

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 743 914**

51 Int. Cl.:

**C25B 11/02** (2006.01)

**C25B 1/10** (2006.01)

**C25B 1/46** (2006.01)

**C25B 9/06** (2006.01)

**C25B 11/04** (2006.01)

**H01M 8/0204** (2006.01)

**H01M 8/026** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.06.2013 PCT/EP2013/062938**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.12.2013 WO13190066**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.06.2013 E 13729781 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.06.2019 EP 2865038**

54 Título: **Electrodo bipolar y método para producir el mismo**

30 Prioridad:

**20.06.2012 EP 12172835**

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

**21.02.2020**

73 Titular/es:

**SOLVAY SA (100.0%)  
Rue de Ransbeek, 310  
1120 Bruxelles, BE**

72 Inventor/es:

**VANDENBORRE, HUGO JAN BAPTIST;  
DUBOIS, ERIC y  
ZANDONA, NICOLA**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 743 914 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**

Electrodo bipolar y método para producir el mismo

**Referencia cruzada a solicitudes relacionadas**

Esta solicitud reivindica prioridad a la solicitud europea No. 12172835.6 archivada el 20 de junio del 2012.

5 La presente invención se relaciona con el campo de ensamblajes de membranas de electrodos (MEA) para células de electrolisis, y en particular con el campo de electrodos bipolares en tales ensamblajes.

Los electrodos bipolares para uso en células de electrolisis son bien conocidos en la técnica.

10 En el diseño de electrodos bipolares para usar en una unidad de electrolisis, uno debe compensar los requisitos competitivos de maximizar el área activa que está disponible para llevar a cabo la electrolisis real, y evitar la trampa de gas producida por el proceso de electrolisis, que podría inhibir de manera local la reacción y eventualmente llevar el proceso de electrolisis a una parada.

Hasta la fecha, no se ha descrito una solución satisfactoria para la compensación anterior.

15 Por lo tanto es un objeto de la presente invención proporcionar un electrodo bipolar que proporcione una compensación adecuada entre proporcionar un área activa suficiente para el proceso de electrolisis y evitar la trampa del gas producido, y un método para producir el mismo.

Este objeto es alcanzado mediante un electrodo bipolar para usar en una unidad de electrolisis, según la reivindicación 1.

20 La unidad de electrolisis para la cual el electrodo bipolar de la invención está destinado, cuando se usa, tiene una dirección de flujo. En vista del uso pretendido del electrodo bipolar, el electrodo tiene un lado de suministro y un lado de salida, en particular marcado por la presencia de una abertura de suministro y una abertura de salida como se describirá más en detalle a continuación. Cuando se hace referencia a una dirección de flujo, se pretende indicar la dirección general en la cual el gas producido fluirá cuando el electrodo esté en uso en una unidad de electrolisis. En consecuencia, la dirección del flujo será la dirección desde el lado del suministro hacia el lado de salida.

25 En el contexto de los electrodos según la presente invención, "patrones correspondientes" son patrones que causan que las respectivas protuberancias del primer lado de un electrodo y el segundo lado de un electrodo idéntico emplazado para encontrarse, esto es en patrones particulares que son cada uno la imagen especular del otro.

30 Es una ventaja del electrodo bipolar según la invención que un alto rendimiento se puede lograr mientras que el gas de hidrógeno producido conserva la movilidad adecuada sin la necesidad de la convección forzada. Así, la necesidad de partes móviles (por ejemplo, bombas para generar convección forzada) se evita, y una unidad de electrolisis eficiente de bajo mantenimiento puede ser lograda.

Es una ventaja del uso de protuberancias poligonales con un lado superior transformado de manera homotética que el estrés del material causado por la fabricación es distribuido en una forma homogénea, que evita la creación de puntos de debilidad.

35 Es una ventaja del uso de formas poligonales convexas que las protuberancias no presentan ninguna "esquina muerta" que podría constituir obstáculos para un flujo adecuado de los fluidos en la reacción.

Según la invención, la forma poligonal tiene al menos un lado que está orientado en una dirección sustancialmente normal (idealmente, normal) a la dirección destinada del flujo, y la longitud total de al menos un lado no excede el 35% del perímetro de la forma poligonal.

40 Una dirección es considerada "sustancialmente normal" si está dentro de un margen angular pequeño alrededor de la dirección normal estricta. El margen angular pequeño es preferiblemente de no más de 10° a cada lado de una dirección normal estricta, más preferiblemente no más de 5° a cada lado, y más preferiblemente no más de 1° a cada lado.

45 De manera adicional o alternativa, la forma poligonal puede orientarse de tal forma que un vector que conecta el centroide de la forma poligonal con una esquina de la última que tiene el ángulo interno más pequeño tiene una dirección que es sustancialmente paralela (idealmente, paralela) a la dirección del flujo.

Una dirección es considerada "sustancialmente paralela" si está dentro de un margen angular pequeño alrededor de la dirección paralela estricta. El margen angular pequeño es preferiblemente de no más de 10° a cada lado de una dirección paralela estricta, más preferiblemente no más de 5° a cada lado, y más preferiblemente no más de 1° a cada lado.

Estas combinaciones particulares de forma y orientación minimizan la ocurrencia de crestas de las protuberancias que podrían ser sustancialmente transversales a la dirección del flujo, lo que de otra forma podría ser propenso a recoger burbujas de gas e impedir su flujo natural.

5 En una realización del electrodo bipolar según la presente invención, la relación del área del lado superior plano de las protuberancias al área de sus respectivas bases geométricas supera 1/4.

Esta relación ha dado buenos resultados en experimentos. Reducir la relación a un número más bajo se espera que reduzca la eficiencia de los electrodos, ya que la superficie activa total que participa en la electrolisis se vuelve demasiado pequeña.

10 En una realización del electrodo bipolar según la presente invención, el patrón de protuberancias se repite en una escala más pequeña en los lados superiores de las protuberancias. Por ejemplo, si las protuberancias son con forma de diamante, sus superficies superiores pueden además estar provistas con un patrón de múltiples protuberancias con forma de diamante más pequeñas.

Esta realización mejora la distribución de agua entre los diferentes electrodos de un reactor, lo que asegura una presencia adecuada de reactante para mantener la reacción de electrolisis en curso.

15 En una realización del electrodo bipolar según la presente invención, el patrón de protuberancias es tal que dos conjuntos de canales rectos son formados, donde los canales dentro de cada conjunto respectivo tienen un eje en una dirección común, la dirección común que tiene su componente principal en la dirección destinada del flujo. En otras palabras, si los vectores que representan la dirección de los ejes de los canales son descompuestos en una componente paralela de la dirección destinada del flujo y una componente perpendicular a ella, la componente anterior es mayor que la posterior.

Es una ventaja de esta realización que las burbujas de gas producidas tienen una salida conveniente del reactor, sin crear "zonas muertas" en las áreas en las cuales la reacción debería continuar teniendo lugar (esto es, las superficies superiores de las protuberancias).

25 En una realización particular, el patrón de protuberancias es tal que el ancho promedio de los canales dentro de cada conjunto respectivo aumenta junto con la dirección común. En otras palabras, los canales definidos por las protuberancias ensanchadas desde el extremo más próximo al lado de suministro al extremo más próximo al lado de salida.

Es una ventaja de esta realización que las burbujas de tamaño en aumento, notablemente como resultado de la fusión de burbujas más pequeñas, tienen un camino de salida apropiado.

30 En una realización del electrodo bipolar según la presente invención, el cuerpo principal plano está hecho de metal.

Con el propósito del electrodo bipolar según la invención, los metales proporcionan una buena compensación entre la habilidad de moldeado y la estabilidad de forma. Metales preferidos incluyen acero y titanio.

35 Según un aspecto de la presente invención, se proporciona una unidad de electrolisis que comprende una pluralidad de electrodos bipolares como se describieron anteriormente y membranas de intercambio de iones asociadas emplazadas entre los electrodos bipolares, los electrodos que están conectados eléctricamente en serie y dispuestos en una pila.

Gracias a las propiedades de flujo eficiente de los electrodos bipolares, un ensamblaje de membrana de electrodo puede ser construida sin la necesidad de medios de convección forzados. Así, los electrodos pueden combinarse en una pila muy densa para producir una unidad de electrolisis compacta y de confianza.

40 Según un aspecto de la presente invención, se proporciona una unidad de almacenamiento y suministro de energía que comprende la unidad de electrolisis mencionada anteriormente, una célula de combustible, una interfaz de corriente eléctrica, y un tanque de almacenamiento de hidrógeno; dicha unidad de electrolisis que está acoplada a dicha interfaz de corriente eléctrica para recibir corriente y a dicho tanque de almacenamiento de hidrógeno para almacenar el hidrógeno producido; y dicha célula de combustible que está acoplada a dicha interfaz de corriente eléctrica para suministrarle corriente y a dicho tanque de almacenamiento de hidrógeno para recibir el hidrógeno almacenado.

Las ventajas del electrodo bipolar según la invención pueden ser aplicadas a una unidad de electrolisis y/o a una célula de combustible para producir una unidad de almacenamiento y suministro de energía compacta y de confianza, que puede ser usada en vez de baterías en aplicaciones de almacenamiento de energía.

50 Según un aspecto de la presente invención, se proporciona el uso de la unidad de electrolisis mencionada anteriormente para la producción de hidrógeno.

Según un aspecto de la presente invención, se proporciona un método para producir el electrodo bipolar como se describe anteriormente, el método que comprende: realzar una primera hoja de metal y una segunda hoja de metal con los patrones correspondientes de protuberancias; y unir la primera hoja de metal y la segunda hoja de metal juntas con las protuberancias de cara hacia fuera para producir el cuerpo principal plano.

5 Es una ventaja de este método que el cuerpo principal plano puede ser producido con patrones de protuberancias apropiados en ambos lados, mediante el uso de solo hojas de metal de grosor sustancialmente uniforme.

En una realización del método según la presente invención, la primera hoja de metal y la segunda hoja de metal son realizadas antes de cortar la primera hoja de metal y la segunda hoja de metal desde una hoja madre común.

10 Es una ventaja de esta realización que el realce para ambos lados del cuerpo principal plano puede ocurrir en un único paso.

En una realización, el método según la presente invención además comprende aplicar un revestimiento de la superficie a la primera hoja de metal y a la segunda hoja de metal.

En una realización del método según la presente invención, el realce es llevado a cabo mediante hidro-formación.

15 Es una ventaja de esta realización que las protuberancias, incluso múltiples niveles de protuberancias, pueden ser producidas con una muy alta precisión sin dañar la superficie del material. Es otra ventaja que la hidro-formación es un proceso de paso único.

20 El documento de patente de Estados Unidos 1.328.981 para Edward O. Benjamin describe un electrodo para usar en una célula electrolítica, que comprende una placa de material conductor que tiene su superficie formada o provista con proyecciones superiores planas alineadas verticalmente para formar canales en sentido ascendente entre ellos. Este electrodo se pretende usar en disposiciones monopolares, y sus protuberancias no tienen las características de las de los electrodos según la presente invención.

El documento EP 0 625 591 proporciona un electrolizador que tiene una cámara que separa gas líquido proporcionada en la parte superior de una unidad de electrolizador formada por placas planas de presión.

25 La publicación de solicitud de patente internacional WO 91/00379 A1 en el nombre de Heraeus Elektroden describe una célula electrolítica para procesos electrolíticos en los cuales el gas es evolucionado, que comprende al menos un electrodo con elementos de electrodos paralelos. Los elementos de electrodos tienen un grosor hasta tres veces el diámetro promedio de una burbuja liberada y el hueco capilar entre los elementos de electrodos es tal que las burbujas de gas se mueven a través de los electrodos esencialmente en la dirección del campo eléctrico entre las superficies de reacción del ánodo y del cátodo, o la dirección opuesta. Este electrodo pretende usarse en  
30 disposiciones monopolares, y sus protuberancias no tienen las características de las de los electrodos según la presente invención.

35 La publicación de solicitud de patente internacional WO 2009/043600 A1 en el nombre de Reinz Dichtung GmbH describe un sistema electroquímico así como una placa bipolar para usar en un sistema electroquímico. El sistema electroquímico consiste en un capeado de varias células, que en cada caso están separadas entre ellas por placas bipolares, donde las placas bipolares comprenden aberturas para el enfriamiento o para la eliminación y suministro de medios de operación a las células, y el capeado puede ser establecido bajo estrés de compresión mecánico, donde al menos una célula comprende una región activa electromecánica que está rodeada de una pared límite de la placa bipolar, y una estructura de canal de la placa bipolar es proporcionada dentro de la región activa electroquímica, para la distribución de medios uniformes, donde al menos una capa de difusión de gas es proporcionada para la micro distribución de los medios. Los elementos de limitación son proporcionados en la región límite entre la estructura del canal así como la pared límite, para evitar que el fluido derive entre la estructura del canal y la pared límite, donde la capa de difusión de gas cubre la estructura del canal y/o al menos partes de los elementos de limitación. La placa bipolar descrita es adecuada para usar en células de combustible, pero no en células de electrolisis. Sus protuberancias no tienen las características de los electrodos según la presente  
45 invención.

Algunas realizaciones de aparatos y/o métodos según realizaciones de la presente invención son ahora descritas, a modo solo de ejemplo, y con referencia a los dibujos que acompañan.

#### Breve descripción de los dibujos

50 La Figura 1 ilustra de manera esquemática un electrodo bipolar ejemplar según una realización de la presente invención;

La Figura 2 ilustra de manera esquemática formas alternativas para las protuberancias usadas en los electrodos según las realizaciones de la presente invención;

La Figura 3 ilustra de manera esquemática más formas alternativas para las protuberancias usadas en los electrodos según las realizaciones de la presente invención, que tienen un segundo nivel de canales;

La Figura 4 ilustra de manera esquemática la transformación geométrica que proyecta la huella de una protuberancia en su cara superior;

5 La Figura 5 ilustra de manera esquemática una unidad de almacenamiento y suministro de energía según una realización de la presente invención;

La Figura 6 proporciona un diagrama de flujo de un método para producir un electrodo bipolar según una realización de la presente invención; y

10 La Figura 7 es una reproducción fotográfica anotada de un electrodo bipolar ejemplar según una realización de la presente invención.

La siguiente descripción de realizaciones de la presente invención está dirigida a la aplicación de electrolisis de agua. Esto pretende clarificar y no limitar la invención. Una persona experta entenderá que la invención también aplica a la electrolisis de otras sustancias aparte del agua, por ejemplo a electrolisis de cloro alcalino. Además, una persona experta entenderá que los electrodos y disposiciones según la presente invención pueden en principio también ser usados para un proceso inverso, esto es para el proceso de convertir hidrógeno y oxígeno en agua y electricidad, como ocurre en una célula de combustible.

Una generación descentralizada de electricidad de fuentes de energía renovable y en particular intermitentes se vuelve más prevalente, inter alia como resultado del número en aumento de paneles fotovoltaicos instalados en los hogares, y como la vuelta del superávit de energía a la red no es siempre deseable o incluso posible, la necesidad de un almacenamiento eficiente del superávit de energía se vuelve más apremiante. Las baterías han sido usadas para este propósito, pero éstas tienen una eficiencia limitada. Unidades de células de combustible y electrolisis combinadas son una alternativa prometedora, que presenta una mayor eficiencia de conversión. En estas unidades combinadas, cualquier superávit de electricidad disponible es usado para producir hidrógeno gaseoso mediante la electrolisis, y el hidrógeno almacenado es usado para alimentar la célula de combustible (en combinación con oxígeno almacenado o atmosférico) para producir electricidad cuando la demanda exceda la producción inmediata mediante la fuente renovable.

La célula de electrolisis y/o la célula de combustible de la unidad mencionada anteriormente es ventajosamente construida como un ensamblaje de membrana de electrodo (MEA) apilado, en el cual los electrodos están eléctricamente conectados en serie. Cada uno de los electrodos de tal pila está emplazado en diferentes potenciales eléctricos, en una secuencia que aumenta o disminuye monótonamente, tal que cada electrodo actúa como un cátodo hacia el electrolito en un lado, y como un ánodo hacia el electrolito en el otro lado.

La Figura 1 ilustra de manera esquemática un primer electrodo 100 bipolar y un segundo electrodo 100' bipolar según una realización ejemplar de la presente invención. El lado superior del primer electrodo 100 y el lado inferior del segundo electrodo 100' son visibles en la vista seleccionada. La posición de una membrana 160 de intercambio de iones entre los electrodos es también ilustrada. Solo el primer electrodo 100 será descrito en detalle, el segundo es sustancialmente idéntico. Ciertas características del electrodo han sido representadas de una forma simplificada.

El electrodo 100 comprende un cuerpo principal plano con una abertura 110 de suministro, y una zona 120 activa que comprende una pluralidad de protuberancias 125, y una abertura 130 de salida. Un camino de flujo es así proporcionado en un lado de la membrana 160 desde la abertura 110 de suministro a través de la zona 120 activa y hasta la abertura 130 de salida. Una abertura 115 de suministro adicional y una abertura 135 de salida adicional son proporcionadas para proporcionar un camino de flujo en el otro lado de la membrana de intercambio de iones, a través de la zona activa en el otro lado del electrodo 100. Gracias a barreras 140 colocadas de manera juiciosa, el camino de flujo entre el par de aberturas 110/130 perteneciente al primer lado del primer electrodo 100 no está en comunicación fluida con el camino de flujo entre el par de aberturas 115/135 pertenecientes al segundo lado del primer electrodo 100 o el camino de flujo correspondiente en el segundo lado del segundo electrodo 100'.

El cuerpo principal plano, y en particular la zona 120 activa, son preferiblemente sustancialmente poligonales, más preferiblemente sustancialmente rectangulares; pueden ser polígonos perfectos o rectángulos f perfectos. En uso, el electrodo 100 bipolar está normalmente dispuesto verticalmente, tal que la dirección de flujo, impuesta por la dirección de subida de las burbujas de gas en un líquido debido a la gravedad, es sustancialmente paralela con el extremo largo del rectángulo. Para asegurar una fusión adecuada de las burbujas de gas producidas, el camino de flujo real entre la abertura 110 de suministro y la abertura 130 de salida debería ser tan largo como sea posible, así preferiblemente que comprenda un camino diagonal sobre la zona activa.

Las protuberancias 125 tiene una parte superior sustancialmente plana (idealmente, plana), el plano superior de cada protuberancia que es paralela con el plano del cuerpo principal del electrodo 100. Por "sustancialmente plana" se entiende generalmente que la superficie puede desviarse de una forma estrictamente plana debido a tolerancias de producción, o debido a la presencia de más protuberancias encima de la superficie de las protuberancias

principales. Las protuberancias 125 están presentes en ambos lados del cuerpo principal y en un patrón correspondiente, tal que el plano superior de una protuberancia en el lado superior del cuerpo principal de un electrodo estará siempre en proximidad del plano superior de una protuberancia en el lado inferior del cuerpo principal del siguiente electrodo arriba en la pila, de forma que se crea una zona activa adecuada para la electrolisis. Sin embargo, las protuberancias en cada lado del cuerpo principal plano no son necesariamente idénticas. En particular, su altura puede variar. En una realización ejemplar para usar en electrolisis, la profundidad del canal (altura de protuberancia) en el lado del aire/oxígeno (esto es, el lado que actúa como el ánodo) puede ser de 1,0 mm aproximadamente, y la profundidad del canal (altura de protuberancia) en el lado del hidrógeno (esto es, el lado que actúa como el cátodo) puede ser de 0,6 mm aproximadamente.

Las protuberancias 125 preferiblemente cubren entre el 20% y el 80% de la superficie de la zona 120 activa, más preferiblemente del 40% al 50%.

La dirección general desde 110 a 130 será referida como la "dirección del camino de flujo". La dirección correspondiente al eje izquierda-derecha en la Figura 1 será referida como la "dirección de flujo" o la "dirección de longitud", independientemente de si el electrodo es alargado en esa dirección o no. La "dirección de flujo" se corresponde con la dirección vertical cuando el electrodo está emplazado en su posición de uso normal. La "dirección del camino de flujo" preferiblemente no se desvía mucho de la dirección de longitud. Una desviación entre 5° y 15° es preferida. Se han obtenido buenos resultados con una desviación de 9°.

La Figura 1 además muestra un número de depresiones 150. La forma de las depresiones 150 no es particularmente crítica; las depresiones 150 puede ser, inter alia, cuadrada, rectangular, circular o elíptica, con depresiones 150 circulares siendo preferidas. Las depresiones 150 están ubicadas de manera ventajosa en parte de la periferia del electrodo 100; cuando el cuerpo principal plano del electrodo 100 tiene o tiene sustancialmente la forma de un polígono, en particular de un rectángulo, las depresiones 150 son preferiblemente ubicadas a lo largo de uno lado del polígono, más preferiblemente a lo largo de todo el lado del polígono. Además, los centros de masa de las depresiones 150 son deseables sustancialmente alineados, cuando no perfectamente alineados, entre sí. Las depresiones 150 pueden ser usadas en cooperación con las depresiones correspondientes de un electrodo 100' adyacente para asegurar de manera mecánica dos ensamblajes de membranas de electrodos lado a lado, por ejemplo una unidad de electrolisis y una célula de combustible. Las depresiones 150 pueden también ser útiles para asegurar transferencia térmica desde un lado del electrodo 100 al otro lado del mismo; así, en una realización preferida, las depresiones 150 pueden proporcionar un dispositivo que exhibe un comportamiento sustancialmente isotérmico (idealmente, un comportamiento isotérmico). Los electrodos 100 y 100' adyacentes son ventajosamente conectados entre sí en parte de su periferia (cuya parte contiene las depresiones 150) a través de una capa compuesta de una composición de polímero conductiva térmicamente; la composición de polímero conductiva térmicamente comprende deseablemente un polímero y partículas inorgánicas conductivas térmicamente. El polímero puede ser o incluir un poli-oximetileno o un policondensado aromático. El policondensado aromático puede ser un polímero obtenido mediante una reacción de policondensación, del cual más del 50 % peso de las unidades de repetición comprende al menos una mitad aromática. Policondensados aromáticos adecuados según la presente invención son poli(aril éter sulfona)s [tal como bisfenol A polisulfonas (PSU), polietersulfonas (PES) y polienilsulfonas (PPSU)], poliamidas semi aromáticas [tal como polifaltamidas, MXD6 y MXD10], poliésteres totalmente aromáticos (LCP), sulfuro de polifenileno (PPS), poliamidaimidas, poliimididas, poliesterimididas y sus mezclas. En una realización particular, el polímero incluye un policondensado alifático además del policondensado aromático, deseablemente en una relación de peso de policondensado alifático: policondensado aromático de como mucho 0,20 (por ejemplo, el polímero puede ser una mezcla de MXD6 con al menos una poliamida alifática tal como nylon 6 o nylon 66). El peso del polímero, en base al peso total de la composición del polímero, está en un intervalo normalmente desde 10 a 90 % peso, preferiblemente desde 30 a 70 % peso. Partículas inorgánicas conductivas térmicas preferidas son partículas cerámicas, en particular óxidos, nitruros, carburos y siliciuros de un elemento elegido entre Al, B, Be, Ce y Zr, y mezclas de ellos; muy preferiblemente las partículas inorgánicas conductivas térmicas son partículas de óxido de aluminio, partículas de óxido de boro, partículas de nitruro de boro y mezclas de los mismos; el peso de las partículas inorgánicas, en base al peso total de la composición el polímero, está en un intervalo normalmente desde 10 a 90 % peso, preferiblemente desde 30 a 70 % peso; puede ser de unos 50 % peso. La composición del polímero puede además comprender aditivos, tales como estabilizadores de calor, estabilizadores ligeros y modificadores de flujos; cuando están presentes, su cantidad no excede generalmente del 25 % peso y es a menudo como mucho 5 % peso; en ciertas realizaciones, la composición del polímero consiste esencialmente del polímero y las partículas inorgánicas conductivas térmicas. El polímero forma generalmente la matriz de la composición del polímero, mientras que las partículas inorgánicas conductivas térmicas están generalmente dispersas en dicha matriz. La composición del polímero puede ser además caracterizada por su conductividad térmica; esta, cuando se mide a temperatura ambiente (23°C) es ventajosamente de al menos 2,0 W/(m.K), preferiblemente al menos 4,0 W/(m.K), más preferiblemente al menos 6,0 W/(m.K) y aun más preferiblemente al menos 7,0 K/(m.K). Normalmente es como mucho de 20,0 W/(m.K), y muy a menudo de como mucho 10,0 W/(m.K). Realizaciones de la invención se basan inter alia en la visión de que una elección juiciosa de la forma de las protuberancias 125 mejora la formación de las burbujas de gas que progresivamente se agregan para facilitar su transporte a través del electrolito líquido en la dirección de flujo.

Realizaciones de la invención se basan inter alia en la visión de que un diseño juicioso del patrón de las protuberancias permitirá la creación de canales virtuales entre las protuberancias, cuya función primaria es suministrar agua a los sitios de reacción, y cuya función secundaria es asegurar que las burbujas de gas pueden ser eliminadas de manera eficiente del electrodo. Tal canal virtual puede ser definido por los lados paralelos de las protuberancias poligonales, que son preferiblemente dispuestas a lo largo de líneas rectas. Estos canales virtuales son indicados en la Figura 1 como flechas discontinuas. Los canales preferiblemente tienen un ancho de 1 mm a 5 mm, más preferiblemente entre 2 y 4 mm, y más preferiblemente 2,6 mm, 3 mm, o entre ellos.

Se han obtenido buenos resultados con protuberancias poligonales, en particular protuberancias con forma de paralelogramos, y más preferiblemente protuberancias con forma de diamante. Particularmente, las protuberancias con forma de diamante con una diagonal, preferiblemente la diagonal larga, orientada en la dirección de longitud, como se ilustra en la Figura 1, ha dado buenos resultados, dado que el ángulo agudo orientado de manera simétrica del diamante es adecuado para dividir el flujo entrante de fluidos sobre la superficie del electrodo. El ángulo que apunta hacia el flujo entrante es preferiblemente agudo, más preferiblemente en el intervalo de 40° a 80°, y más preferiblemente sobre 60°, que evita crear crestas en las cuales las burbujas de gas entrantes podrían pegarse. A la inversa, el ángulo diametral, que apunta hacia las burbujas de gas que salen, también es preferiblemente agudo, más preferiblemente en el intervalo de 40° a 80°, y más preferiblemente sobre 60°, para permitir que las burbujas que viajan a lo largo del borde hacia el ángulo superen la barrera de tensión superficial y se liberen de la protuberancia. Las protuberancias preferiblemente tienen un tamaño del orden de 10 mm.

Las protuberancias en la forma de paralelogramos se corresponden con un patrón que consiste en dos conjuntos de canales paralelos. Cuando los canales están espaciados a distancias regulares, la misma distancia que se usa para cada conjunto, la protuberancia correspondiente será de forma de diamante, como se ilustra en la Figura 2a. Las protuberancias con forma de diamante son preferiblemente orientadas con su diagonal más larga a lo largo de la dirección de flujo. Preferiblemente tienen una longitud (diagonal larga) entre 10 mm y 20 mm, más preferiblemente entre 14 mm y 17 mm, por ejemplo aproximadamente 15,8 mm.

Más generalmente, las protuberancias pueden tener la forma de polígonos convexos. Si un polígono está dispuesto de tal forma que uno o más lados del polígono son normales a la dirección de flujo, su longitud combinada no debería exceder del 35% del perímetro total del polígono. El polígono es preferiblemente orientado de tal forma que la esquina con el ángulo interno más pequeño esté orientada con respecto al centroide del polígono en una dirección sustancialmente paralela a la dirección de flujo.

Para beneficiarse de los efectos mencionados anteriormente, es preferible que una parte sustancial de las protuberancias proporcionadas en el cuerpo principal plano, por ejemplo al menos la mitad de ellas, tengan la forma de polígonos convexos. Más preferiblemente, que al menos el 60% de las protuberancias tengan la forma de polígonos convexos. Más preferiblemente, al menos el 75% de las protuberancias que tengan la forma de polígonos convexos. Para evitar la trampa de burbujas de gas en los extremos de la protuberancia en la mayor medida posible, es recomendado solo usar protuberancias con forma de polígonos convexos.

En una disposición particularmente ventajosa, el tamaño y/o disposición de las protuberancias es tal que el canal que se define entre ellas tiene un ancho que aumenta gradualmente en la dirección del flujo, para alojar burbujas de gas de tamaño en aumento (debido a la agregación del número creciente de burbujas de gas más pequeñas). Las protuberancias correspondientes tienen una forma de una cometa como se ilustra en la Figura 2b, más que un paralelogramo perfecto o diamante, porque la esquina del lado de salida (la esquina que apunta a la abertura de salida, esto es que apunta sustancialmente en la dirección del flujo) será menos aguda que la esquina que apunta al flujo entrante.

La superficie superior sustancialmente plana de las protuberancias puede de hecho soportar otro nivel de protuberancias y canales, lo que permite que las zonas activas de los electrodos descarguen de manera más eficiente los bolsillos de gas formados en burbujas de gas más grandes que viajan a través de canales más amplios presentes entre el primer nivel de protuberancias. Así, cada protuberancia puede por ejemplo tener cuatro protuberancias de segundo nivel. La aplicación de este principio es ilustrada de manera esquemática en la Figura 3a para protuberancias con forma de diamante, y la figura 3b con protuberancias con forma de cometa. En el primer caso, las protuberancias de segundo nivel son preferiblemente también diamantes. El proceso se puede repetir para producir un tercer nivel de protuberancias, como se ilustra en la Figura 3c para el caso de protuberancias con forma de diamante, e incluso protuberancias de mayor orden.

Se comprenderá que la cara superior de las protuberancias no necesariamente tiene exactamente la misma forma que su huella en el plano del cuerpo principal del electrodo. Si estas formas son idénticas, con una relación 1/1 del área del lado superior de la protuberancia al área de su base geométrica, la protuberancia tendría una forma de prisma que sobresale sobre el plano del cuerpo principal. Aunque es deseable aproximar esta relación para optimizar el área activa total del electrodo, una relación 1/1 no es óptima desde un punto de vista mecánico, porque pueden aparecer roturas en la superficie del material en el ángulo correcto o agudo, y los lados verticales del prisma sufrirían un adelgazamiento sustancial. Así, la forma del plano superior de las protuberancias es preferiblemente reducido en tamaño relativo a su huella, más particularmente preferiblemente por medio de una transformación

homotética. Tal transformación homotética es mostrada de manera esquemática en la Figura 4 para protuberancias 125 con forma de diamante, el resultado que es una forma que tiene la cubierta y cara 129 superior de una pirámide cortada. El ángulo entre el cuerpo principal del electrodo y cada uno de los lados de las protuberancias es preferiblemente obtuso (un ángulo como tal es indicado en la Figura 4 con el símbolo a) para minimizar el riesgo de daño (rotura) en la superficie. Esto geoméricamente se corresponde con la restricción de que la proyección ortogonal de la cara superior en el cuerpo principal del electrodo está completamente inscrita en la huella de la protuberancia 125. Preferiblemente, la relación del área del lado superior de la protuberancia al área de su base geométrica es al menos 1/4 más preferiblemente más de 1/2 y aún más preferiblemente más de 2/3.

Las protuberancias 125 preferiblemente tienen un eje de simetría paralelo a la dirección de longitud. Alternativamente, pueden tener un eje de simetría paralelo a la dirección del camino de flujo.

El electrodo bipolar de la invención puede ser muy compacto. El área activa del electrodo puede ser de 100 cm<sup>2</sup> o menos, preferiblemente incluso 50 cm<sup>2</sup> o menos. El electrodo bipolar de la invención puede ser usado en una unidad de electrolisis o en una célula de combustible, normalmente construida como un ensamblaje de membrana de electrodo (MEA).

Con referencia a la Figura 5, una unidad de electrolisis y/o una célula de combustible construidas con electrodos 100 bipolares según la invención pueden ser usadas en una unidad 500 de almacenaje y suministro de energía que comprende una unidad 510 de electrolisis, una célula 520 de combustible, una interfaz 540 a/b de corriente eléctrica, y un tanque 530 de almacenamiento de hidrógeno. La unidad 510 de electrolisis incluye un conjunto de electrodos 100 bipolares como se describió anteriormente, conectados en serie en un ensamblaje de membrana de electrodo.

Los electrodos 100 bipolares son preferiblemente dispuestos de manera sustancialmente vertical, para facilitar la migración natural de las burbujas de gas formadas como resultado de la diferencia en densidad entre el gas y el agua circundante. La unidad 510 de electrolisis está acoplada a la interfaz 540a de corriente eléctrica y el tanque 530 de almacenamiento de hidrógeno, para retirar la corriente necesaria para el proceso de electrolisis y para almacenar el hidrógeno producido. La célula 520 de combustible está acoplada a la interfaz 540b de corriente eléctrica y el tanque 530 de almacenamiento de hidrógeno para retirar el hidrógeno almacenado como combustible y para suministrar la corriente eléctrica producida a la red o a un consumidor de energía eléctrica. En la operación normal, como mucho una entre la unidad 510 de electrolisis y la célula 520 de combustible está activa en cualquier momento dado.

Para mayor claridad, la interfaz de corriente eléctrica ha sido ilustrada como una interfaz 540a de entrada y una interfaz 540b de salida separadas. En la práctica, esto puede ser una interfaz común. Se comprenderá que cualquier electricidad producida puede ser consumida o devuelta de manera simultánea a la red según las necesidades y preferencias del usuario.

Para reducir los requisitos de espacio de la unidad 500 de almacenamiento y suministro de energía, el hidrógeno producido es preferiblemente almacenado bajo presión. Una o más bombas, ilustradas de manera esquemática como una unidad 535 de bombeo, pueden ser usadas para presurizar el gas de hidrógeno para almacenarlo hasta una presión preferiblemente en exceso de 10 MPa, más preferiblemente en exceso de 50 MPa, y más preferiblemente a o cerca de 70 MPa.

El oxígeno producido por la unidad 510 de electrolisis puede ser descargado en la atmósfera, o almacenado en un contenedor adecuado. Igualmente, el oxígeno requerido por la célula 520 de combustible puede ser retirado de la atmósfera (que normalmente contiene alrededor de 21% de oxígeno molecular por volumen) o desde un contenedor adecuado (que preferiblemente contiene un gas con un contenido en oxígeno más alto que el aire atmosférico).

El agua requerida por la unidad 510 de electrolisis puede ser obtenida desde un suministro de agua o un contenedor adecuado. De manera alternativa o adicional, el agua atmosférica puede ser usada si está disponible, por ejemplo a partir del escape de un aparato de aire acondicionado. El agua producida por la célula 520 de combustible puede ser descargada como vapor en la atmósfera, donde esto es aceptable desde un punto de vista ambiental, o almacenada para usos futuros. La unidad 510 de electrolisis puede operar con agua a presión atmosférica. En una realización, la unidad 510 de electrolisis opera con agua a presiones de hasta 10 bar. En otra realización, la unidad 510 de electrolisis opera con agua a presiones de hasta 50 bar.

Cada etapa de la unidad de electrolisis puede corresponderse con una etapa de la célula de combustible, donde hojas de metal unidas o continuas son usadas como un electrodo de la unidad de electrolisis en la zona de electrolisis y como un electrodo de la célula de combustible en la célula de combustible. Una membrana continua, tal como la que se describe en la solicitud de patente EP 2 424 105 A en el nombre de la presente solicitud, puede extenderse sobre ambas zonas. Esto permite una realización extremadamente compacta de la unidad 500 de almacenamiento y suministro de energía mencionada anteriormente. Se comprenderá que en tal ensamblaje, se deben tener las medidas necesarias para evitar comunicación de fluidos entre la zona de electrolisis y la zona de célula de combustible.

Un proceso para producir un electrodo bipolar según la presente invención será descrito ahora con referencia a la Figura 6. Aunque los pasos del método están ilustrados en la Figura 6 en un orden particular, este orden debe ser considerado ejemplar y no limitante.

5 El cuerpo principal del electrodo puede ventajosamente ser producido a partir de dos piezas de hoja de metal, que se corresponden con el lado superior y el lado inferior del cuerpo principal plano. La ventaja de usar un par de hojas de metal es que las protuberancias del lado inferior y del lado superior pueden formarse de manera independiente en los pasos 610 y 620. En esta misma etapa, aberturas 110, 115, 130, 135 apropiadas y barreras 140 pueden también proporcionarse.

10 Se debe notar que estas dos hojas pueden, en esta etapa, estar contenidas en una única hoja madre o matriz, a partir de la cual serán cortadas en una etapa posterior, en los pasos 650 y 660. Esta forma de operar permite un realce simultáneo eficiente de ambas hojas, así como las hojas requeridas para electrodos adicionales.

Las dos hojas son entonces emplazadas una encima de la otra con las protuberancias de cara hacia fuera 670 y opcionalmente unidas por cualquier medio adecuado.

15 Las hojas son preferiblemente entre 100  $\mu\text{m}$  y 1000  $\mu\text{m}$  en grosor, más preferiblemente 100  $\mu\text{m}$  y 500  $\mu\text{m}$ , y más preferiblemente entre 100  $\mu\text{m}$  y 200  $\mu\text{m}$ . El metal es preferiblemente acero inoxidable, más preferiblemente aceros inoxidables de grado 316L. El acero inoxidable proporciona una buena compensación entre fuerza del material y maleabilidad. Otro material preferido es el titanio, que también se presta para otras técnicas de fabricación, tal como impresión en 3D. Varios revestimientos o tratamientos de superficie pueden ser aplicados al metal, por ejemplo en los pasos 630 y 640, para hacerlo más adecuado para el proceso destinado, electrolisis catalítica de manera notable de agua. El revestimiento o capa de superficie puede presentar una estructura porosa, que proporciona sitios de nucleación para la formación y fusión de burbujas de gas.

20 Las protuberancias en cada hoja, que se corresponden con hoyos si se ven desde el lado inverso de la hoja, pueden formarse mediante moldeo o estampado. Un modo particularmente ventajoso de formar las protuberancias es realzarlas mediante hidro-formación. Este es un tipo de formación por molde que usa un fluido hidráulico de alta presión, normalmente hasta 2000 bar, y en algunas realizaciones incluso hasta 2500 bar, para presionar el material de trabajo en un molde, sin derretir el material de trabajo.

25 La Figura 7 es una reproducción fotográfica anotada de un electrodo bipolar ejemplar según una realización de la presente invención. Es, en todos los aspectos relevantes, similar a la realización mostrada en la Figura 1, y ha sido proporcionada con señales de referencia correspondientes. La referencia se hace a la descripción de la Figura 1 para mayor detalle. Se ha dibujado con especial atención la superficie superior de las protuberancias 125 con forma de diamante, que a su vez proporcionan cuatro protuberancias con forma de diamante más pequeñas, según el principio ilustrado en la Figura 3a y explicado anteriormente.

30 Aunque ciertas características y ventajas de la invención han sido solo descritas anteriormente en conexión con realizaciones del electrodo o realizaciones del proceso de fabricación del electrodo, se debe reconocer que esto se ha hecho por razones solo de claridad, y que las características son de hecho intercambiables a menos que se exprese de otro modo.

35 La invención ha sido descrita anteriormente con referencia a un número limitado de realizaciones concretas. Estas realizaciones solo pretenden clarificar la invención, y no limitar su alcance, que debería ser determinado según las reivindicaciones anexas.

40 Mientas la invención como se describió anteriormente pertenece a electrodos según la reivindicación 1, así como a una unidad de electrolisis que comprende los mismos, una unidad de almacenamiento y suministro de energía correspondiente, y el uso de la misma, los inventores han encontrado también que unidades similares pueden ser usadas con otros electrodos bipolares aparte de aquellos según la reivindicación 1.

45 En consecuencia, un aspecto inventivo separado descrito en este documento consiste de una unidad de electrolisis que comprende una pluralidad de electrodos bipolares y membranas de intercambio de iones asociadas emplazadas entre dichos electrodos bipolares, dichos electrodos que están eléctricamente conectados en serie y dispuestos en una pila, donde dichos electrodos comprende un cuerpo principal plano que tiene un primer lado y un segundo lado, cada uno de dichos primer lado y segundo lado está provisto con un patrón correspondiente de protuberancias, donde cada una de dichas protuberancias tiene una base geométrica dentro del plano de dicho cuerpo principal plano y una lado superior plano, la proyección ortogonal de dicho lado superior en dicho cuerpo principal que está contenida en dicha base geométrica, y donde los lados (129) superiores de las protuberancias (129) respectivas de dicho primer lado y dicho segundo lado caen en dos planos paralelos a dicho cuerpo principal plano.

50 Gracias a las propiedades de flujo eficiente de los electrodos bipolares, un ensamblaje de membrana de electrodo puede ser construido sin la necesidad de medios de convección forzados. Así, los electrodos pueden combinarse en una pila muy densa para producir una unidad de electrolisis compacta y de confianza.

55

- Preferiblemente, en los electrodos bipolares, la relación del área del lado (129) superior plano de dichas protuberancias al área de sus respectivas bases geométricas, excede 1/4. Preferiblemente, en los electrodos bipolares, dicho patrón de protuberancias es repetido en una escala más pequeña en dicho lado superior de dichas protuberancias. Preferiblemente, en los electrodos bipolares dicho patrón de protuberancias es tal que dos conjuntos de canales rectos son formados, donde los canales dentro de cada conjunto respectivo tienen un eje en una dirección común, dicha dirección común que tiene su componente principal en la dirección destinada del flujo. Preferiblemente, en los electrodos bipolares, dicho patrón de protuberancias es tal que el ancho promedio de los canales dentro de cada conjunto respectivo aumenta a lo largo de dicha dirección común. Preferiblemente, en los electrodos bipolares, el cuerpo principal plano está hecho de metal.
- 5
- 10 Un aspecto inventivo separado más descrito en este documento consiste en una unidad de almacenamiento y suministro de energía que comprende la unidad de electrolisis mencionada anteriormente, una célula de combustible, una interfaz de corriente eléctrica, y un tanque de almacenamiento de hidrógeno; dicha unidad de electrolisis que está acoplada a dicha interfaz de corriente eléctrica para recibir corriente y a dicho tanque de almacenamiento de hidrógeno para almacenar el hidrógeno producido; y dicha célula de combustible que está
- 15 acoplada a dicha interfaz de corriente eléctrica para suministrarle corriente y a dicho tanque de almacenamiento de hidrógeno para recibir el hidrógeno almacenado.
- Las ventajas del electrodo bipolar según la invención pueden ser aplicadas a una unidad de electrolisis y/o una célula de combustible para producir una unidad de almacenamiento y suministro de energía eficiente, compacta y de confianza, que puede usada en vez de baterías en aplicaciones de almacenamiento de energía.
- 20 Un aspecto inventivo separado más descrito en este documento consiste en el uso de la unidad de electrolisis mencionada anteriormente para la producción de hidrógeno.

**REIVINDICACIONES**

1. Un electrodo (100) bipolar para usar en una unidad de electrolisis, dicho electrodo (100) bipolar que comprende un cuerpo principal plano que tiene un primer lado y un segundo lado, cada uno de dichos primer lado y segundo lado que están provistos con un patrón correspondiente de protuberancias (125), donde cada una de dichas protuberancias tiene una base geométrica dentro del plano de dicho cuerpo principal plano y un lado (129) superior sustancialmente plano, la proyección ortogonal de dicho lado superior en dicho cuerpo principal que está contenida en dicha base geométrica, donde los lados (129) superiores de las protuberancias (125) respectivas de dicho primer lado y dicho segundo lado caen en dos planos paralelos a dicho cuerpo principal plano, donde la base de al menos el 75% de las protuberancias (125) tiene una forma poligonal convexa y donde el lado (129) correspondiente tiene una forma resultante de una transformación homotética de dicha forma poligonal,
- y donde dicha forma poligonal tiene al menos un lado que está orientado en una dirección sustancialmente normal a la dirección pretendida de flujo, y donde la longitud total de dicho al menos un lado no excede el 35% del perímetro de dicha forma poligonal, y/o dicha forma poligonal está orientada de tal forma que un vector que conecta el centroide de dicha forma poligonal con una esquina de la última que tiene el ángulo interno más pequeño, tiene una dirección que es sustancialmente paralela a la dirección de flujo; y donde dicho patrón de protuberancias (125) es tal que dos conjuntos de canales rectos son formados, donde los canales dentro de cada conjunto respectivo tiene un eje en una dirección común, dicha dirección común que tiene su componente principal en la dirección destinada del flujo
- caracterizado por que
- dicho patrón de protuberancias es repetido en una escala más pequeña en dichos lados superiores de dichas protuberancias, y dicho patrón de protuberancias (125) es tal que un ancho promedio de los canales dentro de cada conjunto respectivo aumenta a lo largo de dicha dirección común desde el extremo más cercano al lado del suministro al extremo más cercano al lado de salida.
2. El electrodo (100) bipolar según la reivindicación 1, donde la relación del área del lado (129) superior plana de dichas protuberancias al área de sus respectivas bases geométricas, excede 1/4.
3. El electrodo (100) bipolar según la reivindicación 1 o reivindicación 2, donde la base de cada una de dichas protuberancias (125) tiene una forma poligonal convexa y donde el lado (129) superior correspondiente tiene una forma resultante de una transformación homotética de dicha forma poligonal.
4. El electrodo (100) bipolar según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el lado (129) superior es plano y donde dicha forma poligonal tiene al menos un lado que está orientado en una dirección normal a la dirección pretendida del flujo, y donde la longitud total de dicho al menos un lado no excede el 35% del perímetro de dicha forma poligonal.
5. El electrodo (100) bipolar según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde la base de al menos el 75% de dichas protuberancias (125) tiene forma de diamante y donde los lados (129) superiores correspondientes tienen una forma resultante de una transformación homotética de dichos diamantes.
6. El electrodo (100) bipolar según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el electrodo 100 tiene sustancialmente la forma de un polígono, contiene depresiones (150) ubicadas como parte de su periferia, a lo largo de un lado del polígono.
7. Una unidad (510) de electrolisis que comprende una pluralidad de electrodos (100) bipolares según cualquiera de las reivindicaciones precedentes y una membrana (160) de intercambio de iones asociada emplazada entre dichos electrodos (100) bipolares, dichos electrodos (100) que están eléctricamente conectados en serie y dispuestos en una pila.
8. Una unidad (500) de almacenamiento y suministro de energía que comprende la unidad (510) de electrolisis según la reivindicación 7, una célula (520) de combustible, una interfaz (540a, 540b) de corriente eléctrica, y un tanque (530) de almacenamiento de hidrógeno; dicha unidad (510) de electrolisis que está acoplado a dicha interfaz (540a) de corriente eléctrica para recibir corriente y a dicho tanque (530) de almacenamiento de hidrógeno para almacenar el hidrógeno producido; y dicha célula (520) de combustible que está acoplada a dicha interfaz (540b) de corriente eléctrica para suministrarle corriente y a dicho tanque de almacenamiento de hidrógeno (530) para recibir hidrógeno almacenado.
9. Uso de la unidad (510) de electrolisis de la reivindicación 7 para la producción de hidrógeno.
10. Un método para producir el electrodo (100) bipolar según cualquiera de las reivindicaciones 1-6, el método que comprende:
- realzar una primera hoja de metal y una segunda hoja de metal con dichos patrones correspondientes de protuberancias (125); y

- unir dicha primera hoja de metal y dicha segunda hoja de metal juntas con dichas protuberancias (125) de cara hacia fuera para producir dicho cuerpo principal plano.

11. El método según la reivindicación 10, donde dicha primera hoja de metal y dicha segunda hoja de metal son realizadas antes de cortar dicha primera hoja de metal y dicha segunda hoja de metal desde una hoja madre común.

5 12. El método según cualquiera de las reivindicaciones 10 o 11, donde dicho realce es llevado a cabo por hidroformación.

Figura 1

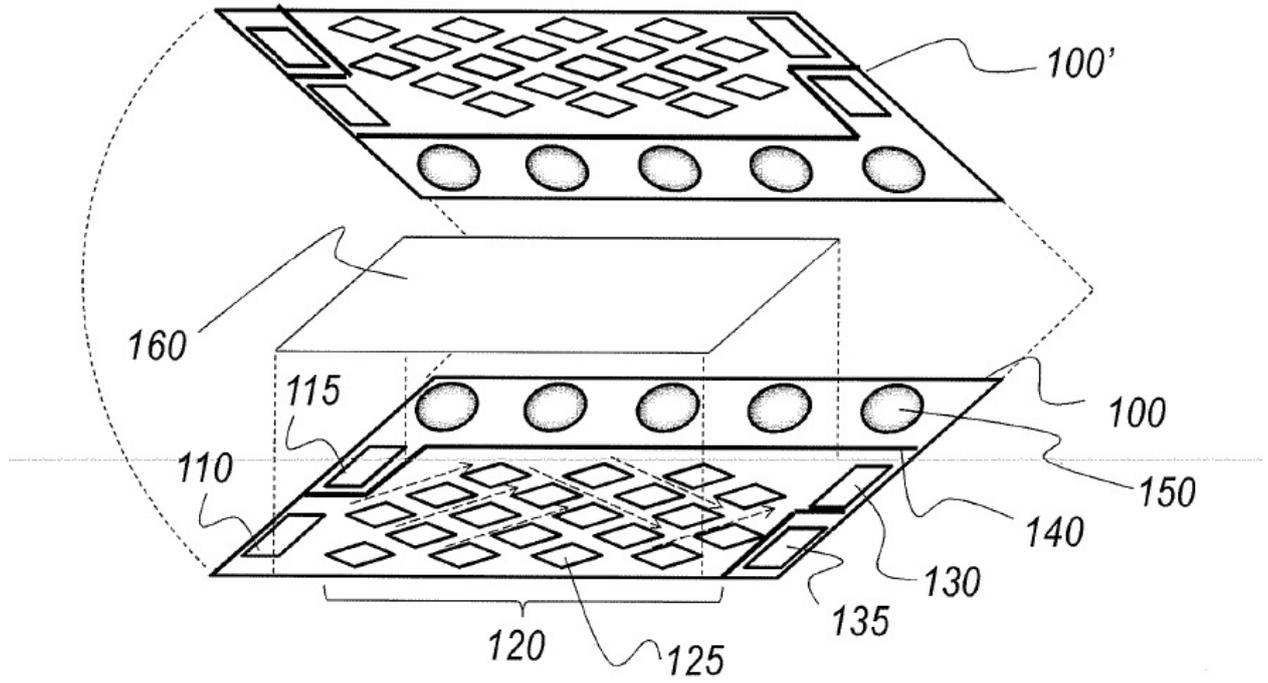


Figura 2a

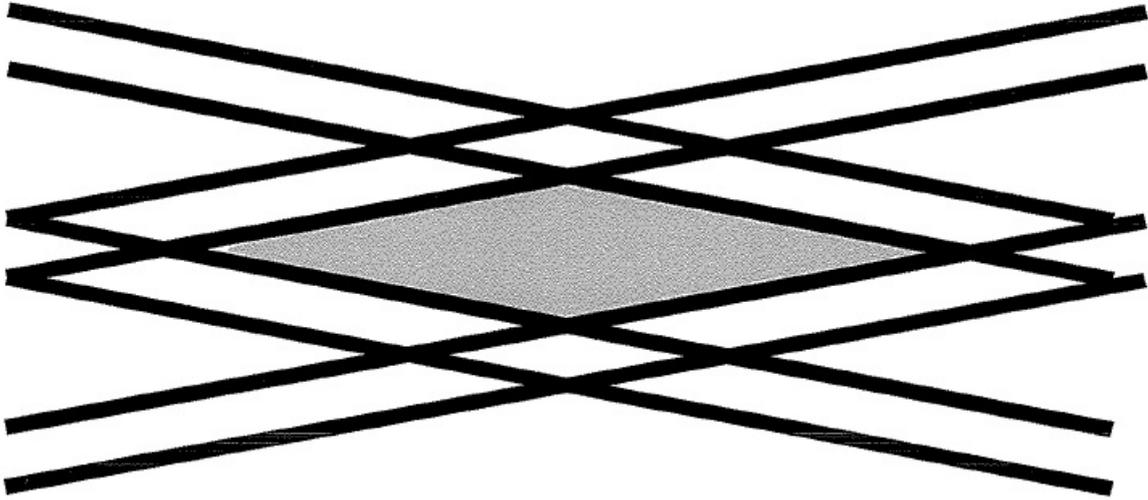


Figura 2b

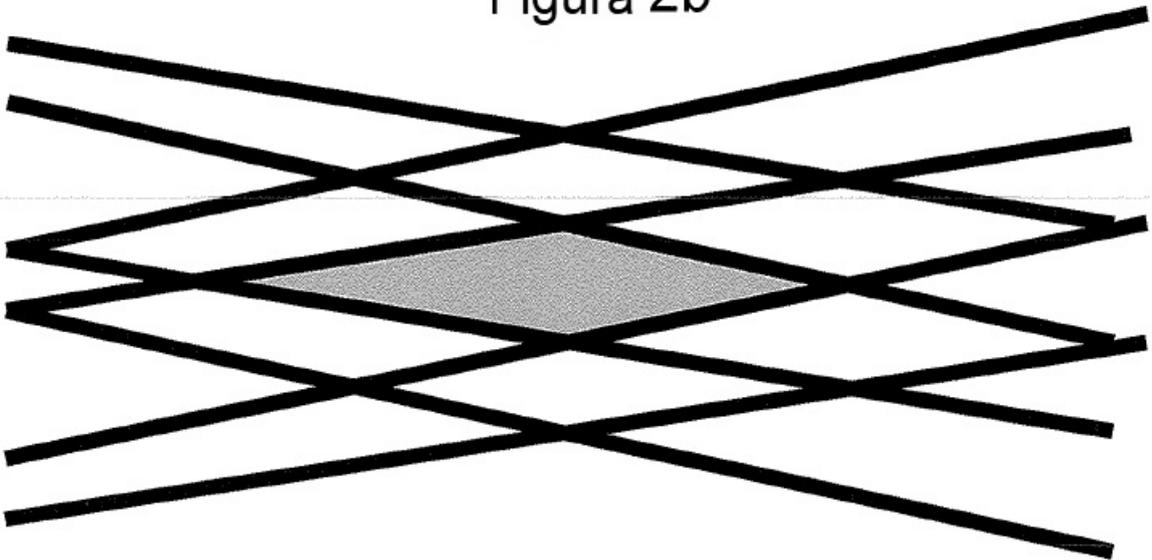


Figura 3a

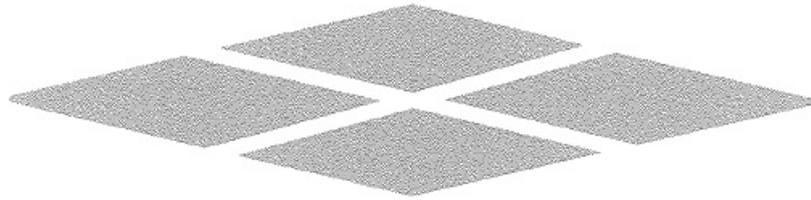


Figura 3b

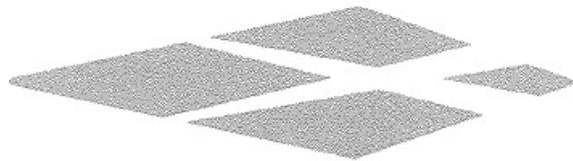


Figura 3c

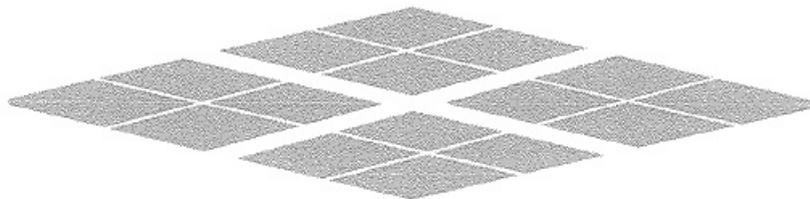


Figura 4

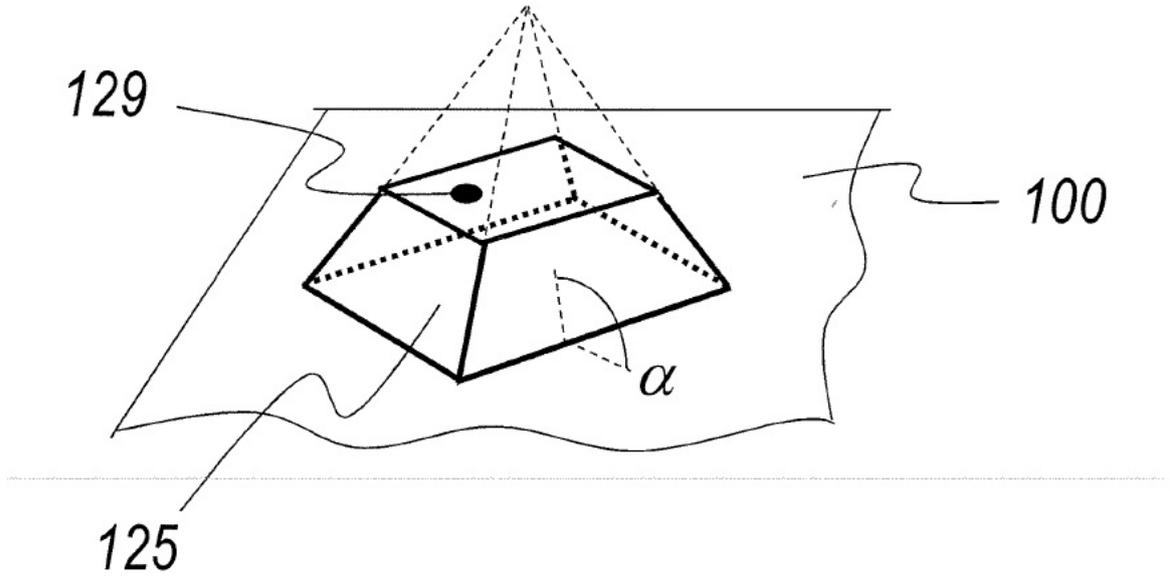


Figura 5

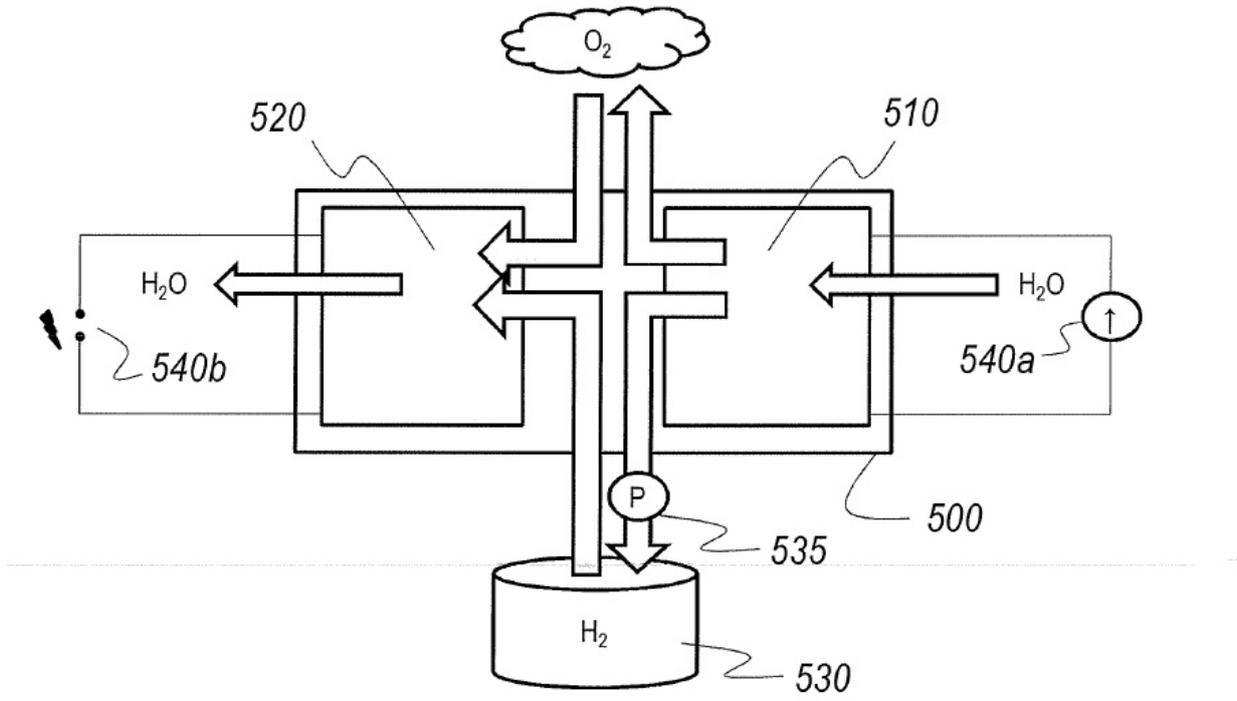


Figura 6

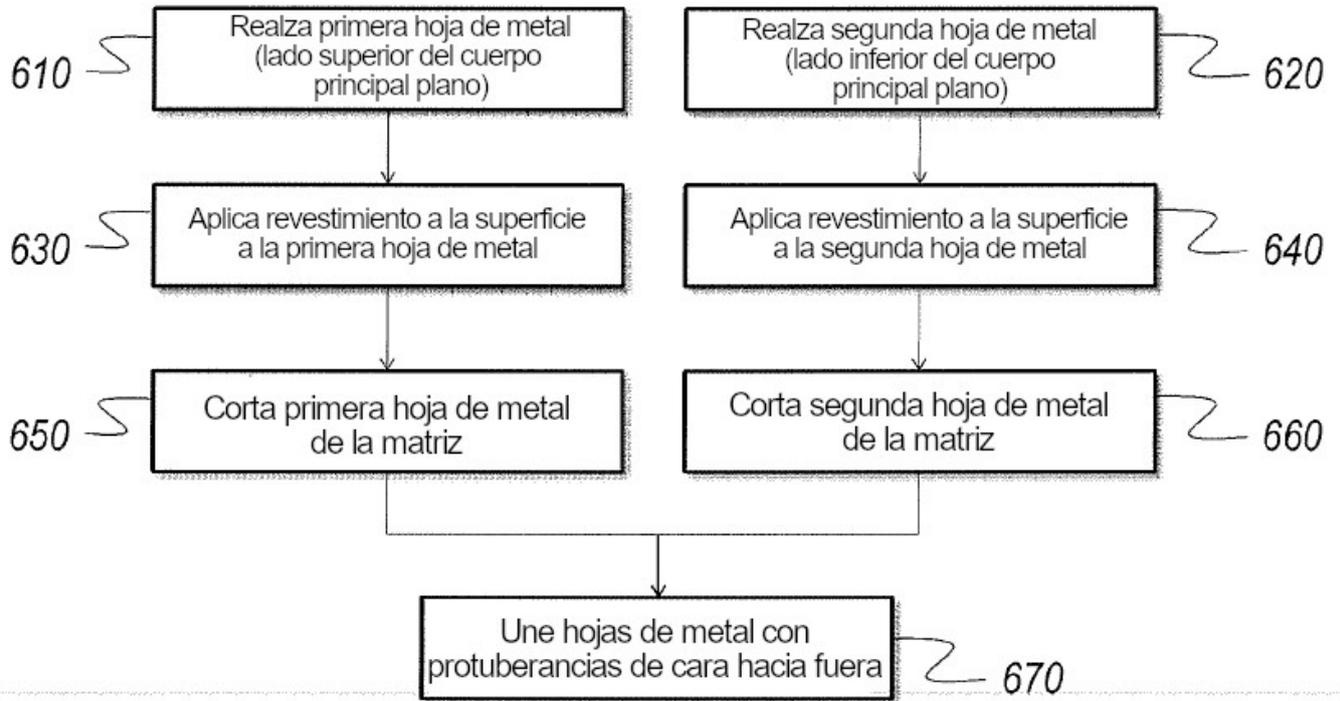


Figura 7

