

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 467 917**

51 Int. Cl.:

**H01M 8/24** (2006.01)

**H01M 8/04** (2006.01)

**H01M 8/02** (2006.01)

**C25B 9/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.07.2010 E 10739849 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.04.2014 EP 2452387**

54 Título: **Patrones de flujo combinado en un apilamiento de pilas de combustible o un apilamiento de celdas de electrólisis**

30 Prioridad:

**06.07.2009 DK 200900825**

**06.07.2009 US 223297 P**

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

**13.06.2014**

73 Titular/es:

**TOPSOE FUEL CELL A/S (100.0%)**

**Nymøllevej 66**

**2800 Kongens Lyngby, DK**

72 Inventor/es:

**DANØ, SUNE;**

**MADSEN, FIND MADS;**

**NIELSEN, JENS ULRIK y**

**USTERUD, HARALD**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 467 917 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

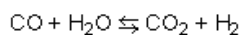
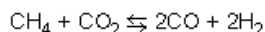
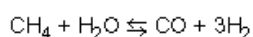
Patrones de flujo combinado en un apilamiento de pilas de combustible o un apilamiento de celdas de electrólisis.

5 La presente invención concierne a apilamientos de pilas, en particular apilamientos de Pilas de Combustible de Óxido Sólido (SOFC) o apilamientos de Celdas de Electrólisis de Óxido Sólido (SOEC) donde la dirección de flujo del gas catódico con relación al gas anódico internamente en cada pila así como las direcciones de flujo de los gases entre pilas adyacentes, están combinadas de capas de pilas diferentes del apilamiento. Adicionalmente, el gas catódico o el gas anódico o ambos pueden pasar de más de una pila antes del agotamiento del mismo y una pluralidad de corrientes de gas pueden dividirse o fusionarse después de pasar por una pila primaria y antes de pasar a una pila secundaria. Estas combinaciones sirven para aumentar la densidad de corriente y minimizar los gradientes térmicos de las pilas y el apilamiento completo.

10 En lo que sigue, la invención se explica con relación a SOFC. De acuerdo con ello, en el SOFC el gas catódico es un gas oxidante y el gas anódico es un gas combustible. La invención puede, sin embargo, utilizarse también para otros tipos de pilas tales como SOEC como ya se ha mencionado o incluso pilas de combustible con Electrólito Polímero (PEM) o Pilas de Combustible de Metanol Directo (DMFC).

15 Una SOFC comprende un electrólito conductor de iones oxígeno, un cátodo en el que el oxígeno se reduce y un ánodo en el que se oxida hidrógeno. La reacción global en una SOFC es que el hidrógeno y el oxígeno reaccionan electroquímicamente para producir electricidad, calor y agua. La temperatura de operación para una SOFC está comprendida en el intervalo de 650 a 1000°C, preferiblemente 750 a 850°C. Una SOFC suministra en operación normal un voltaje de aproximadamente 0,8 V. Para aumentar la producción de voltaje total, las pilas de combustible se ensamblan en apilamientos en los cuales las pilas de combustible están conectadas eléctricamente por placas de interconexión.

20 Con objeto de producir el hidrógeno requerido, el ánodo posee normalmente actividad catalítica para la reformación con vapor de hidrocarburos, particularmente gas natural, en cuyo caso se generan hidrógeno, dióxido de carbono y monóxido de carbono. La reformación con vapor del metano, el componente principal del gas natural, puede describirse por las ecuaciones siguientes:



30 Durante la operación, un oxidante tal como aire se suministre a la pila de combustible de óxido sólido en la región del cátodo. Un combustible tal como hidrógeno se suministra a la región del ánodo de la pila de combustible. Alternativamente, un combustible hidrocarbonado tal como metano se suministra en la región del ánodo en la que se convierte en hidrógeno y óxidos de carbono por las reacciones anteriores. El hidrógeno pasa del ánodo poroso y reacciona en la interfaz ánodo/electrólito con los iones oxígeno generados en el lado del cátodo y conducidos del electrólito. En el lado del cátodo se crean iones oxígeno como resultado de la aceptación de electrones procedentes del circuito externo de la pila.

35 Las interconexiones sirven para separar los lados del ánodo y el combustible de las unidades de pila adyacentes y al mismo tiempo hacen posible la conducción de la corriente entre ánodo y cátodo. Las interconexiones están provistas normalmente de una pluralidad de canales para el paso de gas combustible a un lado de la interconexión y gas oxidante al otro lado. La dirección de flujo del gas combustible se define como la dirección sustancial desde la porción de entrada del combustible a la porción de salida del combustible de una unidad de pila. Análogamente, la dirección de flujo del gas oxidante, el gas catódico, se define como la dirección sustancial de la porción de entrada en el cátodo a la porción de salida del cátodo de una unidad de pila. Así, internamente una pila puede tener flujo en paralelo si la dirección de flujo del gas combustible es sustancialmente la misma que la dirección de flujo del gas catódico, o flujo cruzado si la dirección de flujo del gas combustible es sustancialmente perpendicular a la dirección de flujo del gas catódico, o flujo en contracorriente si la dirección de flujo del gas combustible es sustancialmente opuesta a la dirección de flujo del gas catódico.

45 Convencionalmente, las pilas se superponen unas encima de otras con una superposición completa dando como resultado un apilamiento con por ejemplo flujo en paralelo que tiene todas las entradas de combustible y oxidante a un lado del apilamiento y todas las salidas de combustible y oxidante en el lado opuesto. Debido al carácter exotérmico del proceso electroquímico, los gases de salida salen a mayor temperatura que la temperatura de entrada. Cuando se combinan en un apilamiento SOFC que opera por ejemplo a 750°C, se genera un gradiente de temperatura importante del apilamiento. Aunque en cierto grado son necesarios para la refrigeración del apilamiento, dado que el enfriamiento del aire es proporcional al gradiente de temperatura, los gradientes térmicos grandes inducen tensiones térmicas en el apilamiento que son sumamente indeseables e implican diferencia en densidad de corriente y resistencia eléctrica. Por tanto, surge el problema de la gestión térmica de un apilamiento SOFC: reducir

suficientemente los gradientes térmicos para evitar tensiones inaceptables, pero tener gradientes térmicos suficientemente grandes - diferencia de temperatura del gas de salida comparada con la temperatura del gas de entrada a fin de poder enfriar el apilamiento con dichos gases.

5 US 6.830.844 describe un sistema para tratamiento térmico en un ensamblaje de pilas de combustible, particularmente para la prevención de gradientes de temperatura superiores a 200°C de los cátodos por inversión periódica de la dirección del flujo del aire del cátodo, alternando de este modo los bordes de suministro y agotamiento de los cátodos.

10 US 6.803.136 describe un apilamiento de pilas de combustible con un solapamiento parcial entre las pilas que comprenden el apilamiento dando como resultado una configuración global espiral de las pilas. Las pilas están desalineadas angularmente unas respecto a otras, lo cual proporciona facilidad de distribución y gestión térmica.

Es un objeto de la presente invención proporcionar un apilamiento de pilas de combustible, particularmente un apilamiento de pilas de combustible de óxido sólido con gestión térmica mejorada del apilamiento, conforme a la reivindicación 1.

15 Es un objeto adicional de la presente invención proporcionar un apilamiento de pilas de combustible de óxido sólido que tiene una resistencia eléctrica reducida en comparación con los apilamientos SOFC de la técnica anterior.

Otro objeto adicional de la presente invención es proporcionar un apilamiento SOFC que tiene una mayor producción de potencia a lo largo de una mayor parte de cada pila en el apilamiento en comparación con una SOFC convencional.

20 Un objeto adicional de la invención es proporcionar un apilamiento SOFC con un mayor coeficiente de utilización máxima del combustible en comparación con los apilamientos SOFC convencionales conseguido por medio de redistribución del flujo de combustible después d paso primario del flujo de la pila de combustible a un paso secundario del flujo de la pila de combustible con o sin una división o una fusión del gas combustible.

Estos y otros objetos son resueltos por la invención.

25 Se ha encontrado que el sistema de apilamientos en espiral de US 6.803.136 no es muy eficaz en la reducción de los gradientes de temperatura del apilamiento, debido al parecer a que cada pila del apilamiento está girada sólo ligeramente con respecto a las pilas adyacentes.

30 De acuerdo con ello, se proporciona un apilamiento de pilas de combustible de óxido sólido que comprende una pluralidad de pilas planas dispuestas en capas unas encima de otras en planos paralelos unos a otros, en el cual cada unidad de pila comprende ánodo, electrolito y cátodo y donde el ánodo y el cátodo de las pilas adyacentes están separados unos de otros por una interconexión provista con porciones de entrada y porciones de salida para el paso del gas combustible y el gas oxidante a cada pila, en donde se proporciona una combinación de patrones de flujo en paralelo y flujo en contracorriente de los gases combustible y oxidante internamente en cada pila y entre pilas adyacentes y el combustible y el gas catódico pueden fluir sea únicamente de una pila de combustible primario antes de escapar del apilamiento o pueden fluir de una pila primaria y luego adicionalmente de una pila secundaria antes de escapar; cuando pasan desde una o más pilas primarias, el combustible y el gas catódico pueden fusionarse de una pluralidad de corrientes de flujo a una sola corriente o dividirse de una a una pluralidad de corrientes de flujo antes de continuar a una o más pilas secundarias en el apilamiento.

40 En este contexto, "combinación" debe entenderse de tal modo que cada pila en el apilamiento puede tener internamente cualquiera de los patrones de flujo paralelo, flujo en contracorriente o flujo cruzado y que cada pila en el apilamiento puede estar dispuesta en orden alternante con relación a sus pilas adyacentes de tal modo que dichas pilas adyacentes experimentan flujo en paralelo, flujo en contracorriente o flujo cruzado con relación a sus pilas adyacentes. Por tanto, de acuerdo con la presente invención, todas las pilas en un apilamiento pueden tener internamente por ejemplo flujo en paralelo entre combustible y gas catódico, mientras que cada pila adyacente en dicho apilamiento está dispuesta en orden alternante de tal modo que una pila experimente flujo en contracorriente con relación a sus pilas adyacentes.

De acuerdo con ello, la presente invención proporciona una amplia gama de patrones de flujo en un apilamiento SOFC. Como resultado, se obtiene una gestión térmica mejorada en todo el apilamiento.

50 La combinación de patrones de flujo internamente en cada pila y entre pilas adyacentes, así como la combinación de pasos de flujo simples y plurales de gas entre una o más pilas, más la combinación de división y fusión de las corrientes de flujo de gas de acuerdo con la presente invención proporcionan la posibilidad de obtener un perfil de temperatura y un perfil de producción de corriente ventajosos a lo largo de la pila individual y a lo largo del apilamiento completo. Así pues, se obtiene una resistencia específica de área (ASR) baja, dado que la corriente se extrae de un área grande y relativamente caliente, y un enfriamiento simultáneamente eficaz con el gas catódico se obtiene por aseguramiento de una temperatura elevada de salida del gas catódico. Ciertos patrones de flujo combinado proporcionan adicionalmente un coeficiente de utilización máximo del combustible mejorado por mezcla del flujo de gas combustible internamente en el apilamiento, CMR o alternativamente por distribución de variaciones

en la caída de presión de cada pila individual a dos o más pilas que están conectadas en serie en el lado del gas combustible.

5 El flujo en paralelo, el flujo cruzado o el flujo en contracorriente internamente en los apilamientos de pilas de combustible como se conocen en la técnica anterior, tienen cada uno diferentes características y ventajas. El flujo cruzado tiene menos densidad de corriente para una temperatura máxima del apilamiento dada que el flujo en paralelo y el flujo en contracorriente, debido en primer lugar a que el flujo en paralelo y el flujo en contracorriente distribuyen mejor la temperatura y la producción de corriente de las pilas. Cuando se comparan flujo en contracorriente y flujo en paralelo, cada uno de ellos tiene sus ventajas. Un apilamiento de flujo en contracorriente tiene su producción de corriente en mayor proporción que el apilamiento de flujo paralelo dado que el mismo está relativamente caliente, lo que significa una resistencia interna (ASR - Resistencia Específica de Área) relativamente baja, mientras que un apilamiento de flujo paralelo tiene una mayor temperatura de salida del gas catódico comparado con la temperatura de entrada del gas catódico ( $\Delta T$ ) y tiene por tanto el enfriamiento más eficaz, pero tiene en mayor proporción la producción de corriente dado que el mismo está relativamente frío, lo que significa mayor ASR.

15 De acuerdo con la presente invención, como se ha explicado, las diferentes ventajas pueden combinarse por combinación de los patrones de flujo en general a lo largo del apilamiento e internamente en las pilas del apilamiento. Adicionalmente, la fusión o división expuesta de las corrientes de flujo de gas y el hecho de que más de un paso de la pila de las corrientes de flujo de gas proporcionan un beneficio adicional de mayor coeficiente de utilización del combustible. De acuerdo con ello, pueden definirse tres ventajas primarias de la presente invención:

20 Ventaja 1: **Resistencia eléctrica reducida internamente en las pilas** por medio de producción de corriente por una mayor parte de la pila, especialmente en las zonas más calientes (menor resistencia eléctrica en el conductor cerámico y menor resistencia de polarización en los electrodos).

Ventaja 2: **Temperatura alta del gas de salida del cátodo comparada con la temperatura del gas de entrada en el cátodo**,  $\Delta T$  que proporciona un enfriamiento mejorado cuando el apilamiento es enfriado por el gas catódico.

25 Ventaja 3: **Coficiente máximo mayor de utilización del combustible** por medio de redistribución del combustible a más de un paso de flujo de la pila de combustible, que incluye posiblemente división o fusión de las corrientes de flujo entre un paso de flujo primario y uno secundario.

30 Estas ventajas están asociadas convencionalmente cada una con uno de los esquemas: flujo en contracorriente, flujo en paralelo y apilamientos conectados en serie. Sin embargo, la presente invención proporciona una solución en la que pueden combinarse la totalidad de las tres ventajas, y la ventaja del flujo en contracorriente puede mejorarse incluso más allá de la técnica anterior.

35 Como se ha explicado, la presente invención proporciona, para cualquier combinación de flujo de gas, fusión de corrientes, división y número de pasos de pila así como cualquier combinación de patrones de dirección de flujo del gas (flujo en paralelo, flujo cruzado y flujo en contracorriente) internamente en cada pila así como entre pilas adyacentes en un apilamiento. En lo que sigue, una gama de realizaciones conforme a la invención se describen en ejemplos y se analizan sus ventajas.

40 1. Un apilamiento de pilas que comprende una pluralidad de pilas de combustible o celdas de electrólisis dispuestas en capas una encima de otra, comprendiendo cada una de dichas pilas un ánodo, un electrólito y un cátodo, estando dividida cada capa de pilas por una pluralidad de interconexiones, una entre cada pila, estando provistas las interconexiones con canales de gas a cada lado orientados hacia el lado del ánodo o el cátodo de la pila adyacente, pasando los canales de gas desde una porción de entrada a una porción de salida de dichas pilas, definiendo la dirección sustancial de la porción de entrada del ánodo a la porción de salida del ánodo del lado anódico de cada pila la dirección de flujo del gas anódico de cada pila y definiendo la dirección sustancial de la porción de entrada del cátodo a la porción de salida del cátodo del lado catódico de cada pila la dirección de flujo del gas catódico de cada pila, teniendo cada pila en el apilamiento uno de:

- 45 • flujo interno en paralelo de la dirección del flujo de gas anódico con relación a la dirección de flujo del gas catódico o,
- 50 • flujo interno cruzado de la dirección de flujo del gas anódico con relación a la dirección de flujo del gas catódico o,
- flujo interno en contracorriente de la dirección de flujo del gas anódico con relación a la dirección de flujo del gas catódico, los lados de interfaz de las pilas adyacentes a cada lado de una interconexión están orientados en cualquiera de:
  - interconexión de flujo en paralelo,
  - 55 • interconexión de flujo cruzado,

- interconexión de flujo en contracorriente,

en donde las pilas apiladas están dispuestas de tal modo que cada pila individual y las pilas adyacentes tienen una combinación de dicho flujo interno en paralelo, flujo interno cruzado o flujo interno en contracorriente de la dirección del gas anódico con relación a la dirección de flujo del gas catódico internamente en cada pila individual y tienen una combinación de dicha interconexión de flujo en paralelo, interconexión de flujo cruzado o interconexión de flujo en contracorriente entre dos lados de interfaz de pilas adyacentes.

2. Un apilamiento de pilas de acuerdo con la característica 1, en donde dichas pilas son Pilas de Combustible de Óxido Sólido.

3. Un apilamiento de pilas conforme a la característica 1, en donde dichas celdas son Celdas de Electrólisis de Óxido Sólido.

4. Un apilamiento de pilas conforme a cualquiera de las características anteriores que comprende al menos una serie de pilas primarias y una serie de pilas secundarias, en donde el gas de salida del ánodo de al menos una pila primaria se redistribuye a la porción de entrada del ánodo de al menos una pila secundaria, con lo cual el gas de salida del ánodo primario realiza un segundo paso de flujo de la pila.

5. Un apilamiento de pilas conforme a cualquiera de las características 1 a 3, que comprende al menos una serie de pilas primarias y una serie de pilas secundarias, en donde el gas de salida del cátodo de al menos una pila primaria se redistribuye a la porción de entrada del cátodo de al menos una pila secundaria, con lo cual el gas de salida del cátodo primario realiza un segundo paso de flujo de la pila.

6. Un apilamiento de pilas conforme a cualquiera de las características 1 a 3, que comprende al menos una serie de de pilas primarias y una serie de pilas secundarias, en donde el gas de salida del ánodo de al menos una pila primaria se redistribuye a la porción de entrada del ánodo de al menos una pila secundaria, y el gas de salida del cátodo de al menos una pila primaria se redistribuye a la porción de entrada del cátodo de al menos una pila secundaria, con lo cual el gas de salida del ánodo primario y el gas de salida del cátodo primario realizan un segundo paso de flujo de la pila.

7. Un apilamiento de pilas conforme a cualquiera de las características 4 a 6, en donde el gas de salida del ánodo de todas las pilas primarias se recoge, se mezcla y se redistribuye a la porción del gas de entrada del ánodo de todas las pilas secundarias, o el gas de salida del cátodo de todas las pilas primarias se recoge, se mezcla y se redistribuye a la porción del gas de entrada del cátodo de todas las pilas secundarias, o tanto el gas de salida del ánodo de todas las pilas primarias se recoge, se mezcla y se distribuye a las porciones de gas de entrada del ánodo de todas las pilas secundarias y el gas de salida del cátodo de todas las pilas primarias se recoge, se mezcla y se redistribuye a la porción de gas de entrada del cátodo de todas las pilas secundarias, con lo cual el gas de salida del ánodo primario o el gas de salida del cátodo primario o tanto el gas de salida del ánodo primario como el gas de salida del cátodo primario realizan un segundo paso de flujo de la pila.

8. Un apilamiento de pilas conforme a cualquiera de las características 4 a 6, en donde el gas de salida del ánodo de cada pila primaria se redistribuye a la porción del gas de entrada del ánodo de al menos una pila secundaria adyacente, o el gas de salida del cátodo de cada pila primaria se redistribuye a la porción del gas de entrada del cátodo de al menos una pila secundaria adyacente, o tanto el gas de salida del ánodo de cada pila primaria se redistribuye a la porción del gas de entrada del ánodo de al menos una pila secundaria adyacente y el gas de salida del cátodo de cada pila primaria se redistribuye a la porción del gas de entrada del cátodo de al menos una pila secundaria adyacente, con lo cual el gas de salida del ánodo primario o el gas de salida del cátodo primario o tanto el gas de salida del ánodo primario como el gas de salida del cátodo primario de cada pila primaria realizan un segundo paso de flujo de la pila en al menos una pila secundaria adyacente.

9. Un apilamiento de pilas conforme a la característica 7 u 8, en donde las porciones de entrada y salida del gas anódico y el cátodo de dicha al menos una pila primaria están orientadas de tal manera que la al menos una pila primaria tiene un flujo de gas anódico en una primera dirección y flujo de gas catódico en una segunda dirección sustancialmente opuesta con relación a la dirección de flujo del gas anódico, de tal modo que dicha pila primaria tiene internamente flujo en contracorriente y dichas al menos dos pilas secundarias adyacentes tienen flujo de gas anódico en dicha segunda dirección y flujo de gas catódico en dicha segunda dirección, de tal modo que dichas al menos dos pilas secundarias adyacentes tienen internamente flujo en paralelo ("I").

10. Un apilamiento de pilas conforme a la característica 7 u 8, comprendiendo dicho apilamiento al menos una serie de pilas primarias y pilas secundarias adyacentes, en donde la salida del gas anódico de al menos una pila primaria se dirige a la porción de entrada del ánodo de al menos una pila secundaria, con lo cual el gas de salida del ánodo primario realiza un segundo paso de flujo de dicha pila secundaria, y con lo cual la al

- 5 menos una pila primaria tiene flujo de gas anódico en una primera dirección y flujo de gas catódico en una segunda dirección sustancialmente opuesta con relación a la dirección de flujo del gas anódico, de tal modo que dicha pila primaria tiene internamente flujo en contracorriente y dicha al menos una pila secundaria tiene flujo de gas anódico en dicha segunda dirección y flujo de gas catódico en dicha segunda dirección de tal modo que dicha al menos una pila secundaria tiene internamente flujo en paralelo ("H").
- 10 11. Un apilamiento de pilas conforme a cualquiera de las características 1 a 3, comprendiendo dicho apilamiento al menos una serie de pilas primarias y pilas secundarias adyacentes, en donde al menos una pila primaria tiene flujo de gas anódico en una segunda dirección y flujo de gas catódico en una primera dirección sustancialmente opuesta con relación a la dirección de flujo del gas anódico, de tal modo que dicha pila primaria tiene internamente flujo en contracorriente y dicha al menos una pila secundaria adyacente tiene flujo de gas anódico en dicha primera dirección y flujo de gas catódico en dicha primera dirección de tal modo que dicha al menos una pila secundaria tiene internamente flujo en paralelo ("C").
- 15 12. Un apilamiento de pilas conforme a cualquiera de las características 1 a 3, comprendiendo dicho apilamiento al menos una serie de pilas primarias y pilas secundarias adyacentes, en donde al menos una pila primaria tiene flujo de gas anódico en una primera dirección y flujo de gas catódico en dicha primera dirección, de tal modo que dicha pila primaria tiene internamente flujo en paralelo y dicha al menos una pila secundaria adyacente tiene flujo de gas anódico en una segunda dirección sustancialmente opuesta a dicha primera dirección y flujo de gas catódico en dicha segunda dirección de tal modo que dicha al menos una pila secundaria tiene internamente flujo en paralelo ("A").
- 20 13. Un apilamiento de pilas conforme a cualquiera de las características 1 a 3, comprendiendo dicho apilamiento al menos una serie de pilas primarias y pilas secundarias adyacentes, en donde al menos una pila primaria tiene flujo de gas anódico en una primera dirección y gas catódico en dicha primera dirección de tal modo que dicha pila primaria tiene internamente flujo en paralelo y dicha al menos una pila secundaria adyacente tiene flujo de gas anódico en dicha primera dirección y flujo de gas catódico en una segunda dirección sustancialmente opuesta a dicha primera dirección, de tal modo que dicha al menos una pila secundaria tiene internamente flujo en contracorriente ("B").
- 25 14. Un apilamiento de pilas conforme a la característica 7 u 8, comprendiendo dicho apilamiento al menos una serie de pilas primarias y pilas secundarias adyacentes, en donde el gas de salida anódico de al menos dos pilas primarias está fusionado en un flujo de gas de salida anódico primario y dirigido a la porción de entrada del ánodo de al menos una pila secundaria, con lo cual el gas de salida anódico primario realiza un segundo paso de flujo de dicha pila secundaria y las al menos dos pilas primarias tienen flujo de gas anódico en una primera dirección y flujo de gas catódico en una segunda dirección sustancialmente opuesta a dicha primera dirección, de tal modo que dichas pilas primarias tienen internamente flujo en contracorriente y dicha al menos una pila secundaria tiene flujo de gas anódico en dicha segunda dirección y flujo de gas catódico en dicha segunda dirección de tal manera que dicha al menos una pila secundaria tiene internamente flujo en paralelo ("J").
- 30 15. Un apilamiento de pilas conforme a cualquiera de las características 9 a 14, en donde series de pilas conforme a cualquiera de las características 9 a 14 están combinados en apilamientos que comprenden una pluralidad de series en combinación.
- 35 16. Un apilamiento de pilas de combustible que comprende una pluralidad de pilas de combustible dispuestas en capas una encima de otra, comprendiendo cada una de dichas pilas de combustible un ánodo, un electrólito y un cátodo, donde cada capa de pilas de combustible está dividida por una pluralidad de interconexiones, una entre cada pila de combustible, donde las interconexiones proporcionan contacto eléctrico de una pila de combustible a la o las pilas adyacentes, y donde dichas interconexiones están provistas de canales de gas a cada lado, canales de gas anódico a un lado de cada interconexión y canales de gas catódico al otro lado de cada interconexión, donde los canales de gas pasan desde una porción de entrada a una porción de salida de dichas interconexiones, definiendo la dirección sustancial de la porción de entrada del ánodo a la porción de salida del lado anódico de cada interconexión la dirección de flujo del gas anódico de cada interconexión, y definiendo la dirección sustancial de la porción de entrada del cátodo a la porción de salida del cátodo del lado catódico de cada interconexión la dirección de flujo del gas catódico de cada interconexión, donde cada pila de combustible en el apilamiento tiene uno de:
- 40
- 45
- 50
- flujo en paralelo de la dirección de flujo del gas anódico con relación a la dirección de flujo del gas catódico o,
  - flujo cruzado de la dirección de flujo del gas anódico con relación a la dirección de flujo del gas catódico o,
  - flujo en contracorriente de la dirección de flujo del gas anódico con relación a la dirección de flujo del gas catódico,
- 55

donde los lados de interfaz de pilas de combustible adyacentes están orientados en cualquiera de:

- flujo en paralelo,
- flujo cruzado,
- flujo en contracorriente,

5 en donde las pilas de combustible apiladas están dispuestas de tal modo que cada pila individual y las pilas adyacentes tienen una combinación de dicho flujo en paralelo, flujo cruzado o flujo en contracorriente de la dirección del gas anódico con relación a la dirección de flujo del gas catódico en cada pila individual y tienen una combinación de dicho flujo en paralelo, flujo cruzado o flujo en contracorriente entre dos lados de interfaz de pilas adyacentes.

10 17. Un apilamiento de pilas de combustible conforme a la característica 16 en donde dichas pilas de combustible son pilas de combustible planas y cada capa sucesiva de pilas de combustible está dispuesta de tal manera que el lado anódico de una pila de combustible está orientado hacia el lado catódico de la pila de combustible adyacente y el lado catódico de una pila de combustible está orientado hacia el lado anódico de la pila adyacente, estando orientados los lados anódico y catódico en interfaz de pilas de combustible  
15 adyacentes en cualquiera de:

- flujo en paralelo de la dirección de flujo del gas anódico con relación a la dirección de flujo del gas catódico o,
- flujo cruzado de la dirección de flujo del gas anódico con relación a la dirección de flujo del gas catódico o,
- 20 • flujo en contracorriente de la dirección de flujo del gas anódico con relación a la dirección de flujo del gas catódico,

en donde las pilas de combustible apiladas están dispuestas de tal manera que cada pila individual y las pilas adyacentes tienen una combinación de dicho flujo en paralelo, flujo cruzado o flujo en contracorriente de la dirección del gas anódico con relación a la dirección de flujo del gas catódico en cada pila individual y entre  
25 dos lados de interfaz de pilas adyacentes.

18. Un apilamiento de pilas de combustible conforme a la característica 16 ó 17 en donde dichas pilas de combustible son Pilas de Combustible de Óxido Sólido.

19. Un apilamiento de pilas de combustible conforme a la característica 16 ó 17 ó 18 que comprende al menos una serie de pilas primarias y una serie de pilas secundarias, en donde el gas de salida del ánodo de al menos una pila primaria se redistribuye a la porción de entrada del ánodo de al menos una pila secundaria, con lo cual el gas de salida del ánodo primario realiza un segundo paso de flujo de la pila de combustible.  
30

20. Un apilamiento de pilas de combustible conforme a la característica 16 ó 17 ó 18, que comprende al menos una serie de pilas primarias y una serie de pilas secundarias, en donde el gas de salida del cátodo de al menos una pila primaria se redistribuye a la porción de entrada del cátodo de al menos una pila secundaria, con lo cual el gas de salida del cátodo primario realiza un segundo paso de flujo de la pila de combustible.  
35

21. Un apilamiento de pilas de combustible conforme a la característica 16 ó 17 ó 18, que comprende al menos una serie de pilas primarias y una serie de pilas secundarias, en donde el gas de salida del ánodo de al menos una pila primaria se redistribuye a la porción de entrada del ánodo de al menos una pila secundaria, y el gas de salida del cátodo de al menos una pila primaria se redistribuye a la porción de entrada del cátodo de al menos una pila secundaria, con lo cual el gas de salida del ánodo primario y el gas de salida del cátodo primario realizan un segundo paso de flujo de la pila de combustible.  
40

22. Un apilamiento de pilas de combustible conforme a cualquiera de las características 19 a 21, en donde el gas de salida del ánodo de todas las pilas primarias se recoge, se mezcla y se redistribuye a la porción del gas de entrada del ánodo de todas las pilas secundarias, o el gas de salida del cátodo de todas las pilas primarias se recoge, se mezcla y se redistribuye a la porción del gas de entrada del cátodo de todas las pilas secundarias, o tanto el gas de salida del ánodo de todas las pilas primarias se recoge, se mezcla y se redistribuye a las porciones de gas de entrada del ánodo de todas las pilas secundarias y el gas de salida del cátodo de todas las pilas primarias se recoge, se mezcla y se redistribuye a la porción del gas de entrada del cátodo de todas las pilas secundarias, con lo cual el gas de salida del ánodo primario o el gas de salida del cátodo primario o tanto el gas de salida del ánodo primario como el gas de salida del cátodo primario realizan un segundo paso de flujo de la pila de combustible.  
45  
50

23. Un apilamiento de pilas de combustible conforme a cualquiera de las características 19 a 21, en donde el gas de salida del ánodo de cada pila primaria se redistribuye a la porción de gas de entrada del ánodo de al menos una pila secundaria adyacente, o el gas de salida del cátodo de cada pila primaria se redistribuye a la porción del gas de entrada del cátodo de al menos una pila secundaria adyacente, o tanto el gas de salida del ánodo de cada pila primaria se redistribuye a la porción del gas de entrada del ánodo de al menos una pila secundaria adyacente como el gas de salida del cátodo de cada pila primaria se redistribuye a la porción del gas de entrada del cátodo de al menos una pila secundaria adyacente, con lo cual el gas de salida del ánodo primario o el gas de salida del cátodo primario o tanto el gas de salida del ánodo primario como el gas de salida del cátodo primario de cada pila de combustible primaria realizan un segundo paso de flujo de la pila de combustible en al menos una pila de combustible secundaria adyacente.
24. Un apilamiento de pilas de combustible conforme a la característica 16 ó 17 ó 18 que comprende al menos una serie de pilas primarias y pilas secundarias adyacentes, en donde el gas de salida del ánodo de al menos una pila primaria se redistribuye a la porción de entrada del ánodo de al menos una pila secundaria adyacente, con lo cual el gas de salida del ánodo primario realiza un segundo paso de flujo de la pila de combustible.
25. Un apilamiento de pilas de combustible conforme a la característica 24, en donde el gas de salida del ánodo de al menos una pila primaria se divide y se redistribuye a la porción de entrada del ánodo de al menos dos pilas secundarias adyacentes.
26. Un apilamiento de pilas de combustible conforme a la característica 24, en donde el gas de salida del ánodo de al menos dos pilas primarias se fusiona y se redistribuye a la porción de entrada del ánodo de al menos una pila secundaria adyacente.
27. Un apilamiento de pilas de combustible conforme a cualquiera de las características que anteceden, que comprende al menos una serie de pilas primarias y secundarias adyacentes, en donde el gas de salida del cátodo de al menos una pila primaria se redistribuye a la porción de entrada del cátodo de al menos una pila secundaria adyacente, con lo cual el gas de salida del cátodo primario realiza un segundo paso de flujo a través de la pila de combustible.
28. Un apilamiento de pilas de combustible conforme a la característica 27, en donde el gas de salida del cátodo de al menos una pila primaria se divide y se redistribuye a la porción de entrada del cátodo de al menos dos pilas secundarias adyacentes.
29. Un apilamiento de pilas de combustible conforme a la característica 27, en donde el gas de salida del cátodo de al menos dos pilas primarias se fusiona y se redistribuye a la porción de entrada del cátodo de al menos una pila secundaria adyacente.
30. Un apilamiento de pilas de combustible conforme a la característica 16 ó 17 ó 18 que comprende al menos una serie de pilas primarias y pilas secundarias adyacentes, en donde el gas de salida del ánodo de al menos una pila primaria se divide en dos flujos de gas de salida del ánodo primario y se dirige a la porción de entrada del ánodo de al menos dos pilas secundarias adyacentes dispuestas a cada lado de dicha al menos una pila primaria, con lo cual el gas de salida del ánodo primario realiza un segundo paso de flujo a través de dichas pilas de combustible secundarias.
31. Un apilamiento de pilas de combustible conforme a la característica 30, en donde las porciones de entrada y salida de gas anódico y el cátodo de dicha al menos una pila de combustible primaria están orientadas de tal manera que la al menos una pila de combustible primaria tiene flujo de gas anódico en una primera dirección y flujo de gas catódico en una segunda dirección sustancialmente opuesta con relación a la dirección de flujo del gas anódico de tal modo que dicha pila de combustible primaria tiene internamente flujo en contracorriente y dichas al menos dos pilas de combustible secundarias adyacentes tienen flujo de gas anódico en dicha segunda dirección y flujo de gas catódico en dicha segunda dirección de tal manera que dichas al menos dos pilas de combustible secundarias adyacentes tienen internamente flujo en paralelo ("I").
32. Un apilamiento de pilas de combustible conforme a la característica 16 ó 17 ó 18, comprendiendo dicho apilamiento al menos una serie de pilas primarias y pilas secundarias adyacentes, en donde el gas de salida del ánodo de al menos una pila primaria se dirige a la porción de entrada del ánodo de al menos una pila secundaria adyacente, con lo cual el gas de salida del ánodo primario realiza un segundo paso de flujo a través de dicha pila de combustible secundaria, y con lo cual la al menos una pila de combustible primaria tiene flujo de gas anódico en una primera dirección y flujo de gas catódico en una segunda dirección sustancialmente opuesta con relación a la dirección de flujo del gas anódico de tal modo que dicha pila de combustible primaria tiene internamente flujo en contracorriente y dicha al menos una pila de combustible secundaria adyacente tiene flujo de gas anódico en dicha segunda dirección y flujo de gas catódico en dicha segunda dirección de tal manera que dicha al menos una pila de combustible secundaria tiene internamente flujo en paralelo ("H").



33. Un apilamiento de pilas de combustible conforme a la característica 16 ó 17 ó 18, comprendiendo dicho apilamiento al menos una serie de pilas primarias y pilas secundarias adyacentes, en donde al menos una pila de combustible primaria tiene flujo de gas anódico en una segunda dirección y flujo de gas catódico en una primera dirección sustancialmente opuesta con relación a la dirección de flujo de gas anódico de tal manera que dicha pila de combustible primaria tiene internamente flujo en contracorriente y dicha al menos una pila de combustible secundaria adyacente tiene flujo de gas anódico en dicha primera dirección y flujo de gas catódico en dicha primera dirección de tal manera que dicha al menos una pila de combustible secundaria tiene internamente flujo en paralelo ("C").
34. Un apilamiento de pilas de combustible conforme a la característica 16 ó 17 ó 18, comprendiendo dicho apilamiento al menos una serie de pilas primarias y pilas secundarias adyacentes, en donde al menos una pila de combustible primaria tiene flujo de gas anódico en una primera dirección y flujo de gas catódico en dicha primera dirección de tal manera que dicha pila de combustible primaria tiene internamente flujo en paralelo y dicha al menos una pila secundaria adyacente tiene flujo de gas anódico en una segunda dirección sustancialmente opuesta a dicha primera dirección, y flujo de gas catódico en dicha segunda dirección de tal manera que dicha al menos una pila de combustible secundaria tiene internamente flujo en paralelo ("A").
35. Un apilamiento de pilas de combustible conforme a la característica 16 ó 17 ó 18, comprendiendo dicho apilamiento al menos una serie de pilas primarias y pilas secundarias adyacentes, en donde al menos una pila de combustible primaria tiene flujo de gas anódico en una primera dirección y gas catódico en dicha primera dirección de tal modo que dicha pila de combustible primaria tiene internamente flujo en paralelo y dicha al menos una pila de combustible secundaria adyacente tiene flujo de gas anódico en dicha primera dirección y flujo de gas catódico en una segunda dirección sustancialmente opuesta a dicha primera dirección de tal modo que dicha al menos una pila de combustible secundaria tiene internamente flujo en contracorriente ("B").
36. Un apilamiento de pilas de combustible conforme a la característica 16 ó 17 ó 18, comprendiendo dicho apilamiento al menos una serie de pilas primarias y pilas secundarias adyacentes, en donde el gas de salida del ánodo de al menos una pila primaria está dirigido a la porción de entrada del ánodo de al menos una pila secundaria adyacente, con lo cual el gas de salida del ánodo primario realiza un segundo paso de flujo a través de dicha pila de combustible secundaria, y con lo cual la al menos una pila de combustible primaria tiene flujo de gas anódico en una primera dirección y flujo de gas catódico en dicha primera dirección de tal modo que dicha pila de combustible primaria tiene internamente flujo en paralelo y dicha al menos una pila de combustible secundaria adyacente tiene flujo de gas anódico en una segunda dirección sustancialmente opuesta con relación a dicha primera dirección, y el flujo de gas catódico en dicha primera dirección tal que dicha al menos una pila de combustible secundaria tiene internamente flujo en contracorriente ("D").
37. Un apilamiento de pilas de combustible conforme a la característica 16 ó 17 ó 18, comprendiendo dicho apilamiento al menos una serie de pilas primarias y pilas secundarias adyacentes, en donde el gas de salida del ánodo de al menos una pila primaria está dirigido a la porción de entrada del ánodo de al menos una pila secundaria adyacente, y el gas de salida del cátodo de dicha pila primaria está dirigido a la entrada del cátodo de dicha pila secundaria, con lo cual el gas de salida del ánodo y el cátodo primario realiza un segundo paso de flujo a través de dicha pila de combustible secundaria, y con lo cual la al menos una pila de combustible primaria tiene flujo de gas anódico en una primera dirección y flujo de gas catódico en dicha primera dirección de tal modo que dicha pila de combustible primaria tiene internamente flujo en paralelo y dicha al menos una pila de combustible secundaria adyacente tiene flujo de gas anódico en una segunda dirección sustancialmente opuesta con relación a dicha primera dirección y flujo de gas catódico en dicha segunda dirección, de tal modo que dicha al menos una pila de combustible secundaria tiene internamente flujo en paralelo (E).
38. Un apilamiento de pilas de combustible conforme a la característica 30 en donde las porciones de entrada y salida del gas anódico y catódico de dicha al menos una pila de combustible primaria están orientadas de tal modo que la al menos una pila de combustible primaria tiene flujo de gas anódico en una primera dirección de flujo de gas catódico en dicha primera dirección de tal modo que dicha pila de combustible primaria tiene internamente flujo en paralelo y dichas al menos dos pilas de combustible secundarias adyacentes tienen flujo de gas anódico en una segunda dirección sustancialmente opuesta a dicha primera dirección y flujo de gas catódico en dicha primera dirección de tal como que dichas al menos dos pilas de combustible secundarias adyacentes tienen internamente flujo en contracorriente ("F").
39. Un apilamiento de pilas de combustible conforme a la característica 16 ó 17 ó 18, comprendiendo dicho apilamiento al menos una serie de pilas primarias y pilas secundarias adyacentes, en donde el gas de salida del ánodo de al menos dos pilas primarias está fusionado en un flujo de gas de salida anódico primario y dirigido a la porción de entrada del ánodo de dicha al menos una pila secundaria adyacente dispuesta entre dichas al menos dos pilas primarias, por lo que el gas de salida del ánodo primario realiza un segundo paso de flujo a través de dicha pila de combustible secundaria y las al menos dos pilas de combustible primarias tienen flujo de gas anódico en una primera dirección y flujo de gas catódico en dicha primera dirección de tal modo que dichas pilas de combustible primarias tienen internamente flujo en paralelo y dicha al menos una

pila de combustible secundaria adyacente tiene flujo de gas anódico en una segunda dirección sustancialmente opuesta a dicha primera dirección y flujo de gas catódico en dicha primera dirección de tal modo que dicha al menos una pila de combustible secundaria adyacente tiene internamente flujo en contracorriente ("G").

5 40. Un apilamiento de pilas de combustible conforme a la característica 16 ó 17 ó 18, comprendiendo dicho apilamiento al menos una serie de pilas primarias y pilas secundarias adyacentes, en donde el gas de salida del ánodo de al menos dos pilas primarias está fusionado en un primer flujo de gas de salida anódico primario y dirigido a la porción del ánodo de al menos una pila secundaria adyacente dispuesta entre dichas al menos dos pilas primarias, por lo que el gas de salida anódico primario realiza un segundo paso de flujo a través de dicha pila de combustible secundaria y las al menos dos pilas de combustible primarias tienen flujo de gas anódico en una primera dirección y flujo de gas catódico en una segunda dirección sustancialmente opuesta a dicha primera dirección de tal modo que dichas pilas de combustible primarias tienen internamente flujo en contracorriente y dicha al menos una pila de combustible secundaria adyacente tiene flujo de gas anódico en dicha segunda dirección y flujo de gas catódico en dicha segunda dirección de tal modo que dicha al menos una pila de combustible secundaria adyacente tiene internamente flujo en paralelo ("J").

10

15

41. Un apilamiento de pilas de combustible conforme a cualquiera de las característica 30 a 40, en donde series de pilas de combustible conforme a cualquiera de las características 30 a 40 están combinados en apilamientos que comprenden una pluralidad de series en combinación.

20 La invención se describe a continuación con mayor detalle con referencia a los dibujos que se acompañan, en los cuales

Fig. 1 es una vista esquemática que muestra el principio de flujo del gas del elemento repetitivo de una pila de combustible con flujo interno en paralelo de la técnica anterior,

Fig. 2 muestra el principio de flujo del gas del elemento repetitivo de una pila de combustible con flujo interno en contracorriente de la técnica anterior,

25 Fig. 3 a Fig. 12 muestran el elemento repetitivo de diferentes combinaciones de patrones de flujo conforme a la presente invención, combinación "A" a "D" y "F" a "J",

Fig. 13 muestra la producción de energía por pila en apilamientos con combinación de patrones de flujo "A" a "D" y "F" a "J" y gas natural como combustible,

30 Fig. 14 muestra la producción de energía por pila en apilamientos con combinación de patrones de flujo "A" a "D" y "F" a "J" e hidrógeno gaseoso como combustible,

Fig. 15 muestra ASR en apilamientos con combinación de patrones de flujo "A" a "D" y "F" a "J" y gas natural como combustible,

Fig. 16 muestra ASR en apilamientos con combinación de patrones de flujo "A" a "D" y "F" a "J" e hidrógeno gaseoso como combustible,

35 Fig. 17 muestra  $\Delta E$  para el gas catódico (temperatura de salida del gas catódico menos temperatura de entrada del gas catódico) en apilamientos con combinación de patrones de flujo "A" a "D" y "F" a "J" y gas natural como combustible,

Fig. 18 muestra  $\Delta T$  para el gas catódico en apilamientos con combinación de patrones de flujo "A" a "D" y "F" a "J" e hidrógeno gaseoso como combustible,

40 Fig. 19 muestra el voltaje medio de pila en apilamientos con combinación de patrones de flujo "A" a "D" y "F" a "J" y gas natural como combustible,

45 Fig. 20 muestra el voltaje medio de pila en apilamientos con combinación de patrones de flujo "A" a "D" y "F" a "J" e hidrógeno gaseoso como combustible,

Fig. 21 muestra la temperatura de la pila a lo largo de la dirección de flujo para la combinación de patrones de flujo "C" comparada con un apilamiento de pilas de flujo en paralelo convencional y de flujo en contracorriente convencional con gas natural como combustible,

50 Fig. 22 muestra la densidad de corriente a lo largo de la dirección de flujo para la combinación de patrones de flujo "C" comparada con un apilamiento de pilas de flujo en paralelo convencional y de flujo en contracorriente convencional con gas natural como combustible,

Fig. 23 muestra la temperatura de la pila a lo largo de la dirección de flujo para la combinación de patrones de flujo "H" comparada con un apilamiento de pilas de flujo en paralelo convencional y de flujo en contracorriente convencional con gas natural como combustible,

5 Fig. 24 muestra la densidad de corriente a lo largo de la dirección de flujo para la combinación de patrones de flujo "H" comparada con un apilamiento de pilas de flujo en paralelo convencional y de flujo en contracorriente convencional con gas natural como combustible,

Fig. 25 muestra la temperatura de la pila a lo largo de la dirección de flujo para la combinación de patrones de flujo "I" comparada con un apilamiento de pilas de flujo en paralelo convencional y de flujo en contracorriente convencional con gas natural como combustible,

10 Fig. 26 muestra la densidad de corriente a lo largo de la dirección de flujo para la combinación de patrones de flujo "I" comparada con un apilamiento de pilas de flujo en paralelo convencional y de flujo en contracorriente convencional con gas natural como combustible,

Fig. 27 muestra un dibujo de principio de CMR (Recoger, Mezclar, Redistribuir) con dos pilas de combustible primarias y dos secundarias, y

15 Fig. 28 muestra un dibujo de principio de conexión en serie del lado anódico de dos pilas primarias y dos secundarias.

En lo que sigue, se presenta una gama de patrones de flujo combinados: patrones de flujo interno de pilas combinadas, patrones de flujo alternativos entre pilas adyacentes en un apilamiento así como combinaciones de pasos de flujo del gas catódico y el gas anódico a través de una sola pila o de una pluralidad de pilas conectadas en serie antes del agotamiento de los gases del apilamiento con o sin fusión o división de los flujos de gas. Aunque las realizaciones de la invención que siguen desde el patrón "A" a "J" son muchas, no son exhaustivas. La invención conforme a la reivindicación independiente 1 abarca una amplia gama de combinación de patrones de flujo y los ejemplos de realizaciones que siguen no deben interpretarse como limitantes del alcance de la presente invención.

20 Figs. 1 y 2 muestran dos principios convencionales de flujo de gas de una pila de combustible: el gas catódico, por ejemplo aire, se muestra como una flecha de línea continua y el gas anódico, por ejemplo gas natural o hidrógeno gaseoso, se muestra como una flecha de línea de puntos. La pila de combustible que comprende ánodo, cátodo y electrolito se muestra como una línea de trazo lleno. Como se ve en estos dibujos de principio, el gas anódico y el gas catódico fluyen en lados opuestos de la pila de combustible. Las entradas de gas anódico y catódico no se muestran, dado que éstas no son una parte esencial de la invención. Lo importante es la dirección sustancial de flujo del gas anódico con relación al gas catódico. La dirección sustancial de flujo se define como la dirección de flujo desde la porción de entrada a la porción de salida. En este contexto, cuando se utiliza el término "sustancial", debe entenderse que la porción de entrada y la porción de salida no son necesariamente un solo punto, sino que pueden tener cierta extensión, por ejemplo cuando se utiliza distribución lateral. Por tanto, la dirección de flujo no siempre puede definirse exactamente de un punto a otro, sino más bien como una dirección "sustancial" desde un punto mediano medio de la entrada y un punto mediano medio de la salida dentro de las porciones de entrada y salida. Sin embargo, la definición de flujo "sustancial" se define con exactitud suficiente para determinar si el gas anódico y el gas catódico fluyen globalmente en la misma dirección, en dirección opuesta o en dirección perpendicular que corresponde a los conceptos de flujo en paralelo, flujo en contracorriente o flujo cruzado que son sustanciales para definir la presente invención. Así, Fig. 1 muestra una pila de combustible de flujo en paralelo convencional mientras que Fig. 2 muestra una pila de combustible convencional de flujo en contracorriente, cada una con las características y ventajas inherentes como se ha explicado ya.

45 Cuando se ensambla una pluralidad de pilas de combustible en un apilamiento, cada pila de combustible está separada en una interconexión que sirve (entre otras cosas) para separar el gas de flujo anódico de una pila del gas de flujo catódico de su pila adyacente. Como en los apilamientos de pilas de combustible convencionales, el apilamiento de una pluralidad de pilas de flujo en paralelo como se muestra en Fig. 1 conduce entonces a un apilamiento con flujo en paralelo internamente en cada pila y flujo en paralelo de las pilas adyacentes a cada lado de las interconexiones, a lo que se hace referencia en lo sucesivo como "interconexión" de flujo en paralelo. Correspondientemente, cuando se apila una pluralidad de pilas de flujo en contracorriente conforme a Fig. 2, ello conduce a un apilamiento con flujo interno en contracorriente de las pilas e interconexión de flujo en contracorriente.

50 ...

55 Figs. 3 a 12 muestran todas ellas diferentes realizaciones de la presente invención, donde se combinan flujo en paralelo y flujo en contracorriente así como pasos de flujo de gas plurales (redistribución), fusión y división de las corrientes de gas. En Fig. 3, una pila primaria y una pila secundaria adyacente se muestran separadas por una interconexión (representada como una línea de puntos estrecha). La pila primaria así como la pila secundaria tienen flujo interno en paralelo. Sin embargo, las direcciones de flujo de la pila primaria son opuestas a las direcciones de flujo de la secundaria adyacente. Por tanto, como se ve en la figura, las dos pilas tienen interconexión de flujo en contracorriente. Y en total, la combinación de patrones de flujo "A" conforme a Fig. 3 tiene flujo interno en paralelo

- combinado con flujo interno en paralelo e interconexión de flujo en contracorriente. Por tanto, debería esperarse que la combinación de patrones de flujo "A" combine la ventaja 1 y la ventaja 2, dado que la ventaja 1 está relacionada especialmente con flujo en contracorriente y la ventaja 2 está relacionada especialmente con flujo en paralelo. Análogamente, podría esperarse una producción alta de energía de un apilamiento de este tipo, dado que una ASR
- 5 baja da como resultado una pérdida baja de energía en el apilamiento. La ASR baja se debe al perfil de temperatura relativamente plano y la temperatura media alta, que es el resultado de promediar los perfiles de temperatura de las pilas primaria y secundaria. Sin embargo, de acuerdo con los resultados del test, la producción de energía de un apilamiento de este tipo es relativamente baja, dado que el  $\Delta T$  bajo para la combinación "A" da como resultado una eliminación de calor demasiado pequeña por el aire catódico. Por tanto, la combinación "A" carece de la ventaja 2,
- 10 pero tiene una clara ventaja 1. De ahí que no sea simple predecir el efecto y las ventajas de las diferentes combinaciones posibles de patrones de flujo, y únicamente los resultados del test pueden esclarecer qué combinaciones obtienen la eficiencia óptima del apilamiento de pilas de combustible. Como se verá en lo que sigue, las ventajas pueden optimizarse de modo aún más complejo con combinaciones de patrones de flujo más complejas.
- 15 Debe entenderse que el principio representado en Fig. 3 puede aplicarse al apilamiento total de tal modo que una pluralidad de pilas apiladas (más de dos) pueden tener flujo interno en paralelo e interconexión de flujo en contracorriente cuando las direcciones de flujo cambian en los lados opuestos de cada interconexión en el apilamiento. Adicionalmente, el principio de flujo de Fig. 3 puede combinarse con cualquiera de los principios de flujo en Figs. 1 a 2 y 4 a 12.
- 20 Fig. 4 muestra la combinación de patrones de flujo "B" donde una pila primaria con flujo en interno en contracorriente es adyacente a una pila secundaria con flujo interno en paralelo, y las corrientes de flujo a cada lado de la interconexión de separación se mueven en la misma dirección sustancial en las dos pilas de combustible representadas. Cuando se apilan más series de pilas de acuerdo con la combinación "B", sin embargo, algunas tienen interconexión de flujo en paralelo y algunas tienen interconexión de flujo en contracorriente.
- 25 la combinación de patrones de flujo "B" tiene flujo interno en contracorriente combinado con flujo interno en paralelo y combinado con interconexión de flujo paralelo e interconexión de flujo en contracorriente. Una vez más, como sucede para todas las combinaciones de patrones de flujo representadas, el principio representado para las dos pilas en Fig. 4 puede repetirse a lo largo de un apilamiento que comprende una pluralidad de pilas, o puede combinarse con otras combinaciones de patrones de flujo por ejemplo como la representada en las figuras anterior y
- 30 siguientes.
- En Fig. 5, se muestra la combinación de patrones de flujo "C" que difiere de la combinación "B" en que "C" tiene dirección de flujo anódico alternante, mientras que "B" tiene combinación de flujo catódico alternante.
- La combinación de patrones de flujo "D" representada en Fig. 6 incluye el principio de tener dos pilas de conexión en serie en el lado de combustible. Como se ilustra, el gas anódico realiza un primer paso a través de una pila primaria
- 35 y luego un segundo paso a través de una pila secundaria adyacente antes que se deje salir el gas anódico. De este modo el coeficiente de utilización del combustible se incrementa dado que se oxida una mayor proporción del combustible a lo largo del apilamiento de pilas de combustible. Así, "D" tiene la combinación: flujo interno en paralelo, flujo interno en contracorriente y redistribución del gas anódico.
- En Fig. 7 se muestra una realización adicional relacionada con "D", a saber la combinación de patrones de flujo "E", donde también la corriente del gas catódico se redistribuye de tal modo que la pila primaria está conectada en serie
- 40 a la pila secundaria no sólo en el lado del gas anódico, sino también en el lado del gas catódico. En la combinación "E" ambas pilas tienen, sin embargo, flujo interno en paralelo, de tal modo que en la combinación total "E" tiene: flujo interno en paralelo, interconexión de flujo en contracorriente, redistribución del gas anódico y redistribución del gas catódico.
- 45 Fig. 8 muestra la combinación de patrones de flujo "F" donde se utiliza una posibilidad adicional, a saber el principio de división de una corriente de flujo de gas primaria en dos corrientes después de un primer paso de flujo seguida por redistribución de las dos corrientes para realizar un segundo paso de flujo a través de dos pilas secundarias adyacentes. En la combinación "F" esto se realiza sobre el gas anódico. Como puede verse, en su conjunto la combinación total "F" incluye en combinación: flujo interno en paralelo, flujo interno en contracorriente, interconexión
- 50 de flujo paralelo, interconexión de flujo en contracorriente y división y redistribución del gas anódico.
- Fig. 9 muestra aproximadamente la realización opuesta a "F", a saber la combinación de patrones de flujo "G" que fusiona dos corrientes de gas anódico primarias en una sola corriente después que las mismas han realizado un primer paso de flujo de la pila a través de dos pilas de combustible primarias, después de lo cual la corriente de gas anódico fusionada se conduce a una pila de combustible secundaria donde realiza un segundo paso de flujo. Como
- 55 se ilustra, las dos pilas primarias tienen flujo interno en paralelo del gas anódico con relación al gas catódico, y la pila de combustible secundaria tiene flujo en contracorriente. Así, la combinación "G" tiene: flujo interno en paralelo y flujo interno en contracorriente, interconexión en contracorriente e interconexión en paralelo y fusión y redistribución del gas anódico. Cuando se aplica el principio de combinación "G" a un apilamiento completo que comprende una pluralidad de pilas, debe entenderse que pares de pilas primarias son adyacentes unos a otros separados por

interconexiones. Dependiendo de la aplicación, estas pilas primarias pueden tener interconexión de flujo paralelo o de flujo en contracorriente.

5 En Fig. 10 se muestra la combinación de patrones de flujo "H". En este caso, la redistribución del gas anódico de una pila primaria a una pila secundaria se combina con flujo interno en contracorriente en la pila primaria, y flujo interno en paralelo en la pila secundaria.

10 En Fig. 11, se muestra la combinación "I", en la que una corriente de flujo de gas anódico de una pila de combustible primaria se divide en dos corrientes secundarias después de pasar por una pila de combustible primaria. Las dos corrientes de flujo de gas anódico secundarias realizan luego un segundo paso de flujo a través de dos pilas de combustible secundarias antes de dejarse salir. La pila de combustible primaria tiene flujo interno en contracorriente mientras que las pilas de combustible secundarias tienen flujo interno en paralelo. Para resumir, la combinación "I" incluye por tanto: flujo interno en contracorriente en las pilas primarias, flujo interno en paralelo en las pilas secundarias, interconexión de flujo en paralelo, interconexión de flujo en contracorriente y división y redistribución del gas anódico.

15 Fig. 12 muestra la última de las realizaciones ilustradas conforme a la invención. La combinación "J" tiene una fusión de dos corrientes de flujo del gas anódico primarias en una corriente de flujo de gas anódico secundaria. Adicionalmente, "J" tiene flujo interno en contracorriente de las pilas de combustible primarias, flujo interno en paralelo de la pila de combustible secundaria e interconexión de flujo en paralelo así como interconexión de flujo en contracorriente.

20 Para poder comparar la eficiencia de la combinación de patrones de flujo "A" a "J", se han seleccionado parámetros de proceso fijos:

Temperatura de entrada del gas catódico:  $T_{in} = 700^{\circ}\text{C}$

Temperatura máxima:  $T_{max} = 827^{\circ}\text{C}$

25 - para coeficiente de utilización del combustible y coeficientes de utilización del gas catódico fijos. Para estos parámetros de operación fijos, se observan la producción de corriente resultante,  $I$  y el voltaje medio de la pila  $U$  para cada una de las combinaciones de patrones de flujo. Los resultados pueden expresarse también como energía media por pila,  $P = U \cdot I$  y ASR (Resistencia Específica de Área). Es interesante obtener estos resultados para combustibles de reformación y sin reformación. Por esta razón, se observan los resultados de las diferentes combinaciones de patrones de flujo tanto para gas natural como para hidrógeno como combustible.

30 Debe indicarse que no se presentan los resultados de test para la combinación "E", dado que  $\Delta T$  para esta combinación es demasiado bajo para dar resultados de test significativos.

35 Un objeto importante de la invención es poder alcanzar la energía máxima posible por pila de combustible, con lo cual son necesarias menos pilas por apilamiento para obtener una cierta producción de energía, y por tanto a un coste más bajo. La producción de energía de cada una de las combinaciones de patrones de flujo "A" a "J" así como las dos referencias convencionales de la técnica "RefCof" (referencia para patrón de flujo paralelo) y "Ref-Cou" (referencia para patrón de flujo en contracorriente) se muestra como un gráfico de barras en Fig. 13 para gas natural, y Fig. 14 para hidrógeno gaseoso como gas anódico. La energía se indica como vatios por pila de combustible,  $W/pila$ , en el eje Y de los gráficos de barras. Las combinaciones de patrones de flujo que proporcionan la producción máxima de energía hacen esto fundamentalmente por dos razones: ASR baja, que se refiere a la "ventaja 1" y  $\Delta T$  alta (temperatura de salida del cátodo menos temperatura de entrada en el cátodo) que se refiere a la "ventaja 2".

40 En Figs. 15 a 18, se muestran ASR y  $\Delta T$  para las diferentes combinaciones de patrones de flujo para gas natural e hidrógeno respectivamente. En Figs. 15 y 16, la ASR se marca en el eje Y en mili-ohms centímetro cuadrado para gas natural, "ng" e hidrógeno "H2". Las combinaciones de patrones de flujo "D"- "J" tienen la ventaja adicional de CMR de combustible, es decir la "ventaja 3".

Figs. 17 y 18 muestran la diferencia entre la temperatura de salida del gas y la temperatura de entrada del gas,  $\Delta T$  en grados Celsius (en el eje Y) para las diferentes combinaciones de patrones de flujo para gas natural, "ng" e hidrógeno gaseoso "H2" como gas anódico.

50 Figs. 19 y 20 muestran el voltaje medio de pila en voltios (en el eje Y) para las diferentes combinaciones de patrones de flujo representadas con gas natural, "ng" e hidrógeno gaseoso "H2" como gas anódico.

55 Como se ve en Figs. 13 a 20, las combinaciones de patrones de flujo "C", "H", "I" y "J" tienen una producción de energía mayor que los patrones de flujo convencionales en paralelo y en contracorriente. Con gas natural como gas anódico, la combinación "I" tiene densidad de energía que es 15% mayor que el flujo paralelo convencional y 31% mayor que el flujo en contracorriente. "H", "I" y "J" tienen la ventaja adicional de que permiten internamente CMR del combustible en el apilamiento ("ventaja 3").

Un ejemplo para comprender estas ventajas puede verse cuando se comparan los datos de Figs. 13 a 20. Por ejemplo, cuando se considera la combinación "C" que es un híbrido entre flujo paralelo y flujo en contracorriente. La producción de corriente se distribuye adecuadamente para conseguir la producción máxima de corriente desde las zonas más calientes como sucede para el flujo convencional en contracorriente. Esto da como resultado una ASR baja (menor que en paralelo, pero insignificamente mayor que en contracorriente - "ventaja 1"). Simultáneamente, el patrón de flujo combinado da como resultado una mayor  $\Delta T$  para el gas catódico, lo que significa enfriamiento más eficaz de las pilas ("ventaja 2"). El enfriamiento más eficaz significa una mayor producción de corriente antes de alcanzarse la  $T_{max}$  fijada.

Como ilustración, en Figs. 21 y 22 se muestra la distribución de temperatura y densidad de corriente para la combinación "C", comparada con flujo convencional en paralelo y en contracorriente. La "ventaja 1" se ve como una distribución amplia de la producción de corriente, que tiene al mismo tiempo una convergencia satisfactoria con la distribución de temperatura (OutA y OutB representan la pila primaria y la secundaria de la combinación "C", el eje Y indica la temperatura en grados Kelvin y la densidad de corriente en amperios por metro cuadrado,  $A/m^2$  respectivamente). La "ventaja 2" se ve como una temperatura de salida del gas catódico que ha aumentado en comparación con el flujo en contracorriente.

Figs. 23 a 26 muestran la misma distribución de temperatura y densidad de corriente únicamente ahora para la combinación "H" y "I". También para estas dos combinaciones se observa una densidad de corriente distribuida amplia que converge satisfactoriamente con la distribución de temperatura ("ventaja 1") y enfriamiento eficaz debido a  $T_{out}$  alta ("ventaja 2"). Ambas combinaciones "H" y "I" tienen también CMR del combustible ("ventaja 3"). De las figuras se deduce que la combinación "I" tiene una eficiencia ligeramente mayor que "H". Dado que "I" y "H" tienen ASR baja casi igual, la mejor eficiencia de "I" debe atribuirse fundamentalmente a un enfriamiento ligeramente más eficaz.

Las combinaciones de patrones de flujo "C", "H", "I" y "J", tienen tanto con gas natural como con hidrógeno como gas anódico, el mismo o mayor voltaje por pila que tiene el flujo en paralelo. Por tanto, tiene que esperarse también una menor degradación de la pila que en el caso de flujo en paralelo, aun cuando "C", "H", "I" y "J" tienen una mayor densidad media de energía. Cuando se comparan con el flujo en contracorriente, "C", "H" y "I" tienen una densidad media de energía significativamente mayor, pero también un menor voltaje por pila. Esto es debido a las condiciones previas de la comparación, donde  $T_{in}$  y  $T_{max}$  son constantes, mientras que el voltaje y la corriente varían. Por tanto, es posible que una mayor velocidad de degradación sea también el efecto de estos parámetros de operación.

Un inconveniente evidente de los patrones de flujo combinados de acuerdo con la presente invención es la necesidad obvia de un sistema más complejo de distribución del gas para el apilamiento de pilas de combustible, que podría implicar una superficie activa menor de las pilas de combustible. Consideraciones geométricas simples muestran sin embargo que esta eficiencia reducida es menor que el beneficio por aumento en la densidad de energía. Adicionalmente, cualquiera de las combinaciones "C", "H", "I" y "J" pueden realizarse con distribuciones laterales del gas catódico.

Es notable que la combinación "A" y "B" dan la posibilidad de ASR baja ("ventaja 1") también con un combustible no procedente de reformación (tal como hidrógeno). Esto es debido a la dirección de flujo catódico opuesta de las pilas primarias y secundarias, que conduce a su vez a un perfil de temperatura plano. En combinación con el enfriamiento por otros medios distintos del gas catódico, esto puede dar una alta eficiencia eléctrica y un rendimiento elevado, en particular con combustibles no procedentes de reformación.

Figs. 27 y 28 muestran dos realizaciones que permiten un mayor coeficiente máximo de utilización del combustible. Fig. 27 muestra CMR (Recoger, Mezclar, Redistribuir) donde las corrientes de flujo de salida del gas procedentes de una pluralidad de pilas se recogen en una corriente intermedia común de flujo de gas antes de dividirse nuevamente en una pluralidad de corrientes de flujo de gas que realizan un segundo paso de flujo a través de una pluralidad de pilas de combustible secundarias. Esto aumenta la tolerancia del apilamiento contra fallos raros, pero graves, en el suministro de combustible para algunas pilas individuales del apilamiento.

Fig. 28 muestra una realización en la que el gas fluye desde pilas primarias separadas a pilas secundarias separadas con conexión en serie donde es realizado por el gas un segundo paso de flujo a través de la pila. Así, el suministro de combustible para dos pilas de conexión en serie depende de la pérdida total de presión a lo largo de las dos pilas en cuestión, y por tanto se consigue una ecuilibración parcial de variación de la pérdida de presión de la pila individual. Esta realización mejora la tolerancia del apilamiento contra fallos menos graves, pero más frecuentes.

## REIVINDICACIONES

1. Un apilamiento de pilas que comprende una pluralidad de pilas de combustible o celdas de electrólisis dispuestas en capas una encima de otra, comprendiendo cada una de dichas pilas un ánodo, un electrólito y un cátodo, estando dividida cada capa de pilas por una pluralidad de interconexiones, una entre cada pila, estando provistas las interconexiones con canales de gas a cada lado orientados hacia el lado del ánodo o el cátodo de la pila adyacente, pasando los canales de gas desde una porción de entrada a una porción de salida de dichas pilas, definiendo la dirección sustancial de la porción de entrada del ánodo a la porción de salida del ánodo del lado anódico de cada pila la dirección de flujo del gas anódico de cada pila y definiendo la dirección sustancial de la porción de entrada del cátodo a la porción de salida del cátodo del lado catódico de cada pila la dirección de flujo del gas catódico de cada pila, teniendo cada pila en el apilamiento uno de:

- flujo interno en paralelo de la dirección del flujo de gas anódico con relación a la dirección de flujo del gas catódico o,
- flujo interno cruzado de la dirección de flujo del gas anódico con relación a la dirección de flujo del gas catódico o,
- flujo interno en contracorriente de la dirección de flujo del gas anódico con relación a la dirección de flujo del gas catódico,

estando orientados los lados de interfaz de las pilas adyacentes a cada lado de una interconexión en cualquiera de:

- interconexión de flujo en paralelo,
- interconexión de flujo cruzado,
- interconexión de flujo en contracorriente,

en donde las pilas apiladas están dispuestas de tal modo que cada pila individual y las pilas adyacentes tienen una combinación de dicho flujo interno en paralelo, flujo interno cruzado o flujo interno en contracorriente de la dirección del gas anódico con relación a la dirección de flujo del gas catódico internamente en cada pila individual y tienen una combinación de dicha interconexión de flujo en paralelo, interconexión de flujo cruzado o interconexión de flujo en contracorriente entre dos lados de interfaz de pilas adyacentes.

2. Un apilamiento de pilas conforme a la reivindicación 1, en donde dichas pilas son Pilas de Combustible de Óxido Sólido.

3. Un apilamiento de pilas conforme a la reivindicación 1, en donde dichas pilas son Celdas de Electrólisis de Óxido Sólido.

4. Un apilamiento de pilas conforme a cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende al menos una serie de pilas primarias y una serie de pilas secundarias, en donde el gas de salida del ánodo de al menos una pila primaria se redistribuye a la porción de entrada del ánodo de al menos una pila secundaria, con lo cual el gas de salida del ánodo primario realiza un segundo paso de flujo de la pila.

5. Un apilamiento de pilas conforme a cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende al menos una serie de pilas primarias y una serie de pilas secundarias, en donde el gas de salida del cátodo de al menos una pila primaria se redistribuye a la porción de entrada del cátodo de al menos una pila secundaria, con lo cual el gas de salida del cátodo primario realiza un segundo paso de flujo de la pila.

6. Un apilamiento de pilas conforme a cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende al menos una serie de pilas primarias y una serie de pilas secundarias, en donde el gas de salida del ánodo de al menos una pila primaria se redistribuye a la porción de entrada del ánodo de al menos una pila secundaria, y el gas de salida del cátodo de al menos una pila primaria se redistribuye a la porción de entrada del cátodo de al menos una pila secundaria, con lo cual el gas de salida del ánodo primario y el gas de salida del cátodo primario realizan un segundo paso de flujo de la pila.

7. Un apilamiento de pilas conforme a cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, en donde el gas de salida del ánodo de todas las pilas primarias se recoge, se mezcla y se redistribuye a la porción del gas de entrada del ánodo de todas las pilas secundarias, o el gas de salida del cátodo de todas las pilas primarias se recoge, se mezcla y se redistribuye a la porción del gas de entrada del cátodo de todas las pilas secundarias, o tanto el gas de salida del ánodo de todas las pilas primarias se recoge, se mezcla y se distribuye a las porciones de gas de entrada del ánodo de todas las pilas secundarias y el gas de salida del cátodo de todas las pilas primarias se recoge, se mezcla y se redistribuye a la porción de gas de entrada del cátodo de todas las pilas secundarias, con lo cual el gas de salida del ánodo primario o el gas de salida del cátodo primario o tanto el gas de salida del ánodo primario como el gas de salida del cátodo primario realizan un segundo paso de flujo de la pila.

8. Un apilamiento de pilas conforme a cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, en donde el gas de salida del ánodo de cada pila primaria se redistribuye a la porción del gas de entrada del ánodo de al menos una pila secundaria adyacente, o el gas de salida del cátodo de cada pila primaria se redistribuye a la porción del gas de entrada del cátodo de al menos una pila secundaria adyacente, o tanto el gas de salida del ánodo de cada pila primaria se redistribuye a la porción del gas de entrada del ánodo de al menos una pila secundaria adyacente como el gas de salida del cátodo de cada pila primaria se redistribuye a la porción del gas de entrada del cátodo de al menos una pila secundaria adyacente, con lo cual el gas de salida del ánodo primario o el gas de salida del cátodo primario o tanto el gas de salida del ánodo primario como el gas de salida del cátodo primario de cada pila primaria realizan un segundo paso de flujo de la pila en al menos una pila secundaria adyacente.
9. Un apilamiento de pilas conforme a la reivindicación 7 u 8, en donde las porciones de entrada y salida de los gases anódico y catódico de dicha al menos una pila primaria están orientadas de tal manera que la al menos una pila primaria tiene flujo de gas anódico en una primera dirección y flujo de gas catódico en una segunda dirección sustancialmente opuesta con relación a la dirección de flujo del gas anódico, de tal modo que dicha pila primaria tiene internamente flujo en contracorriente y dichas al menos dos pilas secundarias adyacentes tienen flujo de gas anódico en dicha segunda dirección y flujo de gas catódico en dicha segunda dirección, de tal modo que dichas al menos dos pilas secundarias adyacentes tienen internamente flujo en paralelo ("I").
10. Un apilamiento de pilas conforme a la reivindicación 7 u 8, comprendiendo dicho apilamiento al menos una serie de pilas primarias y pilas secundarias adyacentes, en donde la salida del gas anódico de al menos una pila primaria se dirige a la porción de entrada del ánodo de al menos una pila secundaria, con lo cual el gas de salida del ánodo primario realiza un segundo paso de flujo a través de dicha pila secundaria, y con lo cual la al menos una pila primaria tiene flujo de gas anódico en una primera dirección y flujo de gas catódico en una segunda dirección sustancialmente opuesta con relación a la dirección de flujo del gas anódico, de tal modo que dicha pila primaria tiene internamente flujo en contracorriente y dicha al menos una pila secundaria tiene flujo de gas anódico en dicha segunda dirección y flujo de gas catódico en dicha segunda dirección de tal modo que dicha al menos una pila secundaria tiene internamente flujo en paralelo ("H").
11. Un apilamiento de pilas conforme a cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, comprendiendo dicho apilamiento al menos una serie de pilas primarias y pilas secundarias adyacentes, en donde al menos una pila primaria tiene flujo de gas anódico en una segunda dirección y flujo de gas catódico en una primera dirección sustancialmente opuesta con relación a la dirección de flujo del gas anódico, de tal modo que dicha pila primaria tiene internamente flujo en contracorriente y dicha al menos una pila secundaria adyacente tiene flujo de gas anódico en dicha primera dirección y flujo de gas catódico en dicha primera dirección de tal modo que dicha al menos una pila secundaria tiene internamente flujo en paralelo ("C").
12. Un apilamiento de pilas conforme a cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, comprendiendo dicho apilamiento al menos una serie de pilas primarias y pilas secundarias adyacentes, en donde al menos una pila primaria tiene flujo de gas anódico en una primera dirección y flujo de gas catódico en dicha primera dirección, de tal modo que dicha pila primaria tiene internamente flujo en paralelo y dicha al menos una pila secundaria adyacente tiene flujo de gas anódico en una segunda dirección sustancialmente opuesta a dicha primera dirección y flujo de gas catódico en dicha segunda dirección de tal modo que dicha al menos una pila secundaria tiene internamente flujo en paralelo ("A").
13. Un apilamiento de pilas conforme a cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, comprendiendo dicho apilamiento al menos una serie de pilas primarias y pilas secundarias adyacentes, en donde al menos una pila primaria tiene flujo de gas anódico en una primera dirección y gas catódico en dicha primera dirección de tal modo que dicha pila primaria tiene internamente flujo en paralelo y dicha al menos una pila secundaria adyacente tiene flujo de gas anódico en dicha primera dirección y flujo de gas catódico en una segunda dirección sustancialmente opuesta a dicha primera dirección, de tal modo que dicha al menos una pila secundaria tiene internamente flujo en contracorriente ("B").
14. Un apilamiento de pilas conforme a la reivindicación 7 u 8, comprendiendo dicho apilamiento al menos una serie de pilas primarias y pilas secundarias adyacentes, en donde el gas de salida del ánodo de al menos dos pilas primarias está fusionado en un solo flujo de gas de salida anódico primario y dirigido a la porción de entrada del ánodo de al menos una pila secundaria, con lo cual el gas de salida anódico primario realiza un segundo paso de flujo a través de dicha pila secundaria y las al menos dos pilas primarias tienen flujo de gas anódico en una primera dirección y flujo de gas catódico en una segunda dirección sustancialmente opuesta a dicha primera dirección, de tal modo que dichas pilas primarias tienen internamente flujo en contracorriente y dicha al menos una pila secundaria tiene flujo de gas anódico en dicha segunda dirección y flujo de gas catódico en dicha segunda dirección de tal manera que dicha al menos una pila secundaria tiene internamente flujo en paralelo ("J").
15. Un apilamiento de pilas conforme a cualquiera de las reivindicaciones 9 a 14, en donde series de pilas conforme a cualquiera de las reivindicaciones 9 a 14 están combinados en apilamientos que comprenden una pluralidad de series en combinación.



Fig. 1 "Co"

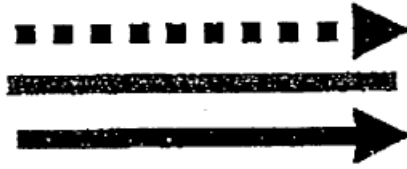


Fig. 2 "Cou"

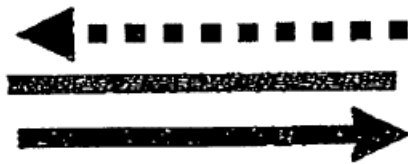


Fig. 3 "A"

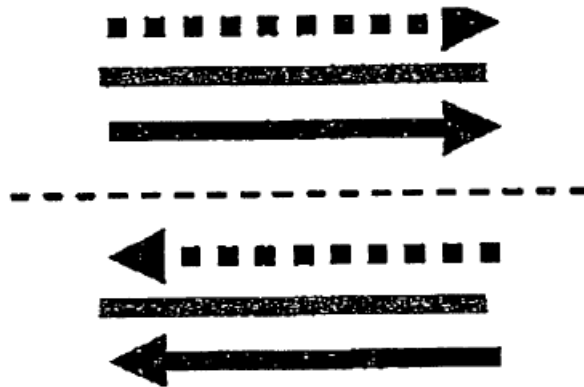


Fig. 4 "B"

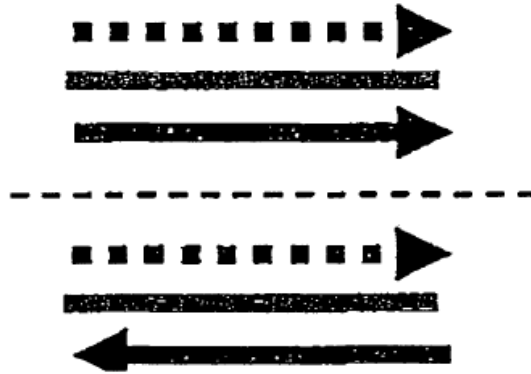


Fig. 5 "C"

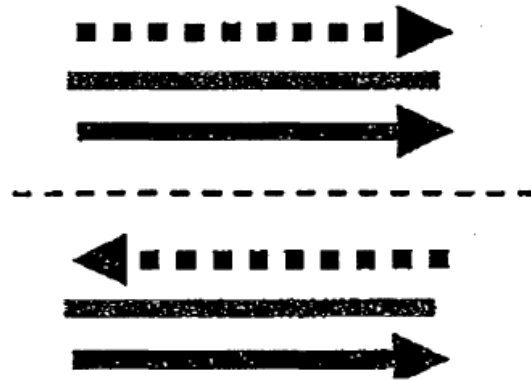


Fig. 6 "D"

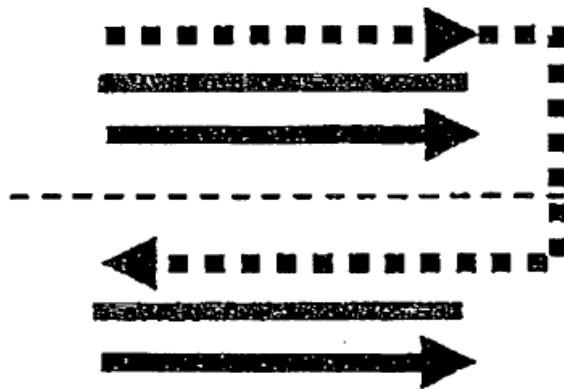


Fig. 7 "E"

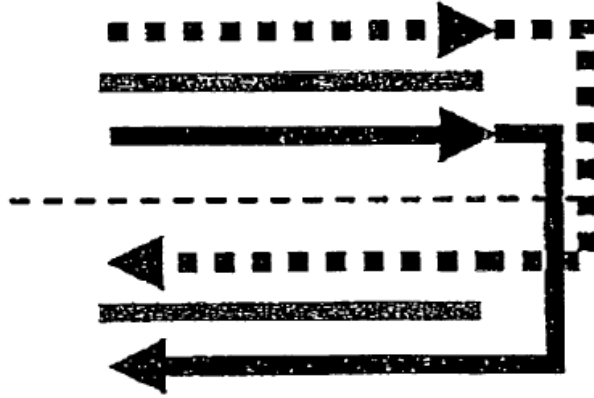


Fig. 8 "F"

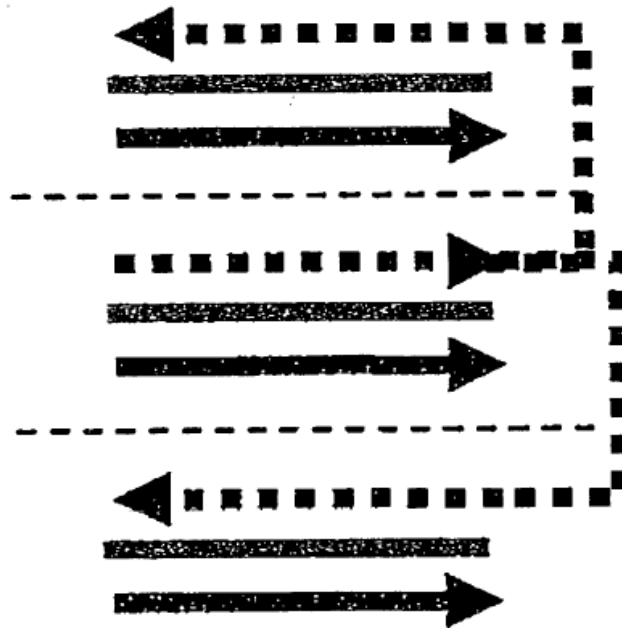


Fig. 9 "G"

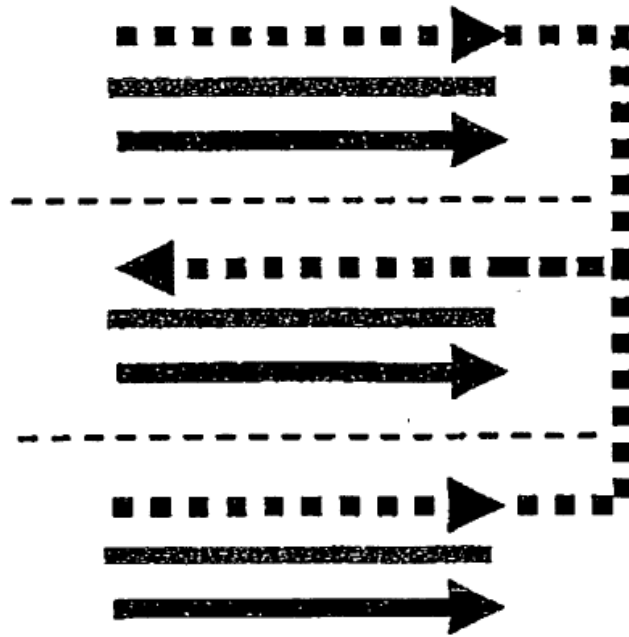


Fig. 10 "H"

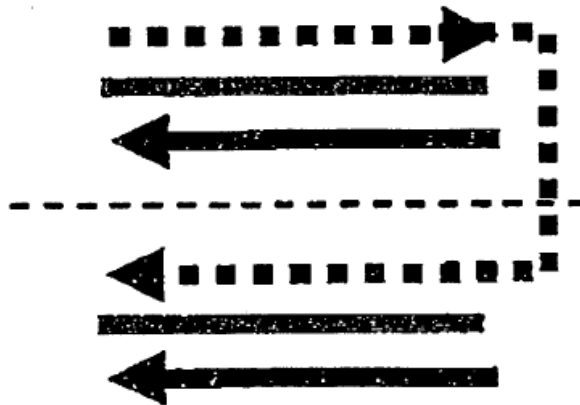


Fig. 11 "I"

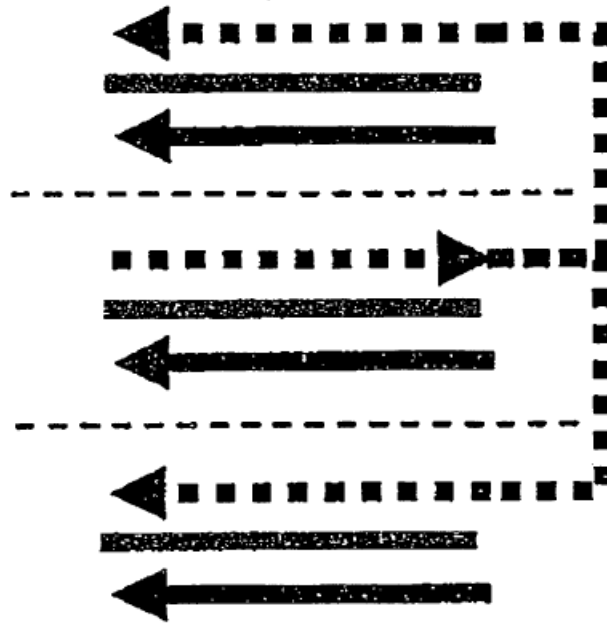


Fig. 12 "J"

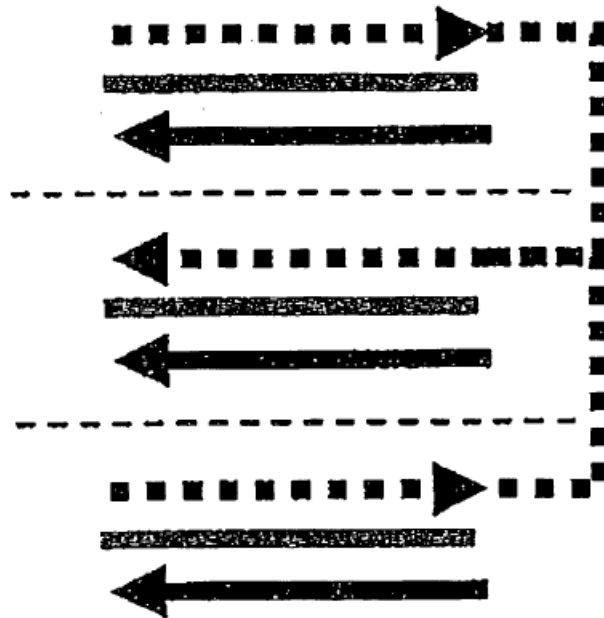


Fig. 13

P gn / (W/pila)

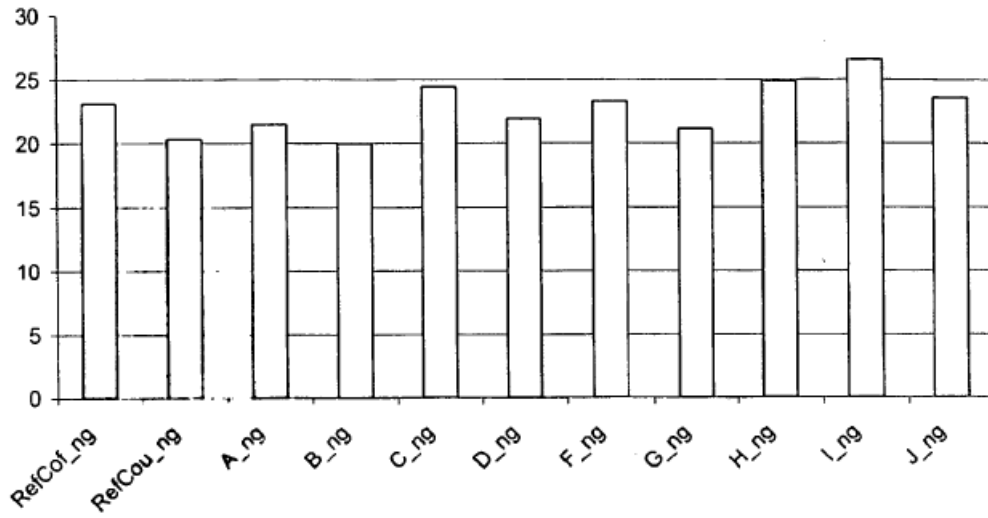


Fig. 14

P H2 / (W/pila)

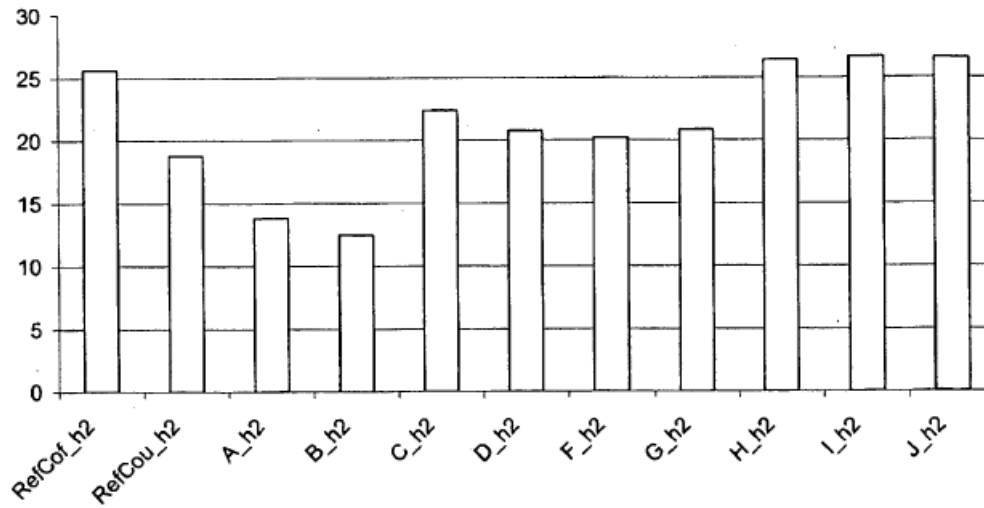


Fig. 15  
ASR gn / (mΩ cm<sup>2</sup>)

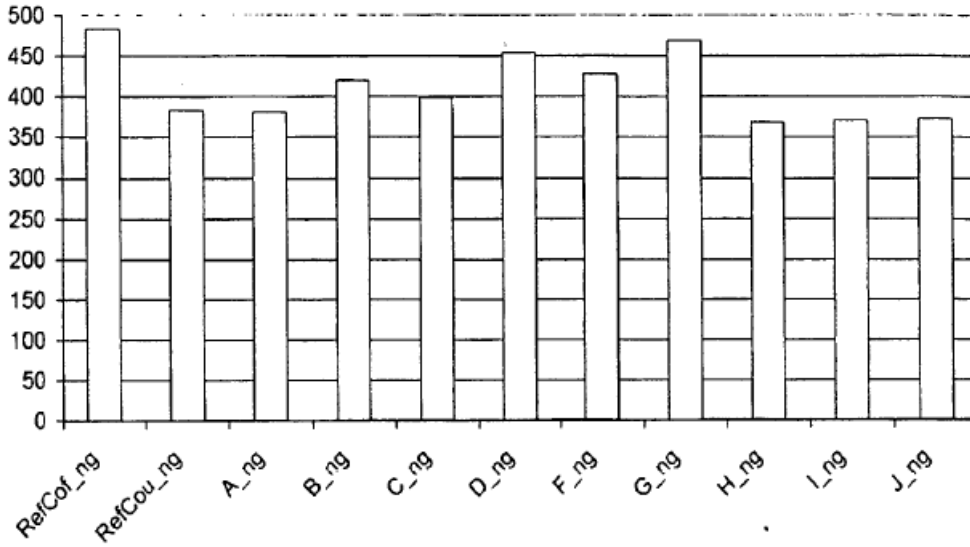


Fig. 16  
ASR H2/ (mΩ cm<sup>2</sup>)

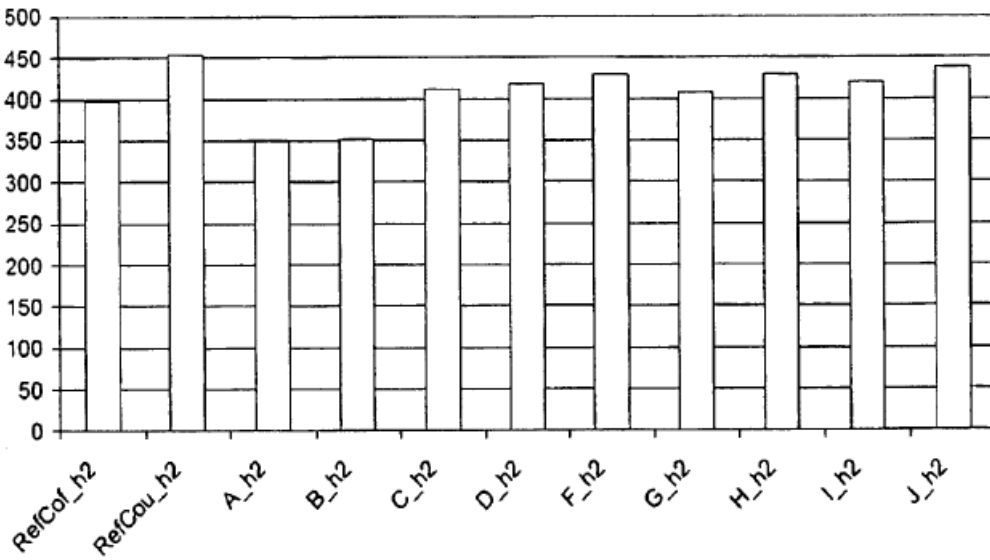


Fig. 17

$\Delta T_{gn}$  / grado C

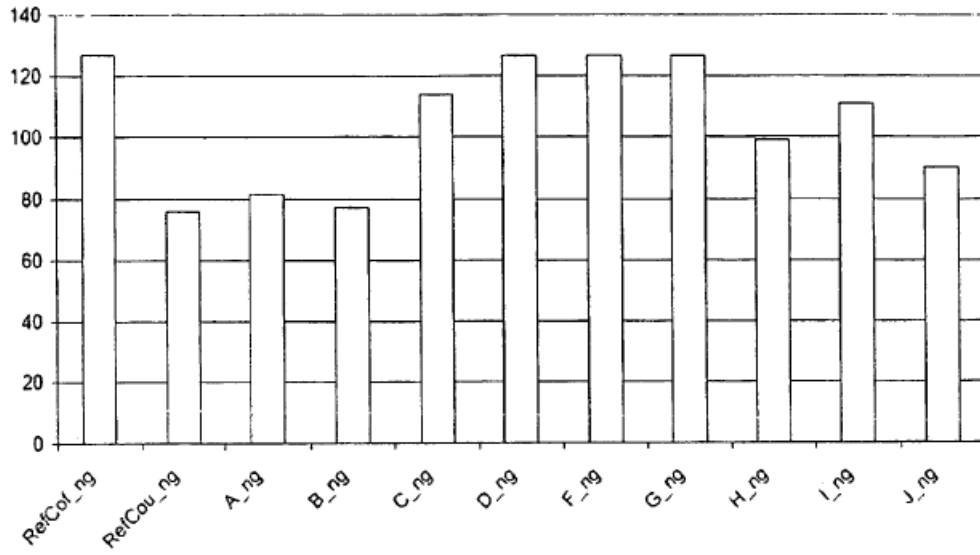


Fig. 18

$\Delta T_{H2}$  / grado C

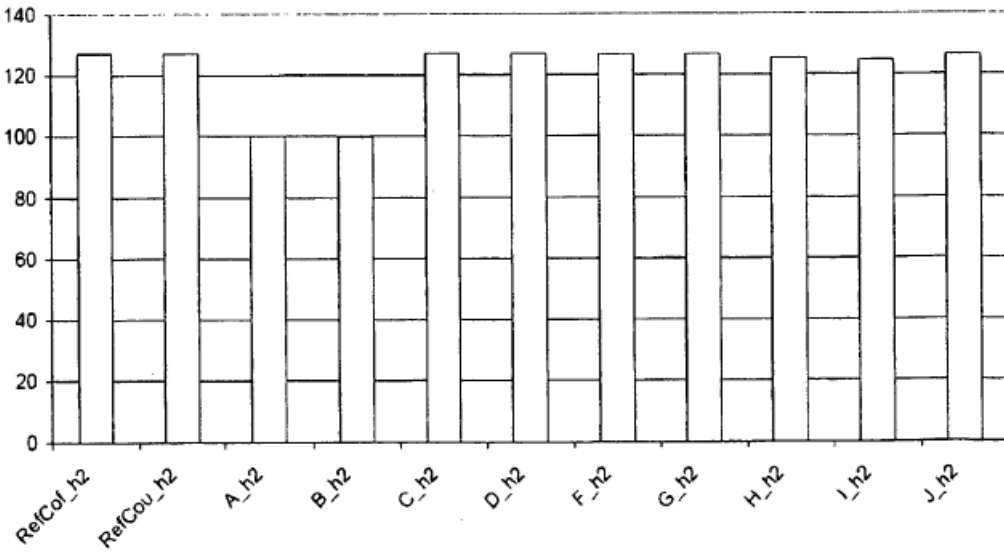




Fig. 19

U gn / (V/pila)

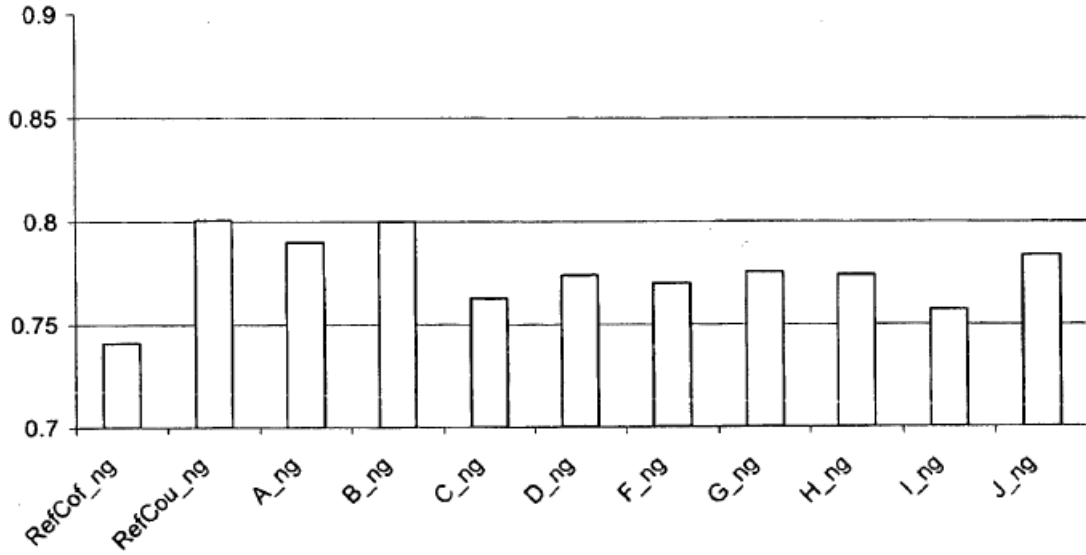


Fig. 20

U H2 / (V/pila)

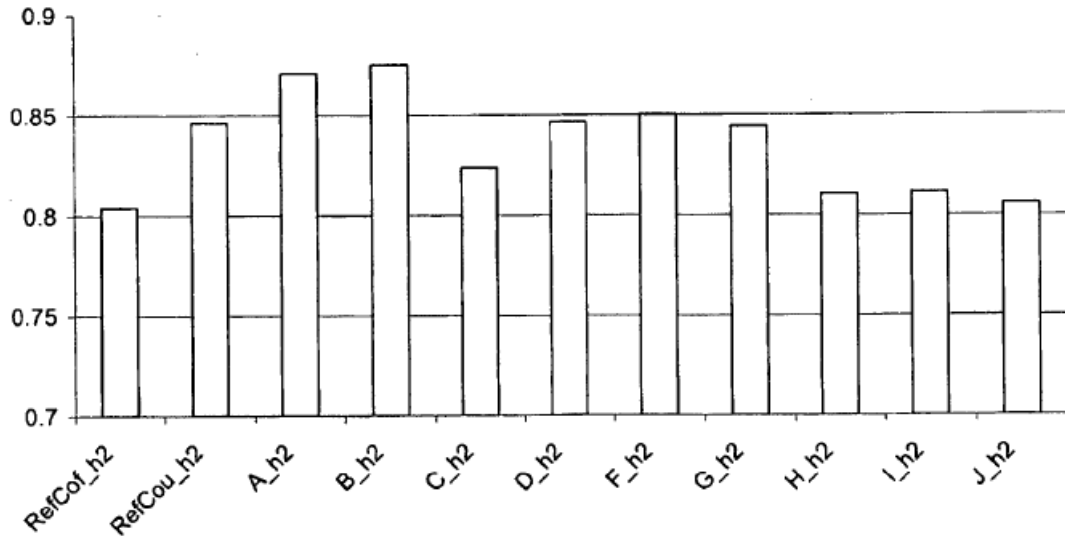


Fig. 21

$T_{C\_gn} / K$

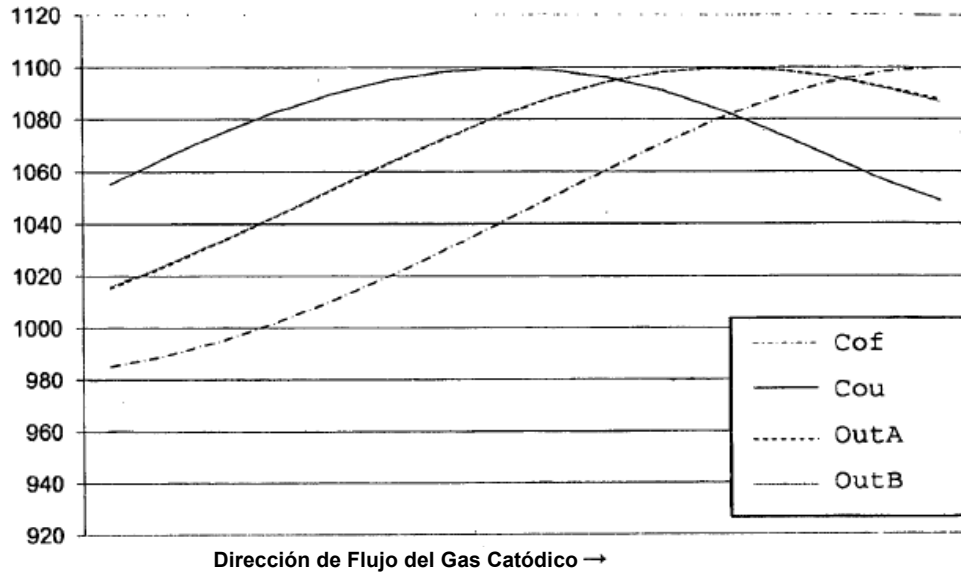


Fig. 22

$I_{C\_gn}$

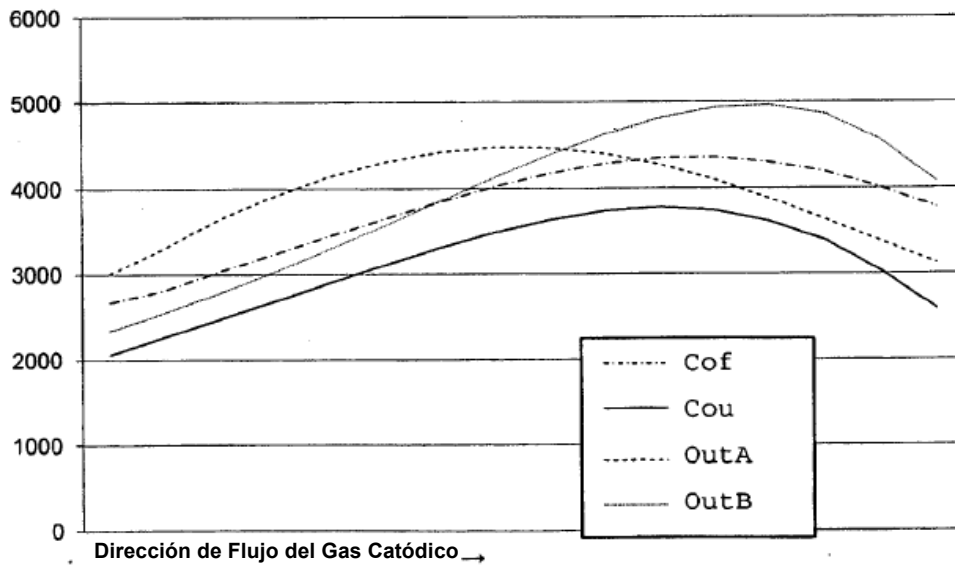


Fig. 23

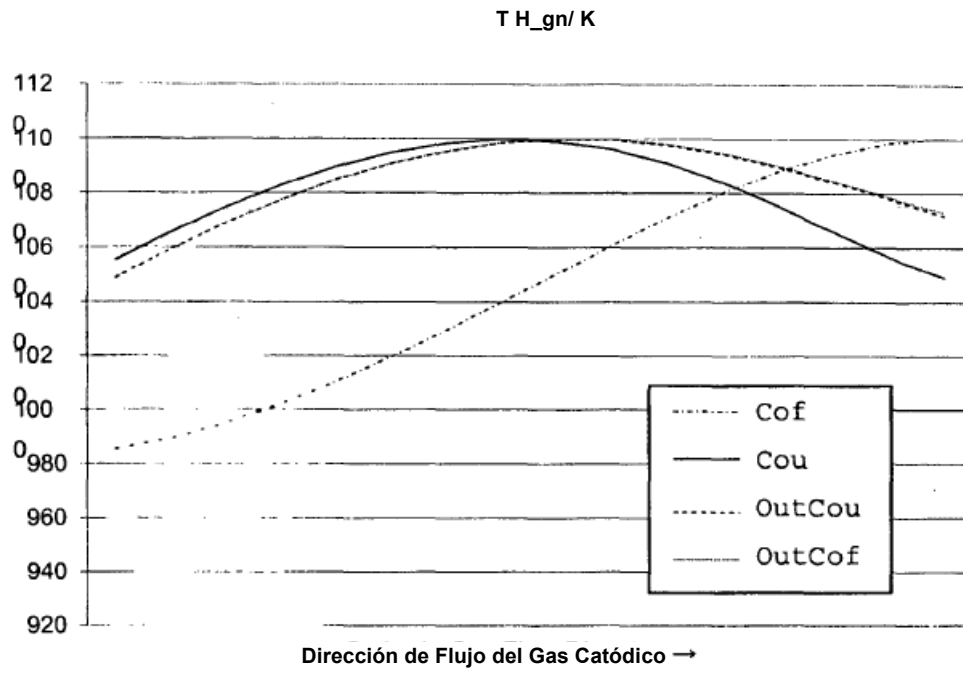


Fig. 24

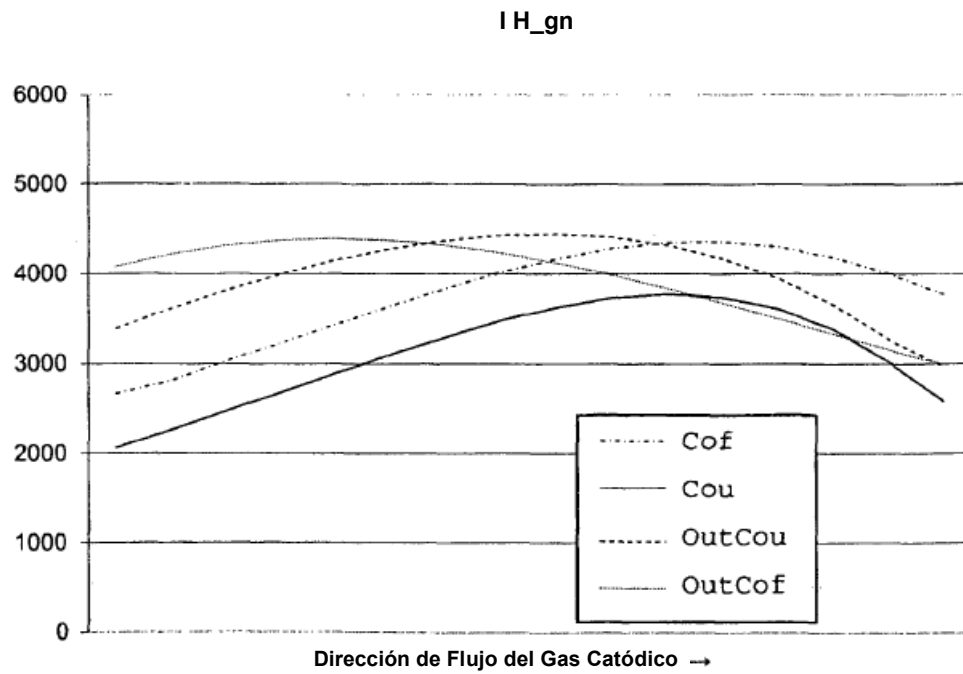


Fig. 25

$T_{I\_gn} / K$

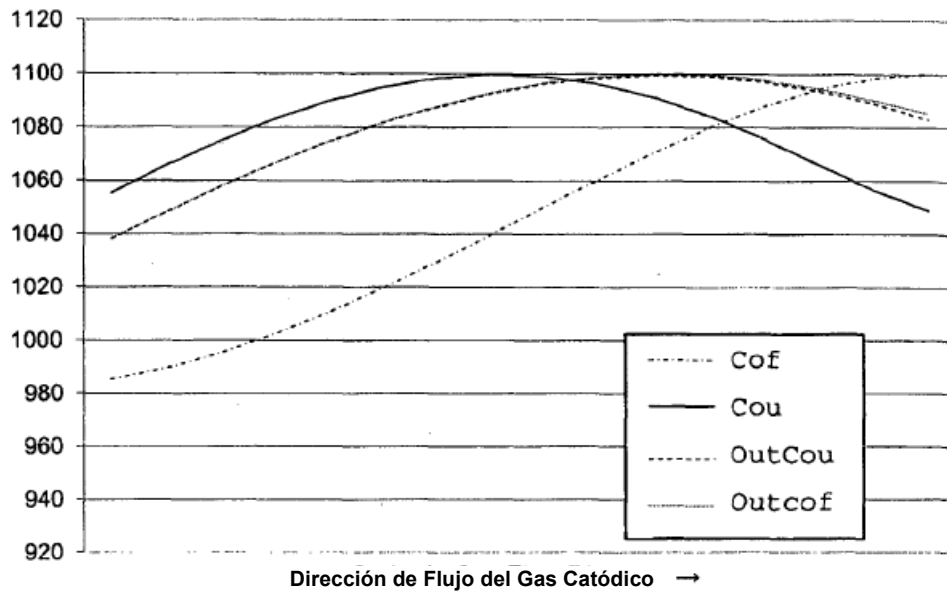


Fig. 26

$I_{I\_gn}$

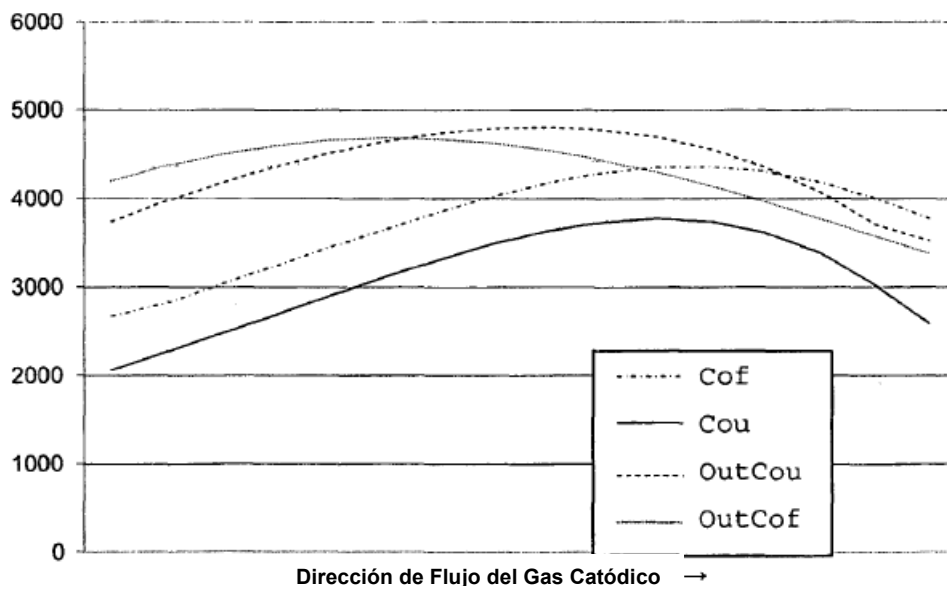


Fig. 27

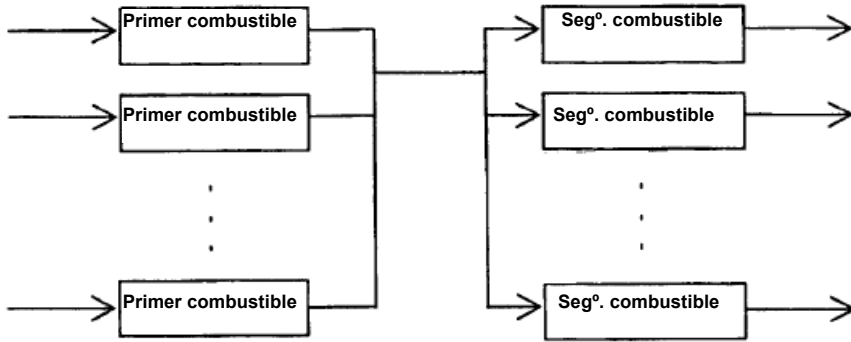


Fig. 28

