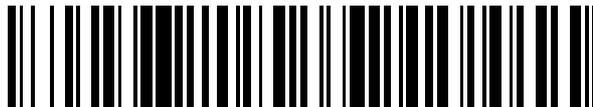


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 547 403**

51 Int. Cl.:

**C25B 11/03** (2006.01)

**C25B 9/20** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.11.2003** **E 09150367 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.08.2015** **EP 2039806**

54 Título: **Celda electrolítica bipolar, del tipo sin intersticios**

30 Prioridad:

**27.11.2002 JP 2002344467**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**06.10.2015**

73 Titular/es:

**ASAHI KASEI CHEMICALS CORPORATION  
(100.0%)  
1-2, YURAKU-CHO 1-CHOME, CHIYODA-KU  
TOKYO 100-8440, JP**

72 Inventor/es:

**HOUDA, HIROYOSHI y  
NOAKI, YASUHIDE**

74 Agente/Representante:

**DURÁN MOYA, Carlos**

**ES 2 547 403 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

Celda electrolítica bipolar, del tipo sin intersticios

## 5 SECTOR TÉCNICO

La presente invención se refiere a una celda electrolítica bipolar, del tipo sin intersticios.

10 Dicha celda es una celda electrolítica bipolar para su utilización en un dispositivo electrolítico del tipo de filtro prensa. El dispositivo electrolítico tiene muchas celdas electrolíticas bipolares dispuestas en la zona intermedia de las membranas de intercambio catiónico, cada una de las cuales comprende una cámara anódica y una cámara catódica dispuestas adosadas. En la cámara catódica existen, por lo menos, dos capas de una capa de rejilla almohadillada conductiva y un cátodo de generación de hidrógeno apilado sobre la capa de rejilla almohadillada en una zona en la que ésta contacta con la membrana de intercambio catiónico.

15 Esta celda electrolítica tiene un ánodo que tiene un material de base formado de titanio expandido o de una malla de alambre de titanio con un porcentaje de área abierta comprendido entre el 25 % y el 70 %. La superficie del ánodo, después de que el material de base haya sido aplicado con un catalizador, tiene una diferencia de alturas máxima de 5 µm a 50 µm entre crestas y canales. El ánodo tiene de 0,7 mm a 2,0 mm de grosor.

## 20 ANTECEDENTES DE LA TÉCNICA

Se han realizado muchas propuestas acerca de una celda electrolítica de cloruro alcalino del tipo de membrana de intercambio iónico para producir hidróxidos de metales alcalinos, muy puros, con una elevada eficiencia de la corriente y una tensión baja. Entre las mismas hay propuestas que consisten en una del tipo sin intersticios, en el que un ánodo y un cátodo están en contacto entre sí con una membrana de intercambio iónico interpuesta entre ambos.

30 La patente U.S.A. número 4444632, la patente JP-B-6-70276 (correspondiente a la patente U.S.A. número 4.615.775 y a la patente europea número 124125) y la patente JP-A-57-98682 (correspondiente a la patente JP-B-1-25836, la patente U.S.A. número 4381979 y la patente europea número 50373) han propuesto celdas electrolíticas que utilizan rejillas de alambre. La patente japonesa número 2876427 (correspondiente a la patente U.S.A. número 5599430) propone un colchón para un baño electroquímico.

35 Algunas de estas patentes tienen una placa de compresión expandida y una pantalla de malla delgada del cátodo. Sin embargo, en estas celdas electrolíticas, la resistencia de la rejilla, la forma del ánodo, la distribución de la concentración de electrolito o las variaciones de presión en el interior de la celda no son adecuadas, lo que, a su vez, da lugar a problemas consistentes en un aumento de tensión no deseable y la rotura de la membrana de intercambio iónico.

40 Los documentos JP-B-5-34434, JP-A-2000-178781, JP-A-2000-178782, JP-A-2001-64792, JP-A-2001-152380 y JP-A-2001-262387 dan a conocer rejillas elásticas y la resistencia de las mismas. Estas referencias dan a conocer asimismo la resistencia de los cátodos y una manera de impedir el aplastamiento de las rejillas.

45 Estas mejoras son efectivas. Sin embargo, a una densidad de corriente elevada de más de 5 kA/m<sup>2</sup>, las mejoras no son suficientes para una electrolisis con una eficiencia de la corriente y una tensión estables a largo plazo.

50 Otras celdas electrolíticas sin intersticios utilizan resortes. Por ejemplo, el documento JP-A-10-53887 da a conocer un dispositivo electrolítico que utiliza un resorte. Sin embargo, el resorte aumenta la presión en zonas locales y puede provocar daños a una membrana en contacto con el mismo. Se dan a conocer dispositivos electrolíticos que pueden utilizar una estructura sin intersticios, por ejemplo, en los documentos JP-A-51-43377, JP-A-62-96688 y JP-A-61-500669 (que corresponde a W085/2419).

55 Estas celdas electrolíticas unitarias carecen de cámara de separación aire-líquido formada en el interior de las mismas, y extraen gas y líquido en sentido ascendente, tal como sucede en una fase aire-líquido mezclado. Esto produce vibraciones en las celdas electrolíticas unitarias y da lugar a un problema de posible rotura de la membrana de intercambio iónico. Además, no está previsto el interior para mezclar el electrolito y tienen el problema de que es necesario hacer circular un gran volumen de electrolito para distribuir homogéneamente el electrolito en el interior de la cámara electrolítica.

60 Los documentos JP-A-61-19789 y JP-A-63-11686 dan a conocer una manera de extraer gas y electrolito en sentido descendente en lugar de en sentido ascendente. Sin embargo, en algunos casos el gas y el líquido pueden ser extraídos en una fase mezclada, lo que hace imposible impedir vibraciones en el interior de las celdas electrolíticas unitarias. Además, un elemento de dispersión conductiva o elemento de distribución de la corriente previsto para la circulación interna del electrolito, está dispuesto para hacer uniforme la concentración de electrolito en las celdas, pero tiene el inconveniente de complicar la estructura de la celda de electrolito.

65

5 El documento JP-U-59-153376 da a conocer una placa de eliminación de ondas, como una contramedida para impedir vibraciones en una celda electrolítica. Sin embargo, esto sólo, no puede proporcionar un efecto suficiente de eliminación de ondas, y es imposible eliminar completamente las vibraciones provocadas por variaciones de presión en la celda electrolítica.

10 Los documentos JP-A-4-289184 y JP-A-8-100286 dan a conocer un conducto cilíndrico y una bajante para hacer circular internamente un electrolito para hacer uniforme en la concentración de electrolito en las celdas. Sin embargo, esto hace compleja la estructura de las celdas electrolíticas y aumenta los costes de fabricación. Además, para una electrolisis a una densidad de corriente elevada de más de  $5 \text{ kA/m}^2$ , la distribución de la concentración de electrolito sigue siendo suficientemente grande como para tener posibles efectos negativos sobre la membrana de intercambio iónico.

15 Además, aunque estas publicaciones intentan impedir vibraciones mediante (1) disponer de una cámara de separación aire-líquido que tiene un volumen relativamente grande y (2) extraer en sentido descendente u horizontal, gas y líquido en estado separado, se pueden seguir produciendo vibraciones en algunos casos con una densidad de corriente elevada de más de  $5 \text{ kA/m}^2$ .

## 20 CARACTERÍSTICAS DE LA INVENCION

La invención tiene el objetivo de dar a conocer una celda electrolítica del tipo sin intersticios, bipolar, y un procedimiento de electrolisis que permite una electrolisis estable a una densidad de corriente elevada, con una estructura simple y fiable.

25 Más específicamente, el objetivo de la invención es dar a conocer una celda electrolítica del tipo sin intersticios, bipolar, que tiene una estructura sin intersticios con una membrana robusta de intercambio iónico que casi nunca se rompe, en la que el líquido del ánodo y líquido del cátodo tienen una gama predeterminada de distribución de la concentración. Un objetivo es permitir la electrolisis con menores variaciones de presión en el interior de las celdas, y por lo tanto con una mayor estabilidad a largo plazo cuando se realiza la electrolisis con una densidad de corriente elevada de más de  $4 \text{ kA/m}^2$  con la utilización de un dispositivo electrolítico del tipo de membrana de intercambio iónico sin intersticios. Otro objetivo es dar a conocer un procedimiento de electrolisis para la celda.

30 Otro objetivo de la invención es dar a conocer una celda electrolítica del tipo sin intersticios, bipolar, que permite la electrolisis con estabilidad a largo plazo al impedir posibles daños de la membrana de intercambio iónico, provocados por vibraciones de gas en la celda electrolítica.

35 Esta invención da a conocer un procedimiento según la reivindicación 1. Se definen realizaciones preferentes en las reivindicaciones 2 a 9. Más específicamente, la celda electrolítica de tipo bipolar, sin intersticios, está prevista para ser utilizada en un dispositivo electrolítico del tipo de filtro prensa, que tiene una serie de celdas electrolíticas bipolares y una serie de membranas de intercambio catiónico dispuestas cada una entre las celdas electrolíticas bipolares contiguas.

40 Esta celda se caracteriza por una cámara anódica, un ánodo instalado en la cámara anódica, una cámara catódica dispuesta adosada a la cámara anódica, y un cátodo que tiene, por lo menos, dos capas apiladas en la cámara catódica. El ánodo está formado por un material de base del ánodo que incluye un titanio expandido o una red de alambre de titanio con un porcentaje de apertura del 25 al 75 %. Después de aplicar un catalizador al material de base del ánodo, el ánodo tiene una diferencia de alturas máxima de 5 a 50  $\mu\text{m}$  entre sus irregularidades superficiales, y un grosor de 0,7 a 2,0 mm. Las capas del cátodo incluyen una capa de rejilla almohadillada conductiva y una capa del cátodo de generación de hidrógeno. La capa del cátodo de generación de hidrógeno está unida a la capa de rejilla almohadillada y está dispuesta en una zona en la que contacta con la membrana de intercambio catiónico.

45 La estructura mantiene la ausencia adecuada de intersticios entre el ánodo, la membrana de intercambio catiónico y el cátodo, permite que el gas generado pase a su través, y de ese modo permite minimizar los daños en la membrana de intercambio iónico y las variaciones de presión en el interior de la celda, y lleva a cabo una electrolisis estable a largo plazo.

50 El material de base del ánodo incluye el titanio expandido, que se fabrica, preferentemente, expandiendo una placa de titanio y a continuación prensándola con rodillos. El grosor del material expandido se establece preferentemente del 95 al 105 % de su grosor antes de la expansión mediante el prensado con rodillos.

55 El cátodo que genera hidrógeno se fabrica mediante un material de base que tiene un grosor de 0,05 a 0,5 mm, y se escoge entre un grupo que se compone de una red de alambre de níquel, níquel metálico expandido y placa de níquel estampada, porosa. El cátodo de generación de hidrógeno tiene, preferentemente, una capa de recubrimiento un de catalizador de la electrolisis que se fabrica sobre el cátodo de generación de hidrógeno y tiene un grosor de 50  $\mu\text{m}$  o menor.

Con esta estructura es posible fabricar fácilmente a bajo coste los electrodos, los cuales tienen una flexibilidad apropiada y por lo tanto casi nunca dañan la membrana de intercambio iónico.

5 La celda electrolítica puede incluir cámaras de separación gas-líquido formadas integralmente con partes sin transporte de corriente en las partes superiores de la cámara anódica y la cámara catódica. En este caso, por lo menos uno del conducto cilíndrico y de una placa deflectora que sirve de trayectoria de circulación interna del electrolito, están dispuestos preferentemente entre una pared de separación, por lo menos, de una de las cámaras anódica y catódica, y el electrodo asociado.

10 Las cámaras de separación gas-líquido están formadas, preferentemente, con placas de separación.  
Las cámaras de separación gas-líquido se instalan extrayendo el gas generado de las partes superiores de las cámaras de los electrodos, impidiendo de ese modo las vibraciones del gas y permitiendo una electrolisis más estable.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

20 La figura 1 es una vista lateral que muestra un ejemplo de un cátodo que se puede utilizar en la celda electrolítica bipolar, del tipo sin intersticios, de la invención.

La figura 2 es una vista, en perspectiva, que muestra una parte en forma de L, en un ejemplo de una placa conductiva aplicable a la invención.

25 La figura 3 es una vista, en planta, que muestra un ejemplo de un ánodo que puede ser utilizado en la celda electrolítica bipolar, del tipo sin intersticios, de la invención, y muestra las posiciones de toma de muestras de la concentración de electrolito.

30 La figura 4 es una vista lateral, en sección, que muestra un ejemplo de una cámara anódica que puede ser utilizada en la celda electrolítica bipolar, del tipo sin intersticios, de la invención.

La figura 5 es una vista lateral, en sección, de una cámara de separación gas-líquido del lado del ánodo que puede ser utilizada en la celda electrolítica bipolar, del tipo sin intersticios, de la invención.

35 La figura 6 es una vista, en sección, de la celda electrolítica bipolar, del tipo sin intersticios, según una realización de la invención.

40 La figura 7 es un dibujo de un conjunto, recortado parcialmente, que muestra una aplicación del dispositivo electrolítico que utiliza la celda de la invención, en el que una membrana de intercambio iónico -28-, la cámara anódica y una cámara catódica están fijadas con una junta -27- del cátodo y una junta -29- del ánodo, respectivamente interpuestas entre las mismas.

45 La figura 8 es una vista, en planta, que muestra un ejemplo de un cátodo que puede ser utilizado en la celda electrolítica bipolar, del tipo sin intersticios, de la invención, y muestra las posiciones de toma de muestras de la concentración de electrolito.

La figura 9 es una vista, en sección, que muestra la celda electrolítica bipolar, del tipo con intersticios finitos, según otra realización de la invención.

#### 50 MEJOR MODO DE LLEVAR A CABO LA INVENCIÓN

En general, lo que se necesita para llevar a cabo la electrolisis estable de cloruros alcalinos y producir cloro, hidrógeno y sosa cáustica a bajo coste son una instalación de bajo coste, una capacidad de realizar la electrolisis a baja tensión, una membrana de intercambio iónico que casi nunca se vea dañada por vibraciones en una celda o similar, una distribución uniforme de la concentración de electrolito en la celda y una estabilidad de la tensión en la membrana de intercambio iónico y eficiencia de la corriente, etc.

60 Para satisfacer estas exigencias, el rendimiento de la electrolisis de cloruros alcalinos basada en un procedimiento de membrana de intercambio iónico ha mejorado notablemente en los últimos años. Son particularmente notables las mejoras en rendimiento de las membranas de intercambio iónico, de los electrodos y de las celdas electrónicas unitarias. Por ejemplo, la tasa de consumo de energía eléctrica en el caso del procedimiento de membrana de intercambio iónico ha bajado en los últimos años a 2.000 kW/NaOH-t o menos para 4 kA/m<sup>2</sup>, de los 3000 kW/NaOH-t de que eran necesarios cuando el proceso de membrana de intercambio iónico se hizo disponible.

65 Sin embargo, con los recientes aumentos en la demanda de grandes instalaciones, de consumo de energía reducido y de mayor eficiencia, es deseable no sólo permitir la electrolisis a una densidad de corriente de electrolisis de 4 a 8

$\text{kA/m}^2$  incluso en las celdas electrolíticas, superando los  $3 \text{ kA/m}^2$  iniciales, sino asimismo minimizar la tensión en la celda.

5 En estas circunstancias, los presentes inventores han considerado la mejora de las celdas electrónicas unitarias en un esfuerzo para conseguir que se pueda llevar a cabo una electrolisis estable utilizando una elevada densidad de corriente de 4 a  $8 \text{ kA/m}^2$ , a una tensión significativamente menor que la de las celdas electrolíticas convencionales.

10 Normalmente, una membrana de intercambio catiónico está comprimida contra el ánodo mediante una presión procedente de la cámara catódica, y existe un intersticio formado entre el cátodo y la membrana de intercambio catiónico. En este intersticio existe un gran número de burbujas, así como electrolito, y por lo tanto su resistencia eléctrica es muy elevada. Para reducir significativamente la tensión de la celda electrolítica, lo más eficaz es hacer lo más pequeña posible la distancia entre el ánodo y el cátodo (en adelante, denominada la distancia entre electrodos) para eliminar las influencias del electrolito y de las burbujas de gas, presentes entre el ánodo y el cátodo.

15 Convencionalmente, la distancia entre electrodos es normalmente de 1 a 3 mm (en adelante, denominada un intersticio finito). Se han propuesto ya algunos medios para minimizar la distancia entre electrodos.

20 Sin embargo, las celdas electrolíticas tienen generalmente un área de conducción de más de  $2 \text{ m}^2$ , y es imposible hacer completamente planos y lisos el ánodo y el cátodo, y establecer la tolerancia de precisión de fabricación a casi cero milímetros. Por lo tanto, reducir simplemente la distancia entre electrodos no puede conseguir una situación ideal sin intersticios, dado que en la membrana de intercambio iónico instalada entre el ánodo y el cátodo se rompe por compresión y corte, o dado que la distancia entre electrodos es casi igual al grosor de la membrana de intercambio iónico, y existen partes entre el ánodo y la membrana, y entre el cátodo y la membrana, que no se pueden mantener en un estado casi sin intersticios (en adelante, denominado sin intersticios).

25 En la membrana de intercambio iónico, el ánodo tiene una estructura de una rigidez relativamente elevada para reducir la deformación incluso cuando está comprimido por la membrana de intercambio iónico, y solamente el lado del cátodo está fabricado de una estructura flexible para absorber irregularidades provocadas por la tolerancia de precisión de fabricación de las celdas electrolíticas, las deformaciones de los electrodos y similares, con el fin de mantener de ese modo el estado sin intersticios.

30 Es necesario que la estructura sin intersticios tenga, por lo menos, dos capas apiladas de una rejilla almohadillada conductiva en el lado del cátodo, y un cátodo de generación de hidrógeno contiguo a la rejilla almohadillada y situado en una zona que contacta con la membrana de intercambio catiónico. Por ejemplo, preferentemente tiene, por lo menos, tres capas, tal como se muestra en la figura 1, en la que una placa conductiva -3- está instalada en la cámara catódica, una rejilla almohadillada conductiva -2- está apilada sobre la placa conductiva, y un cátodo -1- de generación de hidrógeno con un grosor de 0,5 mm o menor está apilado sobre la rejilla almohadillada conductiva en una zona en que contacta con la membrana de intercambio catiónico.

40 La placa conductiva -3- sirve para transmitir electricidad a la rejilla almohadillada -2- y al cátodo -1- de generación de hidrógeno, ambos apilados sobre la placa conductiva -3-, para soportar el peso de estos elementos y para dejar pasar suavemente el gas generado desde el cátodo hacia un lado de la pared de separación -5-. Por lo tanto, la placa conductiva está formada preferentemente de materiales tales como metal expandido y placa porosa estampada. El porcentaje de apertura es preferentemente mayor del 40 % para permitir que el hidrógeno gaseoso generado por el cátodo sea extraído hacia el lado de la pared de separación. En relación con la resistencia, cuando el intervalo entre los nervios -4- es de 100 mm, la placa conductiva puede realizar su función, si se aplica una presión de 3 m de columna de agua al centro de la placa, siempre que la desviación sea menor de 0,5 mm. En relación con el material, desde el punto de vista de la resistencia a la corrosión se puede utilizar níquel, aleación de níquel, acero inoxidable y hierro. En términos de conductividad, el níquel es el más preferible.

50 La placa conductiva -3- se puede fabricar con una parte -6- en forma de L, tal como se muestra en la figura 2, y se puede acoplar directamente a la pared de separación -5-. En tal caso, la parte en forma de L sirve a la vez de nervio y de placa conductiva, y permite ventajosamente el ahorro de material y la reducción del tiempo de montaje.

55 En el caso de la placa conductiva, es posible utilizar tal cual el cátodo que se ha utilizado en la celda electrolítica de intersticios finitos.

60 La rejilla almohadillada tiene que descansar entre la placa conductiva y el cátodo de generación de hidrógeno, y transmitir electricidad al cátodo y dejar pasar suavemente el hidrógeno gaseoso generado, del cátodo al lado de la placa conductiva. La función más importante es aplicar una presión uniforme al cátodo en contacto con la membrana de intercambio iónico, a un nivel que no dañe la membrana, para mantener el cátodo en estrecho contacto con la membrana de intercambio iónico.

65 En relación con la rejilla almohadillada, se puede utilizar una rejilla almohadillada conocida normalmente. Se utiliza, preferentemente, un diámetro de alambre de 0,05 a 0,25 mm para la rejilla almohadillada. Si el diámetro del alambre es menor de 0,05 mm, la rejilla almohadillada se puede aplastar fácilmente. Si el diámetro del alambre es mayor de

## ES 2 547 403 T3

0,25 mm, la rejilla almohadillada resulta demasiado fuerte y, cuando se utiliza para electrolisis, esto puede afectar negativamente al rendimiento de la membrana debido a la mayor fuerza de presión.

5 Más preferentemente, se puede utilizar un diámetro de alambre comprendido en el intervalo de 0,08 a 0,15 mm. Por ejemplo, se pueden tejer, y a continuación ondular, alambres de níquel de aproximadamente 0,1 mm de diámetro. En relación con el material, normalmente se utiliza níquel debido a su elevada conductividad. Se puede utilizar un grosor de 3 a 15 mm para la rejilla almohadillada.

10 Aún más preferentemente, se puede utilizar un grosor de 5 a 10 mm. La flexibilidad de la rejilla almohadillada puede estar dentro de la gama conocida. Por ejemplo, la flexibilidad de la rejilla almohadillada puede ser tal que la fuerza de repulsión cuando la rejilla se comprime en un 50 % esté comprendida en el intervalo de 20 a 400 g/cm<sup>2</sup>. No es preferible una fuerza de repulsión menor de 20 g/cm<sup>2</sup> durante una compresión del 50 %, dado que no puede comprimir por completo la membrana, y no es preferente una fuerza de repulsión mayor de 400 g/cm<sup>2</sup>, dado que comprime demasiado fuertemente la membrana.

15 Más preferentemente, es posible utilizar una rejilla que tenga una elasticidad tal que la fuerza de repulsión durante una deformación compresiva del 50 % sea de 30 a 200 g/cm<sup>2</sup>.

20 Dicha rejilla almohadillada se apila sobre la placa conductiva para su funcionamiento. Para esta instalación se pueden utilizar procedimientos conocidos normalmente, por ejemplo la rejilla almohadillada se fija mediante soldadura de puntos o mediante espigas de resina o alambres metálicos.

25 El cátodo se puede apilar directamente sobre la rejilla almohadillada. Alternativamente, se puede apilar a través de una lámina conductiva independiente. Preferentemente, el cátodo utilizado en la estructura sin intersticios tiene un diámetro de alambre pequeño y un número reducido de mallas debido a que dicho cátodo tiene una buena flexibilidad. El cátodo se puede fabricar de un material de base disponible normalmente, con un diámetro de alambre de 0,1 a 0,5 mm y una abertura de tamiz de 20 a 80 mallas.

30 Para el material de base del cátodo, es preferible asimismo utilizar un níquel metálico expandido, un metal poroso de níquel estampado y una red de alambre de níquel, que tienen un grosor de 0,05 a 0,5 mm y un porcentaje de apertura del 20 al 70 %.

35 Considerando la manipulación del cátodo durante el proceso de fabricación y su flexibilidad, es preferible utilizar un níquel metálico expandido, una placa porosa estampada de níquel o una red de alambre de níquel con un grosor de 0,1 a 0,2 mm y un porcentaje de apertura del 25 al 65 %. En el caso del níquel metálico expandido, es preferible pasar entre rodillos el metal expandido para aplanarlo hasta un intervalo de grosores del 95 al 105 % del grosor antes del aplanamiento. En el caso de la red de alambre, se cruzan dos líneas entre sí en ángulo recto, y el grosor de la placa es el doble del diámetro del alambre. Es preferible asimismo pasar entre rodillos la red de alambre para un intervalo de grosor del 95 al 105 % del diámetro del alambre.

40 El cátodo se recubre, preferentemente, con una capa delgada de un óxido de un metal precioso. La razón de ello es la siguiente. Un recubrimiento formado mediante pulverización de plasma de óxido de níquel tiene un grosor de 100 µm o mayor, y es duro y quebradizo para el electrodo sin intersticios que requiere flexibilidad, y la membrana de intercambio iónico en contacto con el cátodo se puede dañar fácilmente. Además, con una chapa metálica, es difícil obtener un nivel suficiente de actividad. Por lo tanto, es preferible el recubrimiento realizado principalmente de un metal precioso debido a que éste es muy activo y permite que la capa de recubrimiento sea delgada.

45 Es preferente un grosor pequeño de la capa de recubrimiento, dado que mantiene flexible el material de base del cátodo y, por lo tanto, protege de daños la membrana de intercambio iónico. Si el recubrimiento es más grueso, se incrementa el coste de fabricación y el recubrimiento puede dañar la membrana de intercambio iónico. Sin embargo, si el recubrimiento es demasiado delgado, puede no proporcionar la suficiente actividad. Por lo tanto, el grosor de la capa de recubrimiento es preferentemente de 0,5 µm a 50 µm, más preferentemente está en un intervalo comprendido entre 1 µm y 10 µm. El grosor de recubrimiento del cátodo se puede medir cortando el material de base y utilizando un microscopio óptico o un microscopio electrónico.

50 Dicho cátodo se puede montar utilizando una técnica de soldadura conocida normalmente o con espigas.

55 En la celda electrolítica sin intersticios, además de los requisitos descritos anteriormente, es importante asimismo la forma geométrica del propio ánodo. La membrana de intercambio iónico se empuja contra el ánodo con más fuerza que en la celda electrolítica convencional de intersticios finitos, y si el ánodo está fabricado de un material de base de metal expandido, la membrana de intercambio iónico se puede dañar en el extremo de una abertura o se puede cortar en la abertura de manera que se forme un intersticio entre el cátodo y la membrana de intercambio iónico, y aumente la tensión.

60 Por lo tanto, hay que fabricar el electrodo tan plano como sea posible. Con este propósito, es preferible comprimir el material de base expandido con un rodillo y darle un perfil plano. Generalmente, el proceso de expansión aumenta el

5 grosor aparente hasta aproximadamente desde 1,5 hasta 2 veces el grosor antes del proceso. Utilizar tal cual el material expandido para la celda electrolítica sin intersticios provoca los problemas mencionados anteriormente y, por lo tanto, el material expandido se compacta preferentemente mediante una prensa de rodillos para ser aplanado y reducir su grosor al 95 a 105 % del grosor de la placa metálica antes del proceso. Esto puede impedir daños en la membrana de intercambio iónico y la reducción inesperada de la tensión. La razón para esto no está del todo clara. Sin embargo, se considera que cuando la superficie de la membrana de intercambio iónico y la superficie del electrodo son uniformes, existe un contacto estrecho y la densidad de corriente resulta uniforme.

10 El grosor del ánodo es preferentemente de 0,7 mm a 2,0 mm en un caso ordinario. Un grosor demasiado pequeño provocará que el ánodo se hunda debido a la presión de la membrana de intercambio iónico que empuja el ánodo, que está provocada por una diferencia de presión entre el cámara anódica y la cámara catódica, y por la fuerza de compresión del cátodo. Esto amplía la distancia entre electrodos, aumenta la tensión de la celda electrolítica sin intersticios y, por lo tanto, no es deseable. Por otra parte, un grosor demasiado grande provocará una reacción electroquímica en la parte posterior del electrodo, es decir, en la parte opuesta a su superficie en contacto con la membrana de intercambio iónico, aumentando por lo tanto la resistencia, y no es deseable.

15 El grosor más preferente del ánodo está comprendido entre 0,9 mm y 1,5 mm y algo más preferentemente entre 0,9 mm y 1,1 mm. En el caso de una red de alambre de metal, se cruzan dos alambres en ángulo recto, y el grosor es el doble del diámetro de alambre.

20 En la celda electrolítica sin intersticios, la membrana de intercambio iónico y la superficie de los electrodos están en contacto estrecho durante la electrolisis, y el suministro de electrolito puede resultar escaso localmente. En la celda electrolítica sin intersticios, se produce cloro gaseoso en el lado del ánodo durante la electrolisis y se proporciona hidrógeno gaseoso en el lado del cátodo. Normalmente, el funcionamiento de la electrolisis se lleva a cabo manteniendo la presión del gas en el lado del cátodo, más elevada que la presión del gas en el lado del ánodo, y comprimiendo la membrana contra el ánodo mediante la diferencia de presión de los gases. En el dispositivo electrolítico sin intersticios, la fuerza de compresión se aplica al lado del ánodo asimismo desde el colchón en el lado del cátodo durante el funcionamiento, de tal modo que la presión que actúa sobre el lado del ánodo es mayor que la presión en el dispositivo electrolítico de intersticios finitos, que normalmente tiene un intersticio entre el ánodo y el cátodo. Cuando la fuerza de compresión se hace grande, se pueden formar finas burbujas en la membrana de intercambio iónico o puede aumentar la tensión electrolítica.

25 Para impedir estos problemas, el ánodo tiene preferentemente irregularidades formadas en la superficie del mismo de tal modo que se facilita la alimentación de electrolito a través de las irregularidades. Más específicamente, es eficaz formar irregularidades adecuadas en la superficie del ánodo mediante granallado o grabado con ácido

30 Las irregularidades se aplican con un catalizador del ánodo, que rellena los rebajes y hace la superficie menos rugosa de lo que era inmediatamente después del grabado. Por ejemplo, el catalizador del ánodo se forma tratando con ácido la superficie del material de base de titanio, aplicando a la superficie una solución mezclada de cloruro de iridio, cloruro de rutenio y cloruro de titanio, y a continuación descomponiendo térmicamente la solución. Repitiendo el proceso de aplicación de catalizador hasta un grosor de 0,2 a 0,3  $\mu\text{m}$  y descomponiendo térmicamente el catalizador, se puede formar una capa de catalizador con un grosor total de 1 a 10  $\mu\text{m}$  en promedio. Si bien el grosor de la capa de catalizador se determina en vista de la vida útil y del precio del ánodo, se selecciona preferentemente en el intervalo de entre 1  $\mu\text{m}$  y 3  $\mu\text{m}$  en promedio.

35 En relación con la rugosidad de la superficie después de la aplicación de catalizador al ánodo, se requiere que la diferencia máxima entre crestas y canales en la superficie esté comprendida en un intervalo de entre 5  $\mu\text{m}$  y 50  $\mu\text{m}$ . Cuando las irregularidades son demasiado pequeñas, el suministro de electrolito puede ser insuficiente en ciertas posiciones, y esto no es deseable. Cuando las irregularidades son demasiado grandes, la superficie de la membrana de intercambio iónico puede resultar dañada, y esto tampoco es deseable. Por lo tanto, para una utilización estable de la membrana de intercambio iónico, la máxima diferencia de alturas entre crestas y canales en la superficie del ánodo tiene que estar comprendida en el intervalo de entre 5  $\mu\text{m}$  y 50  $\mu\text{m}$ . Para un funcionamiento más estable, es más preferente que la diferencia máxima de altura de las irregularidades en la superficie del ánodo este comprendida en el intervalo desde 8  $\mu\text{m}$  hasta 30  $\mu\text{m}$ .

40 Se puede utilizar tanto un procedimiento de medición del tipo con contacto utilizando una sonda, como un procedimiento de medición del tipo sin contacto utilizando interferencia óptica y luz láser, para medir la rugosidad de la superficie del ánodo. Después de haber sufrido el proceso de expansión, el proceso de laminación con rodillos, el procesamiento con ácido y la aplicación del catalizador, el ánodo tendrá irregularidades finas en su superficie que no se pueden detectar con una sonda. Por lo tanto, es preferente el procedimiento de medición del tipo sin contacto.

45 Para la medición que utiliza el procedimiento de interferencia óptica del tipo sin contacto se puede utilizar el escáner NewView5022 de la firma Zygo, o un dispositivo diferente. El dispositivo de la firma Zygo tiene un microscopio óptico y una cámara CCD/lente objetivo del tipo de interferencia. El dispositivo mide tridimensionalmente la forma geométrica de la superficie del objetivo y calcula las irregularidades irradiando una luz blanca contra el objetivo y escaneando verticalmente franjas de interferencia que se forman en función de la forma geométrica de la superficie.

Aunque el área a medir se puede seleccionar arbitrariamente, es preferible medir un área de 10 a 300  $\mu\text{m}^2$  para conocer adecuadamente las irregularidades de la superficie del ánodo. En particular, cuando se mide un metal expandido, es más preferible medir un área de 50 a 150  $\mu\text{m}^2$ .

5 Si bien se pueden tomar mediciones, tales como la rugosidad superficial media Ra y la rugosidad superficial media en 10 puntos, se calcula como un valor PV (pico frente a valle) la diferencia entre el valor de altura máxima y el valor de altura mínima para las irregularidades superficiales. Los inventores han encontrado una correlación significativa entre la rugosidad de la superficie del ánodo representada por el valor PV y resultados de ensayos utilizando el  
10 dispositivo electrolítico sin intersticios, y han conseguido la presente invención. En la siguiente descripción, el valor PV significa la diferencia de alturas máxima de las irregularidades en la superficie del ánodo.

15 El porcentaje de apertura del material de base del ánodo se configura preferentemente en el intervalo del 25 al 70 %. Existen diversos procedimientos para medir el porcentaje de apertura. La medición se puede realizar mediante cualquiera ellos, por ejemplo mediante un procedimiento de copiar una muestra del electrodo mediante una máquina copiadora, cortar porciones de la apertura y calcular un peso, o mediante un procedimiento de medir la longitud y la anchura de las porciones de apertura y calcular el porcentaje.

20 Si el porcentaje de apertura es demasiado pequeño, el suministro de electrolito a la membrana de intercambio iónico puede ser insuficiente, teniendo como resultado la generación de burbujas lo que, a su vez, da lugar a la posibilidad de que el dispositivo electrolítico no se pueda hacer funcionar con una tensión y una eficiencia de la corriente estables, y esto no es deseable. Si el porcentaje de apertura es demasiado grande, por otra parte, el área superficial del electrodo disminuye y la tensión aumenta, lo cual es indeseable. Por lo tanto, el porcentaje de apertura más preferente está comprendido en un intervalo del 30 al 60 %.

25 Para llevar a cabo la electrolisis utilizando una celda electrolítica sin intersticios, de acuerdo con el estudio de los inventores, el procedimiento más preferible incluye la utilización de la celda electrolítica del tipo bipolar, sin intersticios, que tiene, por lo menos, un conducto cilíndrico o una placa deflectora que forma una trayectoria de circulación interna para el electrolito, entre una pared de separación de la cámara anódica y/o la cámara catódica, y el electrodo. Esta celda tiene, por lo menos, tres capas en el lado del cátodo, que son una capa de placa conductiva, una capa de rejilla almohadillada conductiva apilada sobre la capa de placa conductiva y una capa de cátodo de generación de hidrógeno de 0,5 mm de grosor o menos, apilada sobre la capa de rejilla almohadillada en una zona en la que contacta con la membrana de intercambio catiónico. En dicha celda electrolítica sin intersticios, la  
30 distribución de la concentración de electrolito en el lado del ánodo y en el lado del cátodo se puede regular fácil y adecuadamente. Además, las variaciones de presión en el interior de las celdas son pequeñas y la membrana de intercambio iónico está casi libre de daños. Por lo tanto, se puede llevar a cabo una electrolisis estable durante un largo periodo de tiempo, incluso a una densidad de corriente elevada de aproximadamente 8  $\text{kA/m}^2$ .

40 Lo que se requiere para hacer funcionar el dispositivo electrolítico sin intersticios con una eficiencia de la corriente estable y una tensión estable con una elevada densidad de corriente de 4 a 8  $\text{kA/m}^2$ , más preferentemente de 5 a 8  $\text{kA/m}^2$ , durante un largo periodo es que la distribución de la concentración de electrolito en las celdas sea uniforme, que no permanezcan burbujas estancadas o gas en la celda y que, cuando el electrolito, las burbujas y el gas se descargan desde una tobera de descarga, no formen una mezcla de diferentes fases. Estas disposiciones impiden que se produzcan variaciones de presión y, por lo tanto, vibraciones en la celda. Las vibraciones en la celda se miden utilizando un grabador analizador AR1200 de la firma Yokogawa Denki, que mide variaciones de presión en la  
45 celda del ánodo, y tomando la diferencia entre la presión máxima y la presión mínima de las vibraciones en el dispositivo electrolítico.

50 En la celda sin intersticios, el ánodo y el cátodo se mantienen en contacto estrecho entre sí a través de la membrana de intercambio iónico. El desplazamiento de las sustancias hacia la membrana de intercambio iónico se puede obstruir fácilmente. Cuando se impide el desplazamiento de sustancias a la membrana de intercambio iónico, se producen varias influencias no deseadas, tales como la formación de burbujas en la membrana de intercambio iónico, un aumento de la tensión y una eficiencia disminuida de la corriente. Por lo tanto, es importante facilitar el desplazamiento de las sustancias hacia la membrana de intercambio iónico para mantener uniforme la distribución de la concentración de electrolito en la celda.

55 El estudio de los inventores ha revelado que existe una correlación entre la distribución de la concentración en el lado del ánodo y la tendencia al empeoramiento de la eficiencia de la corriente de la membrana de intercambio iónico, y que la reducción en la eficiencia de la corriente aumenta cuando se amplía la distribución de la concentración. Esta tendencia es particularmente destacada cuando la densidad de corriente es elevada y cuando el intersticio es nulo. Se realizaron mediciones de la concentración de electrolito en nueve posiciones de toma de muestras -13- en la cámara anódica, que se muestran con puntos negros en la figura 3, y se obtuvo la diferencia entre concentraciones restando la concentración mínima de la concentración máxima. Se ha encontrado que, en el intervalo de densidad de corriente de 4 a 8  $\text{kA/m}^2$ , la reducción de la eficiencia de la corriente es significativa cuando  
60 la diferencia entre concentraciones es mayor de 0,5 N. Por lo tanto, en el dispositivo electrolítico sin intersticios, para  
65

la densidad de corriente de 4 a 8 kA/m<sup>2</sup> es preferible establecer que la diferencia entre concentraciones de salmuera sea menor de 0,5 N.

5 En general, el lado del ánodo de un dispositivo electrolítico de cloro-álcali se ve muy afectado por las burbujas. Por ejemplo, bajo unas condiciones de electrolisis de 4 kA/m<sup>2</sup>, 0,1 MPa y 90 °C, la parte superior de la cámara anódica se llena de burbujas y hay zonas en las que la proporción gas/líquido es de más del 80 %. En zonas con dicha elevada proporción gas-líquido, cuando aumenta la densidad de corriente, la distribución de la concentración de electrolito o la diferencia tiende a ampliarse. Las zonas de proporción elevada gas-líquido tienen baja fluidez y, por lo tanto, pueden provocar localmente una concentración reducida de electrolito y el estancamiento del gas. Para reducir el espacio que tiene una gran proporción gas-líquido en la parte superior de la cámara del electrodo, existen actualmente procedimientos disponibles que aumentan la presión electrolítica y que aumentan sensiblemente el volumen de circulación de electrolito. Sin embargo, estos procedimientos tienen problemas de seguridad y tienden a aumentar el coste de construcción de la instalación, y no son deseables. Con una elevada densidad de corriente de más de 4 kA/m<sup>2</sup>, la influencia de las burbujas aumenta significativamente cuando aumenta el volumen del gas producido, y existen casos en los que algunas zonas de la celda son insuficientemente agitadas, se acelera el consumo de agua salada en la cámara anódica y deja de ser uniforme la distribución de la concentración de electrolito en la celda electrolítica.

20 Existen algunas medidas disponibles en la celda sin intersticios para impedir dicho empeoramiento de la distribución de la concentración de electrolito en la cámara anódica y para no impedir el desplazamiento de sustancias hacia la membrana de intercambio iónico. Por ejemplo, una estructura del lado del ánodo tal como la mostrada en la figura 3 y la figura 4 es apropiada para la celda sin intersticios, que tiene una placa para la circulación interna en la celda a efectos de permitir un suministro uniforme de electrolito en una dirección lateral.

25 Más específicamente, tal como se muestra en la figura 3 y en la figura 4, el agua salada saturada suministrada uniformemente en la dirección lateral a través de un distribuidor -14- de líquido del ánodo se hace circular verticalmente en la celda mediante una placa deflectora -9- para proporcionar una distribución uniforme de la concentración de electrolito en toda la celda. Utilizando esta celda electrolítica, la distribución de la concentración de electrolito se puede regular con mayor precisión recogiendo el agua salada pobre descargada desde una tobera de salida -8- y mezclándola con el agua salada saturada para aumentar el volumen de agua salada y reducir su concentración para la realimentación. Esto permite que la celda electrolítica sin intersticios realice la electrolisis con un rendimiento estable.

35 La distribución de la concentración de electrolito en el lado del cátodo está correlacionada con una tendencia al aumento de la tensión de la membrana de intercambio iónico. Se ha encontrado que el aumento de la tensión se hace grande cuando la diferencia o la distribución de la concentración de electrolito se amplía. Para una densidad de corriente elevada, esta tendencia se hace particularmente significativa cuando el intersticio es nulo. Asimismo en la cámara catódica, tal como se muestra en la figura 8, se ha medido la concentración de electrolito en nueve posiciones -13- de toma de muestras, tal como en el caso de la cámara anódica, y se ha obtenido la diferencia entre concentraciones restando la concentración mínima de la concentración máxima. Se ha encontrado que, en el intervalo de densidad de corriente de 4 a 8 kA/m<sup>2</sup>, la eficiencia de la corriente se redujo significativamente cuando la diferencia entre concentraciones era mayor del 2 %. Por lo tanto, en el dispositivo electrolítico sin intersticios, para una densidad de corriente de 4 a 8 kA/m<sup>2</sup> es preferible establecer la diferencia entre concentraciones alcalinas a menos del 2 %.

45 Existen algunas medidas disponibles en la celda sin intersticios para impedir el empeoramiento de la distribución de la concentración de electrolito en la cámara catódica y no impedir el desplazamiento de sustancias cerca de la membrana de intercambio iónico. Por ejemplo, una estructura del lado del cátodo tal como la mostrada en la figura 6 y la figura 8, es una estructura adecuada para la celda sin intersticios, que permite el suministro uniforme de electrolito en una dirección lateral.

50 Más específicamente, tal como se muestra en la figura 8, el electrolito suministrado uniformemente en la dirección lateral a través de un distribuidor -23- de líquido del cátodo se hace circular verticalmente en la celda según la diferencia de concentraciones entre el álcali suministrado y el álcali en la cámara catódica, a efectos de proporcionar una distribución uniforme de la concentración de electrolito en toda la celda. Utilizando esta celda electrolítica, la distribución de la densidad de electrolito se puede regular con mayor precisión regulando adecuadamente el flujo de álcali suministrado. Esto permite que la celda electrolítica sin intersticios lleve a cabo la electrolisis a una tensión estable.

60 Cuando se produce una variación de presión en la celda electrolítica, varía la diferencia de presión entre la cámara anódica y la cámara catódica. En la celda electrolítica sin intersticios, se utiliza la rejilla almohadillada para mantener en todo momento el ánodo y el cátodo en estrecho contacto entre sí a través de la membrana de intercambio iónico. Si la diferencia de presión varía, varía asimismo la fuerza para el contacto estrecho, con el resultado de que la membrana de intercambio iónico puede ser rozada por los electrodos. La membrana de intercambio iónico está fabricada de resina y sus superficies están recubiertas para impedir la adherencia del gas, de manera que si la membrana de intercambio iónico es rozada por los electrodos, se puede raspar la capa de recubrimiento sobre la

membrana de intercambio iónico, o se puede arrancar la propia membrana de intercambio iónico. En ese caso, se producirá un aumento de tensión y un empeoramiento de la eficiencia de la corriente, imposibilitando de ese modo una electrolisis estable. Por lo tanto, impedir una variación de presión en la celda electrolítica es un factor importante para la celda electrolítica sin intersticios. Dicha variación de presión en la celda se mantiene preferentemente tan pequeña como sea posible, por ejemplo, a menos de 30 cm de columna de agua, o más preferentemente a menos de 15 cm de columna de agua, o el caso más preferente a menos de 10 cm de columna de agua. Si la variación de presión es menor de 10 cm de columna de agua, la membrana de intercambio iónico no sufrirá daños y puede estar en funcionamiento continuo incluso después de un funcionamiento de la electrolisis de larga duración, de más de un año.

Existen algunas medidas disponibles para impedir variaciones de presión en la celda. Por ejemplo, tal como se muestra en la figura 5, es eficaz disponer una placa divisoria -20- en una cámara -7- de separación gas-líquido y asimismo una placa porosa -19- de eliminación de burbujas en la parte superior de la placa divisoria -20-.

Se describen a continuación realizaciones de la invención y sus aplicaciones. Sin embargo, la presente invención no está limitada a estas formas específicas.

[Ejemplo de aplicación 1]

Las celdas electrolíticas -30- bipolares del tipo sin intersticios según una realización de la invención, cada una de las cuales tiene una estructura de ánodo y una estructura de cátodo similar a las de la figura 3 y la figura 8, y una estructura en sección similar a la que se muestra la figura 6, están dispuestas en serie y montadas en un dispositivo electrolítico tal como el mostrado en la figura 7. La figura 7 muestra una celda unitaria de ánodo dispuesta en un extremo del conjunto y una celda unitaria de cátodo dispuesta en el otro extremo, y con placas -26- de conducción de corriente acopladas según se muestra.

La celda electrolítica bipolar -30- del tipo sin intersticios mide 2.400 mm de anchura por 1.280 mm de altura y tiene una cámara anódica, una cámara catódica y una cámara -7- de separación gas-líquido. La cámara anódica y la cámara catódica están formadas cada una por una pared de separación -5- en forma de cuenco y están dispuestas adosadas. Estas cámaras anódica y catódica se combinan entre sí introduciendo un elemento de armazón -22- en una parte curvada -18- dispuesta en la parte superior de la pared de separación -5-. Cada cámara de separación gas-líquido está definida en la parte superior de cada cámara de electrodos fijando un elemento divisorio -16- en forma de L, de una altura -H-, a la pared de separación -5-.

La cámara de separación gas-líquido en el lado del ánodo tiene un área en sección de 27 cm<sup>2</sup>, en el lado del cátodo tiene un área en sección de 15 cm<sup>2</sup>, y solamente la cámara de separación gas-líquido en el lado del ánodo tiene una estructura similar a la mostrada en la figura 5. Es decir, en la cámara de separación gas-líquido en el lado del ánodo está instalada una placa divisoria -20- de titanio que tiene una altura -H'- de 50 mm y un grosor de 1 mm, con una anchura -W- de un conducto -B- configurada a 5 mm. En la parte superior de la placa divisoria está montada una placa porosa -19- de titanio expandido que tiene un porcentaje de apertura del 59 % y un grosor de 1 mm, con una altura que asciende verticalmente hasta el extremo superior de la cámara de separación gas-líquido. Los orificios -15- en la cámara de separación gas-líquido del lado del ánodo tienen una forma elíptica de una anchura de 5 mm y 22 mm de longitud, y están dispuestos con una separación de 37,5 mm.

La placa deflectora -9- está dispuesta solamente en el lado del ánodo. Está instalada una placa deflectora de titanio con un grosor de 1 mm y una altura -H2- de 500 mm, con una anchura -W2- de un conducto -D- fijada en 10 mm y un intersticio -W2'- entre la pared de separación -5- y el extremo inferior de la placa establecido en 3 mm. La distancia vertical -S- desde el extremo superior de la placa deflectora hasta el extremo superior de la cámara de electrodos está configurada en 40 mm.

El distribuidor -14- de líquido del ánodo comprende un tubo cuadrado con una longitud de 220 cm y un área de sección de 4 cm<sup>2</sup>, formado con 24 orificios a intervalos regulares, que miden cada uno 1,5 mm, y está instalado horizontalmente en una posición a 50 mm por encima de la parte inferior de la cámara anódica de la celda, con un extremo unido a una tobera de entrada -12- del lado del ánodo. La pérdida de presión de este distribuidor era aproximadamente de 2 mm de columna de agua cuando se suministró agua salada saturada a 150 l/hora equivalente a 4 kA/m<sup>2</sup>.

El distribuidor -23- de líquido del cátodo comprende un tubo cuadrado con una longitud de 220 cm y un área en sección de 3,5 cm<sup>2</sup>, formado con 24 orificios a intervalos regulares, que miden cada uno 2 mm, y está montado horizontalmente en una posición a 50 mm por encima de la parte inferior de la cámara catódica de la celda, con un extremo unido a una tobera de entrada del lado del cátodo. La pérdida de presión de este distribuidor era aproximadamente de 12 mm de columna de agua cuando se suministró álcali a 300 l/hora equivalente a 4 kA/m<sup>2</sup>.

Se fabricó una estructura sin intersticios en el lado del cátodo, la estructura mostrada en la figura 1. Más específicamente, la placa conductiva -3- es de níquel metálico expandido con un grosor de 1,2 mm, con aberturas que miden cada una 8 mm de longitud lateral y 5 mm de longitud longitudinal. La rejilla almohadillada -2- tiene cuatro

alambres de níquel de 0,1 mm de diámetro, que están tejidos en una forma de rejilla y a continuación ondulados con un grosor de 9 mm. Esta rejilla se fija a la placa conductiva -3- mediante soldadura de puntos en 18 posiciones. La rejilla se cubre a continuación con una red de alambre de níquel de malla 40 de un diámetro de alambre de 0,15 mm, que se recubre con un material compuesto principalmente de óxido de rutenio, con un grosor aproximadamente de 3  $\mu\text{m}$  y forma el cátodo -1- de generación de hidrógeno. El cátodo -1- de generación de hidrógeno se fija a la placa conductiva -3- mediante soldadura por puntos en aproximadamente 60 posiciones a lo largo de la periferia del cátodo. La estructura sin intersticios del lado del cátodo está por lo tanto constituida por tres capas.

La estructura del lado del ánodo tiene el distribuidor -14- de líquido del ánodo que se muestra en la figura 3, y la placa deflectora -9- que se muestra en la figura 3 y la figura 4.

Para impedir variaciones de presión en la celda, la placa divisoria -20- y la placa porosa -19- de eliminación de burbujas, mostradas en la figura 5, están dispuestas en la cámara de separación gas-líquido del lado del ánodo. No están dispuestas en la cámara de separación gas-líquido del lado del cátodo.

El ánodo -11- es una placa de titanio de 1 mm de grosor, que está expandida, prensada con rodillos a un grosor de  $1\pm 0,05$  mm y fijada a los nervios 22. Las partes de abertura del metal expandido antes de ser prensadas con rodillos están a una distancia de 6 mm en dirección horizontal y de 3 mm en dirección longitudinal, con un paso de mecanizado establecido a 1 mm. Se midió el porcentaje de apertura del metal expandido después del prensado con rodillos mediante una máquina copiadora y se encontró que era del 40 %. El metal expandido se sometió a ataque químico con ácido sulfúrico, y la máxima diferencia de alturas entre las crestas y los canales (las irregularidades) en la superficie fue de 30  $\mu\text{m}$ . El material de base se sometió a ataque químico con ácido y a continuación se recubrió con un material compuesto principalmente de  $\text{RuO}_2$ ,  $\text{IrO}_2$  y  $\text{TiO}_2$  para formar el ánodo. La diferencia de alturas máxima entre las crestas y los canales (las irregularidades) en la superficie del ánodo después del recubrimiento fue de aproximadamente 13  $\mu\text{m}$ .

La diferencia de alturas máxima entre las irregularidades sobre la superficie del ánodo se midió utilizando el escáner NewView5022 de la firma Zygo.

En primer lugar, se realizó una calibración utilizando una muestra estándar en la que las irregularidades se establecieron a 1,824  $\mu\text{m}$ , de manera que se pudiera obtener una cantidad adecuada de luz. A continuación, se puso un objeto como objetivo bajo una fuente de luz blanca y se realizó un ajuste para provocar la aparición de franjas de interferencia. A continuación, se tomó una medición de las franjas de interferencia cuando el objetivo se movió aproximadamente 100  $\mu\text{m}$  verticalmente, se determinaron las irregularidades mediante un análisis de áreas de frecuencia y se calculó la diferencia entre los valores máximo y mínimo como la diferencia máxima entre las crestas y los canales (las irregularidades).

Se intercaló una membrana de intercambio catiónico ACIPLEX® F4401 entre las celdas electrolíticas de la estructura anterior mediante juntas, para formar el dispositivo electrolítico. Se suministró agua salada con una concentración de 300 g/L como líquido del ánodo, al lado de la cámara anódica de este dispositivo electrolítico, de manera que la concentración de agua salada de salida fuera de 200 g/L. Se suministró sosa cáustica pobre al lado de la cámara catódica de manera que la concentración de sosa cáustica de salida fuera de 32 % en peso. Se realizó un funcionamiento de electrolisis durante 360 días con una temperatura de la electrolisis de 90 °C, una presión absoluta de 0,14 MPa durante la electrolisis y una densidad de corriente de 4 a 6  $\text{kA/m}^2$ .

Se midió la distribución de la concentración de líquido del ánodo y la distribución de densidad de líquido del cátodo en la celda electrolítica durante el funcionamiento de la electrolisis, en los puntos de toma de muestras -13- mostrados en la figura 3 y la figura 8. Más específicamente, la medición se tomó en nueve puntos que estaban 150 mm, 600 mm y 1000 mm por debajo de la parte superior de la parte conductiva en la celda y en el centro de la celda, y 100 mm hacia el interior desde ambos extremos de la celda. Las diferencias entre las concentraciones máxima y mínima en los nueve puntos se muestran como la diferencia de concentración en la tabla 1.

Tabla 1

	Ejemplo de aplicación 1			
	5 kA/m <sup>2</sup>		6 kA/m <sup>2</sup>	
	Primeros 30 días	días 300 a 360	Primeros 30 días	días 300 a 360
Tensión media (V)	2,90	2,92	2,99	3,02
Cambio de tensión (mV)	20		30	
Eficiencia media de la corriente (%)	96,7	96,0	96,5	95,5
Cambio de la eficiencia de la corriente (%)	0,7		1,0	
Volumen de agua salada suministrada (l/hora-celda)	193		232	
Volumen de agua salada pobre reciclada	25 (l/hora-celda)		25 (l/hora-celda)	
Diferencia de concentraciones de agua salada en la celda (N)	0,31		0,35	
Volumen de suministro de NaOH (l/hora-celda)	300		300	
Concentración de NaOH suministrado (%)	30,4		30,6	
Diferencia de concentración de NaOH en la celda (%)	0,6		0,8	
Variación de presión en la celda en el lado del ánodo	Menor de 5 (cm de columna de agua)		Menor de 5 (cm de columna de agua)	
Estado de las membranas de intercambio iónico después de 360 días	No se observaron picaduras o burbujas en las membranas de intercambio iónico.			

Además, la tabla 1 muestra la medición de la tensión media y el cambio de tensión, la eficiencia de la corriente, y las vibraciones y la distribución de concentración en las celdas durante el funcionamiento de la electrolisis. La tabla 1 muestra que el aumento de tensión fue tan pequeño como de 30 mV para 6 kA/m<sup>2</sup> y que la disminución de la eficiencia de la corriente fue asimismo tan pequeña como del 1 %. Las vibraciones en la celda electrolítica fueron menores de 5 cm en la columna de agua y la diferencia de concentración fue de 0,31 a 0,35 N en el lado del ánodo, y del 0,6 al 0,8 % en el lado del cátodo.

Después de 360 días de el funcionamiento de la electrolisis, el dispositivo electrolítico se desmontó para extraer las membranas de intercambio iónico para su examen. Las membranas de intercambio iónico no tenían burbujas y estaban en buen estado para su futura utilización y funcionamiento.

[Ejemplo de comparación 1]

Se fabricó un dispositivo electrolítico utilizando celdas electrolíticas bipolares similares, excepto en que se modificaron los ánodos utilizados en el ejemplo de aplicación 1.

Más específicamente, la placa de titanio de 1 mm de grosor del ánodo fue expandida para tener un porcentaje de apertura del 30 %, y a continuación fue sometida a ataque químico con ácido sulfúrico para formar irregularidades sobre su superficie, cuya diferencia máxima de altura fue aproximadamente de 8 µm. A continuación, la placa de titanio expandida se recubrió con un material compuesto principalmente de RuO<sub>2</sub>, IrO<sub>2</sub> y TiO<sub>2</sub>. La diferencia de alturas máxima entre las irregularidades en la superficie recubierta fue de 3 µm y el grosor del ánodo fue de 1,8 mm. Este dispositivo electrolítico se hizo funcionar exactamente bajo las mismas condiciones que el ejemplo de aplicación 1 y se realizó una medición similar. Los valores medidos se muestran en la tabla 2. La tabla 2 muestra que la tensión aumentó hasta como 150 mV para 6 kA/m<sup>2</sup> y la reducción de la eficiencia de la corriente fue tanto como del 2 al 3 %. Las vibraciones en la celda electrolítica fueron menores de 5 cm en la columna de agua para 6 kA/m<sup>2</sup>, y la diferencia de concentración fue de 0,31 a 0,35 N en el lado del ánodo y del 0,6 al 0,8 % en el lado del cátodo.

Después de 360 días de funcionamiento, el dispositivo electrolítico se desmontó para extraer las membranas de intercambio iónico para su examen. Se encontró que las membranas de intercambio iónico tenían finas burbujas y algunas estaban formadas con pequeñas picaduras.

[Ejemplo de referencia 1]

Se construyó un dispositivo electrolítico utilizando celdas electrolíticas bipolares similares excepto en que se modificaron los cátodos de generación de hidrógeno utilizados en el ejemplo de aplicación 1. A modo de cátodo de generación de hidrógeno se utilizó una red de alambre de níquel de malla 14 de 0,4 mm de diámetro de alambre (un grosor del cátodo de 0,8 mm) recubierto con un material compuesto principalmente de óxido de níquel hasta un grosor de aproximadamente 250 µm.

Después se hizo funcionar el dispositivo electrolítico exactamente bajo las mismas condiciones que el ejemplo de aplicación 1, realizándose mediciones similares. Los resultados se muestran en la tabla 2. Los resultados muestran que la tensión fue relativamente elevada desde la fase inicial, que su aumento fue de tanto como de 80 mV para 6 kA/m<sup>2</sup> y que la disminución de la eficiencia de la corriente fue tanta como del 2 al 3 %. Las vibraciones en la celda electrolítica fueron menores de 5 cm en la columna de agua para 6 kA/m<sup>2</sup>, y la diferencia de concentración fue de 0,31 a 0,35 N en el lado del ánodo y del 0,6 al 0,8 % en el lado del cátodo.

Después de 360 días de funcionamiento, el dispositivo electrolítico se desmontó para extraer las membranas de intercambio iónico para su examen. La superficie de las membranas de intercambio iónico estaban raspadas. Algunas tenían formados pequeñas picaduras. El recubrimiento del cátodo estaba intensamente raspado y agrietado.

Tabla 2

	Ejemplo de comparación 1				Ejemplo de referencia 1	
	5 kA/m <sup>2</sup>		6 kA/m <sup>2</sup>		6 kA/m <sup>2</sup>	
	Primeros 30 días	días 300 a 360	Primeros 30 días	días 300 a 360	Primeros 30 días	días 300 a 360
Tensión media (V)	2,95	3,08	3,05	3,20	3,04	3,12
Cambio de tensión (mV)	130		150		80	
Eficiencia media de la corriente (%)	96,3	93,8	96,1	93,5	96,1	93,3
Cambio de la eficiencia de la corriente (%)	2,5		2,6		2,8	
Volumen de agua salada suministrada (l/hora-celda)	193		232		232	
Volumen de agua salada pobre reciclada	25 (l/hora-celda)		25 (l/hora-celda)		25 (l/hora-celda)	
Diferencia de concentraciones de agua salada en la celda (N)	0,31		0,35		0,35	
Volumen de suministro de NaOH (l/hora-celda)	300		300		300	
Concentración de NaOH suministrado (%)	30,5		30,5		30,5	
Diferencia de concentración de NaOH en la celda (%)	0,6		0,8		0,8	
Variación de presión en la celda en el lado del ánodo	Menor de 5 (cm de columna de agua)		Menor de 5 (cm de columna de agua)		Menor de 5 (cm de columna de agua)	
Estado de las membranas de intercambio iónico después de 360 días	Se encontraron burbujas en casi todas las membranas de intercambio iónico; algunas tenían picaduras.				Muchas superficies de las membranas de intercambio iónico estaban dañadas y con punteados.	

[Ejemplo de aplicación 2]

Se construyó un dispositivo electrolítico utilizando celdas electrolíticas bipolares similares excepto en que se modificaron los ánodos utilizados en el ejemplo de aplicación 1.

Se utilizó como ánodo una placa de titanio de 1 mm de grosor, y la placa de titanio fue expandida y prensada con rodillos a un grosor de 1,2 mm. El porcentaje de apertura se midió siendo del 40 %. La placa de titanio expandida se sometió a ataque químico con ácido sulfúrico para formar irregularidades sobre su superficie, cuya máxima diferencia de alturas fue aproximadamente de 30 µm. A continuación se recubrió con un material compuesto principalmente de RuO<sub>2</sub>, IrO<sub>2</sub> y TiO<sub>2</sub>. La diferencia de alturas máxima entre las irregularidades sobre la superficie recubierta fue de 13 µm. El dispositivo electrolítico se hizo funcionar exactamente bajo las mismas condiciones que el ejemplo de aplicación 1 y se realizó una medición similar. Los valores medidos se muestran en la tabla 3. La tabla 3 muestra que el aumento de tensión fue de 50 mV para 6 kA/m<sup>2</sup> y la disminución de la eficiencia de la corriente fue del 1,3 %. Las vibraciones en la celda electrolítica fueron menores de 5 cm en la columna de agua para 6 kA/m<sup>2</sup>, y la diferencia de concentración fue de 0,31 a 0,36 N en el lado del ánodo y del 0,6 al 0,8 % en el lado del cátodo.

Después de 360 días del funcionamiento de la electrolisis, el dispositivo electrolítico se desmontó para extraer las membranas de intercambio iónico para su examen. Las membranas de intercambio iónico no tenían burbujas y estaban en buen estado para su futura utilización y funcionamiento.

Tabla 3

	Ejemplo de aplicación 2			
	5 kA/m <sup>2</sup>		6 kA/m <sup>2</sup>	
	Primeros 30 días	días 300 a 360	Primeros 30 días	días 300 a 360
Tensión media (V)	2,93	2,96	3,02	3,07
Cambio de tensión (mV)	30		50	
Eficiencia media de la corriente (%)	96,7	95,8	96,5	95,2
Cambio de la eficiencia de la corriente (%)	0,9		1,3	
Volumen de agua salada suministrada (l/hora-celda)	193		232	
Volumen de agua salada pobre reciclada	25 (l/hora-celda)		25 (l/hora-celda)	
Diferencia de concentraciones de agua salada en la celda (N)	0,31		0,36	
Volumen de suministro de NaOH (l/hora-celda)	300		300	
Concentración de NaOH suministrado (%)	30,4		30,6	
Diferencia de concentración de NaOH en la celda (%)	0,6		0,8	
Variación de presión en la celda en el lado del ánodo	Menor de 5 (cm de columna de agua)		Menor de 5 (cm de columna de agua)	
Estado de las membranas de intercambio iónico después de 360 días	No se observaron picaduras ni burbujas en las membranas de intercambio			

## 5 [Ejemplo de aplicación 3]

Se llevó a cabo la electrolisis en un intervalo de 7 a 8 kA/m<sup>2</sup> utilizando el mismo dispositivo electrolítico que en el ejemplo de aplicación 1.

10 En esta funcionamiento, se añadió salmuera pobre descargada como el líquido del ánodo desde el dispositivo electrolítico en un volumen máximo de 155 l/hora-celda al agua salada saturada y se suministró a cada celda electrolítica una distribución de la concentración deseada. Para el líquido del cátodo asimismo, el volumen de suministro se aumentó hasta 400 l/hora-celda para mantener la distribución con la concentración deseada.

15 Se midieron la tensión, la eficiencia de la corriente, y las vibraciones y la distribución de la concentración en las celdas durante el funcionamiento de la electrolisis. Los resultados se muestran en la tabla 4. La tabla 4 muestra que el aumento de tensión fue tan sólo de 30 mV para 8 kA/m<sup>2</sup> y que la disminución de la eficiencia de la corriente fue tan sólo del 0,9 %. Las vibraciones en la celda fueron menores de 10 cm en columna de agua y la diferencia de concentración fue de 0,39 a 0,47 N en el lado del ánodo y del 1,2 al 1,4 % en el lado del cátodo.

20 Después de 180 días del funcionamiento de la electrolisis, el dispositivo electrolítico se desmontó para extraer las membranas de intercambio iónico para su examen. Las membranas de intercambio iónico no tenían burbujas y estaban en buen estado para su futura utilización y funcionamiento.

## 25 [Ejemplo de referencia 2]

Se realizó la electrolisis en un intervalo de 7 a 8 kA/m<sup>2</sup> utilizando exactamente el mismo dispositivo electrolítico que en el ejemplo de aplicación 1.

30 La electrolisis se condujo bajo condiciones similares a las del ejemplo de aplicación 3, excepto en que no se añadió la salmuera pobre descargada del dispositivo electrolítico como líquido del ánodo a la salmuera saturada, y el volumen de suministro del líquido del cátodo se mantuvo a 300 l/hora-celda.

35 Se midieron la tensión, la eficiencia de la corriente, y las vibraciones y la distribución de concentración en las celdas durante el funcionamiento de la electrolisis, y los resultados se muestran en la tabla 4. Los resultados muestran que el aumento de tensión fue de 90 mV para 8 kA/m<sup>2</sup> y que la disminución de la eficiencia de la corriente fue del 3,3 %. Las vibraciones en la celda fueron menores de 5 cm en columna de agua y la diferencia de concentración fue de 0,6 a 0,7 N en el lado del ánodo y del 1,5 al 2,1 % en el lado del cátodo.

40 Después de 180 días del funcionamiento de la electrolisis, el dispositivo electrolítico se desmontó para extraer las membranas de intercambio iónico para su examen. Las membranas de intercambio iónico tenían muchas burbujas que medían de 1 a 10 mm de diámetro, adheridas a todas sus superficies.

Tabla 4

	Ejemplo de aplicación 3				Ejemplo de referencia 2			
	7 kA/m <sup>2</sup>		8 kA/m <sup>2</sup>		7 kA/m <sup>2</sup>		8 kA/m <sup>2</sup>	
	Primeros 30 días	días 150 a 180	Primeros 30 días	días 150 a 180	Primeros 30 días	días 150 a 180	Primeros 30 días	días 150 a 180
Tensión media (V)	3,09	3,11	3,18	3,21	3,08	3,16	3,17	3,26
Cambio de tensión (mV)	20		30		80		90	
Eficiencia media de la corriente (%)	96,3	95,5	96,1	95,2	96,1	92,9	96,0	92,7
Cambio de la eficiencia de la corriente (%)	0,8		0,9		3,2		3,3	
Volumen de agua salada suministrada (l/hora-celda)	337		465		270		310	
Volumen de agua salada pobre reciclada	67 (l/hora-celda)		155 (l/hora-celda)		25 (l/hora-celda)		25 (l/hora-celda)	
Diferencia de concentraciones de agua salada en la celda (N)	0,39		0,47		0,61		0,73	
Volumen de suministro de NaOH (l/hora-celda)	350		400		300		300	
Concentración de NaOH suministrado (%)	30,5		30,5		30,5		30,5	
Diferencia de concentración de NaOH en la celda (%)	1,2		1,4		1,5		2,1	
Variación de presión en la celda en el lado del ánodo	8 (cm de columna de agua)		8 (cm de columna de agua)		Menor de 5 (cm de columna de agua)		Menor de 5 (cm de columna de agua)	
Estado de las membranas de intercambio iónico después de 360 días	No se observaron anomalías en las membranas de intercambio iónico.				Se observaron muchas burbujas.			

[Ejemplo de aplicación 4]

5 Se preparó una celda electrolítica bipolar con una estructura en sección transversal como la mostrada en la figura 9, un metal expandido de 1,8 mm de grosor como ánodo, y un níquel metálico expandido como cátodo. El cátodo se recubrió con un material compuesto principalmente de óxido de níquel mediante pulverización de plasma, hasta un  
10 grosor de 250 µm. La celda electrolítica fue utilizada durante un año con la distancia entre electrodos establecida en 2 mm.

15 El ánodo de esta celda se extrajo y se instaló en su lugar un nuevo ánodo con la configuración exacta del ejemplo de aplicación 1. Además, el recubrimiento sobre el cátodo se raspó mediante un cepillo para dejar al descubierto un metal de base de níquel para su utilización como placa conductiva. Se montaron exactamente del mismo modo la misma rejilla almohadillada y el mismo cátodo de generación de hidrógeno que los del ejemplo de aplicación 1.

20 Se construyó un dispositivo electrolítico similar al del ejemplo de aplicación 1. A continuación se realizó la electrolisis de manera similar. Se midieron la tensión, la eficiencia de la corriente, y las vibraciones y la distribución de concentración en las celdas durante el funcionamiento de la electrolisis. Los resultados se muestran en la tabla 5. La tabla 5 muestra que el aumento de tensión fue solamente de 20 mV para 6 kA/m<sup>2</sup>, y que la disminución de la eficiencia de la corriente fue de tan sólo del 0,7 %. Las vibraciones en la celda fueron menores de 5 cm en columna de agua, y la diferencia de concentración fue de 0,35 N como máximo en el lado del ánodo y del 0,8 % como máximo en el lado del cátodo.

25 Después de 180 días del funcionamiento de la electrolisis, el dispositivo electrolítico se desmontó para extraer las membranas de intercambio iónico para su examen. Las membranas de intercambio iónico no tenían burbujas y estaban en buen estado para su futura utilización y funcionamiento.

Tabla 5

	Ejemplo de aplicación 4			
	5 kA/m <sup>2</sup>		6 kA/m <sup>2</sup>	
	Primeros 30 días	días 150 a 180	Primeros 30 días	días 150 a 180
Tensión media (V)	2,91	2,92	3,00	3,02
Cambio de tensión (mV)	10		20	
Eficiencia media de la corriente (%)	96,8	96,2	96,6	95,9
Cambio de la eficiencia de la corriente (%)	0,6		0,7	
Volumen de agua salada suministrada (l/hora-celda)	193		232	
Volumen de agua salada pobre reciclada	25 (l/hora-celda)		25 (l/hora-celda)	
Diferencia de concentraciones de agua salada en la celda (N)	0,32		0,35	
Volumen de suministro de NaOH (l/hora-celda)	300		300	
Concentración de NaOH suministrado (%)	30,5		30,5	
Diferencia de concentración de NaOH en la celda (%)	0,6		0,8	
Variación de presión en la celda en el lado del ánodo	Menor de 5 (cm de columna de agua)		Menor de 5 (cm de columna de agua)	
Estado de las membranas de intercambio iónico después de 360 días	No se observaron picaduras o burbujas en las membranas de intercambio iónico.			

#### APLICABILIDAD INDUSTRIAL

5

La celda electrolítica bipolar, del tipo sin intersticios, tiene las cámaras -7- de separación gas-líquido en porciones no conductoras de las partes superiores de las cámaras anódica y catódica, cada una de las cuales está formada integralmente con la cámara anódica o la cámara catódica, por lo menos un conducto cilíndrico o placa deflectora -9- está instalado entre una pared de separación -5- de la cámara anódica y/o de la cámara catódica y los electrodos para formar una trayectoria de circulación interna para el electrolito, y tres capas en el lado del cátodo, que comprenden una placa conductiva -3-, una rejilla almohadillada conductiva -2- apilada sobre la placa conductiva, y un cátodo -1- de generación de hidrógeno situado sobre la rejilla almohadillada en una zona en la que contacta con una membrana de intercambio catiónico. En esta celda electrolítica bipolar del tipo sin intersticios, dado que el ánodo está conformado óptimamente, realizar la electrolisis a una densidad de corriente de 4 a 8 kA/m<sup>2</sup> no hace que aumente la tensión con el paso del tiempo. Solamente se produce una pequeña reducción en la eficiencia de la corriente y se producen burbujas en las membranas de intercambio iónico. Con esto, se puede realizar una electrolisis estable durante un largo periodo de tiempo.

10

15

20

25

30

35

Dicha celda electrolítica sin intersticios se puede fabricar asimismo modificando las celdas electrolíticas que utilizan una estructura de intersticios finitos. Esta modificación de la celda de intersticios finitos en una celda sin intersticios se puede realizar en aquellas celdas electrolíticas que han sido utilizadas como celdas de intersticios finitos y comprenden cámaras de separación gas-líquido formadas en partes no conductoras de las partes superiores de las cámaras del anódica y catódica. Las celdas electrolíticas se forman en el interior de la cámara anódica o de la cámara catódica. Se instala un conducto cilíndrico o una placa deflectora entre la pared de separación de la cámara anódica y/o de la cámara catódica, para que los electrodos formen una trayectoria de circulación interna para el electrolito. En este caso, el ánodo y la cámara anódica se modifican en la estructura descrita anteriormente, y a continuación se modifica asimismo la cámara catódica. A continuación se instala una placa conductiva, una rejilla almohadillada y un cátodo para formar una estructura de celda sin intersticios. Una celda electrolítica sin intersticios se puede fabricar asimismo utilizando simplemente el cátodo que se ha utilizado en la celda de intersticios finitos como la placa conductiva. A continuación, se apilan nuevamente una rejilla almohadillada y un cátodo sobre la placa conductiva. A la inversa, la celda sin intersticios se puede utilizar como celda de intersticios finitos retirando de la celda sin intersticios el cátodo, la rejilla almohadillada y la placa conductiva, e instalando a continuación un cátodo nuevo. Esta modificación es menos costosa que fabricar una celda electrolítica nueva y se puede implementar fácilmente, de manera que ofrece una gran ventaja para el usuario.

## ES 2 547 403 T3

1. Celda electrolítica bipolar, del tipo sin intersticios, para su utilización en un dispositivo electrolítico del tipo de filtro prensa que tiene una serie de celdas electrolíticas bipolares y una serie de membranas de intercambio iónico anódico dispuestas cada una entre celdas electrolíticas bipolares adyacentes, que comprende:

5 una cámara anódica;

un ánodo dispuesto en la cámara anódica, estando formado dicho ánodo de un material de base del ánodo que comprende titanio expandido y una red de alambre de titanio con un porcentaje de área abierta del 25 % al 75 %, teniendo dicho ánodo, después de ser aplicado con un catalizador sobre el material de base del ánodo, una  
10 diferencia de alturas máxima de 5  $\mu\text{m}$  a 50  $\mu\text{m}$  entre irregularidades sobre una superficie del mismo, y un grosor de 0,7 mm a 2,0 mm;

una cámara catódica dispuesta adosada a la cámara anódica; y

15 un cátodo que tiene, por lo menos, dos capas apiladas en la cámara catódica, incluyendo dichas capas una capa de rejilla almohadillada conductiva y una capa de un cátodo de generación de hidrógeno, siendo dicha capa del cátodo de generación de hidrógeno adyacente a la capa de rejilla almohadillada y estando dispuesta en una zona para contacto con la membrana de intercambio iónico anódico.

20 2. Celda electrolítica bipolar, del tipo sin intersticios, según el punto 1, en la que dicho material de base del ánodo comprende titanio expandido que se forma durante el proceso de expansión y laminación con rodillos de una placa de titanio.

25 3. Una celda electrolítica bipolar, del tipo sin intersticios, según el punto 2, en la que el metal tiene un grosor después del proceso de expansión y laminación con rodillos del 95 % al 105 % del grosor de la placa antes del proceso de expansión.

30 4. Celda electrolítica bipolar, del tipo sin intersticios, según cualquiera de los puntos 1 a 3, en la que dicho cátodo de generación de hidrógeno está formado de un material de base con un grosor de 0,05 mm a 0,5 mm y está seleccionado de entre un grupo de una red de alambre de níquel, un níquel metálico expandido y una placa de níquel perforada, porosa, y dicho cátodo de generación de hidrógeno tiene una capa de recubrimiento de catalizador electrolítico formada en el mismo, que tiene un grosor de 50  $\mu\text{m}$  o menos.

35 5. Celda electrolítica bipolar, del tipo sin intersticios, según el punto 1, que comprende además cámaras de separación gas-líquido, estando dichas cámaras de separación gas-líquido formadas respectivamente en partes sin transporte de corriente en la parte superior de las cámaras anódica y catódica en el interior de las cámaras anódica y catódica, en las que, por lo menos, uno de un conducto cilíndrico y una placa deflectora sirven como una trayectoria de circulación interior para el electrolito que está dispuesto, por lo menos, entre una parte de la pared divisoria de las cámaras anódica y catódica que forman el electrodo asociado.

40 6. Celda electrolítica bipolar, del tipo sin intersticios, según el punto 5, en la que dichas cámaras de separación gas-líquido están formadas con placas divisorias en las mismas.

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de modificación de una celda electrolítica bipolar, del tipo de intersticios finitos, en una celda electrolítica bipolar, del tipo sin intersticios, siendo la celda electrolítica bipolar del tipo de intersticios finitos para su utilización en un dispositivo electrolítico del tipo de filtro prensa que tiene una serie de celdas electrolíticas bipolares y una serie de membranas de intercambio catiónico dispuestas, cada una, entre las celdas electrolíticas bipolares adyacentes, comprendiendo las celdas electrolíticas bipolares, del tipo de intersticios finitos, una cámara anódica, un ánodo dispuesto en la cámara anódica, una cámara catódica dispuesta adosada a la cámara anódica, y un cátodo dispuesto en la cámara catódica y cámaras de separación gas-líquido formadas respectivamente en las partes superiores de las cámaras anódica y catódica, estando el procedimiento caracterizado por:
- 5 configurar el cátodo existente como una placa conductiva;
- 15 disponer una capa de rejilla almohadillada conductiva apilada sobre la placa conductiva; y
- disponer un nuevo cátodo de generación de hidrógeno apilado sobre la capa de rejilla almohadillada conductiva para poner en contacto el cátodo de generación de hidrógeno con la membrana de intercambio catiónico.
2. Procedimiento de modificación, según la reivindicación 1, caracterizado porque la configuración del cátodo existente como placa conductiva incluye retirar una capa de recubrimiento del catalizador de la electrolisis del cátodo existente, en el que la capa de recubrimiento del catalizador de la electrolisis tiene un grosor de 50  $\mu\text{m}$  o menor.
- 20 3. Procedimiento de modificación, según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado por la formación del ánodo en un perfil plano con irregularidades dispuestas sobre una superficie.
- 25 4. Procedimiento de modificación, según la reivindicación 1, caracterizado porque dicho ánodo está formado de un material de base del ánodo que comprende uno de titanio expandido y una red de alambre de titanio con un porcentaje de área abierta del 25 % al 75 %, y dicho ánodo, después de ser aplicado con un catalizador sobre el material de base del ánodo, tiene una diferencia de alturas de 5  $\mu\text{m}$  a 50  $\mu\text{m}$  como máximo entre irregularidades sobre la superficie del mismo, y un grosor de 0,7 mm a 2,0 mm.
- 30 5. Procedimiento de modificación, según la reivindicación 4, caracterizado porque dicho material de base del ánodo comprende el titanio expandido que está formado de una placa de titanio mediante un proceso de expansión y, a continuación, un proceso de laminación con rodillos.
- 35 6. Procedimiento de modificación, según la reivindicación 5, caracterizado porque, mediante el proceso de laminación con rodillos posterior al proceso de expansión, el grosor de dicho metal se establece en un intervalo del 95 % al 105 % del grosor de la placa antes del proceso de expansión.
- 40 7. Procedimiento de modificación, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque dicho cátodo de generación de hidrógeno está formado de un material de base que tiene un grosor de 0,05 mm a 0,5 mm, y seleccionado de entre un grupo de red de alambre de níquel, níquel metálico expandido y una placa de níquel perforada, porosa, y dicho cátodo de generación de hidrógeno tiene una capa de recubrimiento de un catalizador electrolítico formada sobre el mismo y con un grosor de 50  $\mu\text{m}$  o menos.
- 45 8. Procedimiento de modificación, según la reivindicación 1, caracterizado porque por lo menos uno de un conducto cilíndrico y una placa deflectora que sirven como trayectoria de circulación interior para un electrolito está dispuesto, por lo menos, entre una parte de la pared de separación de las cámaras anódica y catódica que forman el electrodo asociado.
- 50 9. Procedimiento de modificación, según las reivindicaciones 1 y 8, caracterizado porque dichas cámaras de separación gas-líquido están formadas respectivamente en las partes superiores de las cámaras anódica y catódica.

FIG. 1

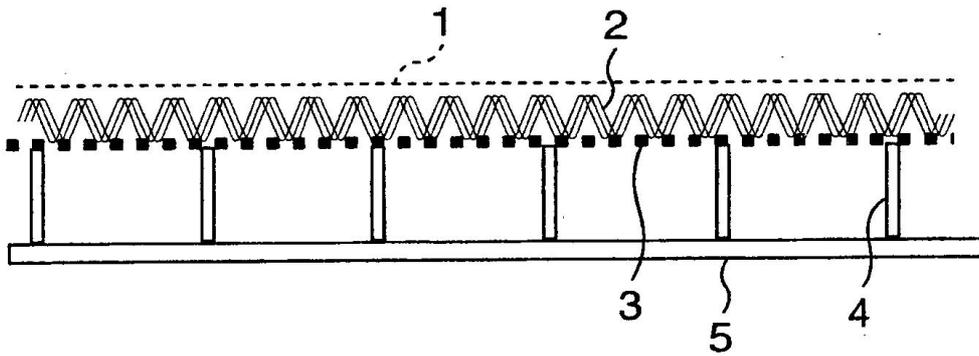


FIG. 2

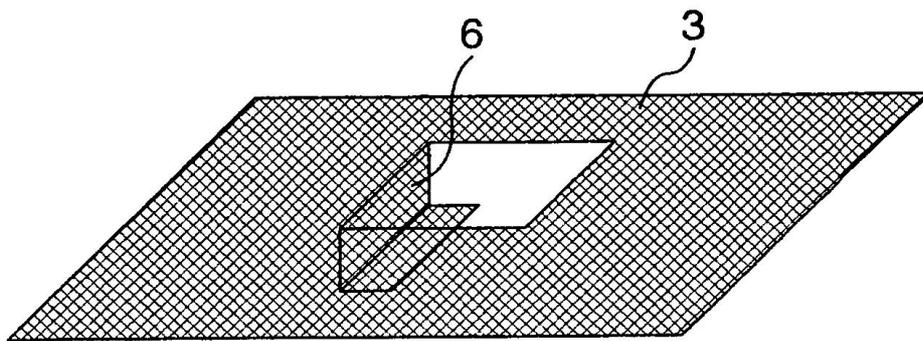


FIG. 3

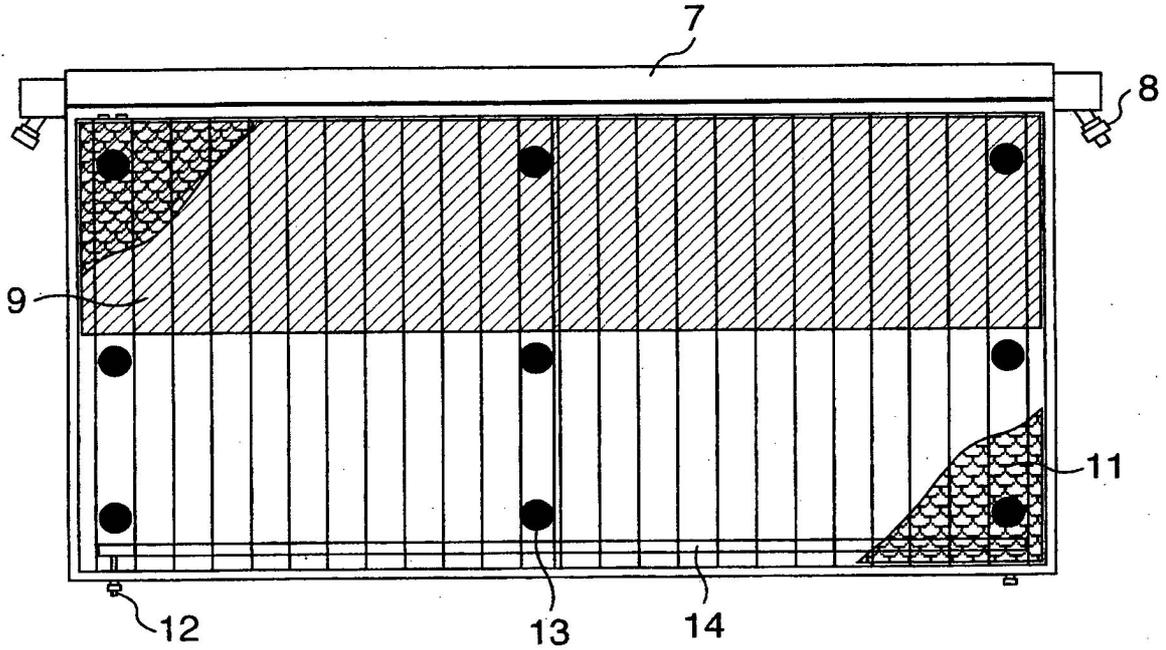


FIG. 4

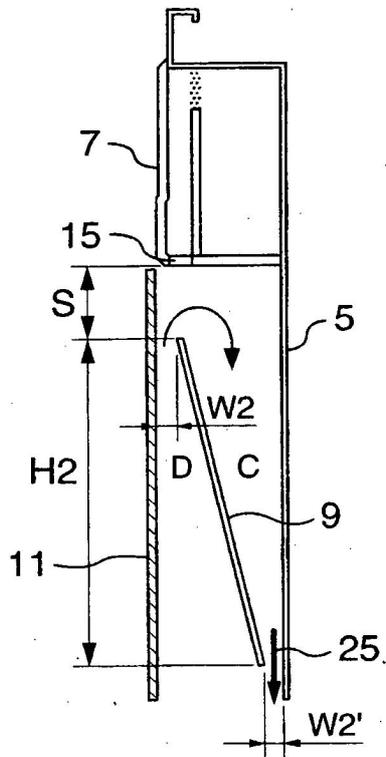


FIG. 5

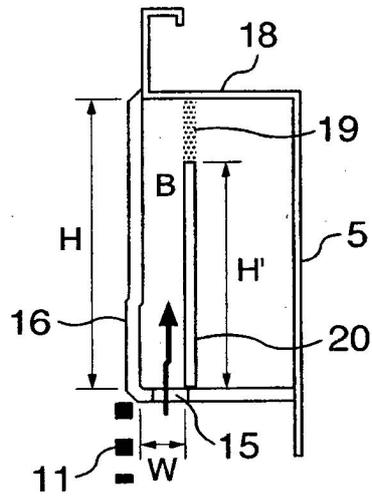


FIG. 6

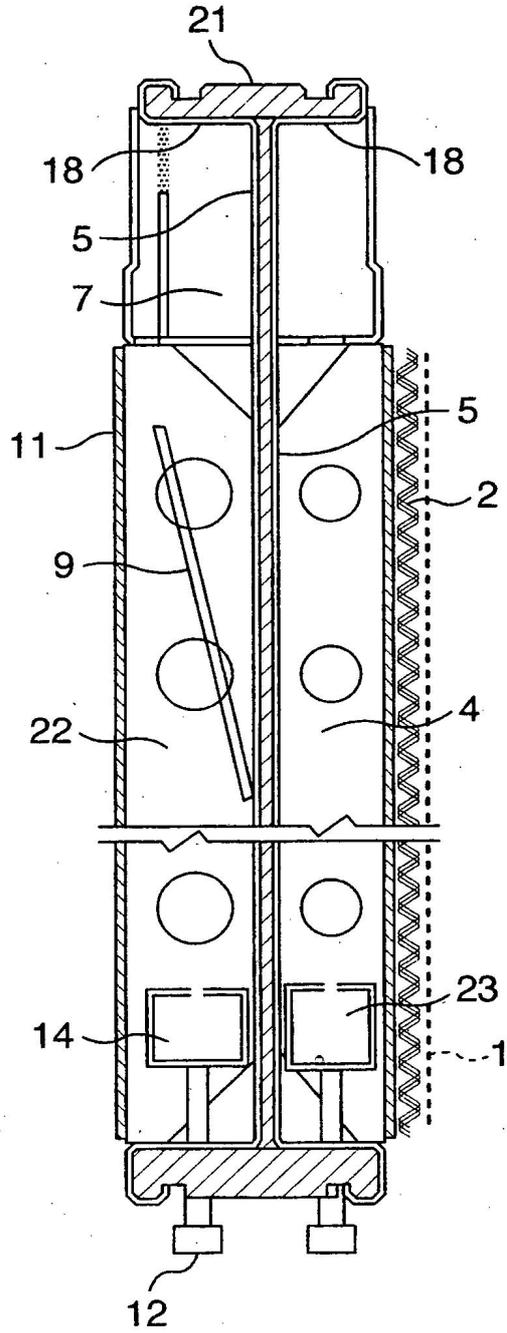


FIG. 7

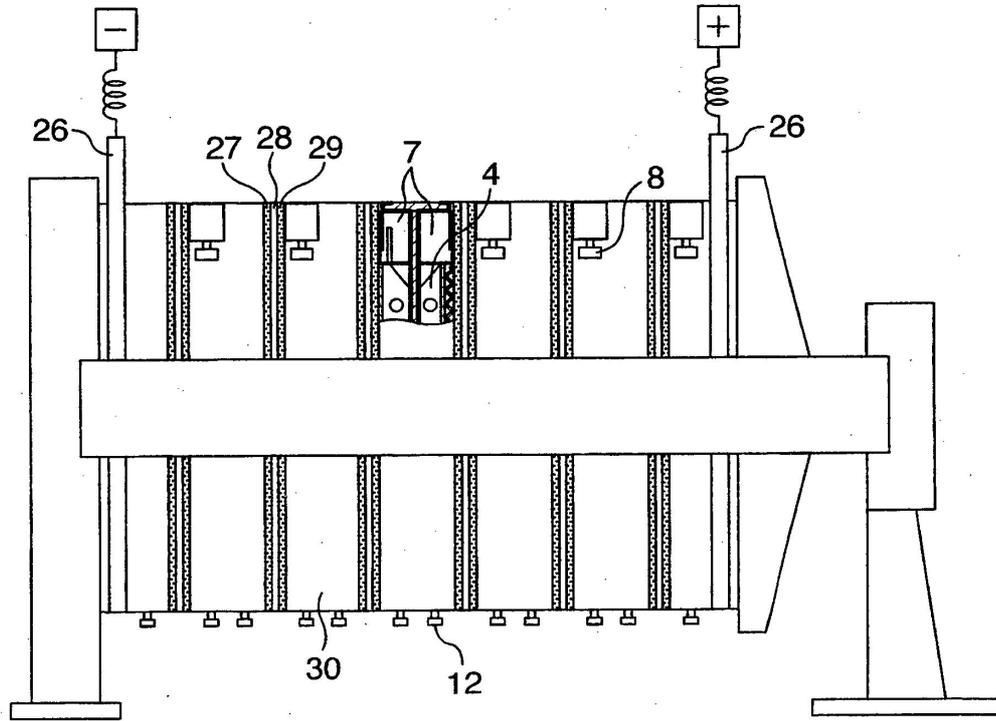


FIG. 8

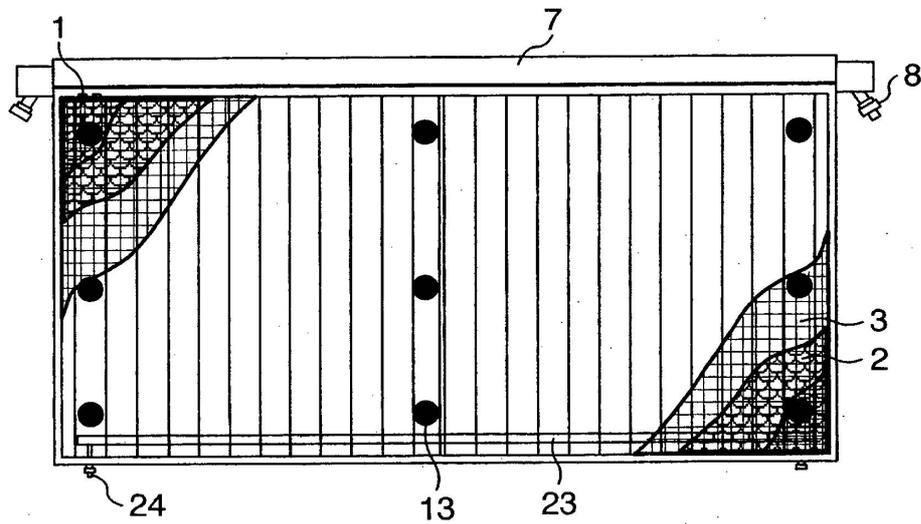


FIG. 9

