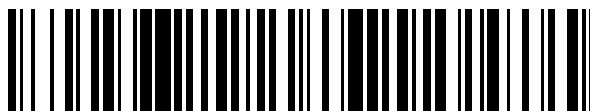


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 731 336**

51 Int. Cl.:

**C25C 1/12** (2006.01)

**C25C 7/02** (2006.01)

**C25C 7/06** (2006.01)

**C25D 21/12** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.06.2016 PCT/EP2016/065398**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.01.2017 WO17001612**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.06.2016 E 16733089 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.05.2019 EP 3317436**

54 Título: **Estructura de electrodo para la electrodeposición de metales no ferrosos**

30 Prioridad:

**01.07.2015 IT UB20151809**

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

**15.11.2019**

73 Titular/es:

**INDUSTRIE DE NORA S.P.A. (100.0%)  
Via Bistolfi, 35  
20134 Milano, IT**

72 Inventor/es:

**PRADO PUEO, FELIX**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

ES 2 731 336 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

Estructura de electrodo para la electrodeposición de metales no ferrosos

5 **Alcance de la invención**

La presente invención se refiere a un sistema para detectar y opcionalmente controlar, la corriente en celdas electrolíticas de plantas para la electro-refinación, galvanostegia o extracción electrolítica de metales no ferrosos.

10 **Antecedentes de la invención**

En las plantas de electrodeposición, en particular en plantas para la electro-refinación, galvanostegia o extracción electrolítica de metales no ferrosos, la producción y la calidad del metal producido depende, entre otras cosas, de la densidad y de la distribución de corriente eléctrica en los electrodos de cada celda elemental de los electrolizadores.

15 En particular, uno de los principales factores que puede influir en la eficacia y la calidad de la producción se relaciona con el hecho de que se produzcan irregularidades en la distribución de corriente eléctrica en los electrodos, debidas a situaciones de sobrecorriente o de reducciones de corriente anómalas. Por ejemplo, en plantas para la extracción electrolítica de metales, los cátodos de cada celda elemental tienen que retirarse de sus emplazamientos  
20 periódicamente para las operaciones de recogida del metal. Estos movimientos continuos pueden dar como resultado contactos eléctricos imperfectos después de que los electrodos se han vuelto a colocar en sus emplazamientos, causando irregularidades en la distribución de la corriente de alimentación en los electrodos y, en consecuencia, reduciendo la calidad y la eficacia de la producción. Además hay que tener en cuenta que la deposición de metal en el electrodo se produce a veces de manera no uniforme, lo que da como resultado anomalías en la distribución de la  
25 corriente eléctrica. Un ejemplo de este fenómeno puede observarse en el caso de la extracción electrolítica de cobre, donde a menudo se detecta una mayor deposición de metal en la porción inferior y/o lateral del cátodo. Otra situación que puede dar origen a importantes irregularidades en la distribución de corriente se relaciona con el crecimiento de formaciones dendríticas en los electrodos, como se detectan en particular en los procesos de extracción electrolítica de cobre, cadmio o zinc. Cuando estas formaciones dendríticas entran en contacto con el electrodo adyacente, pueden  
30 crear situaciones de cortocircuito eléctrico que pueden comprometer seriamente la producción de metal, sustrayendo corriente de alimentación de los otros electrodos del electrolizador, causando posiblemente daños irreparables en los electrodos implicados en el cortocircuito.

35 Con el fin de controlar las situaciones de distribución de corriente irregular descritas anteriormente, dispositivos de alarma y monitorización de corriente se utilizan a menudo en las plantas de electro-refinación, galvanostegia o extracción electrolítica de metales. Estos dispositivos se sitúan normalmente en la estructura del electrodo (por ejemplo, en la barra porta electrodo) o en la correspondiente barra de alimentación; como alternativa pueden estar colocados cerca de las celdas electroquímicas, colgados o situados adyacente a las mismas. En este último caso, la identificación precisa y fiable de la corriente que fluye a través del electrodo se complica mucho por el hecho de que  
40 en el dispositivo confluyen contemporáneamente señales de distinto origen, cuyo análisis requiere la utilización de modelos matemáticos complejos. Esta complejidad tiene el efecto práctico de dificultar la detección, de manera fiable, de las pequeñas variaciones de señal de corriente asociadas a las irregularidades de distribución de corriente.

45 El documento US 2006/213766 A1 describe una celda electrolítica para la electrodeposición de metal que comprende un ánodo que tiene una barra portante y un primer dispositivo electrónico en comunicación con uno o más sensores, un segundo dispositivo electrónico en comunicación inalámbrica con el primer dispositivo electrónico y un dispositivo adicional para monitorizar diversos parámetros de celda.

50 Por otro lado, si el dispositivo de alarma y monitorización de corriente se sitúa en la estructura catódica o anódica, la alimentación del dispositivo presenta elementos de criticidad que influyen en su utilización práctica. La presencia de cables de alimentación directamente en la estructura del electrodo es considerablemente indeseable debido al entorno corrosivo en el que se coloca la estructura del electrodo, lo que puede causar un rápido deterioro de los cables (incluso posiblemente crear llamas libres con evidentes consecuencias para la seguridad de la planta). La presencia de cables puede obstaculizar también las operaciones de recogida del metal o en cualquier caso el acceso a los electrodos, y  
55 constituye por lo tanto un peligro o al menos un inconveniente para los operarios de la planta. El uso de baterías u otros medios de almacenamiento de energía, con una vida útil limitada, resuelve los problemas de alimentación causados por la presencia de cables, pero no representa una solución satisfactoria, debido a las implicaciones en términos de mantenimiento: las operaciones de control y sustitución de las baterías del dispositivo en una planta de extracción electrolítica, necesarias para garantizar una operación correcta y fiable, deberían realizarse con frecuencia,  
60 en un elevado número de electrodos y en condiciones ambientales insalubres, causando molestias al personal de la planta.

65 Por lo tanto es deseable ofrecer una solución a los problemas mencionados anteriormente, por ejemplo, en forma de estructuras de electrodo para plantas de electro-refinación, galvanostegia o extracción electrolítica de metales no ferrosos dotados de un dispositivo de alarma y detección de corriente eléctrica que requiera pocas operaciones de mantenimiento, tenga una vida útil garantizada de varios años, y que proporcione una detección de la señal de

corriente eléctrica sencilla y fiable.

Se observa además que, de acuerdo con los parámetros de operación de la planta, la ocurrencia de situaciones de sobrecorriente u otras irregularidades en la distribución de corriente eléctrica se asocia frecuentemente a variaciones de señal reducidas que pueden ser difíciles de discriminar de las variaciones debidas al ruido de la señal. Por lo tanto es deseable proporcionar un sistema de adquisición y procesamiento de las señales de corriente de tal manera que su fiabilidad y eficacia se maximicen, que pueda utilizarse en combinación con los dispositivos de alarma y monitorización de corriente eléctrica capaces de detectar la señal de corriente directamente en la estructura del electrodo.

## Sumario de la invención

La presente invención se refiere a un sistema para detectar la corriente eléctrica que fluye en un electrodo de una celda electrolítica para electro-refinación, galvanostegia o extracción electrolítica de metales no ferrosos, dotada opcionalmente de la capacidad de alertar al personal de la planta en situaciones de sobrecorriente eléctrica u otras irregularidades de distribución de corriente. En particular, la presente invención puede permitir identificar rápidamente los electrodos sujetos a cualquier cortocircuito eléctrico, que puede ser causado, por ejemplo, por el crecimiento de dendritas, por irregularidades en la deposición del metal o por posibles incidentes mecánicos que pueden poner en contacto eléctrico directo los ánodos y cátodos.

La presente invención se refiere también a un sistema de detección de corriente eléctrica que tiene suficiente autonomía de alimentación para asegurar una operación libre de mantenimiento durante un periodo de varios años y que puede resistir el entorno corrosivo de las plantas de electro-refinación, galvanostegia o extracción electrolítica de metales no ferrosos.

La presente invención se refiere también a un sistema de detección de corriente que proporciona una lectura fiable de la corriente que fluye en un electrodo, realizado de forma que reduce las contribuciones a la señal detectada procedente de electrodos cercanos y/o de otros medios de alimentación de corriente.

La presente invención se refiere también a un sistema de adquisición de datos para medir la corriente eléctrica en equipos de extracción electrolítica de metales no ferrosos que permite identificar con precisión las pequeñas variaciones de señal asociadas al hecho de que se produzcan situaciones de sobrecorriente o de irregularidad de distribución de corriente, cuando dicho sistema se utiliza conjuntamente con el sistema de detección de corriente mencionado anteriormente.

Varios aspectos de la presente invención se divulgan en las reivindicaciones adjuntas.

En un aspecto, la invención se refiere a una estructura anódica para la electrodeposición de metal que comprende un ánodo, una barra portante del ánodo para soportar el ánodo y al menos un dispositivo integrado inalámbrico, en la que este último dispositivo comprende los siguientes elementos: medios de comunicación inalámbricos, al menos un sensor de corriente eléctrica para la detección directa o indirecta de la corriente que fluye a través de dicha barra portante del ánodo, un sistema de almacenamiento de energía eléctrica y un microcontrolador (conocido también como MCU). El dispositivo integrado inalámbrico se somete a un ciclo de activación periódica que comprende un modo de espera y un modo de activación, en el que el modo de espera tiene una duración total correspondiente al 90,000 % - 99,998 % de la duración de cada ciclo de activación periódica.

El ánodo puede ser de cualquier material y estructura adecuados para la electro-refinación, electrodeposición o extracción electrolítica de metales no ferrosos; por ejemplo, el ánodo puede fabricarse de plomo o de un metal válvula, como por ejemplo titanio. El ánodo puede activarse catalíticamente y puede moldearse en placas sólidas, parrillas, rejillas, en estructuras de lamas, porosas o perforadas.

La expresión "dispositivo integrado inalámbrico" denota un dispositivo para la detección de la corriente eléctrica que no presenta cables externos para la alimentación del dispositivo, ni para la comunicación con otros dispositivos, ni para la activación de alarmas. El dispositivo está integrado, fijado, encolado o sellado en la estructura anódica, preferentemente en la barra portante del ánodo.

La expresión "medios de comunicación inalámbricos" denota un sistema para la emisión, y eventualmente la recepción, de ondas electromagnéticas, como ondas de radio o microondas. Para este fin se pueden utilizar los estándares de comunicación inalámbrica tales como Bluetooth, Wi-Fi, ZigBee, 3G, GSM.

La expresión "sistema de almacenamiento de energía eléctrica" denota al menos un dispositivo, por ejemplo, una pila o una pluralidad de pilas, que alimentan el dispositivo integrado inalámbrico en ausencia de conexión a un sistema de alimentación externo. El sistema de almacenamiento de energía eléctrica alimenta a todos los elementos del dispositivo integrado que necesitan alimentación eléctrica, tales como por ejemplo, el microcontrolador. El microcontrolador es una unidad que controla el ciclo de activación periódica según la invención. Este ciclo de activación periódica en el que el dispositivo integrado se pone principalmente en un modo de espera puede aportar la ventaja de

preservar la vida del sistema de almacenamiento de energía eléctrica, permitiendo una vida útil de más de un año.

La expresión “modo de espera” denota un modo de bajo consumo de energía eléctrica. En este modo de espera el consumo de energía eléctrica por parte del dispositivo integrado inalámbrico, en particular del microcontrolador, se reduce al mínimo necesario para alimentar: a) a un cronómetro que fija la duración de los periodos de espera/activación y b) a todos los subsistemas para la conservación de los datos contenidos en la RAM y la reanudación de la operación del microcontrolador tras una señal de activación facilitada por el cronómetro.

El sensor de corriente eléctrica puede ser, por ejemplo, un sensor de temperatura o un sensor Hall. Este último es conocido en la técnica por ser capaz de proporcionar una medida indirecta de la corriente que fluye en la estructura anódica a través de la medida del efecto Hall inducido por el campo magnético generado por la corriente que fluye a través de la barra portante del ánodo.

Las variaciones de temperatura medidas en la barra portante del ánodo proporcionan una indicación adicional o alternativa de la ocurrencia de irregularidades en la distribución de corriente eléctrica en la celda electroquímica elemental. El sensor de temperatura se puede elegir entre los siguientes dispositivos: termopares, termistores, termorresistencias u otros dispositivos integrados electrónicos disponibles en el mercado y capaces de producir señales de tensión proporcionales a la temperatura. Sin embargo, el experto en la materia está capacitado para reconocer que cualquier sensor de temperatura que sirva para la finalidad prevista en la presente descripción puede utilizarse sin alejarse del alcance de la invención.

En una realización, la estructura anódica de acuerdo con la invención comprende una barra portante del ánodo en forma de manillar, o en otras palabras se forma, en el plano vertical, por una porción horizontal principal inferior y dos porciones laterales superiores y horizontales conectadas a los lados opuestos de dicha porción horizontal principal a través de dos porciones intermedias inclinadas, estando situado el dispositivo integrado inalámbrico en la superficie superior de una de las dos porciones intermedias inclinadas. La forma de manillar de la barra portante del ánodo puede facilitar el acceso a las barras portantes de cátodos durante la extracción de los cátodos de su emplazamiento para las operaciones de recogida del metal.

La expresión “horizontal” que hace referencia a las porciones de la barra portante del ánodo descritas aquí denota una geometría generalmente horizontal en el plano vertical. Esta definición incluye cuerpos curvos con bajo radio de curvatura o cuerpos que son horizontales dentro de un margen de error igual o inferior al 20 % en la dirección vertical.

En todos los casos en los que el dispositivo integrado inalámbrico comprende un sensor Hall, el primero puede estar colocado de tal manera que dicho sensor se sitúe en la tercera sección superior de una de las dos porciones intermedias inclinadas, donde las dos porciones intermedias inclinadas forman un ángulo de 20-70 grados con la vertical. Esta colocación del sensor Hall, que corresponde aproximadamente, en el plano vertical, a la altura media de la barra portante del cátodo, puede ofrecer la ventaja de reducir las contribuciones de la señal de campo magnético procedente de los electrodos adyacentes, en particular la contribución de señal procedente de la barra portante del cátodo que está delante de la estructura anódica de acuerdo con la invención.

En otra realización, el dispositivo integrado inalámbrico de la estructura anódica de acuerdo con la invención presenta un ciclo de activación periódica de duración total de 1-15000 segundos. Durante cada uno de los ciclos de activación periódica, el microcontrolador puede activar a intervalos de tiempo predefinidos al menos un sensor de corriente eléctrica, como por ejemplo un sensor de temperatura o un sensor Hall, que efectúa la medida de la señal de corriente en la barra portante del ánodo. El microcontrolador puede activar también a intervalos de tiempo predefinidos los medios de comunicación inalámbricos que envían los datos relativos a la medida de corriente eléctrica efectuada por el sensor, o por los sensores, a al menos un medio de recepción. El número de veces en el que se activan los medios de comunicación inalámbricos puede elegirse ventajosamente igual o inferior al número de veces en el que se activa el sensor de corriente eléctrica durante cada ciclo, con el fin de reducir el consumo de energía por parte del sistema de almacenamiento de energía eléctrica. Los medios de recepción pueden colocarse cerca de los electrodos a una distancia preferentemente inferior a 100 m, preferentemente a 15 cm – 20 m de distancia, más preferentemente a 1 - 8 m, y programarse para recoger los datos enviados por las estructuras anódicas de acuerdo con la invención. Por ejemplo, cada medio de recepción puede programarse para recopilar datos de al menos una estructura anódica, preferentemente de 2 a 20 estructuras anódicas, aún más preferentemente 2 - 10 estructuras anódicas. Cada medio de recepción puede conectarse a un ordenador local dotado de otros medios de comunicación. Los datos recopilados por los medios de recepción pueden procesarse previamente por los ordenadores locales y enviarse posteriormente con otros medios de comunicación a un ordenador central, a través de medios inalámbricos o por cable. Este sistema de comunicación en dos fases (siendo la primera fase desde la estructura anódica hasta un ordenador local y siendo la segunda fase desde cada ordenador local hasta un ordenador central) puede ofrecer la ventaja de simplificar las operaciones de elaboración de las señales, reduciendo la distancia recorrida por las señales, haciendo posible establecer una jerarquía entre las distintas señales y opcionalmente pre-procesándolas, proporcionando de este modo una gestión más eficiente y fiable de los datos. El ordenador central puede posteriormente realizar un procesamiento posterior de los datos procedentes de los ordenadores locales y proporcionar informes sobre la actividad de la planta, controlar la presencia de irregularidades de la distribución de corriente y activar los medios de alarma si es necesario. En los equipos de extracción electrolítica de cobre de pequeñas y medianas dimensiones, el número de señales a

tratar puede ser fácilmente superior a 1000, normalmente igual o superior a 5000. En estos casos el sistema de comunicación en dos fases descrito precedentemente puede emplearse ventajosamente para organizar el flujo de datos procedentes de las estructuras anódicas de forma eficiente y fiable.

5 En una realización adicional, el ciclo de activación periódica tiene una duración de 300-6000 segundos, el microcontrolador activa el sensor o los sensores de corriente eléctrica, como por ejemplo un sensor Hall o un sensor de temperatura, de 1 a 10 veces durante cada ciclo de activación periódica, cada activación tiene una duración inferior a 15 milisegundos, preferentemente de 6 a 8 milisegundos. El microcontrolador puede activar los medios de comunicación inalámbricos 1-3 veces durante cada ciclo de dicha activación periódica. Esta realización puede  
10 presentar la ventaja de conservar la carga del sistema de almacenamiento de energía eléctrica durante un periodo de hasta 10 años.

En otra realización, la estructura anódica de acuerdo con la invención comprende además medios de alarma visuales, como por ejemplo señales luminosas, LED, y/o medios de alarma sonoros. Estos medios de alarma pueden activarse  
15 directamente desde el microcontrolador del dispositivo integrado inalámbrico o, preferentemente, por otros dispositivos informáticos que, en el momento de la recepción de la detección de corriente por parte del dispositivo integrado, analizan las señales para valorar la presencia de irregularidades de distribución de corriente. Esta valoración puede efectuarse, por ejemplo, comparando la corriente medida en la estructura anódica en un intervalo predefinido de valores nominales. Para aumentar la fiabilidad de la eventual alarma, los medios de alarma pueden activarse después  
20 de que un número de medidas establecido previamente confirme la efectiva irregularidad de la señal detectada. Como alternativa, se puede realizar un análisis estadístico de las señales de corriente detectadas en una única estructura anódica, o en un conjunto preestablecido de estructuras anódicas, a lo largo del tiempo. Este análisis permite controlar las eventuales variaciones en el tiempo del valor medio de corriente de una estructura anódica y/o la velocidad relativa de tales variaciones (a través de la función primera derivada), comparando tales valores con un intervalo de valores predefinidos, y/o controlar estas variaciones respecto a los valores detectados en un número preestablecido de  
25 estructuras anódicas adyacentes, comparando estos valores entre sí o con un intervalo de valores predefinidos.

Además, o como alternativa a, de los métodos de análisis descritos anteriormente, es posible aplicar filtros digitales a una o más funciones de la corriente eléctrica detectada en el tiempo (es decir corriente media y/o desviación estándar  
30 de la media). La utilización de filtros en las funciones de la corriente puede contribuir a una localización más precisa y fiable de irregularidades efectivas en la distribución de la corriente eléctrica, reduciendo las fluctuaciones de señal debidas a variaciones transitorias. Con este fin, la utilización de filtros digitales de primer orden, como filtros de media móvil, en particular filtros de media móvil exponencial, han sido testados con éxito por los inventores. La variable filtrada puede confrontarse en un intervalo de valores admisibles y puede activar una alarma en caso de que dicha  
35 variable caiga fuera de dicho intervalo.

En todos los casos descritos anteriormente, el dispositivo integrado inalámbrico se puede revestir de materiales resistentes a la corrosión, como por ejemplo plásticos o resinas, para favorecer su conservación en el tiempo. El uso de películas termorretráctiles para encerrar y proteger los componentes del dispositivo integrado inalámbrico puede  
40 presentar la ventaja de permitir el acceso a los componentes del dispositivo si es necesario. Las películas termorretráctiles puede realizarse en materiales poliméricos, como por ejemplo la poliolefina, capaz de resistir al ambiente corrosivo de los equipos electroquímicas. Como alternativa, el dispositivo integrado puede incrustarse en una matriz de resina o plástico, que puede proporcionar una protección particularmente duradera.

En otro aspecto, la presente invención se refiere a un dispositivo integrado inalámbrico que comprende: i) un  
45 microcontrolador, ii) un sistema de almacenamiento de energía eléctrica, iii) al menos un sensor de corriente eléctrica para medir la corriente eléctrica (por ejemplo un sensor Hall y/o un sensor de temperatura), y iv) medios de comunicación inalámbricos; en el que dicho dispositivo se alimenta con el sistema de almacenamiento de energía eléctrica y se somete a un ciclo de activación periódica que comprende un modo de espera y un modo de activación, donde dicho modo de espera tiene una duración total correspondiente al 90,000 % - 99,998 % de la duración de cada  
50 ciclo de activación periódica, y donde cada uno de dichos ciclos puede tener una duración de 1-15000 segundos. Durante cada ciclo, el microcontrolador activa el sensor de corriente eléctrica y los medios de comunicación inalámbricos a intervalos de tiempo predefinidos. En algunos casos podría ser deseable activar el sensor de corriente eléctrica más frecuentemente que los medios de comunicación inalámbricos, puesto que estos últimos tienen un mayor consumo de energía eléctrica en comparación al primero.

55 En un aspecto adicional, la presente invención se refiere a un sistema de adquisición de señales de corriente eléctrica en una planta de electrodeposición de metales que comprende al menos un electrolizador dotado de una pluralidad de celdas electrolíticas elementales, en el que cada celda electrolítica elemental está dotada de una estructura catódica y de ánodo de acuerdo con la invención, y a menos un ordenador en conexión inalámbrica con al menos una  
60 estructura anódica. Dicho al menos un ordenador puede ser un ordenador local conectado inalámbricamente con 2 - 20 dichas estructuras anódicas y capaz de recibir, procesar y transmitir información de cada dispositivo integrado inalámbrico a un ordenador central. El sistema de adquisición de datos puede comprender además al menos un dispositivo de alarma que emite una alarma visual y/o sonora que se activa desde el ordenador local o central. La activación de dicho al menos un dispositivo de alarma por parte de un ordenador central o de un ordenador local puede realizarse conforme a las siguientes fases: i) adquisición y almacenamiento por parte del ordenador central o del  
65 ordenador local de los datos enviados desde cada estructura anódica conectada con el ordenador local o central,

comprendiendo donde dichos datos al menos una función de la señal de corriente eléctrica, ii) aplicación de un filtro lineal a la función de la corriente eléctrica, iii) activación del dispositivo de alarma en caso de que el valor filtrado de la función de la señal de corriente eléctrica se sitúe fuera de un campo preestablecido de valores. El filtro lineal puede ser un filtro de media móvil, como por ejemplo un filtro de media móvil exponencial. Se ha observado que este filtro es particularmente adecuado para el análisis de las señales de corriente eléctrica que fluye en una estructura anódica de una planta de extracción electrolítica de cobre, en particular en el caso de sobrecorriente inducida por el crecimiento de dendritas en el cátodo adyacente.

Los datos enviados desde cada estructura anódica al ordenador son datos de serie temporales ya que son el resultado de mediciones sucesivas efectuadas en un intervalo de tiempo. El filtro lineal puede aplicarse para eliminar el ruido en la evolución temporal de los datos. Con este fin, la función de la corriente eléctrica que se va a filtrar se puede indexar por el ordenador local o central en función del ciclo, o del instante temporal, en el que se ha detectado la señal, directa o indirecta, de corriente eléctrica.

La expresión “función de la señal de corriente eléctrica” denota una función matemática de la variable corriente eléctrica, como por ejemplo, una función lineal de la desviación de la corriente eléctrica de una estructura anódica con el valor medio de corriente, donde el valor medio de corriente puede definirse como la media del valor de corriente de un conjunto de estructuras anódicas analizadas por el ordenador local y/o central. Esta desviación de la corriente eléctrica puede normalizarse con respecto al valor medio de corriente y expresarse en porcentaje.

Puede ser ventajoso sincronizar las operaciones de recogida del metal con el ciclo de activación del dispositivo integrado inalámbrico de tal modo que se realice la operación completa de recogida cuando el dispositivo integrado está en un modo de espera. De esta forma se puede reducir la carga computacional de controlar señales de corriente anómalas cuando los cátodos se retiran de su emplazamiento durante las operaciones de recogida del metal.

Algunas implementaciones ejemplificativas de la invención se describen a continuación en relación con los dibujos adjuntos, que tienen como único objetivo ilustrar la disposición recíproca de los distintos elementos en dichas realizaciones particulares de la invención; en particular, los dibujos no son necesariamente a escala.

### Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 ilustra esquemáticamente una estructura anódica de acuerdo con una realización de la invención.

La Figura 2 ilustra esquemáticamente secciones geométricas de la barra portante del ánodo de la estructura anódica de acuerdo con una realización de la invención.

### Descripción detallada de los dibujos

La Figura 1 ilustra esquemáticamente una estructura anódica (100) que comprende una barra portante del ánodo (110) que soporta mecánicamente un ánodo (120). La barra portante del ánodo está dotada también del dispositivo integrado inalámbrico (130).

La Figura 2 ilustra esquemáticamente la estructura geométrica de la barra portante del ánodo (110) de acuerdo con una realización de la invención. La barra portante del ánodo (110) puede dividirse esquemáticamente en cinco porciones geométricas en el plano vertical xy, en concreto, dos porciones laterales superiores y sustancialmente horizontales (111) y (115), una porción principal horizontal inferior (113), y dos porciones intermedias inclinadas (112) y (114) que conectan respectivamente la porción principal horizontal inferior con las porciones (111) y (115). La porción intermedia inclinada (114) forma un ángulo (050) con la vertical. Este ángulo está comprendido normalmente entre 20 y 70 grados. Las dos porciones laterales superiores se pueden situar sobre la barra portacorriente y/o una barra de equilibrio, si la hubiera, del electrolizador (no mostrado). En la Figura se ilustra esquemáticamente el dispositivo integrado inalámbrico (130) colocado sobre la superficie superior de la porción intermedia inclinada (112) y extendiéndose sobre la parte principal horizontal inferior. El dispositivo integrado inalámbrico (130) aloja a un sensor Hall (131) colocado en la tercera sección superior de la porción intermedia inclinada.

El siguiente ejemplo se incluye para demostrar una realización particular de la invención, cuyas posibilidades de ponerse en práctica se han comprobado ampliamente dentro del intervalo de valores reivindicado. El experto en la materia deberá apreciar que las composiciones y las técnicas descritas en el siguiente ejemplo representan composiciones y métodos que los inventores han encontrado que operan satisfactoriamente en la práctica; sin embargo, el experto en la materia deberá, en vista de la presente descripción, apreciar que se pueden hacer muchos cambios en las realizaciones específicas divulgadas mientras se siguen obteniendo resultados similares o análogos sin alejarse del alcance de la invención.

### Ejemplo

Se realizó un programa de prueba en un electrolizador industrial para la extracción electrolítica de cobre, que comprendía 64 celdas elementales, conteniendo cada celda una estructura catódica y de ánodo. El cátodo estaba

constituido por una lámina de acero inoxidable de 1240 mm X 830 mm de superficie, mientras que el ánodo estaba constituido por una lámina de plomo de igual superficie. El cátodo y el ánodo se colocaron verticalmente cara a cara a una distancia de 50 mm entre las superficies externas. La barra portante del ánodo era de cobre y con forma de manillar, con una sección transversal de 24 mm X 43 mm y recubierta de una resina resistente a la corrosión.

5 Se operó el electrolizador con un electrolito que contenía 160 g/l de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y 50 g/l de cobre en forma de Cu<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, con una tensión de alimentación de 2,1 V correspondiente a una densidad de corriente nominal de 400 A/m<sup>2</sup>, con evolución de oxígeno en el ánodo y deposición de cobre en el cátodo.

10 Las 64 estructuras anódicas del electrolizador incluían 6 estructuras anódicas adyacentes y realizadas de acuerdo con la invención; cada una de las 6 estructuras anódicas comprendía un dispositivo integrado inalámbrico, de 25 mm x 14 mm x 190 mm de dimensión, colocado en la barra portante del ánodo como se ilustra esquemáticamente en la Figura 2. Todos los dispositivos integrados se habían revestido con una película de poliolefina termorretráctil.

15 Cada dispositivo integrado inalámbrico se alimentó con un sistema de almacenamiento de energía eléctrica constituido por dos pilas de litio de 190 mAh y 90 mAh conectadas en serie. Cada pila tenía una temperatura de operación máxima permitida de 85 °C y una pérdida de carga en reposo inferior al 1 % anual.

20 Los dispositivos integrados comprendían un sensor Hall con las siguientes características: una respuesta lineal en función de la intensidad del campo magnético en el intervalo de temperatura comprendido entre -40 °C y 150 °C, un consumo de energía de 7 mA aproximadamente y un tiempo de conmutación "On-Off" de 50 microsegundos.

25 Cada dispositivo integrado comprendía un emisor de señal radio con estándar Zigbee y un microcontrolador. El microcontrolador tenía un bajo consumo energético. En particular, de acuerdo con su estado de activación: i) modo de espera con reloj activo (1,6 µA), ii) modo de activación con radio apagada (7 mA), iii) modo de activación con radio en operación (20 mA).

30 El fabricante asoció cada microcontrolador a una dirección MAC (Media Access Control) lo que proporcionó una identificación unívoca del dispositivo integrado inalámbrico que acoge al microcontrolador. Durante la instalación de los dispositivos integrados todas las direcciones MAC se asociaron a la correspondiente estructura anódica, esta relación después se registraba en un ordenador.

Se dotó al ordenador de medios de recepción y se le puso en comunicación con las 6 estructuras anódicas de acuerdo con la invención.

35 Cada 1,5 minutos, cada microcontrolador activaba el sensor Hall, detectaba la medida de corriente eléctrica y lo apagaba. La duración global del estado de activación del sensor era de unos 70 microsegundos por ciclo. Cada 1,5 minutos cada microcontrolador enviaba las detecciones de corriente eléctrica desde el sensor Hall al ordenador local a través de la emisión de señal de radio. El tiempo requerido por el microcontrolador para enviar cada paquete de información por radio fue de unos 4 ms.

40 Basándose en los datos de corriente eléctrica recibidos por el ordenador, en cada ciclo de medida *k* el valor medio de la corriente *I*AVG<sub>*k*</sub> de las 6 estructuras anódicas de acuerdo con la invención se calculó de acuerdo con la fórmula:

$$I_{AVG_k} = 1/N \sum_{j=1}^N I_{j,k};$$

45 donde *I*<sub>*j,k*</sub> era el valor de la corriente en la estructura anódica *j* después del ciclo de medida *k*; *N* era el número de estructuras anódicas de acuerdo con la invención, igual a 6.

50 La desviación *D*<sub>*j,k*</sub> de la corriente de ánodo respecto a la media *I*AVG<sub>*k*</sub> expresada en porcentaje se calculó como:

$$D_{j,k} = \frac{I_{j,k} - I_{AVG_{j,k}}}{I_{AVG_{j,k}}} \cdot 100;$$

55 Se utilizó un filtro de media móvil exponencial aplicando el siguiente algoritmo en la variable *D*<sub>*j,k*</sub>, la variable filtrada *F**D*<sub>*j,k*</sub> se obtuvo con el siguiente algoritmo:

$$F_{D_{j,k+1}} = \alpha \cdot F_{D_{j,k}} + (1 - \alpha) \cdot D_{j,k+1};$$

donde

60 
$$F_{D_{j,1}} = D_{j,1}$$

El parámetro  $\alpha = \exp(-1/\tau)$  se fijó igual a 0,99875, en virtud de la observación por parte de los inventores de que, sobre

una media de operación del equipo de 100 horas, las irregularidades de corriente relevantes se producían normalmente en las últimas 20 horas. Con un ciclo de una duración de 1,5 minutos, la constante de tiempo  $\tau$  expresada en números de ciclos es  $\tau = 800 = 20 \times 3600/90$ .

5 La variación transitoria  $VDI_{j,k}$ , expresada como:

$$VDI_{j,k} = DI_{j,k} - FDI_{j,k}$$

10 se ha confrontó con un valor fijado previamente  $X = 30$ . El algoritmo se dispuso para activar una alarma visual en correspondencia con el ánodo  $j$  en todos los casos en los que  $VDI_{j,k} > X$ .

15 El electrolizador se mantuvo en operación durante 4 días. El análisis de los valores de la señal de corriente eléctrica procedente de las estructuras anódicas de acuerdo con la invención registrados en el ordenador no señaló anomalías y el sistema no activó ninguna señal de alarma. Una inspección visual de los elementos de las celdas investigadas no mostró presencia de formaciones dendríticas ni crecimientos no homogéneos del metal.

El cobre depositado en los cátodos se recogió y la calidad y la cantidad de producción estaban en línea con las expectativas.

20 Antes de volver a colocar los cátodos en sus emplazamientos, un tornillo se insertó en un cátodo perpendicularmente a una de las estructuras anódicas de acuerdo con la invención, para formar una dendrita artificial, con la punta del tornillo a una distancia de 4 milímetros con respecto al ánodo.

Posteriormente el electrolizador se puso en operación durante 4 días.

25 Al 3<sup>er</sup> día de operación se observó un crecimiento lateral de cobre en la dendrita, hasta alcanzar la superficie del ánodo.

30 Después de 20 minutos de contacto, la presencia de un exceso de corriente se señaló en la pantalla del ordenador en relación con la estructura anódica afectada, causando la iluminación de un LED en la estructura. El análisis de los datos obtenidos durante el experimento señaló que un aumento de corriente eléctrica del 60 % durante 92 minutos se registró en la estructura anódica afectada por el contacto con la dendrita.

35 La prueba acelerada descrita anteriormente podría indicar que el dispositivo integrado inalámbrico tenía una vida útil de un año aproximadamente. El experto en la materia puede reconocer que la vida útil del dispositivo integrado se puede aumentar por un factor de más de 10 aumentando la duración del ciclo de activación periódica (por ejemplo de 1,5 minutos a 15 minutos) y ajustando el número de veces que el sensor de corriente y los medios de comunicación radio se activan durante cada ciclo.

40 La descripción anterior no pretende limitar la invención, que puede utilizarse de acuerdo con distintas realizaciones sin por ello alejarse de los objetivos, estando el alcance de la invención definido unívocamente en las reivindicaciones adjuntas.

45 En la descripción y en las reivindicaciones de la presente solicitud la palabra “comprender” y sus variaciones como “comprendiendo” y “comprende” no excluyen la presencia de otros elementos, componentes o estadios de proceso adicionales.

50 La descripción de documentos, escritos, materiales, aparatos, artículos y similares se incluye en el texto con el único fin de aportar un contexto para la presente invención; en cualquier caso no debe entenderse que esta materia o parte de ella constituye un conocimiento general en el campo relativo a la invención antes de la fecha de prioridad de cada una de las reivindicaciones adjuntas a la presente solicitud.



**REIVINDICACIONES**

1. Estructura anódica para la electrodeposición de metal que comprende un ánodo, una barra portante anódica que soporta dicho ánodo y al menos un dispositivo integrado inalámbrico, en donde dicho al menos un dispositivo integrado inalámbrico comprende:
- medios de comunicación inalámbricos;
  - al menos un sensor de corriente eléctrica para la detección directa o indirecta de la corriente que fluye a través de dicha barra portante del ánodo;
  - medios de almacenamiento de energía;
  - una unidad de microcontrol;
- exhibiendo dicho dispositivo integrado inalámbrico un ciclo de activación periódica que comprende un modo de espera y un modo de activación, teniendo dicho modo de espera una duración total correspondiente al 90,000 % - 99,998 % de la duración de cada ciclo de activación periódica.
2. Estructura anódica de acuerdo con la reivindicación 1, en la que cada dicho ciclo de activación periódica tiene una duración de 1-15000 segundos.
3. Estructura anódica de acuerdo con la reivindicación 1, en la que dicha unidad de microcontrol está configurada:
- para activar dicho al menos un sensor de corriente eléctrica un primer número predefinido de veces durante cada dicho ciclo de activación;
  - para activar dichos medios de comunicación inalámbricos un segundo número predefinido de veces durante cada dicho ciclo de activación;
- en donde dicho segundo número predefinido es igual o inferior a dicho primer número predefinido, en donde dichos medios de comunicación inalámbricos envían los datos recogidos de dicho al menos un sensor de corriente eléctrica a al menos un medio de recepción.
4. Estructura anódica de acuerdo con la reivindicación 3, en la que dicho ciclo de activación periódica tiene una duración de 300-6000 segundos, en donde dicha unidad de microcontrol está configurada para activar dicho al menos un sensor de corriente eléctrica 1-10 veces durante cada ciclo, teniendo cada activación de dicho al menos un sensor de corriente eléctrica una duración inferior a 15 milisegundos, en donde dicha unidad de microcontrol está configurada preferentemente para activar dichos medios de comunicación inalámbricos 1-3 veces durante cada ciclo.
5. Estructura anódica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dicho al menos un sensor de corriente eléctrica es un sensor Hall y/o un sensor de temperatura.
6. Estructura anódica de acuerdo con la reivindicación 5, en la que dicha barra portante del ánodo comprende una porción horizontal principal inferior y dos porciones horizontales terminales superiores conectadas a los lados opuestos de dicha porción horizontal principal a través de dos porciones intermedias inclinadas, estando dicho al menos un dispositivo integrado inalámbrico situado en la superficie superior de una de dichas porciones intermedias inclinadas, en donde, preferentemente, dichas dos porciones intermedias inclinadas forman un ángulo de 20-70 grados con la vertical, siendo dicho sensor de corriente eléctrica un sensor de Hall que está situado en correspondencia con la tercera sección superior de una de dichas porciones intermedias inclinadas.
7. Estructura anódica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende además dispositivos de alarma visuales o sonoros.
8. Estructura anódica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dicho dispositivo integrado inalámbrico está revestido de materiales resistentes a la corrosión elegidos entre plásticos o resinas.
9. Dispositivo integrado inalámbrico para una estructura anódica para la electrodeposición de metal que comprende:
- una unidad de microcontrol;
  - medios de almacenamiento de energía;
  - al menos un sensor de corriente eléctrica;
  - medios de comunicación inalámbricos;
- estando dicho dispositivo integrado inalámbrico alimentado por dichos medios de almacenamiento de energía; exhibiendo dicho dispositivo integrado inalámbrico un ciclo de activación periódica que comprende un modo de espera y un modo de activación, teniendo dicho modo de espera una duración total correspondiente al 90,000 % - 99,998 % de la duración de cada ciclo periódico, estando dicha unidad de microcontrol configurada para activar dicho al menos un sensor de corriente eléctrica un primer número predefinido de veces durante cada ciclo, estando dicha unidad de microcontrol configurada para activar dichos medios de comunicación inalámbricos un segundo número predefinido

de veces durante cada ciclo, siendo dicho segundo número predefinido igual o inferior a dicho primer número predefinido.

5 10. Dispositivo integrado inalámbrico de acuerdo con la reivindicación 9, en el que cada dicho ciclo de activación periódica tiene una duración de 1-15000 segundos.

11. Dispositivo integrado inalámbrico de acuerdo con la reivindicación 10, en el que dicho al menos un sensor de corriente eléctrica es un sensor Hall.

10 12. Sistema de adquisición de datos para señales de corriente eléctrica en una planta de electrodeposición de metal, que comprende:

- 15 - al menos un electrolizador dotado de una pluralidad de celdas electrolíticas elementales, en donde cada celda electrolítica elemental está dotada de una estructura catódica y otra anódica de acuerdo con la reivindicación 1;  
- al menos un ordenador;

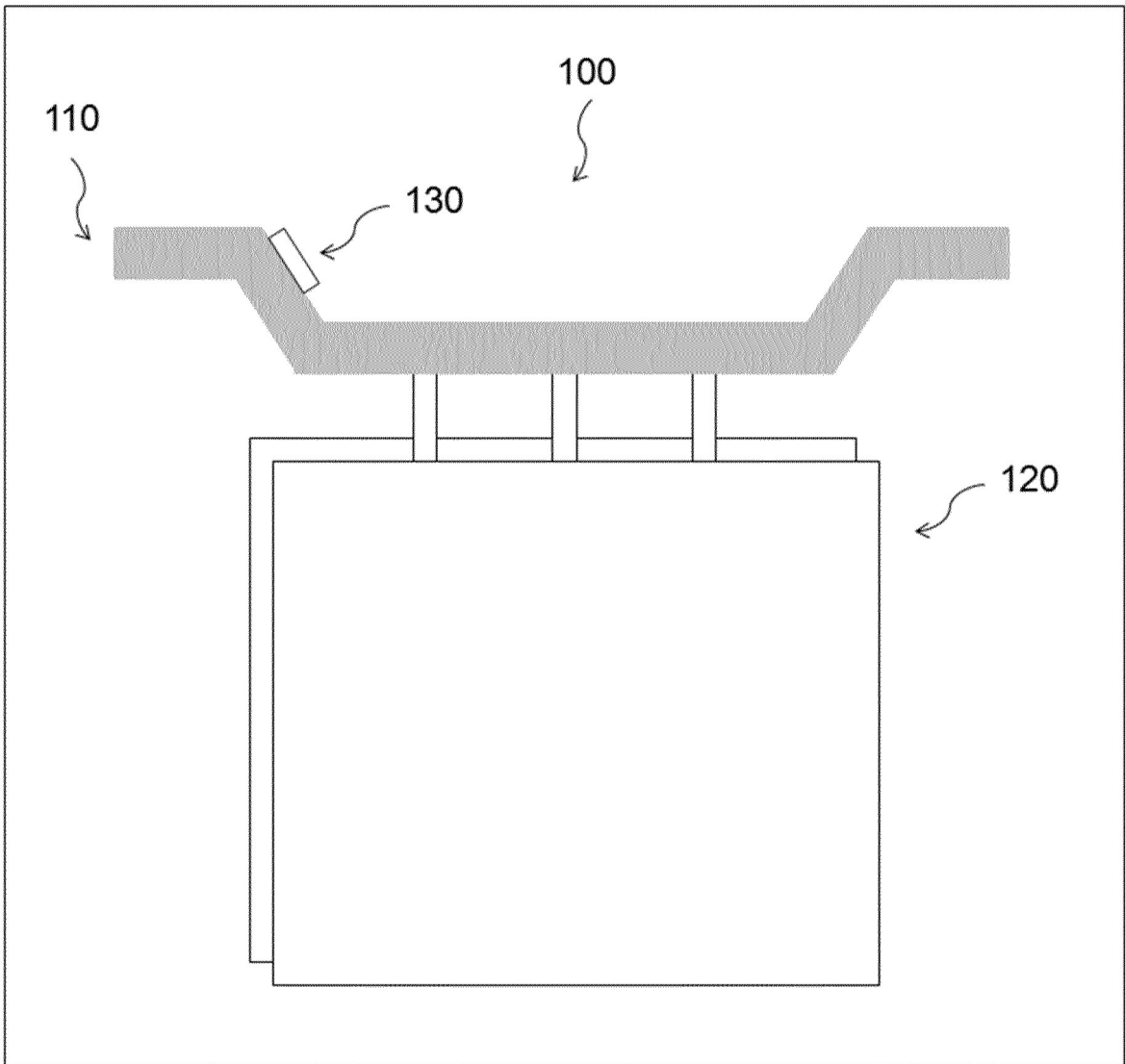
en donde dicho al menos un ordenador está en conexión inalámbrica con dicha al menos una estructura anódica.

20 13. Sistema de adquisición de datos de acuerdo con la reivindicación 12, en el que dicho al menos un ordenador es un ordenador local en conexión inalámbrica con 2-20 de dichas estructuras anódicas, comprendiendo además dicho ordenador local medios para recibir, procesar y transmitir información a un ordenador central desde cada uno de dichos dispositivos integrados inalámbricos.

25 14. Sistema de adquisición de datos de acuerdo con la reivindicación 13 que comprende además al menos un dispositivo de alarma capaz de emitir una señal visual o una señal sonora o una combinación de ambas, en donde dicho al menos un dispositivo de alarma es accionado por medio de dicho ordenador central o de dicho al menos un ordenador local.

30 15. Sistema de adquisición de datos de acuerdo con la reivindicación 14, en el que dicho ordenador central, o dicho al menos un ordenador local, realiza las siguientes operaciones:

- 35 - adquisición y almacenamiento de los datos de cada una de dichas estructuras anódicas, donde dichos datos comprenden al menos una función de la señal de corriente eléctrica medida por dicho al menos un sensor de corriente eléctrica;  
- filtración de dicha al menos una función de la señal de corriente eléctrica con un filtro lineal; siendo dicho filtro lineal preferentemente un filtro de media móvil, más preferentemente un filtro de media móvil exponencial;  
- activación de dicho al menos un dispositivo de alarma en caso de que dicha función filtrada de la señal de corriente eléctrica se encuentre fuera de un intervalo preestablecido de valores.



**Fig. 1**

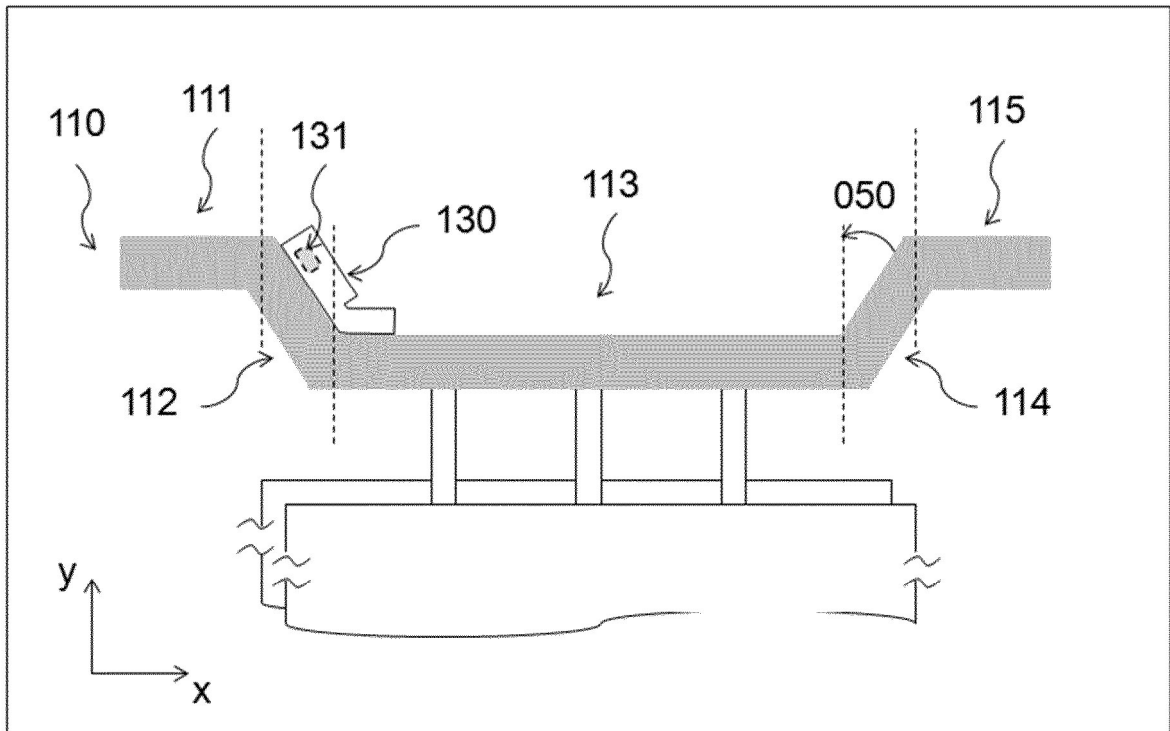


Fig. 2