, CARSTEN HENNEBERG;  
LUNDSGAARD, JØRGEN SCHJERNING;  
WITTENHOFF, PER y  
THOMAS, DAVID MORGAN**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 629 208 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

Placa de flujo de material compuesto para celda electrolítica

**Campo técnico**

5 La presente invención se refiere en un aspecto a una placa de flujo para su uso como colector de corriente anódica en una celda electrolítica. En otro aspecto, la invención se refiere a una celda electrolítica. En otro aspecto más, la invención se refiere a una placa separadora bipolar para su uso como colector de corriente bipolar en un electrolizador de celdas apiladas, y en otro aspecto más, la invención se refiere a un electrolizador de celdas apiladas. Más concretamente, la placa de flujo, la placa separadora bipolar, la celda electrolítica y el electrolizador de celdas apiladas son para la producción de hidrógeno a partir del agua mediante electrólisis.

10 **Antecedentes de la invención**

15 El hidrógeno es un elemento importante en la sustitución de hidrocarburos y de energía eléctrica basada en el carbono por medios alternativos sostenibles y ambientalmente apropiados, por ejemplo, en celdas de combustible impulsadas por hidrógeno. El hidrógeno, para este propósito puede ser producido utilizando fuentes de energía variables tales como fuentes de energía atmosférica o fotovoltaica con el fin de producir y almacenar hidrógeno para su conversión en energía cuando existe una demanda. Esto elimina una de las principales objeciones a la instalación de fuentes alternativas de energía renovable, es decir, que la energía a menudo se produce en momentos inapropiados y no tiene la disponibilidad de adaptarse a la variación de la demanda de energía diurna. Por lo tanto, se ha realizado un gran esfuerzo en el desarrollo de tecnologías para facilitar la producción y el almacenamiento de energía basada en el hidrógeno.

20 Un elemento importante en este concepto de energía basada en el hidrógeno son los dispositivos electroquímicos que pueden convertir la energía química almacenada en el hidrógeno en energía eléctrica (pilas de combustible de hidrógeno) y, viceversa, convertir la energía eléctrica en energía química para su almacenamiento produciendo hidrógeno a partir del agua mediante electrólisis (electrolizadores de agua).

25 Las celdas de combustible basadas en electrolitos sólidos han mejorado considerablemente con los años, con respecto a proporcionar diseños comercialmente viables y métodos de fabricación. Un aspecto del desarrollo se ha dirigido al diseño de los apilamientos de celdas de combustible con placas separadoras bipolares mejoradas que funcionan como colectores de corriente anódica / catódica y como placas de flujo para manejar el flujo de fluido lateral tanto del cátodo como del ánodo. Dichas placas de flujo bipolar pueden ser fabricadas con costes comercialmente viables, por ejemplo, a partir de materiales compuestos moldeables de compresión basadas en carbono / grafito. Por ejemplo, el documento EP 1 726 060 B1 divulga una placa separadora bipolar de doble función para su uso en un apilamiento de celdas de combustible basada en electrolitos poliméricos sólidos. Las placas separadoras bipolares tienen en una cara anterior un campo de flujo anódico, y en una cara posterior un campo de flujo catódico. La placa separadora bipolar puede facilitar el transporte de los reactantes y el calor hacia y desde las superficies reactivas, con el fin de mantener el proceso de conversión electrolítica y expulsar los productos de reacción. Tal como se explica más adelante en este documento, en el contexto de la tecnología de electrolitos sólidos, los elementos separadores para celdas de combustible se fabrican a partir de materiales compuestos de carbono.

35 Sin embargo, tal como se mencionó anteriormente, un concepto de la producción y el almacenamiento de energía basada en el hidrógeno también requiere electrolizadores adecuados para convertir la energía eléctrica en energía química mediante la producción de hidrógeno para almacenamiento. El hidrógeno se almacena en depósitos de gas a altas presiones, por ejemplo, para su uso posterior como combustible en las celdas de combustible de hidrógeno. Los sistemas electrolizadores, por lo tanto, comprenden medios para comprimir el hidrógeno producido por el electrolizador. En una configuración más preferente, un denominado electrolizador de alta presión está adaptado para producir directamente el hidrógeno a altas presiones, lo que permite transferir el hidrógeno del escape del electrolizador directamente a un recipiente de almacenamiento sin necesidad de dispositivos de compresión externos. Con ello se mejora la eficiencia global del sistema de conversión de energía.

45 Aunque el coste para la fabricación de apilamientos de celdas de combustible se ha reducido con éxito por el avance de las tecnologías, las mismas tecnologías no pueden aplicarse de una manera directa a los dispositivos de electrólisis con electrolitos poliméricos sólidos. Por el contrario, el renovado enfoque en los dispositivos electrolíticos para la producción de hidrógeno a partir de agua mediante electrólisis ha revelado numerosos desafíos para los materiales utilizados en tales dispositivos de electrólisis. Por ejemplo, el entorno del lado del ánodo en un electrolizador de agua comprende una mezcla de oxígeno en agua, la cual, en condiciones de funcionamiento de la celda con un potencial eléctrico aplicado, es altamente corrosivo para la mayoría de los materiales. En particular, las planchas de flujo basadas en carbono / grafito anteriormente mencionadas utilizadas habitualmente en las celdas de combustible PEM no son en absoluto adecuadas para este entorno de fluido anódico altamente corrosivo. Por lo tanto, los diseños de pilas de combustible existentes no pueden utilizarse meramente en modo inverso para lograr la electrólisis del agua. En un enfoque, los materiales a base de carbono / grafito son reemplazados por materiales

resistentes a la corrosión, tales como el titanio. Sin embargo, esta solución es muy cara y no es comercialmente viable a gran escala más allá de aplicaciones en un ámbito concreto altamente especializadas. Además, la conformación del titanio para proporcionar una placa de flujo con dibujo tridimensional altamente complejo es una tarea costosa y que requiere mucho tiempo. Esto se suma al coste y contradice directamente la reducción del coste requerida para producir un dispositivo comercialmente viable.

El documento US 4.214.969 divulga una placa separadora bipolar para un electrolizador de agua para una celda apilada. La placa separadora bipolar está realizada de un material compuesto a base de carbono / grafito y tiene canales de cara abierta para la distribución y la recogida de fluidos / gases en ambos lados de la placa separadora. La superficie lateral del ánodo de la placa separadora bipolar está sellada mediante una lámina metálica protectora. La lámina está pegada o aplicada de otra manera para adaptarse al perfil de la superficie, incluyendo partes sobresalientes, paredes laterales del canal y el fondo del canal. Un flujo adecuado de agua a través de la celda electrolítica puede necesitar una sección transversal de una cierta área de los canales de fluido. Esto se podría conseguir ensanchando los canales. No obstante, los canales anchos de este tipo proporcionarían un soporte mecánico insuficiente para el MEA, en particular en presencia de una presión elevada en el lado catódico en comparación con la presión en el lado anódico. Además, una aplicación de conformación de una lámina metálica delgada con espesores de aproximadamente 25 µm sobre un dibujo de campo del flujo con un perfil de canal profundo y estrecho sin perforar la lámina puede resultar una tarea tediosa y por lo tanto costosa. Además, el campo de flujo descrito proporciona una distribución insatisfactoria del suministro de agua sobre la superficie del MEA, que resulta en puntos calientes y/o puntos secos que afectan a la eficiencia y a la vida útil de las celdas electrolíticas.

El documento US 2001/0049044 A1 describe una disposición de celda electroquímica que utiliza una placa bipolar, en la que las placas bipolares están formadas a partir de una sola o de múltiples láminas de lámina metálica delgada, preferentemente titanio, gofradas con los campos de fluido. Cada lado de la placa bipolar puede incluir soportes de electrodos para evitar la extrusión del conjunto de membrana en los pasos. De acuerdo con la enseñanza del documento US 2001/0049044 A1, el metal debe utilizarse para formar los campos de fluido en lugar de los materiales a base de grafito. El documento WO 01/48852 A1 describe un conjunto de placa bipolar para su uso en celdas electroquímicas. El conjunto descrito comprende primera y segunda chapas onduladas que forman un campo de flujo en comunicación fluida con un conjunto de electrodos de membrana de celdas electroquímicas. Los documentos US 2010/0178580 A1 y US 2007/0015035 A1 se refieren a apilamientos de celdas de combustible y los conjuntos de placas bipolares utilizados en tales apilamientos de celdas de combustible.

Por lo tanto, existe la necesidad de un dispositivo electrolítico mejorado para la producción de hidrógeno a partir de agua por electrólisis, que esté preferentemente adaptado para ser operado a presiones elevadas, que pueda funcionar de forma fiable durante un largo período de tiempo, y que pueda fabricarse a un coste comercialmente viable.

El objeto de la presente invención es superar las desventajas de las placas de flujo conocidas anteriormente mencionadas o, por lo menos, proporcionar una alternativa.

El objeto se consigue mediante una placa de flujo de acuerdo con la reivindicación independiente 1, en la que las realizaciones preferidas están definidas por las reivindicaciones dependientes, tal como se describe continuación.

A lo largo de la presente solicitud, el término "lateral" se refiere a direcciones paralelas a un plano principal de un elemento plano, en la presente memoria, de la placa de flujo, y el término "vertical" se refiere a direcciones perpendiculares al plano del elemento plano, en la presente memoria, de la placa de flujo. El término fluido se refiere tanto a gases como a líquidos o mezclas de los mismos. El acrónimo PEM significa membrana de electrolito de polímero (Polymer Electrolyte Membrane, en inglés), y el acrónimo MEA significa conjunto de electrodo de membrana (Membrane Electrode Assembly, en inglés).

### **Compendio de la invención**

De acuerdo con un aspecto de la invención, una placa de flujo es para su uso como colector de corriente anódica en una celda electrolítica para la producción de hidrógeno a partir de agua. La placa de flujo comprende una placa de canales, en la que una cara frontal de la placa de canales está provista de un dibujo de campo de flujo de canales de cara abierta definidos por partes bajas alternadas con partes elevadas, y una placa de cubierta realizada de un material que es resistente a la corrosión en un entorno anódico de electrólisis de agua, en la que la placa de cubierta está dispuesta en paralelo en la parte superior de la placa de canales y en contacto eléctrico con la cara frontal del mismo, en la que la placa de cubierta está provista de un dibujo de aberturas pasantes alternadas con partes cerradas, en la que el dibujo de las aberturas pasantes está alineado con las partes bajas, y en la que las partes cerradas cubren por lo menos las partes elevadas de la placa de canales.

Proporcionando la placa de flujo como un conjunto de material compuesto que comprende dos partes, a saber, la placa de canales para transportar el flujo de fluido y la placa de cubierta para hacer frente al entorno químicamente agresivo en el ánodo, se consigue una fabricación a escala industrial barata y fiable de la placa de flujo, al mismo tiempo que proporciona una adecuada protección contra la corrosión a la placa de flujo.

La placa de canales es una pieza a granel fabricada a partir de un material económico en el que los canales pueden formarse como una superficie tridimensional en un proceso bien controlado y económico. Las partes elevadas de la placa de canales están en un plano común y definen un plano superior de la placa de canales. Las partes bajas forman un fondo de canal y las paredes laterales llegan hasta las partes elevadas contiguas. Los canales están abiertos en el plano superior. Por ello, se definen canales de cara abierta. Los canales que forman el dibujo del campo de flujo están conectados a los orificios de alimentación y de drenaje a través de distribuidores respectivos. La placa de cubierta está adaptada para proteger el material de la placa de canales del entorno corrosivo. Por lo tanto, la elección de materiales para la placa de canales es menos restrictiva y se pueden utilizar materiales más económicos que son más fácilmente conformados para proporcionar un dibujo de campo de flujo de canales de abiertos que los materiales utilizados para la placa de cubierta. Ejemplos para dichos materiales de placa de canales son materiales compuestos de carbono / grafito, moldeables que pueden conformarse con alta precisión a escala industrial a un coste relativamente bajo, por ejemplo, mediante moldeo por compresión. Tales materiales se utilizan de manera rutinaria para la fabricación de placas separadoras bipolares en celdas de combustible PEM, tal como se describe en la Patente de Estados Unidos 7.615.308, pero se sabe que no son suficientemente resistentes a la corrosión cuando se exponen directamente al entorno anódico en un electrolizador de agua basado en PEM. Como ejemplo adicional, las placas de canales pueden estar realizadas de material compuesto de carbono conductor, con composiciones que están comercialmente disponibles y bajo la marca comercial Bulk Molding Compounds, 1600 Powis Court West Chicago, Illinois 60185, por ejemplo, el material de la placa bipolar de éster vinílico de grado de moldeo por compresión especificado en la especificación BMC 940-13905 o BMC 940-14868. Dichos materiales son adecuados para fabricar placas de canales mediante procedimientos convencionales de conformación por compresión.

Dentro del perímetro lateral de la celda electrolítica, las partes cerradas de la placa de cubierta permanecen contra las partes elevadas de la primera placa de canales. De acuerdo con ello, las aberturas pasantes en la placa de cubierta están alineadas lateralmente con canales subyacentes en la cara frontal de la placa de canales. Utilizar la placa de flujo de material compuesto como colector de corriente en una celda electrolítica implica que la placa de canales y la placa de cubierta están realizadas de materiales eléctricamente conductores y están en buen contacto eléctrico entre sí.

La placa de cubierta puede ser un material laminar relativamente delgado que está adaptado para soportar el entorno altamente corrosivo en el lado anódico de un electrolizador de agua. Ejemplos de tales materiales son acero inoxidable AISI 316, titanio de grado 2, aleaciones de titanio de grados 7 y 7 H, o metales similares resistentes a la corrosión. Las láminas pueden tener un espesor inferior a 1 mm, por ejemplo, aproximadamente 0,7 mm o incluso aproximadamente 0,5 mm. El espesor de la lámina está determinado, por un lado, por el interés en reducir el coste, el peso y el volumen del material, reduciendo tanto como sea posible el espesor, mientras que, por otro lado, los requisitos de estabilidad mecánica pueden dictar un límite inferior para el espesor. Las aberturas pasantes en un material laminar delgado se pueden proporcionar con alta precisión a escala industrial a un coste relativamente bajo, por ejemplo, mediante corte por láser o por chorro de agua. Puesto que la placa de cubierta es simplemente un material de lámina delgado provisto de aberturas pasantes, tanto el coste del material como el coste de fabricación para la etapa de estampación se reducen significativamente en comparación con una configuración tridimensional sensible a la profundidad de canales en una pieza a granel de dichos materiales.

Cuando la placa de flujo de material compuesto se va a utilizar en una celda electrolítica, un lado frontal de la placa de cubierta que está alejado de la placa de canales es para ponerse en contacto con el lado del ánodo de un MEA a través de un medio de distribución de fluido, típicamente un medio poroso, conductor y resistente a la corrosión, tal como fieltro de titanio. El agua que entra en la celda electrolítica a través de un orificio de alimentación es distribuida por el campo de flujo sobre la superficie lateral del ánodo del MEA, suministrando así al proceso electrolítico un reactante (en la presente memoria, agua) y proporcionando energía de enfriamiento al proceso. Los productos de reacción y el exceso de reactante, es decir, el oxígeno y el exceso de agua, se eliminan de la celda electrolítica a través del campo de flujo a través de un orificio de drenaje. El abundante suministro de agua tiene principalmente dos propósitos, a saber, asegurar un suministro suficiente de agua al proceso de reacción de electrólisis y expulsar el exceso de calor con el exceso de agua, enfriando con ello la celda electrolítica. El exceso de calor, por ejemplo, procede de la corriente eléctrica que pasa a través de la celda electrolítica, debido a la disipación resistiva de la energía eléctrica. El fluido que sale también arrastra los productos de la reacción lateral del ánodo, es decir, el oxígeno generado por el proceso de electrólisis en el ánodo del MEA.

Uno de los méritos de la presente invención es la nueva percepción de que el ataque corrosivo de la placa de cubierta puede ser suprimido de manera efectiva cubriendo las partes elevadas de la placa de cubierta con una lámina relativamente delgada de un material resistente a la corrosión, y separando las superficies interiores de los canales, es decir, las paredes laterales y el fondo del canal, que están expuestos al fluido anódico, del ánodo mediante una distancia mínima que está adaptada para suprimir la corrosión de la placa de cubierta. Para un diseño de celda electrolítica determinado, que incluye una placa de flujo de acuerdo con la presente invención, la geometría de la sección transversal del canal y/o de la sección transversal de la placa de cubierta pueden ser adaptadas, de este modo, para conseguir una adecuada supresión de los ataques corrosivos en el material de la placa de canales. Por ejemplo, para un espesor determinado de la placa de cubierta y el medio de distribución de fluido en una celda

electrolítica, esto se puede conseguir mediante una adecuada elección de la profundidad de los canales en la cara frontal de la placa de canales. Para espesores dados de los canales y del medio de distribución de fluido, esto se puede conseguir igualmente eligiendo un espesor adecuado de la placa de cubierta. Además, para evitar el ataque corrosivo de las paredes laterales del canal, esto se logra preferentemente mediante el rebaje de las paredes del lado del canal con respecto a los bordes de las aberturas de la placa de cubierta, de tal manera que el canal en el plano superior sea más ancho que la correspondiente abertura en la placa de cubierta.

Asimismo, de acuerdo con una realización, el dibujo del campo de flujo en la placa de canales es un sistema de canales de alimentación y de drenaje interdigitalizados, en el que cada uno de los canales de alimentación tiene un extremo de más arriba que está conectado, por lo menos, a un orificio de alimentación a través de por lo menos un colector de alimentación, y tiene un extremo de más abajo que termina en la placa de canales, en el que cada uno de los canales de drenaje tiene un extremo de más arriba que termina en la placa de canales y un extremo aguas abajo que está conectado, por lo menos, a un orificio de drenaje a través de, por lo menos, un colector de drenaje, y en el que las aberturas de la placa de cubierta están dispuestas en forma de un diagrama interdigitalizado de aberturas de alimentación y de drenaje correspondientes al dibujo interdigitalizado de los canales de alimentación y de drenaje.

El dibujo de campo de flujo interdigitalizado promueve una distribución de flujo estable de fluido reactante a lo largo del plano de la zona de electrólisis activa del MEA. De este modo, se mejora el suministro de fluidos reactantes y de exceso de fluido para enfriar el MEA y para la humidificación del PEM en funcionamiento. En consecuencia, se mejora la uniformidad de las condiciones de funcionamiento del proceso de electrólisis sobre la zona del MEA, lo que da como resultado un rendimiento y una vida útil mejorados, del electrolizador.

Junto a cada uno de los canales de alimentación están dispuestos canales de drenaje, con el fin de formar un dibujo interdigitalizado de los canales de alimentación y de drenaje. Puesto que ambos canales de alimentación y de drenaje terminan en la placa de canales, los canales de alimentación solo pueden comunicarse con los canales de drenaje sobre las partes elevadas. La cara frontal de la placa de canales está protegida por la placa de cubierta. La placa de cubierta está provista de un dibujo interdigitalizado de aberturas de alimentación y de drenaje correspondientes al dibujo interdigitalizado de los canales de alimentación y de drenaje en la placa de canales. Las aberturas de la placa de cubierta están alineadas con las partes bajas que definen los canales de alimentación y de drenaje de la placa de canales, mientras que las partes elevadas están cubiertas por el material de la placa de cubierta en las partes cerradas. Las aberturas en la placa de cubierta están adaptadas para proporcionar comunicación de fluido entre los canales subyacentes y el medio de distribución de fluido de una manera distribuida a lo largo, esencialmente, de toda la longitud de los canales de alimentación y de drenaje respectivos. Algunas perforaciones aisladas distribuidas a lo largo de la longitud de los canales subyacentes, que están separadas entre sí por largas secciones de partes cerradas, tienden a dejar zonas de flujo estancado alrededor y entre las perforaciones y, por lo tanto, habitualmente no son adecuadas para el propósito. En tal diseño de "línea de puntos" de las aberturas formadas por perforaciones que alternan con puentes de soporte a través de los canales subyacentes, las aberturas deben dominar sobre los puentes, tal como se ve a lo largo de los canales. Preferentemente, la dimensión de cualquiera de dichos puentes, tal como se ve en una dirección a lo largo de los canales, no supera la anchura del canal.

Cuando se utiliza en una celda electrolítica, un lado frontal de la placa de cubierta que se aleja de la placa de canales está en contacto con el medio de distribución de fluido en el lado anódico de la celda electrolítica. El medio de distribución de fluido está intercalado entre la placa de flujo y el MEA. El fluido suministrado a la placa de flujo a través de la entrada de alimentación entra en los canales de alimentación a través del colector de alimentación en el extremo de más arriba; el fluido fluye a través del canal de alimentación en la placa de canales en una dirección lateral sobre la placa de flujo; el fluido es inyectado en una dirección vertical, a través de la abertura de alimentación correspondiente en la placa de la cubierta, en el medio de distribución de fluido; la inyección se produce de forma distribuida a lo largo de la longitud del canal de alimentación; el fluido pasa en un flujo laminar lateral a través del medio de distribución de fluido poroso para entrar en contacto con el ánodo, el catalizador y el electrólito, donde se somete a un proceso electrolítico; los productos de reacción y el exceso de fluido se recogen del medio de distribución de fluido en una dirección vertical a través de una o más aberturas de drenaje contiguas a ambos lados de la abertura de alimentación en la placa de cubierta, para entrar en los canales de drenaje subyacentes, desde los que el exceso de fluido que arrastran los productos de reacción es drenado a través del colector de drenaje y del orificio de drenaje. De este modo, el campo de flujo interdigitalizado genera un dibujo de flujos laminares forzados a lo largo de la superficie del MEA, en el que los flujos de láminas contiguas tienen direcciones opuestas. Con ello, se consigue una alimentación abundante y una distribución mejorada del reactante a la zona activa para la electrólisis con una eliminación adecuada de los productos de la reacción lateral del ánodo y del exceso de calor.

La placa de flujo de la presente invención es particularmente adecuada para proporcionar un dibujo de flujo interdigitalizado idéntico. La anchura (y la profundidad) de los canales en la placa de canales se puede adaptar teniendo en cuenta solo las necesidades de la alimentación y del flujo de drenaje de un volumen grosero. Además de ello, es posible adaptar la anchura de las aberturas de la alimentación y del drenaje en la placa de cubierta independientemente de la anchura y/o la profundidad de los canales de alimentación y de drenaje subyacentes. Por

ello, es posible adaptar fácilmente el diseño de la placa de flujo para optimizar la distribución fina local en un flujo laminar controlado a lo largo de la superficie del MEA. Mediante la variación del diseño de la placa de flujo, se puede ajustar tanto la inyección de fluido reactante desde el canal de alimentación al medio de distribución de fluido poroso como la posterior recogida del fluido y los productos de la reacción arrastrados desde el medio poroso hacia los canales de drenaje.

De acuerdo, asimismo, con una realización de la placa de flujo, la anchura de las aberturas en la placa de cubierta es menor que la anchura de los canales subyacentes en la placa de canales. En el contexto de esta solicitud, la anchura de los canales se refiere a la dimensión transversal tomada a través del canal, es decir, en una dirección lateral perpendicular a la dirección de los canales. De acuerdo con ello, la anchura de una abertura correspondiente en la placa de cubierta se refiere a la dimensión transversal de la abertura en la placa de cubierta que pasa a través del canal. Proporcionando aberturas que son más estrechas que los canales subyacentes, las paredes laterales de los canales en las paredes de canal están rebajadas con respecto a las aberturas de la placa de cubierta. Además de las ventajas mencionadas anteriormente de dicha geometría de canal / abertura, esto tiene la ventaja de que se obtiene un perfil de canal ancho, el cual está adaptado para soportar un mayor caudal de fluido y reduce la resistencia de los canales al flujo. En funcionamiento, se reduce por ello la caída de presión a lo largo de los canales, lo que da lugar a una mayor uniformidad de la distribución del fluido sobre la superficie del MEA. Al mismo tiempo, manteniendo las aberturas estrechas, se mantiene un buen soporte mecánico del MEA. Esto permite el funcionamiento de la celda electrolítica a presiones diferenciales en las que la presión del lado del cátodo es mayor que la presión del lado del ánodo, sin que el MEA se hunda en los canales. Este es particularmente relevante para un electrolizador de agua a alta presión configurado para producir directamente hidrógeno en el lado del cátodo a presiones por encima de 10 bar, preferentemente por encima de 50 bar, o incluso por encima de 100 bar, mientras se mantiene el lado del ánodo a presiones inferiores a 10 bar, típicamente aproximadamente 5 bar.

De acuerdo, asimismo, con una realización de la placa de flujo, la anchura de las aberturas en la placa de cubierta es menor de 0,5 mm, o entre 0,1 mm y 0,5 mm o aproximadamente 0,3 mm. Una anchura de abertura inferior a 0,5 mm, preferentemente de aproximadamente 0,3 mm, está adaptada en una celda electrolítica para proporcionar un buen soporte mecánico para un MEA y el medio de distribución de fluido intermedio, en particular también cuando se hace funcionar la celda electrolítica a las grandes presiones diferenciales mencionadas anteriormente, a través del MEA entre el lado del cátodo y el lado del ánodo.

De acuerdo, asimismo, con una realización de la placa de flujo, la placa de cubierta tiene un espesor de por lo menos 0,2 mm, o entre 0,2 mm y 3 mm, alternativamente entre 0,3 mm y 2 mm, alternativamente entre 0,5 mm y 1 mm, o aproximadamente 0,7 mm. La placa de flujo forma parte de una celda electrolítica, en la que una serie de dichas celdas están ensambladas habitualmente en una disposición de apilamiento vertical, tal como se describe con más detalle a continuación. El espesor elegido para la placa de cubierta es típicamente un compromiso entre el coste de los materiales por un lado (cuando más delgada, mejor), y la separación del material de la placa de canales de la estabilidad potencial y/o mecánica del ánodo, para proporcionar un soporte suficiente al MEA bajo una carga de presión diferencial por otro lado (cuando más gruesa, mejor). El espesor de la placa de cubierta se debe elegir lo suficiente grueso para suprimir los ataques corrosivos en el fondo del canal y las paredes laterales, separando las superficies del canal interior del potencial anódico en una distancia mínima de conexión de fluido entre el ánodo del MEA y las superficies de la placa de canales expuestas al fluido. Además, para un diseño determinado de celda electrolítica, el espesor elegido para la placa de cubierta tiene que ser suficiente para adecuar el soporte mecánico del medio de distribución de fluido y el MEA a presiones diferenciales de funcionamiento, en particular cuando las paredes laterales del canal subyacente están rebajadas con respecto a la abertura.

De acuerdo, asimismo, con una realización de la placa de flujo, la placa de cubierta está realizada de acero inoxidable, titanio o una aleación de titanio. El acero inoxidable tiene la ventaja de que es más barato que los otros materiales, pero mostrando una resistencia a la corrosión útil. El titanio y las aleaciones de titanio son más caras que el acero inoxidable, pero presentan una mayor resistencia a la corrosión que el acero inoxidable. Ejemplos de dichos materiales de placa de cubierta incluyen acero inoxidable AISI 316 y titanio de grado 2, que se ha encontrado que resisten el entorno corrosivo en el lado anódico de un electrolizador de agua basado en PEM que comprende placas de flujo de acuerdo con una realización de la invención.

De acuerdo, asimismo, con una realización de la placa de flujo, los canales en la cara delantera tienen una profundidad de entre 0,3 mm y 1 mm, o de aproximadamente 0,5 mm. La profundidad del canal se mide como la distancia del fondo del canal, tal como definen las partes bajas, al plano superior, tal como definen las partes elevadas de la placa de canales.

De acuerdo, asimismo, con una realización de la placa de flujo, el canal tiene en la parte superior plana, una anchura de entre 0,3 mm y 3 mm, preferentemente de aproximadamente 1 mm. Los canales pueden, por ejemplo, tener un perfil de sección transversal rectangular, trapezoidal, en forma de U o en forma de V. Un perfil de canal de cara abierta con paredes laterales inclinadas por lo menos ligeramente hacia fuera tiene la ventaja de una más fácil extracción del molde. Un área de sección transversal típica del canal puede estar en el intervalo entre  $0,1 \text{ mm}^2$  y  $1 \text{ mm}^2$  o, por ejemplo, aproximadamente  $0,5 \text{ mm}^2$ . Habitualmente, se prefiere una relación de aspecto plana, en la que la anchura del canal es mayor que la profundidad del canal.

- De acuerdo, asimismo, con una realización preferente, la placa de flujo es una placa separadora bipolar para su uso en un electrolizador de celdas apiladas, en el que la placa de cubierta y la cara frontal de la placa de canales son el colector de corriente anódica, y la cara posterior de la placa de canales es el colector de corriente catódica. La placa separadora bipolar es para su uso en una configuración de electrolizador apilado verticalmente para conectar eléctricamente celdas electrolíticas contiguas en serie entre sí, mientras se separa el manejo del fluido del lado del cátodo y el manejo del fluido del lado del ánodo de las celdas electrolíticas contiguas, uno de otro. Cada placa separadora bipolar tiene un dibujo del campo de flujo del lado del ánodo de los canales en la cara frontal, cubierta con una placa de cubierta tal como se ha descrito anteriormente, y un dibujo del campo de flujo del lado del cátodo de los canales en la cara posterior.
- Los campos de flujo en los lados del ánodo de las celdas apiladas se suministran en paralelo con el fluido reactante a través de los respectivos orificios de alimentación del ánodo en cada placa separadora bipolar. El exceso de fluido que arrastra los productos de la reacción anódica y el exceso de calor se drenan en paralelo a través de los respectivos orificios de drenaje del ánodo. Los campos de flujo en los lados del cátodo de las celdas apiladas recogen el exceso de fluido que arrastra los productos de la reacción en el lado del cátodo a través de un orificio de recogida del lado del cátodo. Cuando funciona como electrolizador de agua, el fluido reactante es habitualmente agua desionizada purificada con una conductividad por debajo de 20  $\mu\text{S/cm}$ , preferentemente por debajo de 15  $\mu\text{S/cm}$ , más preferentemente por debajo de 10  $\mu\text{S/cm}$ , más preferentemente en el intervalo entre 1 y 5  $\mu\text{S/cm}$ , o habitualmente entre 1 y 3  $\mu\text{S/cm}$ . El producto de la reacción lateral del ánodo es oxígeno y el producto de la reacción lateral del cátodo es hidrógeno.
- Por lo tanto, la placa separadora bipolar es una placa de material compuesto que comprende tanto una placa de canales como una placa de cubierta dispuesta encima del campo de flujo lateral del ánodo, tal como se ha descrito anteriormente. El espesor total de la placa separadora bipolar es la suma del espesor de la placa de canales y del espesor de la placa de cubierta del lado anódico. El espesor de la placa de canales es un compromiso con respecto a los criterios de resistencia en serie de las celdas / pila, peso y volumen de las celdas / pila, por un lado (cuanto más delgada, mejor), frente a estabilidad mecánica con respecto a las presiones diferenciales que actúan verticalmente a través de la placa bipolar, por otro lado (cuanto más gruesa, mejor). Además, la placa de canales tiene que tener un espesor mínimo que permita proporcionar profundidades de canal adecuadas tanto en los campos de flujo laterales del ánodo como del cátodo. Un valor típico para el espesor de una placa de canales puede ser aproximadamente 5 mm.
- De acuerdo, asimismo, con una realización de la placa separadora bipolar, la cara posterior de la placa de canales está provista de un dibujo de campo de flujo de canales de cara abierta definidos por partes bajas alternadas con partes elevadas. Este campo de flujo lateral de cátodo es para recoger hidrógeno y agua desde el lado del cátodo del MEA. Puesto que no existen problemas concretos de corrosión para el lado del cátodo, el campo de flujo lateral del cátodo puede estar formado directamente en el lado posterior de la placa de canales sin que sean necesarias más medidas particulares de protección contra la corrosión. Los canales en la cara frontal y en la cara posterior pueden estar conformados en la misma etapa, por ejemplo, tal como se ha mencionado anteriormente, mediante moldeo por compresión de un material compuesto a base de carbono / grafito.
- De acuerdo, asimismo, con una realización de la placa de flujo, el, por lo menos, un colector de alimentación y el, por lo menos, un colector de drenaje, están dispuestos en partes opuestas de la periferia de la placa de canales, y la distancia lateral entre canales de alimentación y de drenaje contiguos en el campo de flujo interdigitalizado en la cara frontal de la placa de canales es menor en una parte central en comparación con una parte periférica de la placa de canales. Por ello, la densidad de canal del dibujo del campo de flujo interdigitalizado en la cara frontal de la placa de canales es mayor en una parte central en comparación con una parte periférica de la placa de canales.
- Tal como se ha mencionado anteriormente, en una disposición interdigitalizada de canales de alimentación y de drenaje en comunicación de fluido con un medio de distribución de fluido, un transporte de fluido forzado es impulsado desde el canal de alimentación mediante un flujo laminar a través del medio de distribución de fluido hasta el canal de drenaje. El fluido se inyecta a través de aberturas de alimentación de una manera distribuida a lo largo de la longitud del canal de alimentación. Debido a los efectos hidrodinámicos, la inyección y, por tanto, el caudal a través del medio de distribución de fluido, varían a lo largo de la longitud del canal de alimentación. Por ejemplo, en un flujo forzado laminar entre canales paralelos y rectos conectados a través de un medio poroso, habitualmente se observa un mínimo del caudal a lo largo de los canales, a medio camino entre el inicio y el final de la inyección. Curvando los canales de alimentación y/o de drenaje para variar la distancia entre los canales de manera que estén más próximos entre sí en una sección media en comparación con los extremos, este efecto se contrarresta, mejorando de este modo la uniformidad del flujo laminar generado.
- De acuerdo con un aspecto más amplio de la invención, esta disposición lateral del dibujo de campo de flujo interdigitalizado es también ventajosa, en general, donde se desea una distribución uniforme del flujo laminar forzado, por ejemplo, en placas de flujo para uso en celdas de combustible o electrolizadores en los que la placa de canales está en contacto directamente con un medio de distribución de fluido sin la intermediación de una placa de cubierta.

De este modo, en un campo de flujo interdigitalizado de canales de alimentación y de drenaje, en el que los canales de alimentación y de drenaje se comunican entre sí a través de un medio poroso y/o un flujo laminar confinado de una manera distribuida a lo largo de la longitud de los canales de alimentación y de drenaje, la distancia entre la alimentación y los canales de alimentación y de drenaje contiguos varía a lo largo de la longitud de estos canales de alimentación y de drenaje. Por lo tanto, los efectos hidrodinámicos que conducen a una distribución desigual de la velocidad del flujo en el flujo laminar a través del medio poroso a lo largo de la dirección de los canales de alimentación y de flujo, se pueden contrarrestar, y se logra una mayor uniformidad en la distribución de la velocidad del flujo en el flujo a través del material poroso.

Ventajosamente, cuando el medio poroso (o flujo laminar) tiene una resistencia de flujo uniformemente distribuida, la compensación de los efectos hidrodinámicos se consigue variando la distancia entre los canales de alimentación y de drenaje tal como se indica a continuación. Preferentemente, en la presente realización, la distancia es un mínimo a medio camino entre los extremos de los canales de alimentación y de drenaje, es decir, la distancia entre los canales de alimentación y de drenaje aumenta gradualmente desde el centro en ambas direcciones a lo largo de los canales de alimentación y de drenaje hacia los extremos de los canales de alimentación y de drenaje.

De acuerdo, asimismo, con una realización, la placa de flujo es generalmente circular, tal como se ve en una dirección vertical. La forma circular tiene ventajas de estabilidad mecánica cuando se utiliza la placa de flujo en un electrolizador de celdas apiladas que funciona a altas presiones.

Ventajosamente, de acuerdo con una realización adicional de la placa de flujo con una geometría circular, se proporcionan una serie de canales de alimentación y de drenaje interdigitalizados. Los canales periféricos de alimentación y de drenaje están conectados, cada uno, a colectores de alimentación y de drenaje respectivos dispuestos opuestos entre sí en cada mitad de la periferia de la placa de flujo. Siguiendo los canales desde el extremo en el que están conectados al colector, los canales se extienden radialmente hacia dentro, hacia el centro, pero se curvan para doblarse de nuevo de manera que el canal termina apuntando radialmente hacia fuera, donde los canales se curvan cada vez más a medida que su distancia desde el centro del círculo aumenta. Los canales de alimentación y de drenaje contiguos están, por lo tanto, más próximos entre sí en una sección media que en cada extremo.

A continuación, en la presente memoria, se describen una celda electrolítica y un electrolizador de celdas apiladas, que comprende placas de flujo de acuerdo con cualquiera de las realizaciones mencionadas anteriormente. Por consiguiente, se consiguen las mismas ventajas para estos dispositivos que las descritas anteriormente con respecto a las diferentes realizaciones de la placa de flujo.

De acuerdo con un aspecto adicional de la invención, se proporciona una celda electrolítica para la producción de hidrógeno a partir de agua mediante electrólisis. La celda electrolítica comprende un conjunto plano de electrodos de membrana (MEA), con una membrana de electrolito polimérico (PEM) intercalada entre un ánodo y un cátodo; en el lado del ánodo: un medio de distribución del fluido del lado del ánodo en contacto con el ánodo y un colector de la corriente anódica en contacto con el medio de distribución del fluido del lado del ánodo; y, en el lado del cátodo: un medio de distribución del fluido del lado del cátodo en contacto con el cátodo, y un colector de la corriente catódica en contacto con el medio de distribución del fluido del lado del cátodo; en el que el colector de corriente anódica es una placa de flujo de acuerdo con cualquiera de las realizaciones mencionadas anteriormente.

Además, de acuerdo con una realización de la celda electrolítica, el colector de corriente anódica y el colector de corriente catódica están en placas separadoras bipolares respectivas de acuerdo con cualquiera de las realizaciones mencionadas anteriormente.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona un electrolizador de celdas apiladas para la producción de hidrógeno a partir del agua mediante electrólisis. El electrolizador de celdas apiladas está forma como un apilamiento de las celdas electrolíticas mencionadas anteriormente.

**Breve descripción de los dibujos**

A continuación, se describen realizaciones detalladas de la invención con referencia a los dibujos adjuntos. Los dibujos muestran en

- la figura 1, esquemáticamente, un detalle en sección transversal de una celda electrolítica que comprende una placa de flujo de acuerdo con una realización de la invención,
- la figura 2, una vista desde arriba de una placa de canales con una disposición del dibujo de campo de flujo interdigitalizado de acuerdo con otra realización de la invención,
- la figura 3, una vista desde abajo de una placa separadora bipolar de acuerdo con una realización adicional de la invención,

- la figura 4, esquemáticamente, un detalle en sección transversal de un electrolizador de celdas apiladas con una ilustración del flujo de fluido interdigitalizado del lado del ánodo,
- la figura 5, esquemáticamente, un sistema modelo utilizado para simulaciones CFD del flujo interdigitalizado,
- 5 la figura 6, un gráfico que muestra una distribución de la velocidad del flujo laminar a lo largo del eje x obtenido a partir de una simulación CFD del sistema modelo de la figura 5,
- la figura 7, una vista desde arriba de una placa de canales con una disposición del dibujo del campo de flujo interdigitalizado de acuerdo con otra realización de la invención,
- la figura 8, un detalle en sección transversal de la placa de canales a lo largo de la línea A – A de la figura 7,
- 10 la figura 9, una vista desde arriba de una placa de cubierta con una disposición del dibujo del campo de flujo interdigitalizado correspondiente a la placa de canales de la figura 7,
- la figura 10, un detalle en sección transversal de la placa de cubierta a lo largo de la línea B – B de la figura 9,

### Descripción detallada de realizaciones

La figura 1 muestra esquemáticamente un detalle en sección transversal a través de una celda electrolítica basada en una membrana de electrolito polimérico (PEM) que comprende una placa de flujo 1 de material compuesto con una placa de canales 2, realizada, por ejemplo, de un material compuesto de carbono / grafito, conductor, y una placa de cubierta 3, realizada, por ejemplo, de titanio, en el que la placa de cubierta 3 está dispuesta en la parte superior y en buen contacto eléctrico con la placa de canales 2. La placa de canales 2 tiene en la cara frontal unas partes bajas 21 intercaladas entre partes elevadas 23. Las partes bajas 21 definen canales 20 de cara abierta con un fondo (las partes bajas 21) y paredes laterales 22, que se extienden desde el fondo 21 hasta las partes elevadas 23. Las partes elevadas 23 están en un plano común y definen un plano superior de la placa de canales 2. Los canales 20 están abiertas en el plano superior. La placa de cubierta 3 comprende aberturas 40 intercaladas entre partes cerradas 41. Las aberturas 40 están alineadas con los canales 20 subyacentes, siendo las aberturas 40 más estrechas que los canales 20, de tal manera que las paredes laterales 22 del canal 20 están rebajadas con respecto a la abertura 40 correspondiente. En la superficie opuesta a la placa de canales 2, la placa de cubierta está en contacto mecánico y eléctrico con un medio de distribución de fluido 4 del lado del ánodo realizado de un material poroso, conductor y resistente a la corrosión, tal como el fieltro de titanio. El medio de distribución de fluido 4 está en contacto mecánico y eléctrico con el ánodo 5 de un conjunto de electrodo de membrana (MEA), en el que el MEA comprende un PEM 6 intercalado entre el ánodo 5 y un cátodo 7. El cátodo 7 está en contacto con un medio de distribución de fluido 8 del lado del cátodo, conductor, tal como un fieltro de carbono que, a su vez, está en contacto con una placa de cátodo 9. En funcionamiento, se hace pasar una corriente en una dirección vertical a través de la celda electrolítica, donde la placa de flujo 1 actúa como colector de la corriente anódica y la placa de cátodo 9 actúa como colector de la corriente catódica. Los canales 20 están diseñados con un área de sección transversal adecuada para la distribución gruesa de agua reactante sobre la zona lateral del ánodo de la celda electrolítica a través de un dibujo de campo de flujo definido en la placa de canales 2. El medio de distribución de fluido 4 está en comunicación de fluidos con los canales 20 a través de las aberturas 40, y maneja la distribución fina del agua reactante sobre la superficie del ánodo 5 del MEA. La reacción de electrólisis que tiene lugar en el ánodo genera oxígeno nascente y da como resultado un entorno altamente corrosivo para materiales a base de carbono, tales como los materiales compuestos de carbono / grafito, moldeables por compresión utilizados para fabricar las placas de canales. La placa de cubierta 3 está realizada de un material que es resistente a la corrosión en un ambiente anódico de electrólisis de agua, tal como el titanio, y está diseñada para proteger de la corrosión a la placa de canales 2 subyacente. Las partes cerradas 41 de la placa de cubierta 3 cubren, por lo menos, las partes elevadas 23 de la placa de canales 2, mientras que las aberturas 40 están alineadas con los canales 20. De este modo, de la placa de canales 2 solamente las superficies interiores 21, 22 de los canales 20 están expuestas a los fluidos laterales del ánodo potencialmente corrosivos. No obstante, para evitar la corrosión de dichas superficies, es suficiente que el espesor de la placa de cubierta 2 y la profundidad de los canales 20 con un área de sección transversal adecuada se elija de tal manera que el distanciador entre el ánodo 5 y las superficies interiores 21, 22 de los canales 20 supere una longitud mínima. En condiciones de funcionamiento habituales para producir hidrógeno por electrólisis del agua en una celda electrolítica basada en PEM, las diferencias de potencial aplicadas entre el colector de corriente catódica 9 y el colector de corriente anódica 1 están típicamente entre 1,4 V y 2,0 V. Bajo estas condiciones, se ha comprobado sorprendentemente que una distancia mínima  $r$  superior a 1 mm, o típicamente de aproximadamente 1,5 mm, es suficiente para suprimir eficazmente la corrosión del material de la placa de canales 2. Como ejemplo de parámetros geométricos que han tenido éxito, el medio de distribución de fluido del lado del ánodo tiene habitualmente un espesor de aproximadamente 0,3 mm, la placa de cubierta 2 tiene un espesor de aproximadamente 0,7 mm y la profundidad del canal 20 es de aproximadamente 0,5 mm, es decir, la distancia total  $r$  entre el ánodo 5 y el fondo del canal 21 es de aproximadamente 1,5 mm. En este ejemplo, la anchura de la abertura 40 es de aproximadamente 0,3 mm, y la anchura del canal 20 es de aproximadamente 1 mm, estando las aberturas 40 alineadas centralmente con respecto a los canales 20, dando como resultado un rebaje de las paredes laterales 22 con respecto a la abertura 40 de aproximadamente 0,3 a 0,4 mm.

La figura 2 muestra una vista desde arriba de la cara frontal de una placa de canales circular 202 con un dibujo 200 de campo de flujo que tiene una disposición interdigitalizada de canales de alimentación rectos 210 que se alterna con canales de drenaje rectos 220, de tal manera que los canales de alimentación y de drenaje 210, 220 contiguos están dispuestos paralelos entre sí a través de la superficie de la placa de canales 202. Un extremo de más arriba de los canales de alimentación 210 está conectado a través de un colector de alimentación 214 a un orificio de alimentación 215. Por consiguiente, un extremo de más abajo de los conductos de drenaje 220 está conectado a través de un colector de drenaje 224 a un orificio de drenaje 225. Los colectores de alimentación y de drenaje 214, 224 están dispuestos en la periferia de la placa de canales 202 y están dispuestos diametralmente opuestos uno al otro. Los orificios de alimentación y de drenaje 215, 225 están dispuestos en una parte de reborde de la placa de canales que rodea el dibujo del campo de flujo 200 y los colectores 214, 224. Los canales de alimentación y de drenaje 210, 220 se extienden desde sus colectores respectivos 214, 224 a través de la placa de canales 202 hacia el colector opuesto 224, 214 y terminan en la placa de canales siguiente a los colectores opuestos 224, 214. Los canales de alimentación y de drenaje 210, 220 no están conectados entre sí, sino que solo pueden comunicarse a través de la cara abierta sobre las partes elevadas 223 entre los canales 210, 220. El flujo interdigitalizado forzado resultante se describe con más detalle a continuación, con respecto a la figura 4.

La figura 3 muestra una vista del lado del cátodo de una placa separadora bipolar con un campo de flujo de recogida de hidrógeno 250. Los canales de recogida de hidrógeno 251, 252 están dispuestos en una configuración entrecruzada y están conectados a un orificio de recogida de hidrógeno 253 a través de un colector periférico. El dibujo entrecruzado es una disposición adecuada de canales de recogida, pero también pueden concebirse otras disposiciones. El campo de flujo es para contactar un medio de distribución de fluido en el lado del cátodo de una celda electrolítica como colector de corriente catódica. Los canales 251, 252 recogen el hidrógeno producido en el cátodo del MEA desde el medio de distribución de fluido, y dirigen el hidrógeno al orificio de recogida 253 a través del cual se expulsa para su almacenamiento o uso externo. Tal como se indica en la figura 3, el campo de flujo lateral del cátodo 250 puede estar dispuesto sobre la cara posterior de una placa de canales 202, en la que la cara frontal de la placa de canales 202 contiene un campo 200 de flujo lateral del ánodo, tal como el mostrado en la figura 2 (o la figura 7). El orificio de recogida de hidrógeno 253 está dispuesto en una parte de reborde que también lleva los orificios de alimentación y de drenaje 215, 225.

La figura 4 muestra esquemáticamente una disposición apilada de celdas electrolíticas, en la que cada celda comprende un MEA intercalado entre un medio de distribución de fluido 4 lateral anódico y un medio de distribución de fluido lateral 8 catódico. Las celdas apiladas están conectadas eléctricamente en serie a través de las placas separadoras 1 bipolares que actúan por un lado como colector de corriente catódica para una celda y en el lado opuesto actúan como colector de corriente anódica para la celda posterior. Al mismo tiempo, las placas separadoras 1 bipolares son placas de flujo con un campo de flujo lateral de cátodo y un campo de flujo lateral de ánodo.

Los campos de flujo de las celdas están separados unos de otros por las placas separadoras 1 bipolares. Los campos de flujo están conectados fuera de las celdas a través de colectores de pila para transportar la alimentación de agua reactante, expulsar el fluido del lado del ánodo y los productos de la reacción (agua y oxígeno), y expulsar el fluido lateral del cátodo y productos de la reacción (agua e hidrógeno). Los colectores de pila están formados ventajosamente en una parte de reborde de las placas bipolares 1. Por ejemplo, en la realización de las figuras 2 y 3, se pueden formar colectores de alimentación de pilas, de drenaje de pilas y de recogida de pilas, acoplando orificios de alimentación, drenaje y recogida 215, 225, 253 conjuntamente con los respectivos orificios de alimentación, drenaje y recogida de las placas separadoras bipolares subsiguientes del apilamiento.

En el detalle en sección transversal de la realización mostrada en la figura 4, el campo de flujo lateral del cátodo tiene canales de recogida 50 que están dispuestos para recoger el hidrógeno producido en el cátodo del MEA y el exceso de agua que se produce en el lado del cátodo de la celda desde el medio de distribución de fluido 8 del lado del cátodo y expulsar el hidrógeno y el agua a través de un orificio de recogida.

El campo de flujo lateral del ánodo tiene canales de alimentación 10 y canales de drenaje 20 que están dispuestos en él e interdigitalizados, tal como el esquema descrito anteriormente con respecto a la figura 2. Los canales de alimentación y de drenaje 10, 20 están formados en la cara frontal de una placa de canales 2 y se comunican con el medio de distribución de fluido 4 del lado del ánodo a través de aberturas de alimentación respectivas 30 y aberturas de drenaje 40 proporcionadas en una placa de cubierta 3, tal como el diseño descrito anteriormente con respecto a la figura 1.

La disposición interdigitalizada de los canales de alimentación y de drenaje da como resultado un flujo forzado a través del medio de distribución de fluido 4 del lado del ánodo, tal como se indica por las flechas pequeñas en la figura 4. El agua reactante se suministra a cada una de las celdas electrolíticas desde un colector de alimentación de pila común a través de un orificio de alimentación de celdas (no mostrado en la figura 4); el agua reactante entra en los canales de alimentación 10 a través del colector de alimentación de celdas en el extremo de corriente ascendente; el agua reactante entra a través del canal de alimentación 10 en una dirección lateral sobre la placa de canales 2; a partir de ahí, el agua reactante se inyecta en una dirección vertical a través de la correspondiente abertura de alimentación 30 en la placa de cubierta 3 en el medio de distribución de fluido 4; la inyección se produce de manera distribuida a lo largo de la longitud del canal de alimentación 10; el flujo inyectado se divide en dos flujos

laminares laterales a través del medio de distribución de fluido 4 poroso hacia las aberturas de drenaje 40 contiguas a cada lado de la abertura de alimentación 30; el flujo laminar de agua reactante entra en contacto con el ánodo, el catalizador y el electrolito del MEA, donde se somete a un proceso electrolítico; cada una de las aberturas de drenaje 40 recoge los productos de la reacción (oxígeno) y el exceso de agua de dos flujos laminares que se originan desde las aberturas de alimentación 30 a cada lado de la abertura de drenaje 40; el oxígeno y el exceso de agua dejan el medio de distribución de fluido 4 en una dirección vertical a través de una o más aberturas de drenaje contiguas a cada lado de la abertura de alimentación en la placa de cubierta para entrar en los canales de drenaje subyacentes, drenado por el colector de drenaje y el orificio de drenaje. De este modo, el campo de flujo interdigitalizado genera un dibujo de flujos laminares forzados a lo largo de la superficie del MEA, en el que los flujos laminares contiguos tienen direcciones opuestas. De este modo, se consigue una alimentación y una distribución mejoradas del agua reactante a la zona activa para la electrólisis con una eliminación adecuada de los productos de reacción lateral del ánodo y el exceso de calor.

La figura 5 muestra un sistema modelo 500 que se utilizó para realizar una simulación CFD del flujo laminar forzado. El sistema modelo 500 comprende un primer canal 510 y un segundo canal 520 dispuestos a una distancia, paralelo entre sí a lo largo de una dirección de coordenadas x. En un extremo de más arriba, el primer canal 510 está conectado a una fuente de agua. En un extremo de más abajo, el primer canal 510 termina. En un extremo de la corriente ascendente, el segundo canal 520 termina. En un extremo de más abajo, el segundo canal 520 está conectado a un sumidero de agua. Los dos canales 510, 520 están en comunicación de fluidos entre sí solo a través de una capa confinada de un medio poroso 504 dispuesta en la parte superior de los canales 510, 520. Las simulaciones se realizaron utilizando parámetros geométricos típicos para una celda electrolítica del tipo mencionado anteriormente. El agua que se origina en el primer canal 510 se inyecta verticalmente sobre toda la anchura del primer canal 510 en la capa porosa 504. El agua pasa en una dirección perpendicular al eje x, es decir, en una dirección de coordenadas y, a través del medio poroso hacia el segundo canal 520, donde el agua es recogida y posteriormente transportada al sumidero. La simulación CFD ilustra que la magnitud de la velocidad del flujo laminar  $V_s$  en la dirección y varía en función de la coordenada x. La figura 6 muestra un gráfico con el resultado de una simulación de CFD realizada utilizando el sistema modelo 500. El gráfico representa la magnitud de la velocidad del flujo laminar a través del medio poroso en una dirección desde el primer canal 510 al segundo canal 520 como una función de la coordenada x,  $V_s(x)$ . Un mínimo pronunciado se obtiene a media distancia entre los dos extremos. De acuerdo con esto, una celda electrolítica, que tiene un dibujo de campo de flujo lateral de ánodo interdigitalizado con canales de alimentación y de drenaje paralelos, puede sufrir una distribución desigual de suministro de reactante y de la potencia de refrigeración sobre la superficie del MEA.

Volviendo a las figuras 7 a 10, se muestra una realización ventajosa de una placa de flujo que aborda la cuestión de una distribución de flujo irregular a lo largo de la dirección de los canales de alimentación y de drenaje, tal como se ilustra mediante la simulación de CFD descrita anteriormente con respecto a las figuras 5 y 6. Las figuras 7 y 8 muestran una placa de canales 702 con una disposición de campo de flujo interdigitalizado 700 que comprende canales de alimentación y de drenaje curvados 710, 720, y las figuras 9 y 10 muestran una placa de cubierta asociada 703 con una disposición correspondiente de las aberturas de alimentación y de drenaje 730, 740.

La figura 7 muestra una vista desde arriba de la cara frontal de una placa de canales 702 circular similar a la placa de canales 202 descrita anteriormente con respecto a la figura 2. La placa de canales 702 tiene orificios de alimentación, de drenaje y de recogida 715, 725, 753 dispuestos en un reborde, en los que el orificio de alimentación 715 está conectado a un colector de alimentación 714 y el orificio de drenaje está conectado a un colector de drenaje 724. Los colectores de alimentación y de drenaje están dispuestos opuestos entre sí en la periferia de un campo de flujo circular 700 con canales de alimentación y de drenaje 710, 720 interdigitalizados. La placa de canales 702 difiere de la placa de canales 202 de la fig.2 en la disposición del dibujo de campo de flujo 700, en la que la distancia lateral entre los canales de alimentación y de drenaje contiguos 710, 720 es más pequeña en una parte central en comparación con una parte periférica. La distancia entre los canales de alimentación y de drenaje contiguos 710, 720 es mínima en una sección central de los canales 710, 720, y aumenta en una dirección a lo largo de los canales desde la sección media hacia cada extremo. Dicha configuración es particularmente ventajosa en un modelo de campo de flujo de forma circular, pero también puede concebirse de acuerdo con otras formas, por ejemplo, poligonal, tal como rectangular, cuadrada o hexagonal. En el campo de flujo circular 700 de la placa de canales 702, los canales de alimentación y de drenaje 710, 720 están curvados con una curvatura que aumenta con una distancia creciente de los canales 710, 720 desde el centro de la placa de canales 702. Ventajosamente, los canales apuntan radialmente hacia dentro / hacia afuera en los extremos exteriores, esencialmente perpendiculares a los canales de alimentación y de drenaje en la periferia circular, en donde los extremos están conectados por una traza suavemente curvada, tal como una estría, un arco circular o un arco elíptico.

La realización de la placa de flujo mostrada en las figuras 7 a 10 es una placa separadora bipolar para su uso en un electrolizador de celdas apiladas. Por lo tanto, la placa de canales 702 está provista en la cara posterior de un dibujo de campo de flujo lateral de cátodo 750 de los canales de recogida 751, 752, que pueden, por ejemplo, estar dispuestos en una configuración entrecruzada tal como la descrita anteriormente con referencia a la figura 3. Los canales de recogida 751, 752 están conectados a través de un colector de recogida periférico conectado a un orificio de recogida 753 dispuesto sobre una parte de reborde de la placa de canales 702. El orificio de recogida 753 está

adaptado para utilizar en una configuración de celdas apiladas análoga a la placa de separación bipolar de doble función para celdas de combustible como se describe en la patente europea EP 1 726 060 B1.

5 La figura 8 muestra un detalle en sección transversal de la placa de canales 702 tomada a lo largo de la línea A - A en la figura 7. En el extremo izquierdo se ve una sección transversal a través de la parte de reborde con el orificio de recogida 753. Hacia la derecha, en una cara superior de la placa de canales 702, los canales de alimentación 710 alternan con los canales de drenaje 720 para formar el modelo interdigitalizado. tal como se ha mencionado anteriormente, en una cara posterior se proporciona un dibujo de campo de flujo lateral de cátodo 750 de canales de recogida 751, 752, que está conectado al orificio de recogida 753.

10 La figura 9 muestra la placa de cubierta 703 asociada con la placa de canales 702 descrita anteriormente con referencia a las figuras 7 y 8, en la que la placa de cubierta 703 y la placa de canales 702 forman conjuntamente la placa separadora bipolar para su uso en un electrolizador de agua apilado. El dibujo de abertura de las aberturas alternas de alimentación 730 y las aberturas de drenaje 740 corresponde al dibujo alternante de canales de alimentación 710 y canales de drenaje 720, respectivamente. Cuando se ensamblan, las aberturas de alimentación 730 en la placa de cubierta 703 están alineadas con los canales de alimentación subyacentes 710 en la cara frontal de la placa de canales 702 y las aberturas de drenaje 740 están alineadas con los canales de drenaje subyacentes 720. Dentro del perímetro lateral de la celda electrolítica, las partes cerradas de la placa de cubierta 703 cubren y por lo tanto protegen, por lo menos, las partes elevadas de la placa de canales 702 entre y alrededor de los canales 15 710, 720 así como los colectores 714, 724. Ventajosamente, tal como se muestra en la figura 9, en el lado del colector de alimentación 714, las aberturas de alimentación 730 se extienden ligeramente más allá de las aberturas de drenaje 740 para sobresalir del colector de alimentación. Además, ventajosamente, en el lado del colector de drenaje 724, las aberturas de drenaje 740 se extienden más allá de las aberturas de alimentación 730 para solapar el colector de drenaje 724.

20 La figura 10 muestra un detalle en sección transversal de la placa de cubierta 703 tomada a lo largo de la línea B - B en la figura 9. Las aberturas de alimentación pasantes 730 se alternan con las aberturas de drenaje pasantes 740, reflejando de este modo el dibujo interdigitalizado de los canales de alimentación y de drenaje 710, 720 en la placa de canales 702. Las aberturas de alimentación y de drenaje contiguas 730, 740 están separadas entre sí por partes cerradas 741.

**REIVINDICACIONES**

1. Placa de flujo para su uso como colector de corriente anódica en una celda electrolítica para la producción de hidrógeno a partir de agua, comprendiendo la placa de flujo
- 5                   - una placa de canales, en la que una cara frontal de la placa de canales está provista de un dibujo de campo de flujo de canales cara abierta definidos por partes bajas que alternan con partes elevadas, y
- una placa de cubierta realizada de un material que es resistente a la corrosión en un ambiente anódico de electrólisis del agua, en la que la placa de cubierta está dispuesta paralela en la parte superior de la placa de canales y, en la que la placa de cubierta está provista de un dibujo de aberturas pasantes alternadas con partes cerradas, en la que el dibujo de aberturas pasantes está alineado con las partes bajas, y en el que
- 10                   las partes cerradas cubren, por lo menos, las partes elevadas de la placa de canales.
2. Placa de flujo de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el dibujo de campo de flujo en la placa de canales es un sistema de canales de alimentación y de drenaje interdigitalizados,
- en el que cada uno de los canales de alimentación tiene un extremo de más arriba que está conectado, por lo menos, a un orificio de alimentación a través de, por lo menos, un colector de alimentación, y tiene un
- 15                   extremo de más abajo que termina en la placa de canales,
- en el que cada uno de los canales de drenaje tiene un extremo de más arriba que termina en la placa de canales y un extremo de más abajo que está conectado, por lo menos, a un orificio de drenaje a través de, por lo menos, un colector de drenaje, y
- 20                   en el que las aberturas de la placa de cubierta están dispuestas en forma de un dibujo interdigitalizado de aberturas de alimentación y de drenaje correspondientes a los dibujos interdigitalizados de los canales de alimentación y de drenaje.
3. Placa de flujo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la anchura de las aberturas en la placa de cubierta es menor que la anchura de los canales subyacentes en la placa de canales.
4. Placa de flujo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la anchura de las perforaciones en la placa de cubierta es menor de 0,5 mm, o está entre 0,1 mm y 0,5 mm.
- 25                   5. Placa de flujo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la placa de cubierta tiene un espesor de por lo menos 0,2 mm, o entre 0,2 mm y 3 mm, alternativamente entre 0,3 mm y 1,5 mm, alternativamente entre 0,5 mm y 1 mm.
6. Placa de flujo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la placa de cubierta está realizada de acero inoxidable, titanio o una aleación de titanio.
- 30                   7. Placa de flujo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que los canales en la cara frontal tienen una profundidad comprendida entre 0,3 mm y 1 mm.
8. Placa de flujo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el canal tiene en el plano superior una anchura de entre 0,3 mm y 3 mm.
- 35                   9. Placa de flujo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la placa de flujo es una placa separadora bipolar para uso en un electrolizador de celdas apiladas, en la que la placa de cubierta y la cara frontal de la placa de canales son el colector de corriente anódica, y una cara posterior de la placa de canales es el colector de corriente catódica.
- 40                   10. Placa de flujo de acuerdo con la reivindicación 9, en la que la cara posterior de la placa de canales está provista de un dibujo de campo de flujo de canales de cara abierta definidos por partes bajas que alternan con partes elevadas.
- 45                   11. Placa de flujo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2 a 10, en la que, por lo menos, un distribuidor de alimentación y el, por lo menos, un colector de drenaje están dispuestos en partes opuestas de la periferia de la placa de canales y, en la que la distancia lateral entre los canales de alimentación y de drenaje contiguos en el campo de flujo interdigitalizado en la cara frontal de la placa de canales es menor en una parte central en comparación con una parte periférica de la placa de canales.
12. Placa de flujo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la placa de flujo es generalmente circular vista en una dirección vertical.
- 50                   13. Placa de flujo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la placa de canales está realizada de un material compuesto de carbono / grafito.

14. Celda electrolítica para la producción de hidrógeno a partir de agua mediante electrólisis, comprendiendo la celda electrolítica

- un conjunto de electrodo de membrana (MEA), plano, con una membrana de polímero electrolítico (PEM) intercalada entre un ánodo y un cátodo,

5 - en el lado del ánodo, un medio de distribución de fluido del lado del ánodo en contacto con el ánodo, un colector de corriente anódica en contacto con el medio de distribución de fluido del lado del ánodo, y

- en el lado del cátodo, un medio de distribución del fluido del lado del cátodo en contacto con el cátodo, y un colector de corriente catódica en contacto con el medio de distribución del fluido del lado del cátodo, en el que

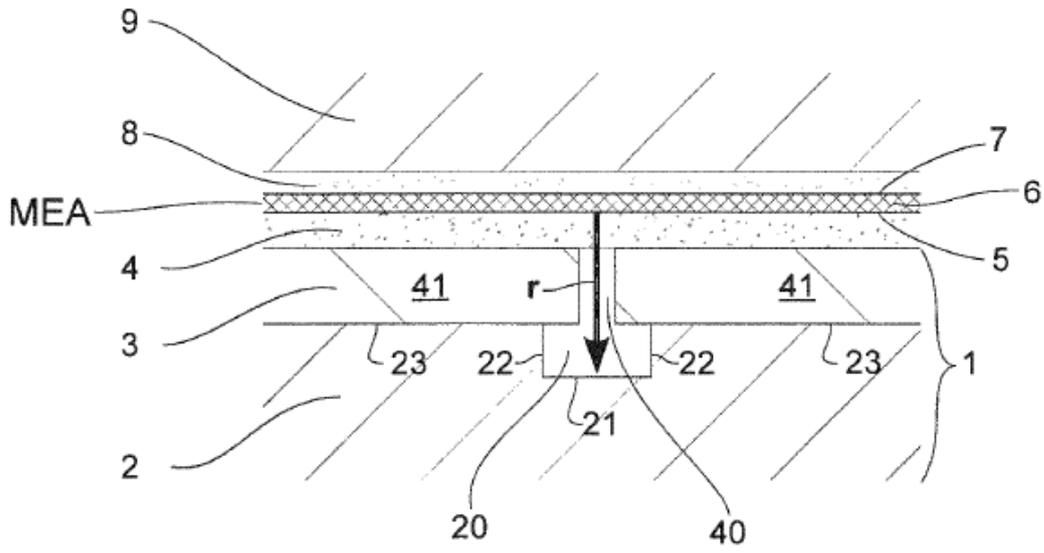
10 el colector de corriente anódica es una placa de flujo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

15. Celda electrolítica de acuerdo con la reivindicación 14, en la que el colector de corriente anódica y el colector de corriente catódica están en placas separadoras bipolares respectivas de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 13.

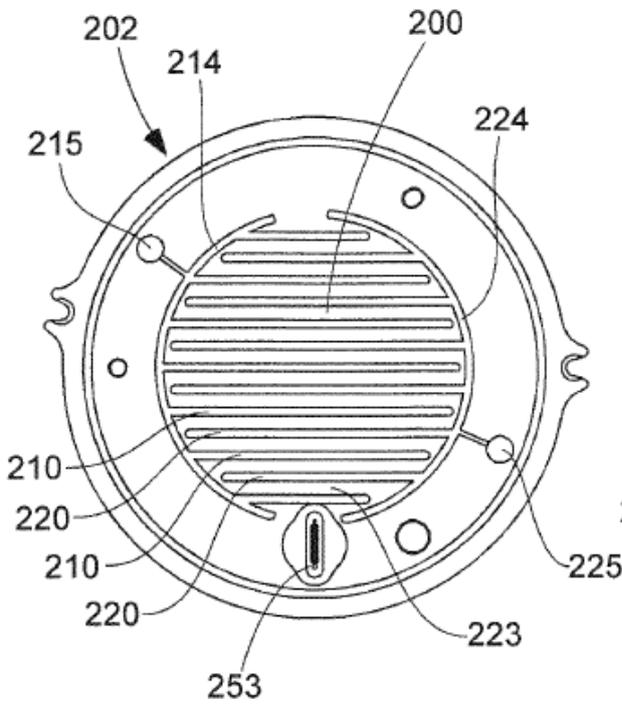
15 16. Celda electrolítica de acuerdo con la reivindicación 14 o la reivindicación 15, en la que una distancia mínima  $r$  entre el ánodo y las superficies internas de los canales de la placa de canales es mayor de 1 mm.

17. Electrolizador de celdas apiladas para la producción de hidrógeno a partir de agua mediante electrólisis, en el que el electrolizador se forma como un apilamiento de celdas electrolíticas de acuerdo con la reivindicación 15 o la reivindicación 16.

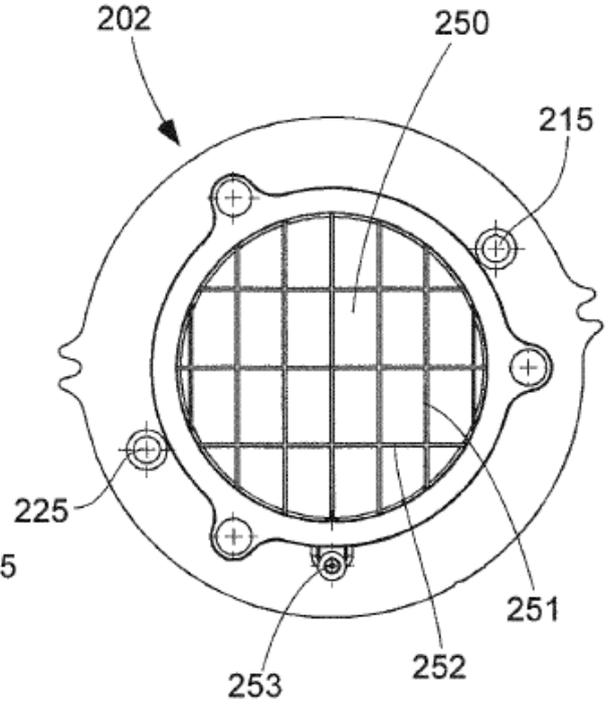
20



**Fig. 1**



**Fig. 2**



**Fig. 3**

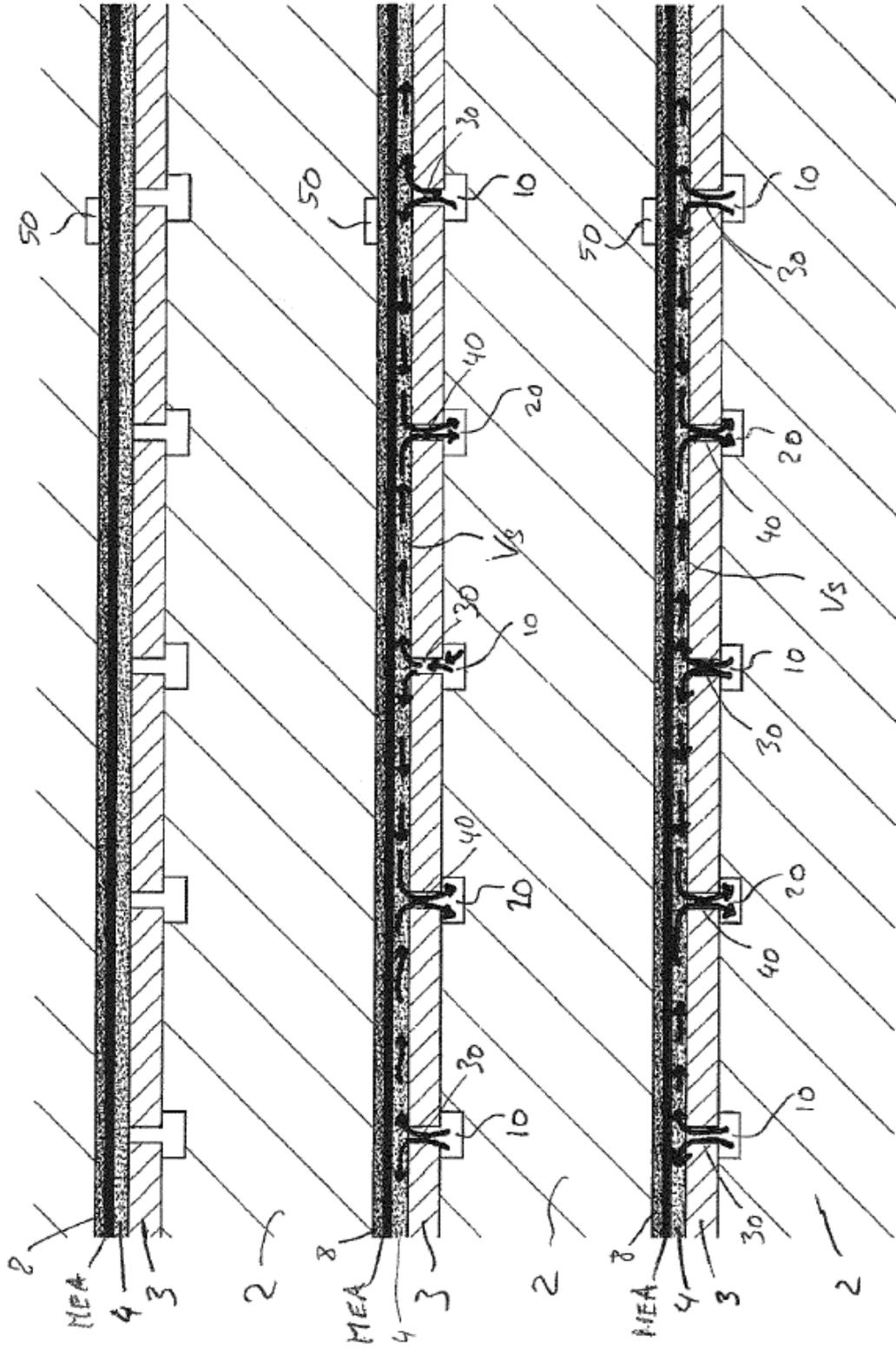
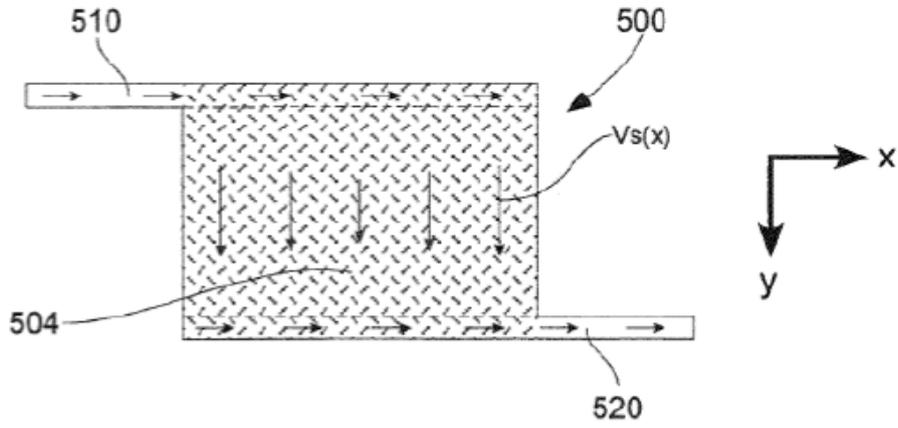
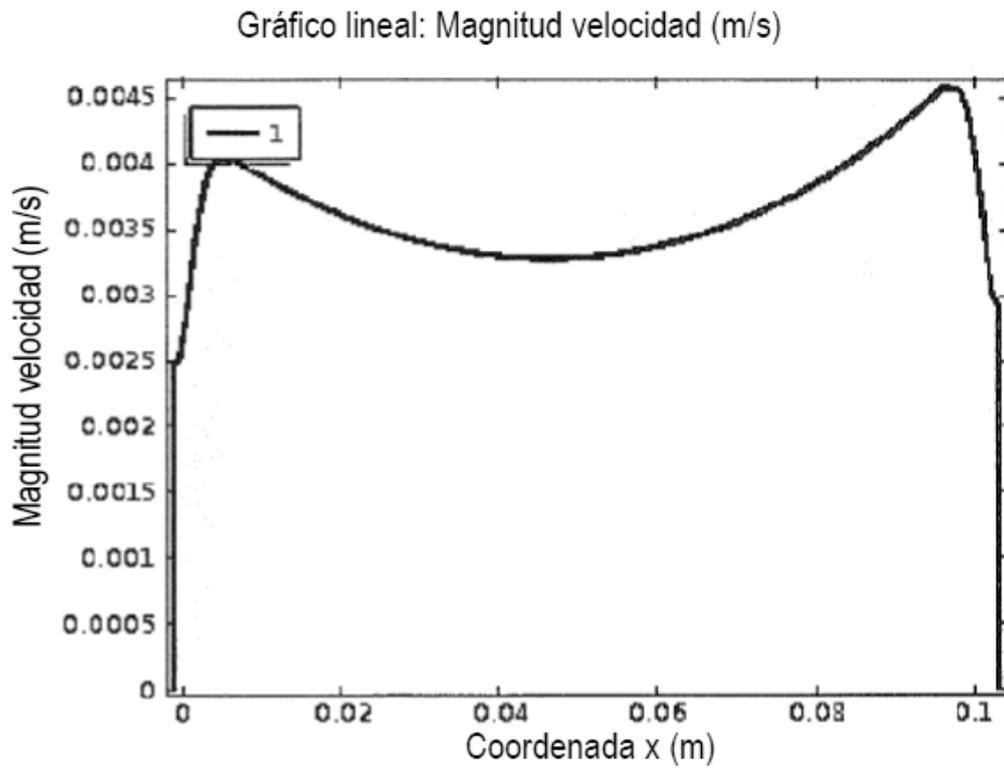


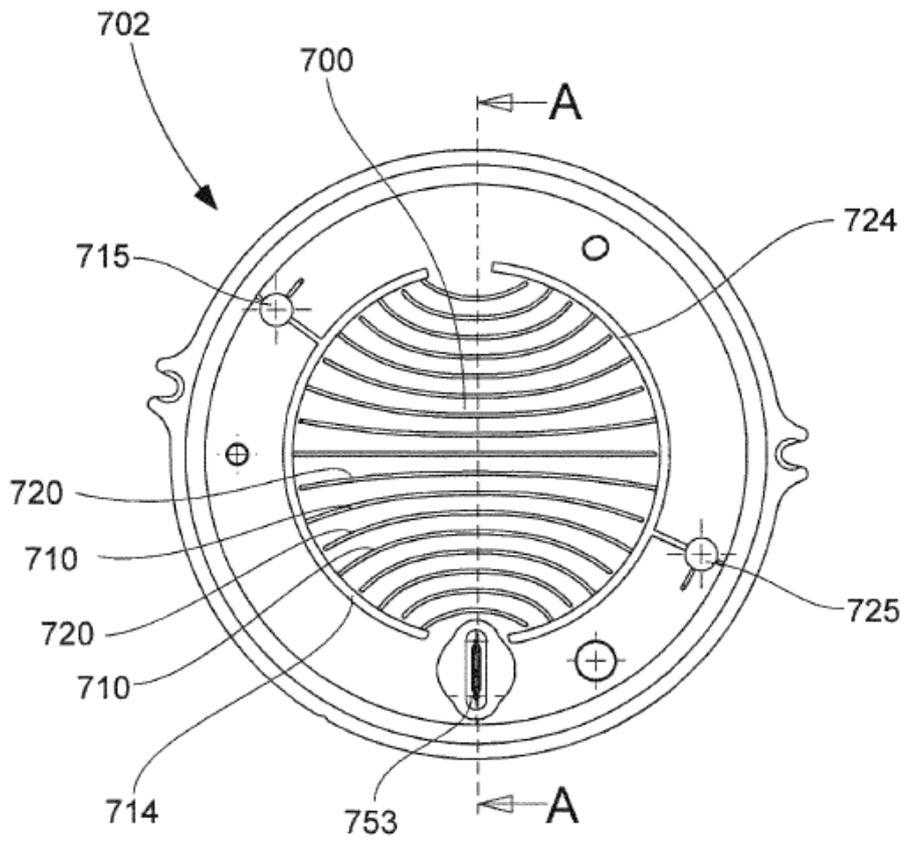
Fig. 4



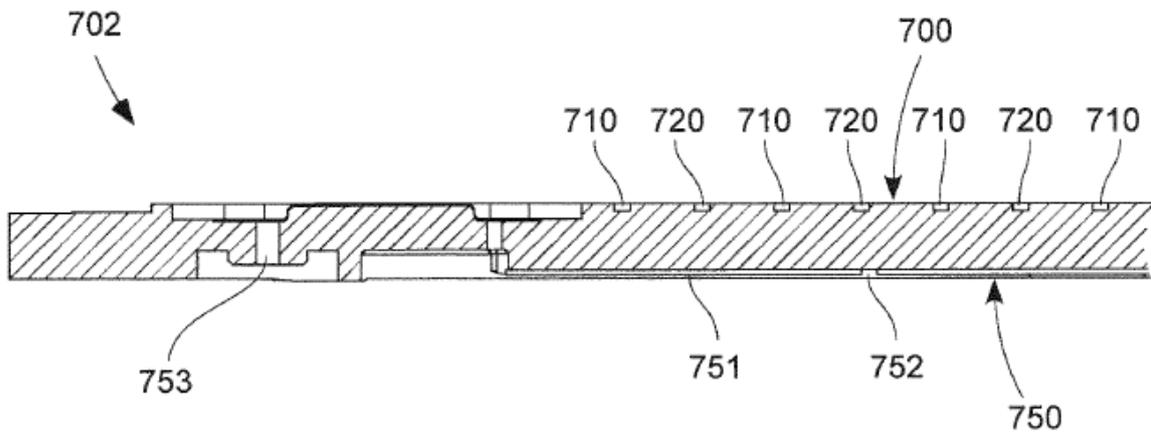
**Fig. 5**



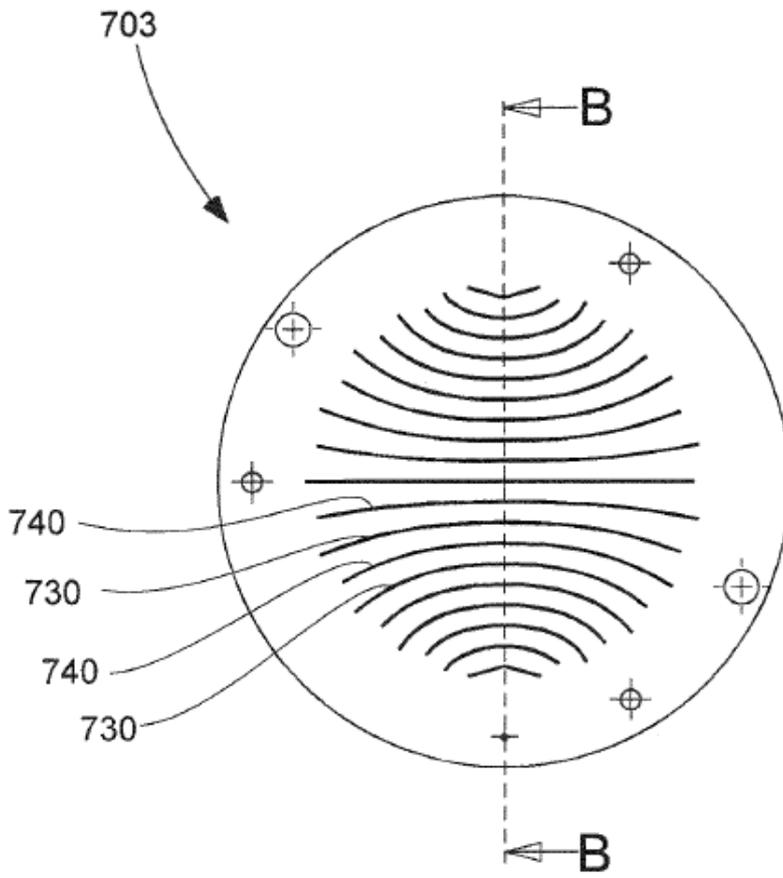
**Fig. 6**



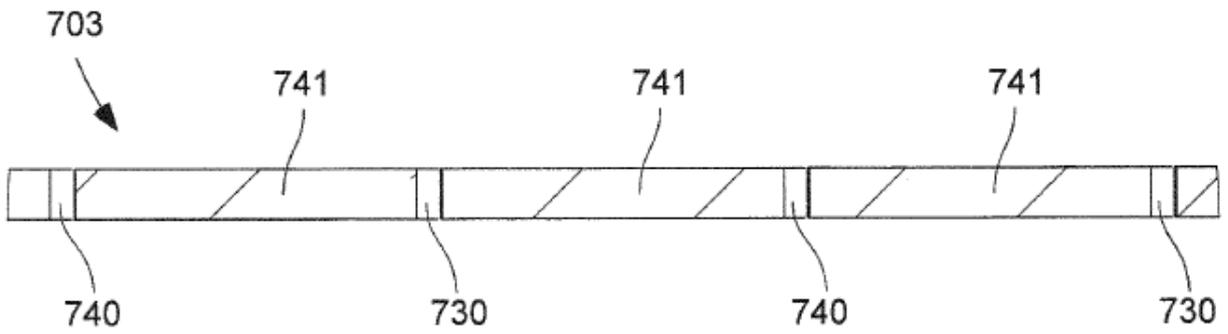
**Fig. 7**



**Fig. 8**



**Fig. 9**



**Fig. 10**