

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 624 225**

51 Int. Cl.:

**C25C 1/12** (2006.01)

**C25C 7/00** (2006.01)

**C25C 7/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.02.2014 PCT/FI2014/050144**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.09.2014 WO14131945**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.02.2014 E 14757730 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.03.2017 EP 2961865**

54 Título: **Medición de la corriente eléctrica de un electrodo individual en un sistema de electrólisis**

30 Prioridad:

**01.03.2013 FI 20135197**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**13.07.2017**

73 Titular/es:

**OUTOTEC (FINLAND) OY (100.0%)  
Rauhalanpuisto 9  
02230 Espoo, FI**

72 Inventor/es:

**GRANT, DUNCAN;  
BARKER, MICHAEL;  
NORDLUND, LAURI;  
RANTALA, ARI y  
VIRTANEN, HENRI K.**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 624 225 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

Medición de la corriente eléctrica de un electrodo individual en un sistema de electrólisis

**Campo de la invención**

5 La presente invención se refiere a un método de medición de la corriente eléctrica que circula en un electrodo individual en un sistema de electrólisis. Además, la invención se refiere a una estructura de medición de corriente para la medición de la corriente eléctrica que circula en un electrodo individual en un sistema de electrólisis.

**Antecedentes de la invención**

10 En el refinado electrolítico (ER, electrorefining, por sus siglas en inglés) y en la extracción electrolítica (EW, electrowinning, por sus siglas en inglés), los electrodos se sumergen en un electrolito y se hace pasar una corriente eléctrica entre ellos. El ánodo es positivo y el cátodo es negativo, de manera que pasa una corriente eléctrica a través del electrolito desde el ánodo al cátodo.

15 En el refinado electrolítico (ER), el ánodo metálico es soluble. Es decir, el metal se introduce en el electrolito bajo la influencia del potencial entre el ánodo y el cátodo. Por ejemplo, en el refinado electrolítico del cobre, el ánodo está hecho de cobre metálico con impurezas y los iones de cobre se introducen en el electrolito desde el ánodo. Los iones de cobre, ya en el electrolito, se transportan a través del electrolito, o por medio del electrolito, hasta el cátodo, en donde se depositan. El cátodo puede ser del mismo metal que el metal que se está depositando o puede ser de un metal diferente. Por ejemplo, en el refinado electrolítico del cobre, en su momento fue común emplear un cátodo hecho de cobre. Sin embargo, actualmente se utiliza mayoritariamente un cátodo permanente de acero inoxidable, el cual se recubre rápidamente de cobre, y el cual, a partir de entonces, se comporta esencialmente como un cátodo de cobre. El cobre depositado se quita o raspa de forma mecánica del cátodo permanente y se vuelve a utilizar el cátodo permanente. El cobre depositado sobre el cátodo es de una elevada pureza. Las impurezas que había en el ánodo con impurezas se pueden disolver en el electrolito o pueden precipitar como un sólido a medida que el ánodo se disuelve, y pueden contener subproductos de utilidad, por ejemplo, oro. Además del cobre, los metales purificados por medio de ER incluyen el oro, plata, plomo, cobalto, níquel, estaño y otros metales.

25 La extracción electrolítica (EW) difiere del refinado electrolítico en que el metal deseado se importa al interior de las células y ya está contenido en el electrolito. En el ejemplo del cobre, se emplea normalmente ácido sulfúrico para disolver el cobre de una forma de óxido de un mineral de cobre, y el líquido resultante, después de ser concentrado, se importa al interior de una célula de extracción electrolítica para hacer que se extraiga el cobre. Se sumergen un ánodo y un cátodo en el electrolito y se hace pasar una corriente entre ellos, siendo nuevamente el ánodo positivo y siendo el cátodo negativo. En la extracción electrolítica, el ánodo no es soluble, sino que está hecho de un material inerte. Normalmente, se utiliza un ánodo de aleación de plomo en el caso de la extracción electrolítica del cobre. El cátodo puede ser del mismo metal que el que se está extrayendo del electrolito o puede ser de un material diferente. Por ejemplo, en el caso del cobre, se pueden utilizar cátodos de cobre, aunque se utilizan mayoritariamente cátodos de acero inoxidable, los cuales se recubren rápidamente de cobre. Bajo la influencia de una corriente eléctrica, el metal que se ha de extraer sale de la solución del electrolito y se deposita en una forma muy pura sobre el cátodo. El electrolito se hace circular y se concentra por medio de este proceso, habiendo cedido una gran proporción de su contenido metálico. Además del cobre, los metales que se obtienen por medio de extracción electrolítica incluyen el plomo, oro, plata, zinc, cromo, cobalto, manganeso, aluminio y otros metales. Para algunos metales, como el aluminio, el electrolito es un material fundido en vez de una solución acuosa.

40 A modo de ejemplo de las tensiones y corrientes involucradas, en el refinado del cobre, la tensión de la célula es, por lo general, de aproximadamente 0,3 V, y en la extracción electrolítica del cobre es de aproximadamente 2,0 V. En ambos casos, la densidad de corriente catódica es de aproximadamente 300 A/m<sup>2</sup>, y la superficie de cada lado del electrodo en la actualidad es de aproximadamente 1 m<sup>2</sup>. Estas cifras difieren considerablemente para metales diferentes y se pueden utilizar densidades de corriente que varían ampliamente para el mismo metal, aunque la invención tiene aplicación para el refinado electrolítico y la extracción electrolítica de todos los metales.

50 En el ER y la EW, el punto de partida es un ánodo yuxtapuesto a un cátodo en un electrolito contenido en un tanque. Pero se pueden utilizar muchas placas de cátodo y muchas placas de ánodo, intercaladas, estando todas las placas de ánodo conectadas en paralelo y estando todas las placas de cátodo conectadas en paralelo, y contenidas en el interior de un único tanque de electrolito. Desde el punto de vista eléctrico, esto se parece todavía a una única célula y, por lo tanto, en la industria se le considera comúnmente una célula. En la industria del ER y la EW, "célula" se utiliza casi universalmente para dar a entender un tanque lleno con ánodos y cátodos en paralelo. En la industria del ER y la EW, "tanque" puede querer decir lo mismo que "célula", como se acaba de mencionar, o se puede querer referir únicamente al recipiente, dependiendo del contexto. En las salas de tanques, las células se conectan eléctricamente en serie. Una típica sala de tanques de ER puede requerir, por lo tanto, un suministro eléctrico del orden de 36.000 amperios a 200 voltios.

55 En la figura 1 se muestra el circuito eléctrico que representa una típica sala de tanques. Los tanques 3, conteniendo cada uno una célula (compuesta de muchos cátodos 1 en paralelo y muchos ánodos 2 en paralelo), se conectan en

serie. Se conecta una fuente de tensión continua 27 a lo largo del circuito en serie para hacer circular la corriente deseada a través de las células 3. La corriente total se mantiene en un valor deseado. Idealmente, la corriente debería dividirse por igual entre los cátodos 1. En la práctica, hay una variación significativa en la resistencia de cada trayectoria de corriente cátodo-ánodo y, por consiguiente, hay variaciones en los valores de las corrientes catódicas individuales. Esto significa en la práctica que el proceso de producción de metal funciona por debajo del rendimiento óptimo.

Más gravemente, a veces ocurre una interrupción en el funcionamiento de parte de la célula cuando se desarrolla un cortocircuito entre una placa de ánodo y una placa de cátodo. Esto se debe, normalmente, al crecimiento de un nódulo o dendrita de metal en una placa de cátodo, que aumenta de tamaño hasta que hace conexión con la placa de ánodo adyacente. El nódulo de metal tiene que ser físicamente extraído para permitir que continúe el funcionamiento normal.

Otra interrupción del funcionamiento normal puede tener lugar cuando un cátodo individual o un ánodo individual se desconecta del circuito eléctrico. Tal y como muestra la figura 2, la conexión eléctrica con los cátodos 1 y los ánodos 2 se realiza normalmente por medio de orejetas o asas 13 que se proyectan desde cada lado de los electrodos. En el lado derecho, el asa 13 se sitúa sobre una estructura de barra colectora 4, la cual forma parte del circuito eléctrico. La desconexión es causada, normalmente, por la corrosión o el quemado del punto de contacto 12, o por medio de un obstáculo exterior que se atasca entre el asa 13 y la barra colectora 4 o por la acumulación de sulfato entre el asa 13 y la barra colectora 4. En el lado izquierdo, el otro asa 13' puede estar situada sobre una barra de soporte aislada 4', o esta barra puede ser una barra colectora secundaria, también denominada barra compensadora, de manera que el electrodo 1 está conectado eléctricamente a través de dos trayectorias al objeto de reducir el efecto de un mal contacto de una de las asas 13.

Un cortocircuito da lugar a que una cantidad extraordinariamente grande de corriente circule en el cátodo 1 y en el ánodo 2, los cuales están en cortocircuito eléctrico entre sí. Los métodos utilizados convencionalmente para la detección de cortocircuitos están lejos de ser ideales. Un método es la detección del sobrecalentamiento de los electrodos que es consecuencia del cortocircuito. Esto dista de ser satisfactorio debido a que se puede haber producido un daño en el electrodo, en sus asas 13 o en la barra colectora 4 debido al tiempo de retardo con el que se detecta el cortocircuito.

Este método resultará todavía menos aceptable a medida que se introduzcan en los procesos de extracción electrolítica nuevos ánodos caros de elevado rendimiento. En la extracción electrolítica, se han utilizado mayoritariamente ánodos inertes de plomo. En los últimos años, se han utilizado de forma creciente ánodos de titanio recubiertos catalíticamente con mezclas de óxidos metálicos (MMO, mixed metal oxide, por sus siglas en inglés), debido a sus propiedades superiores. Sin embargo, los ánodos de titanio recubiertos con MMO son más caros que los ánodos de base plomo y se pueden dañar más fácilmente por el calor generado durante el cortocircuito. Es imprescindible, por lo tanto, que los problemas relativos al proceso, en particular, los cortocircuitos entre los electrodos, se identifiquen de manera muy rápida. Además, es deseable que se identifiquen las circunstancias que probablemente den lugar a un cortocircuito. Un indicador de un cortocircuito incipiente es una elevación en la corriente catódica o anódica por encima de su valor normal. Por lo tanto, la medición de la corriente con una precisión y resolución adecuada para la detección de esta elevación de corriente es una herramienta para la identificación de situaciones peligrosas y para provocar que se realice una acción por parte del operador al objeto de corregir esta situación.

Otro método para la detección de cortocircuitos es tener un trabajador que vigile los tanques utilizando un gausímetro al objeto de detectar el elevado campo magnético generado por la corriente de cortocircuito. Debido al reducido trabajo, a menudo la vigilancia se puede organizar siendo únicamente de una vez al día, o de un máximo de unas pocas veces al día. Por tanto, el cortocircuito puede pasar inadvertido durante muchas horas, durante las cuales se pierde la producción, se reduce el rendimiento de corriente, aumenta el riesgo de descenso en la calidad del cátodo, y los electrodos, asas y barras colectoras se pueden ver dañados. Este método ha resultado ser además muy ineficaz debido a que la patrulla de vigilancia necesita comprobar todas las células, incluyendo las células que no tienen ningún problema. El desplazamiento innecesario hasta la parte superior de las células durante la vigilancia puede producir además un movimiento de los electrodos y, por consiguiente, nuevos cortocircuitos. Ello aumenta también el riesgo de accidentes. También se utilizan cámaras de infrarrojos, bien por parte de las patrullas de vigilancia de trabajadores o por grúas-puente, para la detección de cortocircuitos a partir del calor generado por una corriente elevada. El método ha demostrado a menudo que no ofrece los resultados deseados en el contexto de una sala de tanques debido al gran tiempo de retardo con que se detecta un cortocircuito y debido además a problemas de disponibilidad de la grúa para la tarea de monitorización.

Al objeto de detectar los cortocircuitos y los malos contactos (abiertos), existe la necesidad de detectar estos problemas a nivel de los cátodos o ánodos individuales por medio de la provisión de métodos para la medición de la corriente que circula en los electrodos individuales.

En la técnica anterior, la patente de EE.UU. nº 7.445.696 describe un dispositivo y método de monitorización de la corriente de una célula electrolítica, el cual detecta no sólo los cortocircuitos, sino también los circuitos abiertos. El aparato comprende sensores de campo magnético, por ejemplo sensores de efecto Hall, que miden la intensidad del

campo magnético generado alrededor de un conductor que está adaptado para transportar una corriente eléctrica hacia, o desde, una célula electrolítica. Los sensores de corriente de campo magnético de cada cátodo se pueden disponer en un dispositivo de carro sobre raíl que opera por encima de las células al objeto de detectar los cortocircuitos y los contactos abiertos. La detección de la corriente de todos los cátodos de la célula se puede realizar de forma simultánea. El sensor de campo magnético se lleva hasta una distancia por encima de cada asa de electrodo con la ayuda de un sensor de proximidad capacitivo.

Se describe más técnica anterior en el artículo "Measurement of Cathodic Currents in Equipotential Inter-Cell Bars for Cooper Electrowinning and Electrorefining Plants". El artículo "Industry Applications Conference, 2007. 42nd IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2007 IEEE; 23-27 Sept. 2007; Wiechmann, E.P.; Morales, A.S.; Aqueveque, P.E.; Burgos, R.P. pp 2074 – 2079" propone una técnica de medición de las corrientes catódicas en unas barras intercelulares de tipo diábolo que utiliza sensores de efecto Hall radiométricos lineales y concentradores de flujo ferromagnético. El artículo describe que se pueden medir las corrientes catódicas por medio de la combinación de sensores de flujo magnético y concentradores de flujo.

La solicitud internacional de patente WO 2012/020243 describe un método y un aparato para su utilización en la producción eléctrica de metales que dispone de una pluralidad de ánodos y cátodos en una configuración intercalada en una célula, estando configuradas unas fuentes de alimentación para regular una corriente continua en un valor predeterminado. La medición de corriente de las corrientes continuas se realiza a través de circuitos convertidores/reguladores situados entre el asa y la barra colectora, o entre el asa y la placa de electrodo, y también se puede llevar a cabo por medio de dispositivos de efecto Hall, al objeto de medir la característica corriente-tensión entre electrodos adyacentes.

Las soluciones de la técnica anterior que están configuradas para la detección de condiciones adversas en las células se han centrado en la medición de la corriente que circula hacia, o desde, los cátodos o los ánodos. La trayectoria que siguen estas corrientes se realiza a través de un asa u orejeta, a través de un punto de contacto entre el asa y la barra colectora, y a través, a continuación, de una barra colectora. La trayectoria cambia de dirección o de plano al menos dos veces, y después de haber pasado a través del punto de contacto, la trayectoria exacta es incierta y variable. Por lo tanto, las corrientes de electrodo únicamente son medibles de manera realista en las asas o en los puntos de contacto.

Sin embargo, la medición de la corriente en las asas o en el punto de contacto solo no proporciona a los operadores de la sala de tanques una información suficiente de la cantidad de corriente que circula realmente por el electrodo en el caso de que haya un mal contacto o un contacto abierto entre el asa de dicho electrodo y la barra colectora eléctrica debido a que la barra colectora compensadora, que soporta el otro extremo del electrodo en el otro lado de la célula, es capaz de proporcionar múltiples trayectorias a la corriente, de manera que es conducida a través de la barra colectora compensadora desde los otros electrodos adyacentes hasta el electrodo que tiene el mal contacto o el contacto abierto. Bajo condiciones ideales de funcionamiento, las barras compensadoras conectan puntos en el sistema que están al mismo potencial, y por la barra compensadora no circula ninguna corriente. Cuando las condiciones no son ideales, debido a la variedad de posibles circunstancias adversas, tales como los dichos malos contactos o contactos abiertos, las corrientes circulan en las barras compensadoras, las cuales tienden a restaurar el sistema a una situación próxima a su condición de funcionamiento ideal. Las corrientes que circulan en las barras compensadoras son, por lo tanto, una señal de que están surgiendo problemas en relación con el proceso. Sin el conocimiento de la corriente real que circula en el electrodo, no es posible detectar o predecir cortocircuitos ni malos contactos o contactos abiertos con gran certeza. Por tanto, al objeto de obtener unas mediciones de corriente precisas para cada electrodo individual, existe todavía la necesidad de tener una medición de la corriente que circula en la barra colectora compensadora entre cada punto de contacto.

### Objetivo de la invención

El objetivo de la invención es eliminar los inconvenientes mencionados con anterioridad.

En particular, es un objetivo de la presente invención la provisión de un método y una estructura de medición de corriente que haga posible obtener una medición precisa de la corriente en la barra colectora compensadora entre cada punto de contacto.

Además, el objetivo de la invención es proporcionar un método y una estructura de medición de la corriente que entra o sale de los electrodos (cátodos y/o ánodos) que permitirá que los operadores detecten de forma temprana la presencia de cortocircuitos o circuitos abiertos.

Además, el objetivo de la invención es proporcionar un método y una estructura que hagan posible que, debido a una medición de corriente suficientemente precisa, el crecimiento de nódulos o dendritas de metal que da lugar a un cortocircuito se pueda detectar antes de que tenga lugar el cortocircuito, permitiendo que se tome una acción al objeto de evitar la ocurrencia del cortocircuito.

Además, el objetivo de la invención es proporcionar un método y una estructura que hagan posible que, debido a una medición de corriente suficientemente precisa, se puedan identificar los contactos de elevada resistencia (entre

los contactos de las asas y sus respectivas barras colectoras) y que se pueda tomar una acción correctiva de forma temprana.

5 Además, el objetivo de la invención es proporcionar un método y una estructura que hagan posible que, debido a una medición de corriente suficientemente precisa, la medición pueda ser de utilidad para el control del proceso, bien por medio del ajuste en tiempo real de la corriente que circula o bien por medio de mejoras en el funcionamiento de la planta que resulten del análisis de los datos.

10 Además, el objetivo de la invención es proporcionar un método y una estructura que, debido a una medición de corriente suficientemente precisa, haga posible un análisis del proceso y, si se requiere, un control dinámico del proceso, así como la detección de cortocircuitos incipientes y cortocircuitos existentes y la detección de circuitos abiertos.

15 La tabla 1 que se ilustra a continuación muestra la precisión estimada en la medición de corriente que se requiere para los diferentes objetivos mencionados con anterioridad. Esta invención tiene como objetivo la realización de mediciones de corriente de la mayor precisión, permitiendo de esta forma el análisis del proceso, y si se requiere, el control dinámico del proceso, así como la detección de cortocircuitos incipientes y cortocircuitos existentes y la detección de circuitos abiertos.

20 La tabla 1 que se ilustra a continuación muestra la precisión estimada en la medición de corriente que se requiere para los diferentes objetivos mencionados con anterioridad. Esta invención tiene como objetivo la realización de mediciones de corriente de la mayor precisión, permitiendo de esta forma el análisis del proceso, y si se requiere, el control dinámico del proceso, así como la detección de cortocircuitos incipientes y cortocircuitos existentes y la detección de circuitos abiertos incipientes y circuitos abiertos existentes.

Tabla 1

Objetivo	Precisión requerida
Análisis y control del proceso	Entre 1% y 5%
Detección del deterioro del contacto del asa	10% o superior
Detección de cortocircuitos incipientes	25% o superior
Detección de cortocircuitos o circuitos abiertos	50% o superior

**Compendio de la invención**

25 Según un primer aspecto, la presente invención proporciona un método de medición de la corriente eléctrica que circula en un electrodo individual en un sistema de electrólisis que comprende una pluralidad de electrodos intercalados, cátodos y ánodos, dispuestos en una célula electrolítica e inmersos en un electrolito, teniendo dicho sistema de electrólisis una estructura de barra colectoras dispuesta sobre una pared de separación de célula entre cada dos células adyacentes, comprendiendo dicha estructura de barra colectoras una barra colectoras compensadora al objeto de conectar eléctricamente los ánodos de una célula con los cátodos de una célula adyacente, proporcionando a la corriente múltiples trayectorias eléctricas entre los electrodos, estando formada dicha conexión eléctrica por los puntos de contacto entre la barra colectoras compensadora y las asas de los electrodos. Según la invención, la corriente eléctrica en la barra colectoras compensadora se mide en unos puntos de medición situados entre cada par de puntos de contacto adyacentes.

35 Según un segundo aspecto, la presente invención proporciona un sistema de electrólisis que comprende una pluralidad de electrodos intercalados, cátodos y ánodos, dispuestos en una célula electrolítica e inmersos en un electrolito, teniendo dicho sistema de electrólisis una estructura de barra colectoras dispuesta sobre una pared de separación de célula entre cada dos células adyacentes, comprendiendo dicha estructura de barra colectoras una barra colectoras compensadora al objeto de conectar eléctricamente los ánodos de una célula con los cátodos de una célula adyacente, proporcionando a la corriente múltiples trayectorias eléctricas entre los electrodos, estando formada dicha conexión eléctrica por los puntos de contacto entre la barra colectoras compensadora y las asas de los electrodos, y el sistema de electrólisis comprende además una estructura de medición de corriente para la medición de la corriente eléctrica que circula en un electrodo individual. Según la invención, la estructura de medición de corriente comprende unos medios de medición de campo magnético para la medición del campo magnético inducido por la corriente eléctrica en la barra colectoras compensadora, estado dispuestos los medios de medición de campo magnético en unos puntos de medición situados entre cada par de puntos de contacto adyacentes.

45 La ventaja de la invención es que la invención proporciona un método y una estructura de medición de la corriente que entra o sale de los electrodos (cátodos y ánodos) que permitirá que los operadores detecten la presencia de cortocircuitos o circuitos abiertos. Además, como la estructura de medición de corriente es de precisión suficiente, el

- crecimiento de nódulos o dendritas de metal que da lugar a un cortocircuito se puede detectar antes de que tenga lugar el cortocircuito, y se puede tomar una acción correctiva al objeto de evitar la ocurrencia del cortocircuito. Además, si la medición de corriente es de precisión suficiente, se puedan identificar los contactos de elevada resistencia (entre las asas y sus respectivas barras colectoras) antes de que se conviertan en circuitos abiertos y se puede tomar una acción correctiva. Además, si se puede realizar la medición de corriente con una precisión aún mayor, la medición pueda ser de utilidad para el control del proceso, bien por medio del ajuste en tiempo real de la corriente que circula o bien por medio de mejoras en el funcionamiento de la planta que resulten del análisis de los datos. Por medio de la utilización de un algoritmo y conocimiento adecuados de la corriente total que circula a través de la célula, se pueden estimar también las corrientes que entran o salen de los cátodos y los ánodos. La invención es especialmente aplicable cuando se emplea una estructura de barra colectoras de contacto doble.
- 5
- 10 En una realización del método, la corriente eléctrica en la barra colectoras compensadora se mide por medio de la medición del campo magnético inducido por dicha corriente que circula en la barra colectoras compensadora.
- En una realización del método, la corriente eléctrica en la barra colectoras compensadora se mide por medio de la medición del campo magnético en el punto medio entre cada par de puntos de contacto adyacentes.
- 15 En una realización del método, el campo magnético de la corriente eléctrica se mide con un circuito magnético que está dispuesto rodeando la barra colectoras compensadora.
- En una realización del método, el circuito magnético es un sensor de corriente de lazo abierto.
- En una realización del método, el circuito magnético es un sensor de corriente de lazo cerrado.
- 20 En una realización del método, el circuito magnético comprende un núcleo de material magnético conformado como un anillo que rodea la barra colectoras compensadora.
- En una realización del método, la corriente eléctrica en la barra colectoras compensadora se mide en el punto de medición por medio de la medición del campo magnético con uno o más sensores de efecto Hall dispuestos cerca de la barra colectoras compensadora.
- 25 En una realización del método, el campo magnético inducido por la corriente que circula en la barra colectoras compensadora se mide con un conjunto de sensores de efecto Hall dispuestos en el plano vertical alrededor de la barra colectoras compensadora en el punto de medición.
- En una realización del método, la corriente eléctrica en cada electrodo se mide por medio de la medición del campo magnético inducido por dicha corriente substancialmente a la altura de los puntos de contacto al objeto de medir la corriente que pasa a través del punto de contacto.
- 30 En una realización del método, el campo magnético en el punto de contacto se mide con un sensor de campo magnético dispuesto cerca del punto de contacto.
- En una realización del método, el campo magnético en el punto de contacto se mide con un conjunto de sensores de campo magnético dispuestos en un espacio tridimensional alrededor del punto de contacto, substancialmente en un plano del punto de contacto. El plano puede tener un ángulo de 0° hasta 75° con respecto al horizontal.
- 35 En una realización del método, se dispone una unidad de armazón de material aislante no magnético para soportar los sensores de campo magnético en una posición predeterminada con respecto a la barra colectoras compensadora en los puntos de medición y/o para soportar los sensores de campo magnético en una posición predeterminada con respecto a los puntos de contacto.
- 40 En una realización de la estructura, los medios de medición de campo magnético están dispuestos para medir el campo magnético en el punto medio entre cada par de puntos de contacto adyacentes.
- En una realización de la estructura, los medios de medición de campo magnético comprenden un circuito magnético que está dispuesto rodeando la barra colectoras compensadora.
- En una realización de la estructura, el circuito magnético es un sensor de corriente de lazo abierto.
- En una realización de la estructura, el circuito magnético es un sensor de corriente de lazo cerrado.
- 45 En una realización de la estructura, el circuito magnético comprende un núcleo de material magnético conformado como un anillo que rodea la barra colectoras compensadora.
- En una realización de la estructura, los medios de medición de campo magnético comprenden uno o más sensores de efecto Hall dispuestos cerca de la barra colectoras compensadora.

## ES 2 624 225 T3

- En una realización de la estructura, los medios de medición de campo magnético comprenden un conjunto de sensores de efecto Hall dispuestos en el plano vertical alrededor de la barra colectora compensadora en el punto de medición.
- 5 En una realización de la estructura, la estructura de medición de corriente comprende además unos medios de medición de campo magnético dispuestos a la altura de los puntos de contacto al objeto de medir la corriente que pasa a través del punto de contacto.
- En una realización de la estructura, los medios de medición de campo magnético comprenden un sensor de campo magnético dispuesto cerca del punto de contacto.
- 10 En una realización de la estructura, un conjunto de sensores de campo magnético están dispuestos alrededor del punto de contacto, substancialmente en el plano del punto de contacto.
- En una realización de la estructura, el conjunto de sensores de campo magnético está dispuesto en un espacio tridimensional alrededor del punto de contacto, substancialmente en el plano del punto de contacto dispuesto según un ángulo en el intervalo de 0° a 75° con respecto al horizontal.
- 15 En una realización de la estructura, la estructura de medición de corriente comprende una unidad de armazón de material aislante no magnético dispuesta para soportar los circuitos de campo magnético y/o los sensores de campo magnético en una posición predeterminada con respecto a la barra colectora compensadora.
- En una realización de la estructura, la unidad de armazón está dispuesta para soportar los sensores de campo magnético en una posición predeterminada con respecto a los puntos de contacto.
- 20 En una realización de la estructura, la unidad de armazón comprende una pluralidad de sensores de campo magnético dispuestos al objeto de medir el campo magnético de una pluralidad de puntos de medición a lo largo de la barra colectora compensadora y/o de los puntos de contacto.
- En una realización de la estructura, la unidad de armazón comprende una pluralidad de sensores de campo magnético dispuestos al objeto de medir el campo magnético de una pluralidad de puntos de contacto.
- 25 En una realización de la estructura, la unidad de armazón comprende uno o más cortes, estando dispuesto cada uno de dichos cortes al objeto de alojar un extremo de un asa de electrodo.
- En una realización de la estructura, la unidad de armazón comprende uno o más cortes para una o más asas de ánodos.
- En una realización de la estructura, la unidad de armazón comprende uno o más cortes para una o más asas de cátodos.
- 30 En una realización de la estructura, cada corte está dispuesto para alojar un extremo de un asa de electrodo con cierta holgura para permitir la instalación de la unidad de armazón al hacerla descender hasta su posición sobre la barra colectora sin tener que retirar los electrodos, y para permitir que se levanten los electrodos sin tener que retirar la unidad.
- 35 En una realización de la estructura, cada corte queda definido entre dos paredes de la unidad de armazón que son paralelas y opuestas y a una distancia entre sí, y para la medición de corriente en el punto de contacto se fijan dos sensores de campo magnético separados entre sí a cada una de las paredes.
- En una realización de la estructura, la unidad de armazón comprende cortes para un número de asas de cátodos y para un número de asas de ánodos.
- 40 En una realización de la estructura, la estructura comprende una unidad de armazón que se extiende substancialmente a lo largo de toda la longitud de la célula.
- En una realización de la estructura, la estructura comprende una pluralidad de unidades de armazón dispuestas formando una hilera o fila sobre la estructura de barra colectora.
- En una realización de la estructura, la unidad de armazón comprende un microprocesador para realizar un pre-análisis de la pluralidad de señales que se obtienen de los medios de medición de campo magnético.
- 45 En una realización de la estructura, los microprocesadores están configurados para la conexión e intercambio de información a través de medios digitales, analógicos o inalámbricos.
- En una realización de la estructura, la unidad de armazón comprende unos indicadores visuales que están configurados para indicar qué electrodos tienen un problema asociado con los mismos que requiera la atención de los operadores de la sala de tanques.

En una realización de la estructura, los indicadores visuales se controlan por medio del microprocesador que está dispuesto en el interior de la unidad de armazón.

5 En una realización de la estructura, el microprocesador está configurado para detectar el fallo de un sensor de campo magnético y para reorganizar su análisis del resto de señal del sensor de campo magnético al objeto de que la unidad de armazón pueda continuar funcionando.

En una realización de la estructura, el microprocesador está configurado para proporcionar una señal de alarma del fallo de un sensor de campo magnético.

En una realización de la estructura, la estructura comprende una unidad central de proceso configurada para la recepción de señales procedentes de los microprocesadores de las unidades de armazón.

10 En una realización de la estructura, los microprocesadores están configurados para la conexión e intercambio de información con la unidad central de proceso a través de medios digitales, analógicos o inalámbricos.

En una realización de la estructura, la unidad de armazón comprende sensores de temperatura configurados para la medición de la temperatura de las asas de electrodo.

15 En una realización de la estructura, la unidad de armazón comprende sensores de temperatura configurados para la medición de la temperatura de la estructura de la barra colectora.

En una realización de la estructura, la unidad de armazón se alimenta mediante una unidad o un ordenador externos.

En una realización de la estructura, la unidad de armazón comprende un dispositivo de almacenamiento de energía eléctrica.

20 En una realización de la estructura, el dispositivo de almacenamiento de energía eléctrica se puede recargar por medio del aprovechamiento de la energía del ambiente.

#### **Breve descripción de los dibujos**

25 Los dibujos que se acompañan, los cuales se incluyen al objeto de proporcionar una comprensión adicional de la invención, y que constituyen una parte de esta memoria, ilustran realizaciones de la invención, y junto con la descripción ayudan a explicar los principios de la invención. En los dibujos:

La figura 1 es una representación esquemática del circuito eléctrico de una sala de tanques.

La figura 2 es una sección transversal de una célula electrolítica con un electrodo sumergido en el electrolito.

La figura 3 es una ilustración esquemática de un sensor de efecto Hall.

30 La figura 4 muestra una vista en planta de un sistema Walker de barra colectora situado entre células adyacentes y equipado con una estructura de medición de corriente según una realización de la invención.

La figura 5 muestra una vista en planta de una parte de un sistema de electrólisis con estructuras de barras colectoras de contacto doble, que tiene una barra colectora principal y dos barras compensadoras entre células adyacentes, ilustrando la figura 5 la corriente que circula en una condición ideal.

35 La figura 6 muestra una vista en planta de la figura 5 en una condición no ideal, en este caso hay un contacto abierto entre un asa de cátodo y la barra colectora principal, mostrando las intensidades de corriente desde los cátodos adyacentes a través de la barra compensadora del otro lado de la célula, y mostrando además los sensores de corriente para la medición de las corrientes.

40 La figura 7 muestra una vista en planta del sistema de barra colectora de contacto doble, en la que la unidad de armazón cubre cuatro cátodos y ánodos, estando equipada la unidad de armazón con unos medios de medición de campo magnético para la medición del campo magnético inducido por la corriente eléctrica en la barra colectora compensadora, y además con unos medios de medición de campo magnético alrededor de cada punto de contacto para la medición del campo magnético inducido por la corriente eléctrica que pasa a través de los puntos de contacto.

45 La figura 8 muestra una sección transversal de un sistema de barra colectora de contacto doble en el que las asas de cátodos y ánodos tienen sus puntos de contacto en los conductores de la barra colectora, y con un sensor de campo magnético de lazo abierto o lazo cerrado dispuesto alrededor de una barra colectora compensadora para la medición del campo magnético inducido por la corriente eléctrica en la barra colectora compensadora.

La figura 9 muestra una sección transversal IX – IX de la figura 7, que ilustra un sistema de barra colectora de contacto doble en el que las asas de cátodos y ánodos tienen sus puntos de contacto en los conductores de la barra



colectora, y con un conjunto de sensores de efecto Hall dispuestos alrededor de una barra colectora compensadora para la medición del campo magnético inducido por la corriente eléctrica en la barra colectora compensadora, y estando equipada además la unidad de armazón con sensores de efecto Hall para la detección de la corriente que pasa a través de los puntos de contacto.

- 5 La figura 10 muestra una vista axonométrica de una realización de las unidades de armazón, las cuales están diseñadas de manera que tengan la capacidad de que se puedan hacer descender sobre un conjunto de extremos de asas de cátodo y ánodo a la vez que el sistema ER o EW está en funcionamiento, y de que permitan que la elevación de los ánodos y los cátodos se realice sin que se vea obstaculizada, y

La figura 11 es un diagrama de bloques de una realización de la estructura de la invención.

## 10 Descripción detallada de la invención

Una realización de la invención se refiere a la utilización de sensores de efecto Hall para la medición del campo magnético inducido por la corriente que circula en la barra colectora compensadora.

- 15 La figura 3 muestra un típico sensor de efecto Hall 16. Es sensible al flujo magnético que pasa a través de él en la dirección del eje x, pero no lo es ni en la dirección del eje y ni en la del z. Se puede utilizar para distinguir entre los flujos generados por corrientes que circulan en diferentes planos.

- 20 La figura 4 muestra la estructura de medición de corriente de una realización de la invención, dispuesta en conexión con el bien conocido sistema Walker de barra colectora (el sistema Walker está descrito en la patente de EE.UU. nº 687.800). El sistema de electrólisis comprende una pluralidad de cátodos 1 y ánodos 2 intercalados, dispuestos en una célula electrolítica 3 e inmersos en un electrolito. Se dispone una estructura Walker de barra colectora 4 sobre una pared de separación 5 de célula, entre cada dos células 3 adyacentes. La estructura Walker de barra colectora comprende una barra colectora 8 continua que se extiende a lo largo de toda la longitud de la célula, sobre la parte superior de la pared de separación 5, entre cada dos células 3 adyacentes, al objeto de conectar eléctricamente todos los ánodos de la célula con todos los cátodos de la célula adyacente. Como resultado, los cátodos 1 de una célula tienen en común el mismo potencial eléctrico que los ánodos 2 de la siguiente célula. La barra colectora 8 es, por lo tanto, una barra colectora compensadora que proporciona a la corriente múltiples trayectorias eléctricas. La conexión eléctrica entre los electrodos 1, 2 y la barra colectora 8 está formada por los puntos de contacto 12 entre la barra colectora 8 y las asas 13 de los electrodos.

- 30 En la realización de la figura 4, la estructura de medición de corriente comprende unos medios de medición de campo magnético, en este ejemplo sensores de efecto Hall 16, para la medición del campo magnético inducido por la corriente eléctrica en la barra colectora compensadora 8. Los sensores de efecto Hall 16 se disponen en los puntos de medición 14, estando ubicado cada uno de ellos entre cada par de puntos de contacto 12 adyacentes de las asas 13 de los ánodos 2 y los cátodos 1. Más en concreto, se disponen dos sensores de efecto Hall 16 alrededor de cada posición de interés, la cual está situada entre los puntos en los que las asas 13 del ánodo y del cátodo hacen contacto con la barra colectora compensadora. De manera opcional, se puede utilizar en esta posición un único sensor de efecto Hall, o bien se puede disponer en cada una de dichas posiciones cualquier número de sensores Hall. Las señales de los sensores de efecto Hall (o del sensor de efecto Hall) se utilizan para la determinación de la magnitud de la corriente que circula en la barra colectora compensadora en esa posición. Además, se puede utilizar una medición de estas corrientes en combinación con un conocimiento de la corriente total de la célula al objeto de obtener una estimación de las corrientes de electrodo (ánodo y cátodo) individuales.

- 40 Las figuras 5 a 9 muestran otra forma de acuerdo a la cual se utilizan comúnmente las barras colectoras compensadoras. En este caso, la estructura de medición de corriente de la invención está adaptada para que sea utilizada junto con el sistema de barra colectora de contacto doble de nombre comercial Outotec DoubleContact™, (descrito también en la patente de EE.UU. nº 6.342.136 B1).

En las figuras 8 y 9 se muestra una sección transversal de la estructura de barra colectora de contacto doble.

- 45 Haciendo referencia a las figuras 5 a 9, el sistema de barra colectora de contacto doble comprende una barra colectora de posición intercelular 9 principal, dispuesta sobre un aislante inferior 27, al objeto de conducir la corriente desde los ánodos 2 a los cátodos 1. Además, el sistema comprende una primera barra colectora compensadora 10, dispuesta sobre el aislante inferior 27, para los contactos de los ánodos y una segunda barra colectora compensadora 11 para los contactos de los cátodos, estando dispuesta dicha segunda barra colectora compensadora 11 sobre un segundo aislante 28 que está sobre la barra colectora de posición intercelular 4 principal. El sistema de barra colectora de contacto doble ayuda a que la distribución de corriente en la célula sea uniforme entre todos los electrodos. Este sistema proporciona además a la corriente múltiples trayectorias al objeto de encontrar el camino de menor resistencia entre el ánodo y el cátodo al circular la corriente desde la barra colectora hasta el proceso de electrodeposición.

- 55 Haciendo referencia a las figuras 5 y 6, en la estructura de barra colectora de contacto doble 4A del lado izquierdo, situada entre las células 3A y 3B, la corriente que entra desde los ánodos 2 (los cuales pertenecen, por ejemplo, a la

célula 3A) se hace circular hasta los cátodos 1 (los cuales pertenecen, por ejemplo, a la célula 3B) a través de la barra colectora de posición intercelular 9 principal, a la cual se puede hacer referencia también como barra colectora compensadora principal. La primera barra colectora compensadora 10 conecta eléctricamente entre sí los extremos del lado izquierdo de las asas de los ánodos 2 que pertenecen a la célula 3B. La segunda barra colectora compensadora 11 conecta eléctricamente entre sí los extremos del lado derecho de las asas de los cátodos 2 que pertenecen a la célula 3A.

En la estructura de barra colectora de contacto doble 4B del lado derecho (que es idéntica a la estructura de barra colectora 4A), situada entre las células 3B y 3A, la corriente que entra desde los ánodos 2 (los cuales pertenecen, por ejemplo, a la célula 3B) se hace circular hasta los cátodos 1 (los cuales pertenecen, por ejemplo, a la célula 3C) a través de la barra colectora de posición intercelular 9 principal, a la cual se puede hacer referencia también como barra colectora compensadora principal. La primera barra colectora compensadora 10 conecta eléctricamente entre sí los extremos del lado izquierdo de las asas de los ánodos 2 que pertenecen a la célula 3C. La segunda barra colectora compensadora 11 conecta eléctricamente entre sí los extremos del lado derecho de las asas de los cátodos 2 que pertenecen a la célula 3B.

En el funcionamiento ideal, tal y como se muestra en la figura 5, todas las asas de los cátodos 1 estarían al mismo potencial y no circularía ninguna corriente a lo largo de la segunda barra colectora compensadora 11 de la estructura de barra colectora 4B. La segunda barra colectora compensadora 11 está en flotación eléctrica y, por lo tanto, la suma algebraica de las corrientes que entran a esta barra colectora compensadora 11 debe ser cero. El objeto de la segunda barra colectora compensadora 11 es el de interconectar eléctricamente las asas que normalmente no se usan de los cátodos 1, las cuales, en una situación ideal, estarían al mismo potencial.

En la figura 6 se muestra una condición no ideal, en la que hay un contacto abierto entre un cátodo 1 que pertenece a la célula 3B y la barra colectora de posición intercelular 9 principal de la estructura de barra colectora 4A. Debido a la falta de contacto eléctrico, no circula ninguna corriente desde la barra colectora compensadora 9 principal hasta dicho cátodo 1. Por lo tanto, la corriente se redistribuye entre los cátodos adyacentes 1 en las corrientes  $I_{B1}$  e  $I_{B2}$ , las cuales circulan a lo largo de la barra colectora compensadora 11 (véase la estructura de barra colectora 4B) entre los puntos de contacto 12 de los cátodos adyacentes de la barra colectora compensadora 11, y entra por dicho cátodo 1 que sufre la falta de contacto eléctrico normal en el asa. Bajo dichas condiciones no ideales, las cuales la presente invención ayuda a detectar y medir, la corriente circulará a lo largo de la barra colectora compensadora 11 entre las asas del cátodo 1 en un sentido o en el otro. El cátodo 1 que carece de contacto eléctrico con la barra colectora compensadora 9 principal en la estructura de barra colectora 4A recibe corriente desde los cátodos 1 adyacentes a través de la segunda barra colectora compensadora 11 que pertenece a la estructura de barra colectora 4B del lado derecho. Al medir las corrientes  $I_{B1}$  e  $I_{B2}$  que circulan en la barra colectora compensadora 11 de la estructura de barra colectora 4B en los puntos de medición 14 situados entre cada par de puntos de contacto 12 adyacentes de los cátodos 1, es posible determinar la corriente real  $I_c$ , la cual es la suma algebraica de las corrientes medidas  $I_{B1}$  e  $I_{B2}$ . Este resultado de medición de corriente hace posible detectar de forma temprana un cortocircuito incipiente así como el desarrollo de nódulos o dendritas también en el caso en el que la corriente no se pueda medir en el punto de contacto debido a un contacto abierto.

Se hace referencia a continuación a la figura 7, la cual muestra una estructura de barra colectora de contacto doble como la ya descrita con respecto a las figuras 5 y 6. La figura 7 muestra diferentes posiciones de los puntos de medición 14. La posición 14A, la posición 14B y la posición 14C indican tres ubicaciones (que se repiten a lo largo de la barra compensadora) en las que se puede medir esta intensidad de corriente por medio de la utilización de uno o más sensores de efecto Hall 16 (véase también la figura 9) o de un sensor de corriente de lazo abierto o de lazo cerrado 15 (véase también la figura 8). Con respecto a la posición 14B, hay algunas limitaciones de espacio debido a la presencia de un asa del cátodo 1 por encima de la posición, así como por la corriente que circula en el asa del cátodo, la cual podría hacer difícil la obtención de una medición de corriente precisa. Las posiciones 14A y 14C están más liberadas de obstrucciones y están alejadas de corrientes que pudieran interferir con la medición. Las posiciones 14A y 14C (o las tres posiciones) se podrían utilizar de forma conjunta de manera que, por ejemplo, las posiciones 14A y 14C podrían cooperar al objeto de proporcionar una señal más intensa que la que cada posición proporcionaría de forma individual, así como para la obtención de un mejor rechazo de las señales de corriente no deseadas.

Haciendo referencia de nuevo a la figura 6, se observará que se utiliza una primera barra colectora compensadora 10 para conectar eléctricamente las asas de los ánodos 2. Su finalidad es similar a la de la segunda barra colectora compensadora 11 – es decir, redistribuir la corriente entre los ánodos 2 cuando alguna condición no ideal en la célula 3B pudiera generar de otra forma una desigualdad significativa de corrientes en los ánodos de la célula 3B. Por lo tanto, la corriente que circula en la barra compensadora 10 en flotación indica una situación no ideal en la célula 3B, que se puede medir y evaluar por medio de la medición de dichas intensidades de corriente en la barra compensadora 10.

Haciendo referencia de nuevo a las figuras 5 a 7, como ya se ha mencionado, la estructura de medición de corriente puede comprender además unos medios de medición de campo magnético 17 dispuestos a la altura de los puntos de contacto 12, substancialmente en el plano horizontal de los puntos de contacto 12, al objeto de medir la corriente

que pasa a través del punto de contacto. Los sensores de campo magnético 17 pueden ser, por ejemplo, uno o más sensores de efecto Hall o un circuito magnético de lazo abierto o cerrado con un sensor de efecto Hall. Las figuras 5 a 7 muestran un conjunto de sensores de campo magnético 17 (en este ejemplo cuatro) dispuestos alrededor de los puntos de contacto 12, substancialmente en el plano horizontal del punto de contacto.

5 Haciendo referencia nuevamente a la figura 7, en ella se muestran las posiciones posibles 14E (en el punto medio entre los puntos de contacto) y 14D y 14F (ambas separadas con respecto al punto medio) de los puntos de medición (que se repiten a lo largo de la barra compensadora 11), siendo todas ellas posiciones adecuadas para la medición de la intensidad de corriente en la barra compensadora 11. Se puede medir la corriente en cada ubicación por medio de uno o más sensores de efecto Hall o por medio de un sensor de corriente de lazo abierto o de lazo cerrado. Nuevamente, las posiciones de los puntos de medición pueden cooperar al objeto de obtener una señal más fuerte y con menos interferencia de las corrientes de los conductores adyacentes.

15 Las figuras 7 y 9 muestran una unidad de armazón 18 de material aislante no magnético. La unidad de armazón 18 soporta los medios de medición de campo magnético en una posición predeterminada con respecto a la barra colectora compensadora 11, estando compuestos los medios de medición de campo magnético por un conjunto de sensores de efecto Hall 16, mostrados en la figura 9, al objeto de rodear la barra colectora compensadora en un plano vertical y que están situados en el punto medio entre puntos de contacto 12 adyacentes. La unidad de armazón 18 soporta también los sensores de campo magnético 17 en una posición predeterminada con respecto a los puntos de contacto 12. La unidad de armazón 18 comprende una pluralidad de sensores de campo magnético 16 dispuestos al objeto de medir el campo magnético de una pluralidad de puntos de medición 14 a lo largo de la barra colectora compensadora 11. La unidad de armazón 18 comprende además una pluralidad de sensores de campo magnético 17 dispuestos al objeto de medir el campo magnético de una pluralidad de puntos de contacto 12. La unidad de armazón 18 comprende una pluralidad de cortes 19, estando dispuesto cada uno de ellos al objeto de alojar un extremo de un asa 13 de electrodo con cierta holgura para permitir la instalación de la(s) unidad(es) de armazón 18 para hacerla(s) descender hasta su posición sobre la barra colectora sin tener que retirar los electrodos, y para permitir que se levanten los electrodos sin tener que retirar la(s) unidad(es) de armazón. En esta realización, la unidad de armazón 18 comprende cortes 19 para cuatro extremos de asas 13 de cátodos 1 y para cuatro extremos de asas 13 de ánodos 2. Cada corte 19 queda definido entre dos paredes 20 que son paralelas y opuestas y a una distancia entre sí. Se fijan un par de sensores de campo magnético 17 a cada una de las paredes 20, por ejemplo, sensores de efecto Hall, los cuales están separados entre sí.

30 Se puede disponer una pluralidad de unidades de armazón 18 formando una hilera o fila sobre la estructura de barra colectora, tal y como se muestra en la figura 10. También es posible conformar la unidad de armazón 18 de manera que se extienda substancialmente a lo largo de toda la longitud de la célula 3.

35 En la realización de las figuras 5 a 7, se monitoriza la corriente que pasa a través de los puntos de contacto 12 de ambos cátodos 1 y ánodos 2, si bien es una cuestión de elección si se monitorizan los cátodos, los ánodos o ambos. Cuantos más puntos de contacto 12 se monitoricen, mayor será la capacidad del sistema para eliminar la falta de precisión en cualquier medición de corriente debida a la presencia de corrientes en los conductores adyacentes.

40 La unidad de armazón 18, como se muestra en las figuras 7, 9 y 10, permite que los ánodos 2 y los cátodos 1 se hagan ascender con respecto a la célula 3 sin impedimento. Un diseño adecuado de la unidad de armazón 18 hace posible además que se haga descender la unidad de armazón hasta su posición sobre un sistema ER o EW de trabajo sin interferir en la producción. Claramente, ésta es una ventaja en el caso de que se actualice el diseño del sistema de medición de corriente en una planta ER o EW existente. La unidad de armazón 18 se puede construir con un peso tal que ello haga que permanezca quieta sobre la barra colectora y no se eleve durante la producción, incluso cuando las asas entren en contacto con rozamiento con la unidad de armazón. Además, o de forma alternativa, las unidades de armazón 18 pueden estar equipadas con acoplamientos de desenganche rápido para su fijación a la pared de la célula o a la barra colectora.

45 La figura 8 muestra una realización en la que los medios de medición de campo magnético para la medición de la corriente que circula en la barra colectora compensadora 11 son un circuito magnético 15 que comprende un núcleo de material magnético conformado como un anillo que rodea la barra colectora compensadora 11.

50 La figura 9 muestra una realización en la que los medios de medición de campo magnético para la medición de la corriente que circula en la barra colectora compensadora 11 son un conjunto de sensores de efecto Hall, que se muestran agrupados alrededor de la barra compensadora 11 a modo de ejemplo. Los sensores están orientados de tal manera que se maximiza su exposición al flujo magnético 29 deseado (el cual resulta de la corriente de la barra compensadora 11). Tanto el sensor 16<sup>1</sup> como el 16<sup>3</sup> se podrían utilizar solos o en conjunto y cooperando entre sí.

55 Cuando se utilizan cooperando entre sí, la suma de la señal de estos dos sensores reduce la sensibilidad a sus desplazamientos accidentales con respecto a sus posiciones ideales alrededor de la barra compensadora 11. Ésta es una característica de utilidad cuando los sensores no están fijados firmemente a la estructura de soporte de la barra compensadora, sino que se soportan sobre una unidad de armazón 18 que es independiente de la estructura de la barra colectora y que se puede colocar en la parte superior de la estructura de la barra colectora

compensadora tras el montaje de la estructura de la barra colectora compensadora o cuando las unidades de armazón se colocan en una planta existente en un ejercicio de actualización.

El sensor 16<sup>2</sup> puede tener un mejor rechazo al flujo generado por las corrientes que circulan ortogonalmente con respecto a la corriente de la barra compensadora 11. El sensor 16<sup>2</sup> se podría utilizar solo o en cooperación con los sensores 16<sup>1</sup> y 16<sup>3</sup>.

La figura 10 muestra una hilera o fila de unidades de armazón 18 iguales, tal y como se ha descrito con respecto a la figura 7, situadas sobre la barra colectora intercelular. En la figura 10, únicamente se muestran las asas 13 de los cátodos 1 situados sobre la barra colectora, y no se muestran las asas de los ánodos. Las unidades de armazón 18 están diseñadas de tal manera que se pueden hacer descender a su posición sin interferir en la producción. Además, están diseñadas de tal forma que la elevación de los cátodos y los ánodos se realiza sin que se vea obstaculizada por la presencia de las unidades de armazón 18. La unidad de armazón 18 puede comprender unos indicadores visuales 22, los cuales están configurados para indicar qué electrodos tienen un problema asociado con los mismos que requiera atención. Cuando la unidad de armazón 18 está dotada de los indicadores visuales 22 (por ejemplo, unos LEDs sobre su superficie superior), se comprenderá que estos indicadores visuales 22 pueden proporcionar información de otras formas adicionales, además de estar simplemente encendidos o apagados. Por ejemplo, pueden emitir destellos, a diferentes velocidades, o cambiar de color o emplear un conjunto de LEDs de diferentes colores. Además, un indicador visual 22 puede ser un emisor de luz infrarroja, de manera que se puede transmitir información a un instrumento manual de operador o a un receptor fijo de infrarrojos. Los indicadores visuales 22 pueden ser LEDs situados en la parte superior de cada unidad de armazón 11 y se pueden utilizar como un indicador visual de la posición de los ánodos o los cátodos que estén en dificultades y que requieran atención de un operador. Los datos transmitidos a la sala de control pueden mostrar también a un operador qué ánodos o cátodos requieren ser revisados.

Haciendo referencia además a la figura 11, la unidad de armazón 18 puede comprender también un microprocesador 21 para realizar un pre-análisis de la pluralidad de señales que se obtienen de los sensores de campo magnético 16, 17, de manera que únicamente las señales obtenidas de medición de corriente requieren ser transmitidas a una estación central de proceso 23. En alguna otra realización, el microprocesador no tiene que estar necesariamente fijado físicamente a la unidad de armazón. El microprocesador también puede ser externo y estar en el exterior de la unidad de armazón. El microprocesador 21 puede estar programado además para contener una ID individual e información de ubicación. Los indicadores visuales 22 se controlan por medio del microprocesador 21. El microprocesador 21 situado en el interior de cada unidad de armazón 18 tiene la capacidad de detectar el fallo de un sensor de efecto Hall 16, 17 y de reorganizar su análisis del resto de señal del sensor Hall al objeto de que la unidad de armazón 18 pueda continuar funcionando, aunque de forma ligeramente deteriorada, y a la vez, cuando sea posible, tiene la capacidad de proporcionar una señal de alarma a la sala de control central del fallo y el deterioro, de manera que la unidad de armazón pueda ser sustituida durante un periodo de mantenimiento planificado. La estructura comprende una unidad central de proceso 23 configurada para la recepción de señales procedentes de los microprocesadores 21 de las unidades de armazón 18.

Se puede configurar un algoritmo, opcionalmente dentro del programa de operación del microprocesador contenido en el interior de la unidad de armazón, al objeto de crear un registro de la corriente de cada ánodo y/o cátodo con respecto al tiempo, y unos análisis de dicho registro al objeto de buscar el perfil de un cortocircuito en el proceso en desarrollo.

La unidad de armazón 18 puede comprender además sensores de temperatura 24, 25 configurados para la medición de la temperatura de las asas 13 de electrodo, de la estructura de la barra colectora 4 o de la unidad de armazón 18. Los sensores de temperatura 24, 25 pueden estar conectados al microprocesador 21 de la unidad de armazón 18 y, por lo tanto, también pueden estar en comunicación con el equipo central de proceso 23. Los sensores de temperatura 24 están ubicados, de manera preferente, en la proximidad de las asas 13 de electrodo. Las asas 13 son la fuente de calentamiento más probable de la unidad de armazón 18. Este calentamiento podría dañar los sensores de efecto Hall 16, 17. Por lo tanto, una alarma temprana de elevación de temperatura permitirá que un operador adopte una acción correctiva y evite que se dañen los sensores Hall y otros componentes electrónicos situados en el interior de la unidad de armazón. Además, unas asas calientes son una señal de cortocircuito entre los electrodos. Unas asas frías podrían ser una señal de circuito abierto. Por tanto, los sensores de temperatura son otra fuente de información acerca de la condición de la célula electrolítica. Los sensores de efecto Hall y los sensores de temperatura pueden cooperar, por lo tanto, al objeto de proporcionar a los operadores de planta una alarma sobre problemas reales o dificultades. De manera opcional, se pueden analizar las señales de los sensores de efecto Hall y de los sensores de temperatura por medio del microprocesador de la unidad de armazón al objeto de proporcionar una alarma sencilla acerca de un problema en esa ubicación a la sala de control o a través de los soportes de indicadores visuales dispuestos en la unidad de armazón. La unidad de armazón puede funcionar aún en el caso de que ningún sensor de corriente esté en operación, de manera que en ese caso depende por completo de la detección de temperatura. Algunas características de los sensores de efecto Hall dependen de la temperatura. Las lecturas de temperatura enviadas al microprocesador se pueden utilizar, por tanto, para corregir con respecto a la temperatura las señales que llegan de los sensores de efecto Hall. Se pueden utilizar como sensores de temperatura termistores, termopares, sensores digitales o sensores de infrarrojos.

Además, la unidad de armazón 18 puede comprender un dispositivo de almacenamiento de energía eléctrica 26, el cual se puede recargar por medio del aprovechamiento de la energía del ambiente o de forma externa a través de una fuente de alimentación estándar. Un típico sensor de efecto Hall absorberá aproximadamente 10 mA en funcionamiento. Si una unidad de armazón debe incluir cuatro cátodos y cuatro ánodos, cada uno rodeado por cuatro sensores de efecto Hall, el número total de sensores de efecto Hall empleados será de 32. La corriente total absorbida por los sensores de efecto Hall, si todos se hacen funcionar de forma continua, será de 320 mA. Esto puede ser inadecuadamente grande. Cada sensor de efecto Hall o cada conjunto de sensores de efecto Hall puede estar conectado, por lo tanto, a su fuente de alimentación por medio de un conmutador electrónico (por ejemplo, un MOSFET), el cual está bajo el control del microprocesador de la unidad de armazón. Por consiguiente, únicamente se activan por medio del microprocesador aquellos sensores Hall de los que se requiera una lectura en cualquier instante.

Debido a que la electrólisis varía con el tiempo únicamente de forma lenta, las lecturas de corriente (y cualesquiera otras mediciones) sólo necesitan ser tomadas con grandes intervalos de tiempo. Además, se pueden obtener las lecturas de los sensores Hall en fracciones de segundo. Se puede configurar el microprocesador para que pase la mayor parte del tiempo en modo de espera, utilizando únicamente una minúscula cantidad de potencia, con todos los otros componentes electrónicos de la unidad de armazón apagados. Por tanto, el consumo de potencia medio de los componentes electrónicos contenidos en el interior de la unidad de armazón puede ser muy bajo. La unidad de armazón puede pasar casi todo el tiempo en hibernación, utilizando únicamente unos pocos  $\mu\text{W}$  de potencia. Si hay una unidad de almacenamiento de energía en el interior de las unidades de armazón (por ejemplo, un condensador de tamaño adecuado o una batería recargable), ésta se puede cargar en un modo de carga ligero a partir de una fuente de baja potencia o a través de una fuente de alimentación estándar. Puede ser posible obtener esta carga ligera por medio del aprovechamiento de energía. Hay una serie de formas para la obtención de esto (por ejemplo, ondulación de corriente, fuente fotovoltaica, termopila o un generador de Peltier que utilice el calor del tanque de electrólisis). Además, esta energía almacenada se puede utilizar también para la transmisión inalámbrica de los datos obtenidos si se desea, por medio de la activación de un radiotransmisor durante muy poco tiempo (normalmente, una fracción de segundo).

Una realización adicional puede ser también la de la base de la unidad de armazón, unos contactos elásticos que hacen presión contra los elementos conductores de la barra colectora. La finalidad de estos contactos es doble: permiten que se obtenga energía para los componentes electrónicos de la unidad de armazón a partir de los elementos de la barra colectora, y permiten que las mediciones de tensión se hagan sobre los elementos de la barra colectora. Se pueden disponer más elementos de los estrictamente necesarios para el funcionamiento, de manera que haya cierta redundancia, la cual es de utilidad si la contaminación evita que algún contacto elástico haga una buena conexión con el elemento de la barra colectora. El microprocesador puede monitorizar el estado de cada contacto elástico e informar al operador acerca de si se requiere realizar un mantenimiento de la unidad de armazón.

Las unidades de armazón 18 pueden estar conectadas eléctricamente en cadena, con cables de potencia y de señal conectados de unidad a unidad utilizando clavijas y tomas de corriente. En lugar de utilizar un sistema de conexión en cadena de clavijas y tomas de corriente para la conexión de unidades de armazón, es posible también pasar cable, tal como un cable de par trenzado, a lo largo del lado de cada tanque y suministrar energía a cada unidad de armazón de una forma sin contacto, a la vez que se introducen y extraen datos nuevamente de ese cableado de una forma sin contacto. También es posible configurar un acoplamiento inductivo entre las unidades de armazón. La primera unidad de armazón se puede alimentar por medio de cableado de conexión y la energía puede pasar a continuación de forma inalámbrica a través de los acoplamientos inductivos de una conexión en cadena de las unidades de armazón.

En el interior de las unidades de armazón 18 están centradas unas fuentes de alimentación que proporcionan una adecuada y precisa salida de tensión al objeto de permitir la utilización de sensores de efecto Hall radiométricos dentro de la unidad de armazón. El microprocesador 21 del interior de la unidad puede estar programado con una rutina de arranque que hace posible la compensación de las tensiones de equilibrio de los sensores de efecto Hall. Para llevar a cabo esto, el microprocesador 21 se puede encender antes de que la unidad 18 se acople a la planta ER o EW.

Durante el montaje, se puede llevar a cabo la calibración de los sensores de efecto Hall 16, 17 para la mejora de la precisión. Esto requerirá la utilización de un aparato de calibración capaz de generar un conjunto conocido de corrientes en una barra colectora y estructura de asa de prueba. El microprocesador puede adquirir y recordar de esta forma un factor de calibración para cada sensor de efecto Hall.

Normalmente se utilizará un aparato de calibración para probar y calibrar los sensores Hall utilizados en la unidad de armazón. Esta unidad de calibración tendrá típicamente un conjunto de asas dispuestas sobre unas barras colectoras según una forma que imita la estructura que se halla en la célula electrolítica. Se aplican las fuentes de corriente a este aparato, las cuales son capaces de aplicar un patrón de corrientes a través de los diferentes conductores durante la calibración según una forma continua, a pulsos o cambiante. De acuerdo con este patrón de corrientes (que está predeterminado o se transmite al microprocesador de la unidad de armazón), el

microprocesador toma las mediciones de las lecturas del sensor de efecto Hall en los instantes de tiempo apropiados. Estas lecturas se utilizan para calibrar las lecturas actuales generadas por el microprocesador.

5 Un típico procedimiento de calibración podría ser de la siguiente forma. Se supone que todos los conductores (o puntos de contacto) están rodeados por un conjunto de cuatro sensores de efecto Hall, tal y como se ha descrito con anterioridad. Un primer test sería la aplicación de una corriente a un conductor o punto de contacto únicamente. Se tomarían las lecturas de los cuatros sensores de efecto Hall que rodean a este conductor o punto de contacto. A partir de estas cuatro lecturas, se obtendría una medida de la corriente en el conductor o punto de contacto. De forma adicional y simultáneamente, se obtendrían las lecturas de todos los otros sensores de efecto Hall de la unidad de armazón. Este proceso se repite a continuación para todos los conductores o puntos de contacto con los que se relaciona la unidad de armazón y para las corrientes de las que es responsable de informar. Por lo tanto, cuando se está midiendo la corriente en un conductor o punto de contacto concreto, el microprocesador puede corregir las lecturas del conjunto de sensores de efecto Hall que rodean a ese conjunto por los efectos de cualesquiera corrientes que pueden estar circulando en cualquiera de los otros conductores o puntos de contacto. Por consiguiente, la calibración y el proceso de aprendizaje que experimenta el microprocesador durante la calibración, tiene un papel esencial en la obtención de unas mediciones de corriente de elevada precisión, y esta metodología y su algoritmo asociado es un aspecto adicional de la invención.

10 Para cada unidad de armazón 18, la información de las corrientes se puede transmitir a través del enlace de datos a una sala de control o pantalla de monitorización para permitir que las mediciones de corriente sean observadas, se guarden y se analicen. En enlace de datos de corriente de cada tanque se puede conectar a una unidad de armazón ya utilizada para el envío de la información de las corrientes a una sala de control, de manera que los enlaces de datos establecidos se pueden utilizar para la transmisión de datos desde las unidades de armazón.

25 En resumen, la presente invención proporciona diferentes ventajas. Se obtiene una elevada precisión de la medición a partir de la medición de la corriente en cada electrodo en una ubicación en la que está concentrada en un punto, es decir, en el punto de contacto. La utilización de una pluralidad de sensores de campo magnético para la medición de cada corriente permite obtener una buena intensidad de señal, a la vez que se proporciona una buena inmunidad frente a la intrusión de señales indeseadas. La inclusión de un microprocesador en las unidades de armazón, y su capacidad para recordar la ubicación con una ID y los factores de calibración de cada sensor de efecto Hall, hace posible que se utilicen sensores Hall básicos de bajo coste, a la vez que se obtiene una unidad con una buena precisión. La presencia de un microprocesador en la unidad de armazón hace posible el análisis de las señales de los sensores de efecto Hall situados en el interior de la unidad de armazón, lo que posibilita que se sitúe en la unidad de armazón una señalización visual para los operadores. Un diseño adecuado de las unidades de armazón hace posible que las unidades sean instaladas a la vez que la planta ER o EW está en funcionamiento. Las unidades de armazón permiten que el funcionamiento, incluyendo la elevación o descenso de los electrodos, se lleve a cabo sin que se vea obstaculizado.

35 A pesar de que se han descrito sensores de efecto Hall y sensores de temperatura, la unidad de armazón puede contener además otros sensores o equipos de medida adicionalmente a los descritos en la presente memoria, y sus posibilidades de medición no se limitan únicamente a corriente y temperatura.

40 A pesar de que las presentes invenciones se han descrito en combinación con una serie de realizaciones a modo de ejemplo, e implementaciones, las presentes invenciones no quedan limitadas de esta forma, sino que cubren diferentes modificaciones y configuraciones equivalentes, las cuales caen dentro del alcance de las reivindicaciones siguientes.

## REIVINDICACIONES

1. Un método de medición de la corriente eléctrica que circula en un electrodo individual en un sistema de electrólisis que comprende una pluralidad de electrodos intercalados (1, 2), cátodos (1) y ánodos (2), dispuestos en una célula electrolítica (3) e inmersos en un electrolito, teniendo dicho sistema de electrólisis una estructura de barra colectora (4) dispuesta sobre una pared de separación (5) de célula entre cada dos células adyacentes, comprendiendo dicha estructura de barra colectora una barra colectora compensadora (6, 7, 8, 9, 10, 11) al objeto de conectar eléctricamente los ánodos de una célula con los cátodos de una célula adyacente, proporcionando a la corriente múltiples trayectorias eléctricas entre los electrodos, estando formada dicha conexión eléctrica por los puntos de contacto (12) entre la barra colectora compensadora (6, 7, 8, 9, 10, 11) y las asas (13) de los electrodos, caracterizado por que la corriente eléctrica en la barra colectora compensadora (6, 7, 8, 9, 10, 11) se mide en unos puntos de medición (14) situados entre cada par de puntos de contacto (12) adyacentes.
2. El método según la reivindicación 1, caracterizado por que la corriente eléctrica en la barra colectora compensadora (6, 7, 8, 9, 10, 11) se mide por medio de la medición del campo magnético inducido por dicha corriente que circula en la barra colectora compensadora.
3. El método según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que la corriente eléctrica en la barra colectora compensadora (6, 7, 8, 9, 10, 11) se mide por medio de la medición del campo magnético en el punto medio entre cada par de puntos de contacto (12) adyacentes.
4. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que el campo magnético de la corriente eléctrica se mide con un circuito magnético (15) que está dispuesto rodeando la barra colectora compensadora (6, 7, 8, 9, 10, 11).
5. El método según la reivindicación 4, caracterizado por que el circuito magnético (15) es un sensor de corriente de lazo abierto.
6. El método según la reivindicación 4, caracterizado por que el circuito magnético (15) es un sensor de corriente de lazo cerrado.
7. El método según cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, caracterizado por que el circuito magnético (15) comprende un núcleo de material magnético conformado como un anillo que rodea la barra colectora compensadora (6, 7, 8, 9, 10, 11).
8. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que la corriente eléctrica en la barra colectora compensadora (6, 7, 8, 9, 10, 11) se mide en el punto de medición (14) por medio de la medición del campo magnético con uno o más sensores de efecto Hall (16) dispuestos cerca de la barra colectora compensadora.
9. El método según la reivindicación 8, caracterizado por que el campo magnético inducido por la corriente que circula en la barra colectora compensadora (6, 7, 8, 9, 10, 11) se mide con un conjunto de sensores de efecto Hall (16) dispuestos en el plano vertical alrededor de la barra colectora compensadora en el punto de medición.
10. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado por que la corriente eléctrica en cada electrodo se mide por medio de la medición del campo magnético inducido por dicha corriente substancialmente a la altura de los puntos de contacto (12) al objeto de medir la corriente que pasa a través del punto de contacto (12).
11. El método según la reivindicación 10, caracterizado por que el campo magnético en el punto de contacto (12) se mide con un sensor de campo magnético (17) dispuesto cerca del punto de contacto (12).
12. El método según la reivindicación 10 u 11, caracterizado por que el campo magnético en el punto de contacto (12) se mide con un conjunto de sensores de campo magnético (17) dispuestos alrededor del punto de contacto (12).
13. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, caracterizado por que se dispone una unidad de armazón (18) de material aislante no magnético para soportar los sensores de campo magnético (16) en una posición predeterminada con respecto a la barra colectora compensadora (6, 7, 8, 9, 10, 11) en los puntos de medición (14) y/o para soportar los sensores de campo magnético (17) en una posición predeterminada con respecto a los puntos de contacto (12).
14. Un sistema de electrólisis que comprende una pluralidad de electrodos intercalados (1, 2), cátodos (1) y ánodos (2), dispuestos en una célula electrolítica (3) e inmersos en un electrolito, teniendo dicho sistema de electrólisis una estructura de barra colectora (4) dispuesta sobre una pared de separación (5) de célula entre cada dos células adyacentes, comprendiendo dicha estructura de barra colectora una barra colectora compensadora (6, 7, 8, 9, 10, 11) al objeto de conectar eléctricamente los ánodos de una célula con los cátodos de una célula adyacente, proporcionando a la corriente múltiples trayectorias eléctricas entre los electrodos, estando formada dicha conexión eléctrica por los puntos de contacto (12) entre la barra colectora compensadora (6, 7, 8, 9, 10, 11) y las asas (13) de

- los electrodos, y el sistema de electrólisis comprende una estructura de medición de corriente para la medición de la corriente eléctrica que circula en un electrodo individual, caracterizado por que la estructura de medición de corriente comprende unos medios de medición de campo magnético (15, 16) para la medición del campo magnético inducido por la corriente eléctrica en la barra colectora compensadora (6, 7, 8, 9, 10, 11), estado dispuestos los medios de medición de campo magnético en unos puntos de medición (14) situados entre cada par de puntos de contacto (12) adyacentes.
- 5
15. El sistema según la reivindicación 14, caracterizado por que los medios de medición de campo magnético están dispuestos para medir el campo magnético en el punto medio entre cada par de puntos de contacto (12) adyacentes.
- 10
16. El sistema según la reivindicación 14 o 15, caracterizado por que los medios de medición de campo magnético comprenden un circuito magnético (15) que está dispuesto rodeando la barra colectora compensadora (6, 7, 8, 9, 10, 11).
17. El sistema según la reivindicación 16, caracterizado por que el circuito magnético (15) es un sensor de corriente de lazo abierto.
- 15
18. El sistema según la reivindicación 16, caracterizado por que el circuito magnético (15) es un sensor de corriente de lazo cerrado.
19. El sistema según cualquiera de las reivindicaciones 16 a 18, caracterizado por que el circuito magnético (15) comprende un núcleo de material magnético conformado como un anillo que rodea la barra colectora compensadora (6, 7, 8, 9, 10, 11).
- 20
20. El sistema según la reivindicación 14 o 15, caracterizado por que los medios de medición de campo magnético comprenden uno o más sensores de efecto Hall (16) dispuestos cerca de la barra colectora compensadora (6, 7, 8, 9, 10, 11).



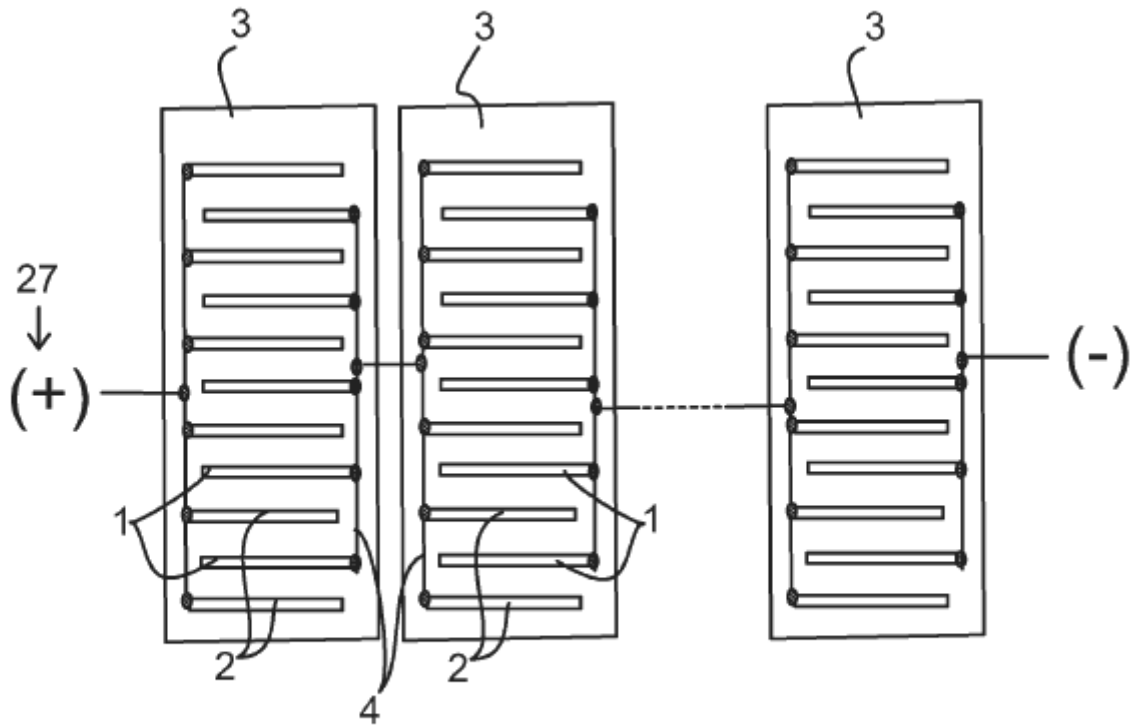


Fig. 1

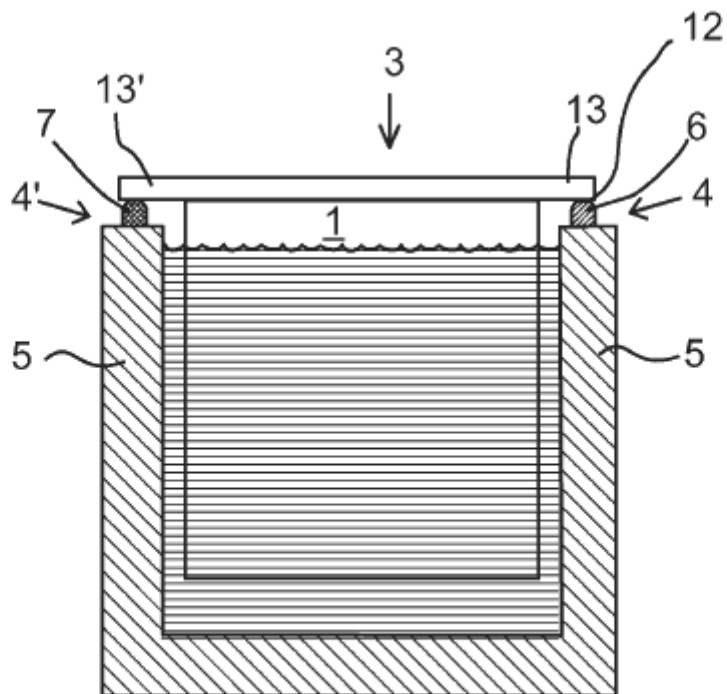


Fig. 2

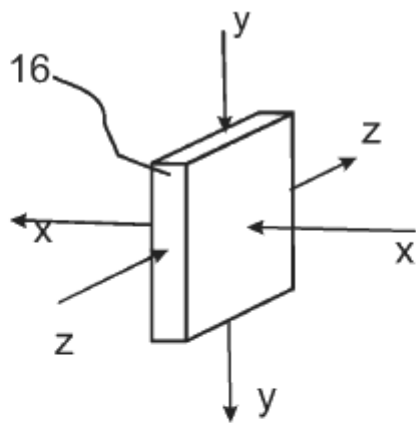
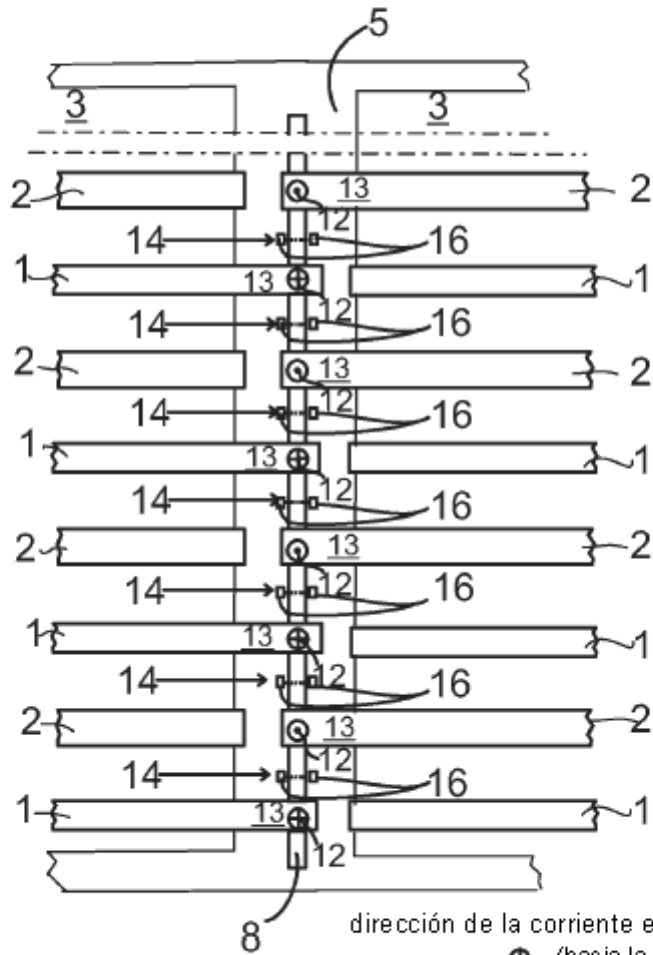


Fig. 3



dirección de la corriente en el punto de contacto  
 ⊕ (hacia la página)  
 ⊙ (saliendo de la página)

Fig. 4

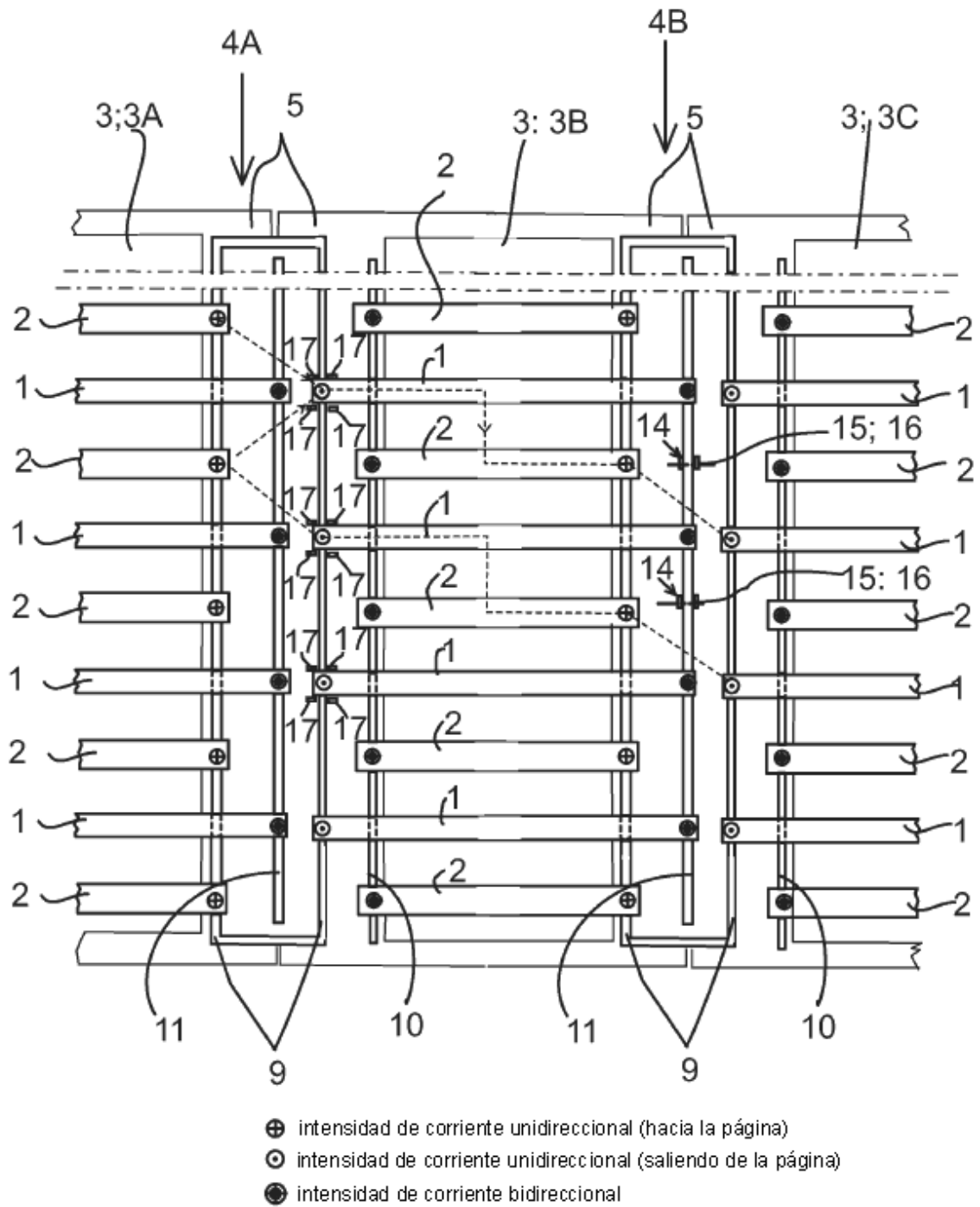


Fig. 5

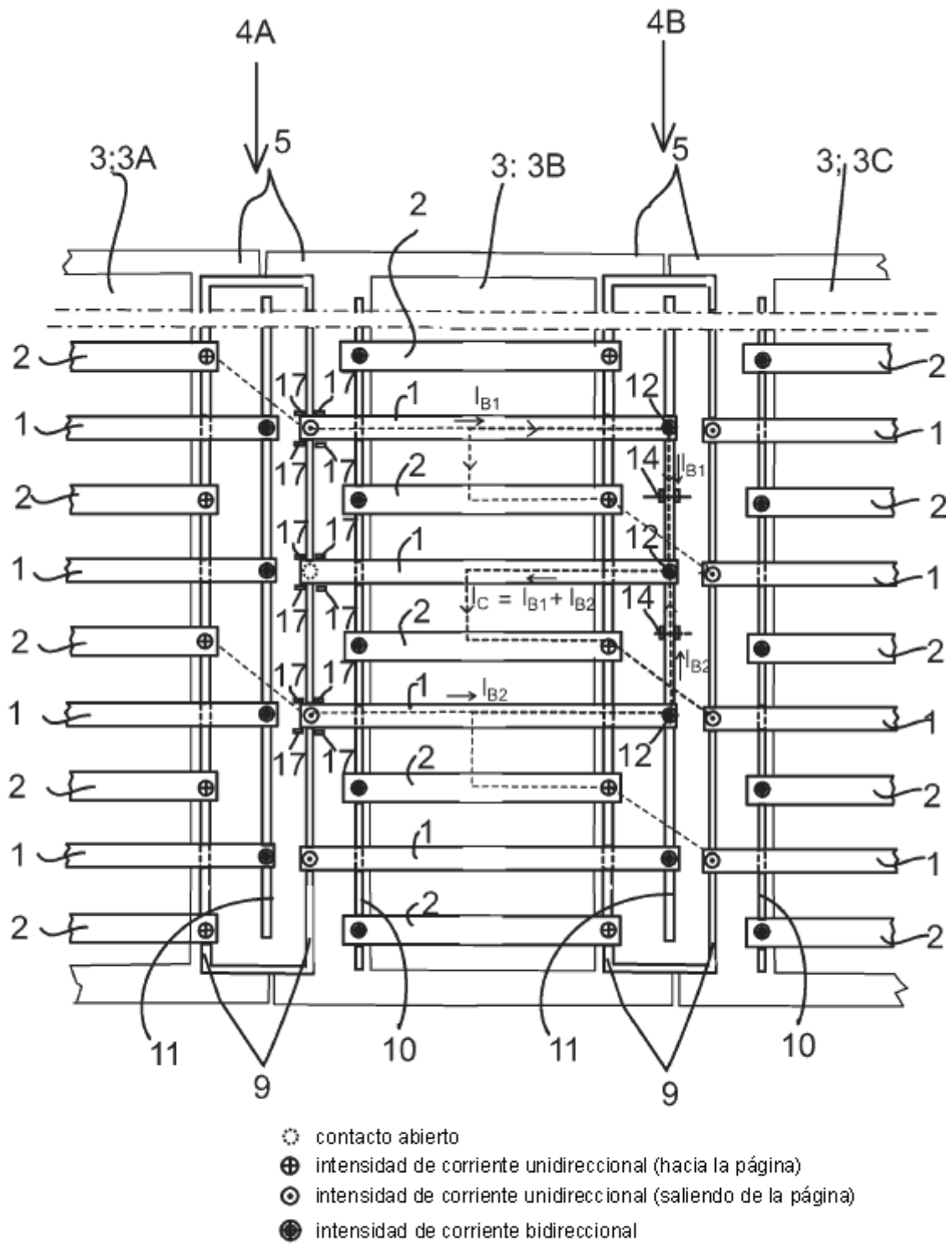


Fig. 6

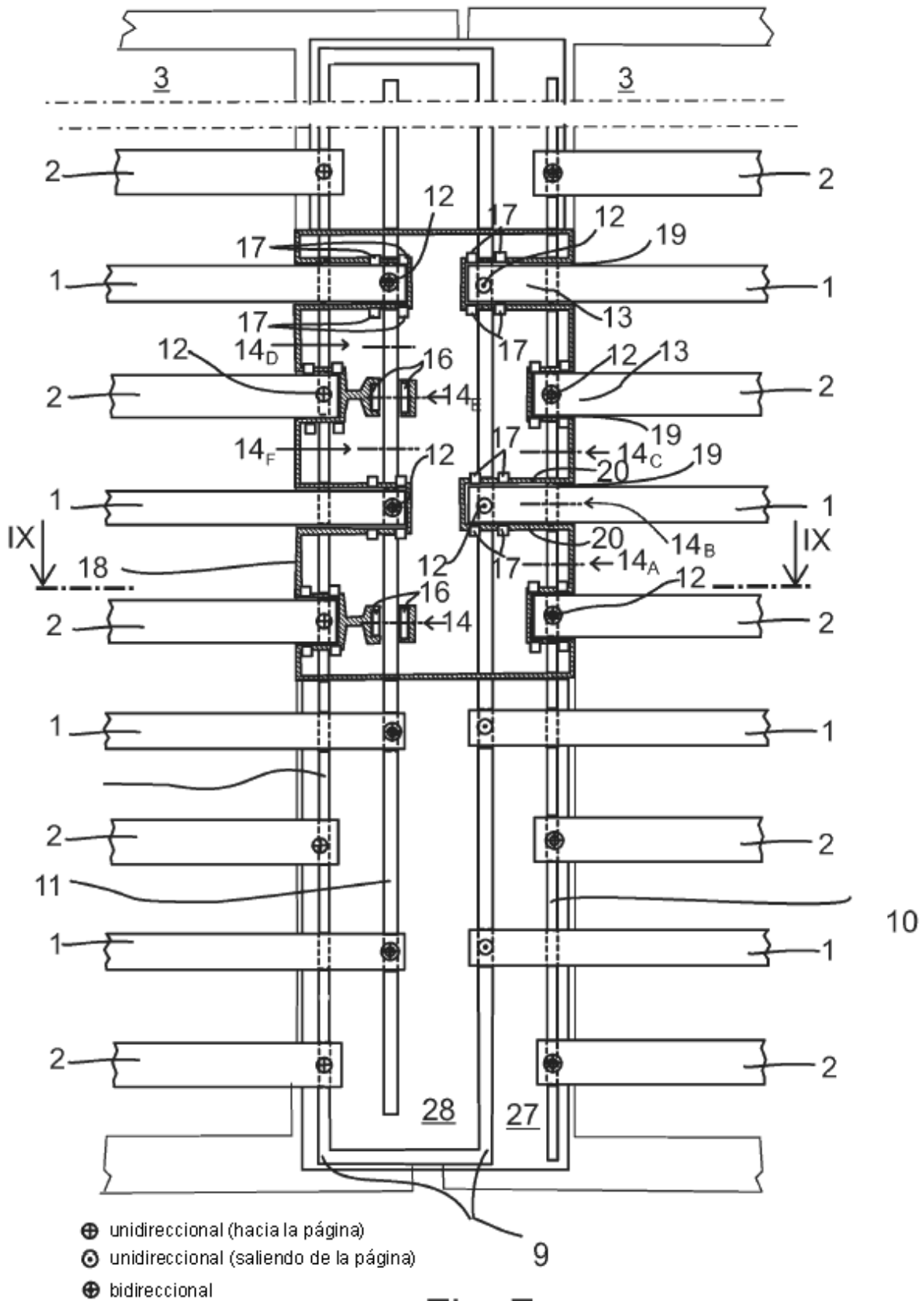


Fig. 7

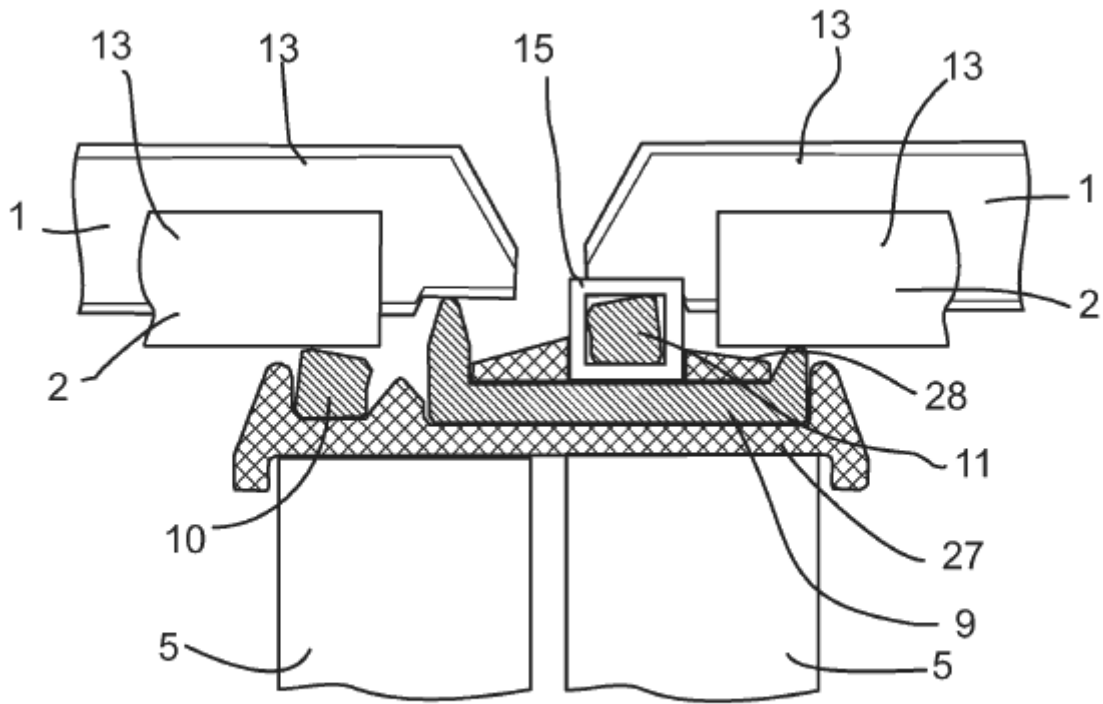


Fig. 8

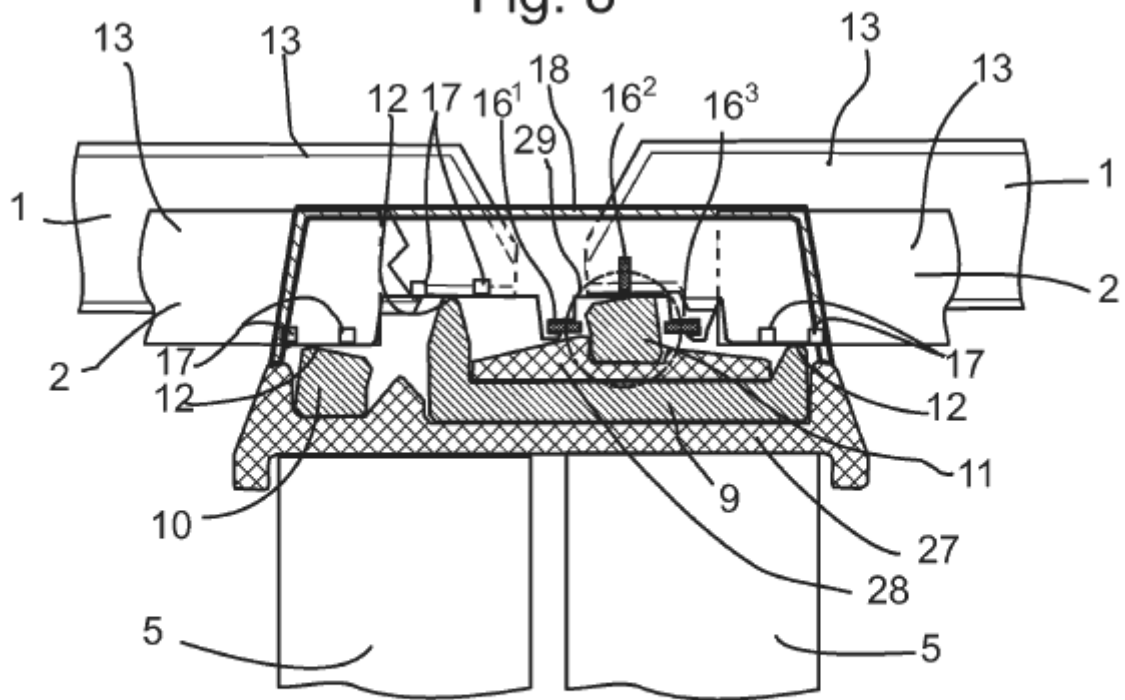


Fig. 9

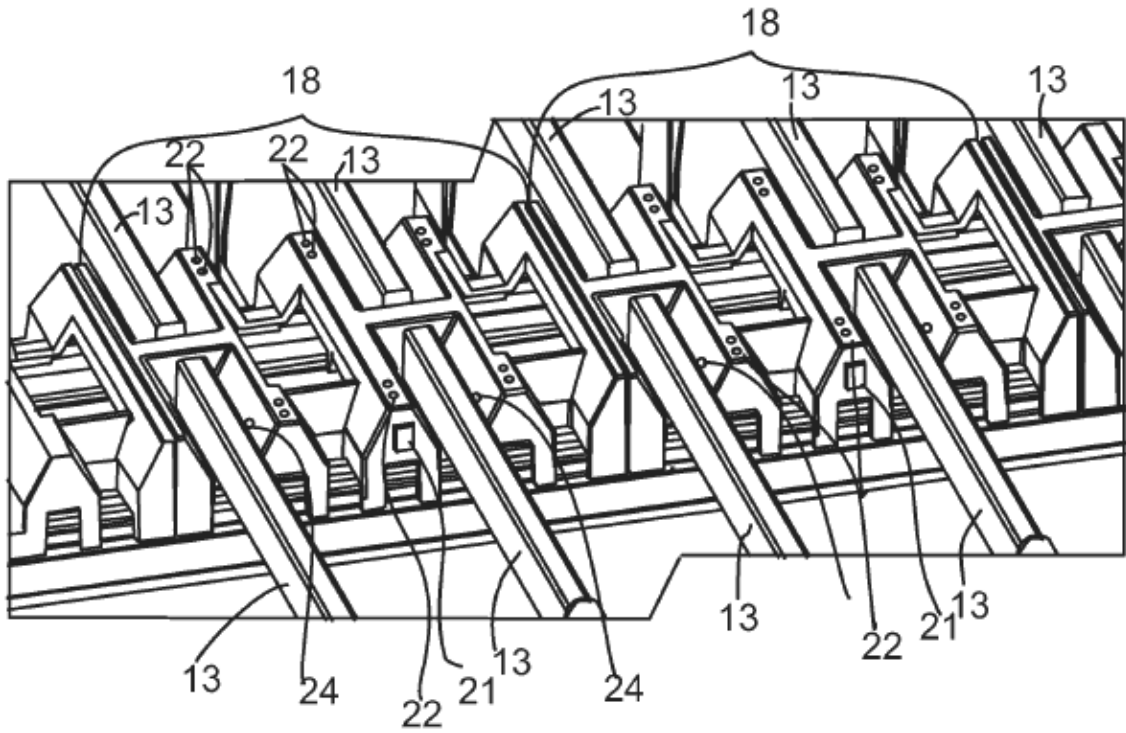


Fig. 10

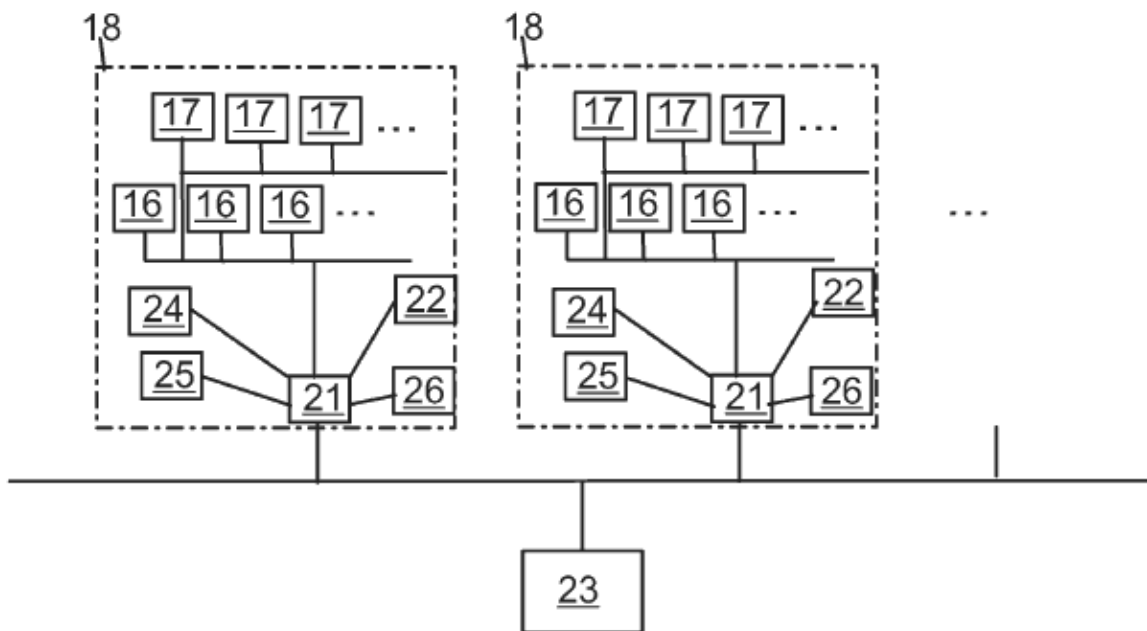


Fig. 11