

DESCRIPCIÓN ENMENDADA EN VIRTUD DEL ARTÍCULO 34 PCT.

TÍTULO

DISPOSITIVO TIPO FILTRO PRENSA PARA ELECTRODEPOSITAR METAL DESDE SOLUCIONES, EL CUAL ESTÁ COMPUESTO POR ELEMENTOS SEPARADORES CONFORMADOS POR MEMBRANAS DE INTERCAMBIO IONICO FORMANDO UNA PLURALIDAD DE CÁMARAS DE ANOLITOS Y CATOLITOS, EN DONDE LOS ELECTRODOS ESTAN CONECTADOS EN SERIE CON DESPEGUE AUTOMATICO DEL PRODUCTO METÁLICO

MEMORIA DESCRIPTIVA

ARTE PREVIO.

Los métodos y dispositivos para la extracción de metales desde los minerales, son conocidos en un amplio espectro y la literatura técnica hace un despliegue de dichas técnicas.

Por lo general, el proceso final de esta serie es la electro refinación, para el caso en que el electrolito de cobre proviene de ánodos impuros de cobre o bien de chatarra reciclada; o la electro obtención (en adelante también denominada como EO) si el cobre proviene de cobre oxidado o sulfatado disuelto en una solución concentrada de ácido sulfúrico u otro medio ácido o básico. En el primer caso, para la electro refinación, el electrolito proviene de sulfuros de cobre; mientras que en el segundo, la electro obtención, proviene de la extracción por solvente (en adelante también denominada como SX). En ambos casos, el cobre disuelto mediante la aplicación de corriente eléctrica, se deposita sobre una superficie para formar cátodos de alta pureza. El estanque en el cual ocurre este proceso es comúnmente referido como una celda de electro obtención o electro refinación o también denominada cuba electrolítica, la cual data desde el siglo pasado.

Este último procedimiento se encuentra bien establecido en la industrial, y el electrolito, por ejemplo, proveniente de la extracción por solvente (SX), está compuesto de sulfato y ácido sulfúrico, en contenidos de 40 – 45 g/l Cu y 180 - 200 g/l de ácido, e impurezas Fe (<1 g/l), Mn y Cl. Como aditivos para mejorar la calidad del cátodo se agregan sulfato de cobalto y goma Guar.

Uno de los problemas que presenta la electro deposición es la formación de neblina ácida ($O_2 + H_2SO_4$), y para mantener la calidad del producto con un depósito catódico aceptable hay una densidad de corriente crítica que se mantiene entre 250 – 360 A/m². Fuera de este rango, los cátodos pueden ser menos densos y brillantes, y en general, comercialmente inaceptables. También la literatura técnica indica que existe un gran consumo de energía asociado, del orden de 3 kWh/kg Cu, debido a la reacción anódica, y que está asociado al hecho que la deposición catódica de media reacción involucra un proceso de dos electrones, a saber, el cobre bivalente descarga a cobre metálico. No es posible operar en un ambiente de ácido sulfúrico con cobre monovalente, ello porque el ión cuproso tiene

un potencial de reducción mayor que el ión cúprico, siendo una indicación de la tendencia natural del ión cuproso a dismutar en ión cúprico y cobre metálico.

El camino más económico adoptado en la industria, para obviar la producción de cobre desde sulfatos de cobre, es tener un baño electrolítico operando en un ambiente hidroc্লórico con excesos de iones cloruro, que ejerce una acción acomplejante, desplazando el equilibrio de la reacción de desproporción de una manera elegante. Así, el mineral puede ser atacado con cloruro cúprico y cloruro de sodio, permitiendo maximizar el contenido de cobre monovalente. La solución típica obtenida con 5 – 75 g/l Cu^+ junto con 60 – 300 g/l de NaCl y 1 M de ácido hidroc্লórico, y pH no mayor de 2 puede ser sometida al proceso de electro obtención. Por este camino se reduce el consumo de energía, pero la calidad de los cátodos no es en manera similar al obtenido con sulfato de cobre, dado que aun operando con densidades de corriente no mayores de 1 kA/m², existen problemas con adherencias de los cátodos y brillo del mismo. Al efecto, la patente US 7,658,833 B2, de Robinson et al., de febrero de 2010, resuelve el problema modificando la deposición del cátodo por medio de un diafragma semi permeable que permite la circulación controlada del electrolito desde ánodo al cátodo en las cubas electrolíticas.

La tecnología de cloruro se utilizó a nivel industrial en Australia, pero la corrosión en la planta fue excesiva por lo que la producción debió detenerse. En consecuencia, no existe hoy una tecnología implementada para ión cuproso.

Por otro lado, en cualquier sistema electrolítico para obtener depósitos de metal de calidad aceptable, y especialmente, si es para obtener cátodos comerciales, caso de la mayoría de los procesos de electro obtención y electro refinación, lo constituye la densidad de corriente, que está directamente relacionada al área superficial de los electrodos, y por ende, al tamaño de la celda electrolítica y al costo de la misma. Entonces, cualquier desarrollo que sirva para incrementar el límite de la densidad de corriente, sin agregar un costo significativo a la misma, es altamente apreciado. Así, para disminuir el aumento del espesor de la película adyacente al cátodo que disminuye la tasa de difusión e impide el objetivo anterior, se requiere de un aumento de la agitación del electrolito. Al respecto, existen numerosas patentes sugiriendo diversos mecanismos.

La patente, U.S. Pat. No. 4,053,377 desarrolla una celda de electro deposición donde mantiene un flujo uniforme de solución a través de los electrodos con densidades de corriente en el rango de 645 a 4300 A/m². Específicamente, se introduce el electrolito a la celda por medio de una bomba centrífuga pasando a través de una serie de compuertas que tienen un número incremental de orificios dentro de un Venturi. El electrolito fluye dentro de las celdas de gran tamaño a una velocidad promedio de 23 m/min.

Otra solución, dada la impracticabilidad comercial por la ineficiencia del bombeo por cañerías externas, es la propuesta en la patente U.S. Pat. No. 4,139,429, donde se propone un nuevo tipo de celda que incluye introducir el electrolito a una velocidad uniforme y moderada paralela pasando por toda la superficie de los electrodos, mientras se minimizan las pérdidas de energía en mover el electrolito. Además, se maximiza la velocidad del electrolito por unidad de energía de entrada y se propone un nuevo diseño de celda adaptado para contener dos paredes laterales, dos paredes arqueadas y un fondo. Adyacente a cada pared arqueada, se encuentra incorporado (por el fondo) un agitador centralmente dispuesto, que por rotación imparte un flujo de recirculación del electrolito

en la celda. Proceso en el cual al menos la densidad de corriente empleada corresponde a 430 A/m^2 .

Por su parte, la patente U.S. Pat. No. 5,855,756 de 1999, muestra otro método y diseño de celda de electro refinación que incrementa las tasas de flujo del electrolito mientras se mantiene la capa de barro en el fondo de la celda y mantiene la cara del ánodo substancialmente intacta. La celda incluye un colector localizado cerca del fondo de la celda y tiene múltiples orificios de descarga para la solución electrolítica. Una configuración análoga se emplea para la descarga del electrolito que permite un relativamente alto flujo de entrada y salida de la celda.

Estos ejemplos ilustran los intentos de mejorar la operación de la cuba electrolítica sin lograr sus objetivos.

Un concepto de celda diferente al convencional y que considera la inducción de un flujo de fluido turbulento con altas densidades de corriente sobre 1 kA/m^2 , es la celda EMEW (ElectroMetals ElectroWinning) que se encuentra descrita en la patente U.S. Pat. No. 5,529,672 de Barr et al., Jun. 25, 1996. Esta celda puede trabajar con concentraciones de electrolito para el caso del cobre entre 5-45 g/l, tolerando a la vez altos niveles de contaminantes como cloruro ($>10 \text{ g/l}$), hierro férrico (15 g/l), entre otros; estando dentro de sus características que puede operar sin la etapa de SX siempre y cuando el PLS sea de una calidad aceptable en contenidos de impurezas. También es posible su uso para extraer electrolíticamente otros metales, como Zn, Ni y Ag. La celda está conformada por dos electrodos cilíndricos, un ánodo de aleación de base titanio y un cátodo exterior de acero inoxidable. La cámara de la celda es cerrada por lo que no hay emisiones de neblina ácida, con una alimentación tangencial de electrolito de alto caudal pudiendo operar con altas densidades de corriente, sobre 1 kA/m^2 para la obtención de cátodos grado A. Si bien este tipo de celda es muy diferente al convencional, permite alcanzar altas densidades de corriente con una alta eficiencia de corriente, de manera tal que en términos energéticos, su efecto no es significativo, produciendo a la vez cátodos comerciales de difícil aceptación en el mercado.

En las celdas de EO convencionales, la reacción que ocurre en el ánodo es la descomposición electrolítica del agua, que no afecta la eficiencia en el uso de la corriente debido a que no genera cationes que se puedan reducir en el cátodo. No obstante, el uso de esta reacción anódica requiere de un elevado voltaje de celda, dando como resultado un alto consumo de energía, además, de la generación de la llamada neblina ácida en las naves de electro obtención.

Asimismo, se ha estudiado el uso de la oxidación de Fe^{2+} a Fe^{3+} como reacción anódica en la EO de cobre. Sin embargo, el uso de esta reacción anódica en la EO convencional conlleva a una disminución de la eficiencia de corriente catódica, debido a que una parte de la corriente se consume en la reducción de los iones de Fe^{3+} que se encuentran en las cercanías del cátodo. Por ello, las membranas de intercambio iónico son interesantes en esta técnica, ya que se pueden separar dos soluciones, una con los iones de cobre (catolito) y otra conteniendo iones de Fe (anolito), conservando la conductividad eléctrica entre ellas por medio del transporte selectivo de especies en solución y permitiendo que se lleve a cabo la electro deposición del cobre.

Basado en lo anterior, se han desarrollado celdas alternativas a las convencionales empleando membranas como las celdas de lecho fluidizado. La patente U.S. Pat. No. 7,494,592 B2, Feb. 24, 2009, describe una celda denominada “Spouted Bed”, celda que mejora ostensiblemente la condición hidrodinámica. Estas celdas de lecho fluidizado están formadas en la mayoría de los diseños por compartimentos independientes para anolito y catolito, separados entre sí por membranas de diafragma. Dichas membranas de intercambio iónico sirven de soporte para el lecho. El metal que forma el cátodo debe ser el mismo que el que se desea recuperar, debido a que las partículas iniciales pasan a ser parte del producto final; por esto, en el caso del cobre, esta celda posee un lecho de partículas de cobre en el compartimento del catolito, el cual es puesto en suspensión por un flujo ascendente de solución que ingresa a la celda a través de un diafragma o de un distribuidor. Las partículas de cobre se polarizan catódicamente mediante un alimentador de corriente inserto en el lecho, y el circuito de la celda se completa con un ánodo de material para la reacción de oxidación presente en el compartimento del anolito. El cuerpo de este tipo de celdas puede ser rectangular o cilíndrico, pero, en ambos casos, la alimentación del electrolito se realiza por la parte inferior del cuerpo, mientras que la descarga del mismo, se lleva a cabo por rebalse en la parte superior. Este tipo de celdas, se caracteriza por tener una gran superficie catódica, lo que les permite disponer de un área mayor para la deposición de cobre y operar a densidades de corriente más bajas, lo que conlleva a una reducción en la polarización del cátodo. Por otra parte, la fluidización del lecho, genera una alta velocidad relativa entre la solución y el electrodo, con lo cual se incrementa la transferencia de masa. En este último caso, el cuerpo de la celda puede ser cilíndrico o de geometría plana.

No obstante lo anterior, cabe destacar que este tipo de celdas de lecho fluidizado presentan inconvenientes, tales como, problemas de resistencia mecánica del material que soporta al lecho, extensas zonas de disolución en el lecho (debido a la distribución del potencial), elevados costos de bombeo para fluidizar altas cantidades de partículas y tendencia a ensuciar la membrana generándose una capa pasiva. Estos alcances son los que han impedido que este tipo de celdas se masifique a nivel industrial.

Otras celdas alternativas con empleo de membranas, son las celdas de electrodiálisis especialmente diseñadas, en las que se dispone de manera alternada membranas de intercambio iónico homopolares entre un ánodo y un cátodo y un campo eléctrico perpendicular a ellas. Este tipo de celda permite separar y concentrar diversas especies iónicas, por lo que su uso se ha inclinado principalmente en el tratamiento de efluentes industriales, producción de sustancias para la fabricación de alimentos y desalinización de agua de mar. La separación de especies iónicas se conoce como proceso de electrodiálisis (en adelante también denominado como ED) y cuando se propician adicionalmente reacciones químicas específicas en los electrodos se habla de electrodiálisis reactiva (en adelante también denominado como EDR), técnica que ha sido empleada para la producción de cobre a nivel de laboratorio.

Una celda EDR de dos y tres compartimentos concernientes al uso de membranas de intercambio iónico se encuentran descritas en la publicación de L. Cifuentes et al, “Electrowinning of copper in two-and three-compartment reactive electrodyalisis cell”, Chem. Eng. Sci. 61(2006), 3623-3631; en la patente Chilena No. 49958 del 07.08.2009 “Procedimiento hidrometalúrgico autógeno para la producción de metales y materiales combinando lixiviación y regeneración del oxidante a través de celdas electrolíticas con membranas” de los autores J.M. Casas y M. Amigo; y el Modelo de Utilidad de Chile

No. 336 de 09.09.2014 “Cuba electrolítica para procesos de electrodiálisis” del autor M. Amigo, basado en la patente anterior. Esta última publicación si bien se refiere a un posible diseño de celda de EO, solo es un intento de incorporar membranas de separación a una celda de EO convencional con el único objetivo de obtener el ion férrico.

Un alcance mejor establecido en consecución de una celda EDR, se encuentra en la solicitud de patente WO201227438 A2, de los autores Simpson Araya J.R. et al., “Electrolyte cell for the winning of metals by reactive electrodyalisis and electrolytic process for the winning of metals that uses said cell” de fecha 22 de marzo de 2012. En esta última publicación se describe una celda de electrolítica para la obtención de metales que consiste en tres compartimentos de iguales dimensiones, separados por membranas de intercambio iónico, donde dos compartimentos contienen una disolución de anolito y un electrodo de placa inmerso en ella polarizado positivamente (ánodo), mientras que el tercer compartimento contiene una disolución de catolito y un electrodo inmerso en ella, polarizado negativamente (cátodo). Dichos compartimientos se encuentran intercalados, separándose físicamente ambas disoluciones por membranas de intercambio iónico, que permite la conducción eléctrica entre ambas disoluciones. Este tipo de celda, según se indica, puede operar con densidades de corriente de hasta 1,5 kA/m², bajo caudales de electrolito entre 100 y 1000 l/min, acidez entre 50 y 190 g/l de H₂SO₄, concentración de hierro total en el anolito entre 0,3 y 1 M, concentración de cobre en el catolito entre 3 y 15 g/l y una tensión de celda entre 0,5 y 2,5 volt. Aun cuando su uso está orientado principalmente al cobre, también puede ser aplicada en otros metales, siendo sus principales ventajas la eliminación de la neblina ácida, un menor consumo específico de energía y operando sin la etapa de SX. No se indica el procedimiento de operación de la celda en la extracción de los cátodos.

Cabe destacar que ninguno de los casos señalados anteriores de EDR, ha sobrepasado la etapa de laboratorio.

Otros tipos de celda electrolítica, son las de tipo filtro prensa selladas con membranas de intercambio iónico que se utilizan en la industria química para obtener gases halógenos, tales como cloruros o bromuros, desde una cámara anódica y un hidróxido de metal alcalino desde una cámara catódica mediante la electrolisis de una solución acuosa de un haluro metálico alcalino tal como cloruro de sodio, cloruro de potasio o bromuro de sodio. El proceso llamado “proceso de intercambio de membrana iónico” tiene una alta aceptación comercial por la calidad de los productos con un reducido consumo de energía. Este tipo de celda electrolítica puede ser monopolar o bipolar.

En un tipo de celda monopolar, la membrana de intercambio iónico se posiciona entre ánodo y cátodo, y en la bipolar la membrana de intercambio iónico posicionado entre cada ánodo de un electrodo bipolar y un cátodo de un electrodo bipolar adyacente. La estructura de las celdas es compacta con pequeños espacios inter electrodo e inter membrana seleccionado generalmente en el rango de 5 a 30 mm. Una celda bipolar se encuentra descrita en la U.S. Patent No. 4,465,579 “Bipolar electrolytic cell” de los autores Mataga et al., de Aug. 14 1984, y una celda monopolar o bipolar en la patente U.S. Patent No. 4,729,822, “Electrolytic Cell”, de los autores James et al., de Mar. 8, 1988. Dichos inventos, aplicados a la industria química del cloro, álcalis y generación de gases como por ejemplo hidrógeno y oxígeno, proporcionan una celda electrolítica tipo filtro prensa la cual comprende una serie de placas de ánodos, cátodos y empaquetaduras de un material eléctricamente aislante, y una membrana de intercambio iónico posicionada entre cada ánodo y cátodo formando compartimentos anódicos y catódicos

por lo general de muy poco espesor, en donde cada uno de ellos contiene orificios longitudinales que sirven como cabezales por donde se puede cargar los compartimentos anódicos y catódicos separadamente y orificios para descargar los productos de la electrolisis desde los compartimentos anódicos y catódicos.

Se desconoce la aplicación de este tipo de patentes en metalurgia extractiva, y en específico, a la electrodeposición de metales.

Considerando lo anterior, se observa que en las patentes referenciadas del estado del arte de EO existe una tendencia a mitigar y/o resolver el tema de la generación de neblina ácida y emisión de gases mediante celdas cerradas e incrementar la densidad de corriente. Sin embargo, algunas de ellas no han superado la etapa de laboratorio ni la de banco, mientras que otras no presentan un producto comercial aceptado en el mercado. Por otro lado, la industria química presenta una serie de celdas electroquímicas con empleo de membranas de intercambio iónico, como es el caso de las celdas de electro diálisis (ED), cuyo traspaso a la industria metalúrgica requiere un depósito catódico, y de las celdas de electro diálisis reactiva (EDR), las cuales no han superado la etapa de laboratorio ni menos aproximado a la producción de cátodos estándar.

Así mismo, la tecnología actual, tal como está concebida por condiciones hidrodinámicas, no puede operar con altos flujos de electrolito, ni con bajas concentraciones de soluciones de PLS, lo que conlleva a trabajar en un rango limitado de densidad de corriente, alta temperatura y concentración de metal en la solución para producir cobre calidad catódica, requiriendo la operación de SX e ingentes cantidades de reactivos químicos, fomentando el gigantismo en este tipo de plantas.

La presente patente resuelve los problemas antes mencionados con un nuevo diseño de dispositivo de electro obtención tipo filtro prensa basado en la utilización de membranas de intercambio iónico que permite ser aplicada en la obtención de una gran variedad de metales disueltos en soluciones de diverso origen o bien orientada a la producción de compuestos o materiales requeridos por la industria metalúrgica. Este dispositivo de electro obtención reemplaza las etapas de extracción por solvente (SX) y electro obtención (EO) que prosiguen a la lixiviación de minerales.

DESCRIPCION DE LA INVENCION.

La presente patente que conlleva a un nuevo dispositivo de electro obtención de metales o compuestos tipo filtro prensa donde el dispositivo en sí, está constituido por cámaras unitarias que operan independientemente, catolito o anolito, a uniformes y elevados caudales.

En cada una de las cámaras se dispone de ánodos y cátodos de superficie variable pudiendo diseñarse éstos de acuerdo a los requerimientos industriales, ya sea de 0,25, 0,50, 1 m² o superior. Asimismo, cada cámara está compuesta con membranas de intercambio iónico de separación para formar alternativamente compartimentos por donde circulan el anolito y el catolito.

Las cámaras se conectan en serie eléctrica e hidráulicamente.

El proceso de deposición del metal se realiza por medio de energía eléctrica, aplicada en los electrodos del dispositivo, utilizando un rectificador de corriente, permitiendo que se deposite el metal. Así, uno de los objetivos de la presente invención, es proporcionar una construcción de un dispositivo simplificado de producción electrolítica de metal, de aquella clase que comprende electrodos conectados en serie, construcción que es especialmente diseñada para circulación de electrolito, resistencia a la corrosión a altas temperaturas, accesibilidad para la reparación y mantenimiento cosecha del metal.

El dispositivo de la invención consta de cámaras de tal manera que la construcción para una producción industrial estará compuesta por una pluralidad de dispositivos de electro deposición conectados eléctricamente en serie, donde todos los electrodos, excepto los terminales, están provistos con una base de placa vertical separados por una goma. Un lado funciona como ánodo en una célula unitaria, mientras que en el otro lado funciona como cátodo en la cámara unitaria adyacente.

Las placas de los electrodos están intercaladas entre ellos, con contacto eléctrico por sobre la goma, formando un paquete de cámaras con sus respectivos electrodos. Los lados exteriores de los electrodos terminales, están equipados con conexiones eléctricas para conformar el dispositivo electrolítico. Con este arreglo se puede aplicar una alta densidad de corriente a cada dispositivo y al mismo tiempo pasar un alto flujo vertical de electrolito. La separación entre las cámaras se efectúa mediante membranas de intercambio iónico, así por la cámara anódica circulará anolito y por la cámara catódica catolito. Dicha membrana permite la conducción eléctrica entre ambas disoluciones.

De acuerdo a la invención, el dispositivo electrolítico es de tipo filtro prensa porque cada dispositivo electrolítico formado comprende disponer alternativamente marcos, membranas de intercambio iónico y electrodos para formar alternativamente compartimentos anódico y catódico, por lo cual, en virtud de la fijación de ellos, se conforma un dispositivo completamente cerrado y sellado. Cada marco de la cámara que conforma la trama, comprende espacios huecos para la trayectoria de líquido y gas, en que cada marco tiene entrada y salida en la superficie exterior del mismo y agujeros en la superficie interior del mismo, por el que cada tipo de electrolito pasa a un compartimento anolito o catolito formado en el bastidor y el producto electrolizado se descarga desde el compartimento anolito o catolito, siguiendo la configuración hidráulica en serie antes mencionada.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar un aparato de electro obtención del tipo filtro-prensa, que mantiene la distribución uniforme del líquido dentro de las cámaras que se aseguran bajo condiciones de alta presión para la prevención completa de fugas de líquido dentro de las cámaras, y que es fácilmente ensamblado o desarmado.

Bajo el arreglo antes descrito, un flujo uniforme de electrolito anolito o catolito circula por cada cámara desde los orificios inferiores hacia los superiores, donde los electrodos se encuentran polarizados positiva (+) o negativamente (-) por efecto del campo eléctrico aplicado, ocurriendo la electro deposición en el cátodo. Dicho flujo es esencialmente estable durante la circulación, libre de interferencias, proporcionando simultáneamente, suficiente tiempo de residencia para la ocurrencia de las reacciones químicas y la electro deposición de metal. Las dimensiones y posiciones de los orificios entregan una baja resistencia al flujo, siendo el volumen estable, conducente a una operación fácilmente

controlada con mínima variación de los parámetros operacionales. El espesor de metal depositado en la placa catódica, aunque disminuye el volumen de circulación de catolito, no afecta la calidad de éste ni la operación de la celda por la condición hidrodinámica de diseño de la misma.

De acuerdo a la instalación preferente del dispositivo de electro obtención, los orificios de circulación del electrolito, anolito y catolito, están conectados interiormente con sellos que impiden las fugas, pero a la vez facilitan la renovación y reparación de los ensambles. A su vez, los electrodos de depósito de metal -cátodos- pueden ser levantados fuera del dispositivo electrolítico, retirados del lugar para el despegue de metal y ser reemplazados. Asimismo, el dispositivo cuenta con un mecanismo para el despegue automático de los cátodos, siendo éstos colectados en la parte inferior del dispositivo. Los marcos de las cámaras están fabricados de material plástico resistente a la corrosión de los ácidos, mientras que las placas de los electrodos de metal, son de acero inoxidable, plomo u otro requerido según se traten de cátodo u ánodo, respectivamente. También estos tipos de metal están condicionados al tipo de mineral disuelto en la solución que se quiere depositar y extraer de la solución. Dicha solución puede ser de carácter ácida, básica o neutra.

La presente invención tiene las siguientes ventajas comparado con los otros métodos y dispositivos de electrodeposición de metal:

1. La operación de electro deposición de metal se efectúa con PLS proveniente directamente de la operación de lixiviación prescindiendo del proceso de extracción por solvente (SX), permitiendo a la etapa anterior de lixiviación trabajar con soluciones en condición ácida, básica o neutra. Además de lo mencionado, también es posible operar con soluciones provenientes de SX u otras de similares características.
2. Bajo la condición anterior, el metal obtenido presenta características de calidad superior al proceso tradicional de forma directa, sin requerir la adición de reactivos químicos, mejorando la extracción global y la cinética del proceso.
3. Es posible operar con mayores densidades de corriente que el proceso convencional ($>400 \text{ A/m}^2$) lo que redundará en un mayor depósito de metal por área efectiva en un menor tiempo de proceso. Esto, producto de las condiciones hidrodinámicas de la celda que permite trabajar con altos caudales de electrolito.
4. Es amigable con el medio ambiente, ya que la electrodeposición se efectúa en un dispositivo electrolítico completamente cerrado y sellado, sin emisión de gases contaminantes ni neblina ácida que se envíe a la atmósfera, ni derrame de líquidos, condición que mejora considerablemente el área de trabajo, el circundante a la faena y no contamina de ninguna forma.
5. Involucra un menor consumo de energía específica para alcanzar igual densidad de corriente.
6. Permite generar Fe^{+3} , reactivo esencial para la lixiviación de minerales y estabilización de impurezas como As^{+5} a la forma de FeAsO_4 .
7. La obtención de metal en el dispositivo de electro obtención es a temperatura ambiente, o entre el rango de $10\text{-}60^\circ\text{C}$, sin requerir consumo de energía para precalentar el electrolito.
8. Permite recuperar como reactivo, ya sea el ácido sulfúrico (H_2SO_4) u otros ácidos, o bases que han disuelto los metales durante la lixiviación de minerales, polvos u

- otros presentes en los procesos mineros, implicando una economía del proceso con menor requerimiento del reactivo durante la operación.
9. Las condiciones de seguridad laboral mejoran como resultado de operaciones que no exponen a los operadores al contacto, manejo ni inhalación de ácidos o bases peligrosos y corrosivos.
 10. Es una alternativa económicamente viable de electro deposición de metales, principalmente de cobre, oro, plata y otros metales, obviando el proceso actual que se fundamenta en extracción por solvente (SX), aditivos orgánicos y otros reactivos químicos, algunos de ellos incluso cancerígenos.
 11. Puede operar eléctricamente en modo intensiostático (modo de operación convencional actual en EO de cobre) o potenciostático según se requiera.
 12. Es posible el despegue inmediato del metal desde la superficie catódica si ésta es de menor rugosidad comparada con el proceso estándar, no requiriendo una etapa posterior de despegue asociada.

BREVE DESCRIPCION DE LAS FIGURAS

La **Figura 1** es una vista esquemática en despiece que muestra una disposición de los marcos de las cámaras, los electrodos entre los marcos de cámaras, la membrana de intercambio de iones, el soporte de la misma y los orificios de transferencia de electrolito y licor en un aparato tipo filtro prensa de dispositivo de electro obtención interpretado de acuerdo con la presente invención.

Las **Figuras 2, 3 y 4** son vistas seccionales en corte de un marco de cámara del dispositivo de electro obtención comprendiendo los orificios de circulación de electrolito y los elementos de condición de ensamblaje de acuerdo a la invención.

Las **Figuras 5, 6, 7, 8, 9 y 10** son vistas seccionales de un marco de cámara comprendiendo su vista anterior y posterior, y la rejilla de estructura de soporte de la membrana de intercambio iónico de acuerdo a la invención.

Las **Figuras 11, 12, 13, 14 y 15** son vistas seccionales del marco terminal del dispositivo de electro obtención.

La **Figura 16** es una vista seccional del electrodo del dispositivo de electro obtención, en su configuración como cátodo.

La **Figura 17** es una vista seccional del electrodo del dispositivo de electro obtención, en su configuración como ánodo.

La **Figura 18** es una vista seccional de una plancha de goma del dispositivo de electro obtención, en su configuración como aislante y separador de los electrodos, ánodo y cátodo.

DESCRIPCION DETALLADA DE LA INVENCION

En referencia a la **Figura 1** del dispositivo de electro obtención, el cátodo comprende un electrodo cátodo (1) que cubre totalmente la abertura central siendo la superficie activa

del cátodo, la cual es el espacio (2) por cuyo marco (3) circula el catolito. Adyacente a este marco (3), se encuentra el marco (4), el que está dispuesto en línea en un plano paralelo a ese del electrodo cátodo (1). En el interior de este marco (4), en el espacio correspondiente a la abertura central (2), contiene una membrana de intercambio iónico (5), la que se encuentra soportada por ambos lados con rejillas (6) e impide la transferencia de fluido desde el espacio de circulación del anolito correspondiente al marco (7), abertura de espacio (2) cubierta totalmente por la superficie activa de la pared del electrodo ánodo (8) en contacto con el anolito actuando como ánodo que sella la abertura por donde circula el anolito. La pared opuesta del electrodo está cubierta con una goma aislante (21) que la separa del electrodo cátodo (1), permitiendo la reconfiguración del dispositivo de electro obtención de forma equivalente a lo explicitado anteriormente, para configurar dos cámaras iguales y el dispositivo de electro obtención conformada por cámaras equivalentes de acuerdo con la presente invención.

Los marcos (3), (4) y (7) tienen ocho aperturas (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15) y (16) que en el dispositivo de electro obtención, a lo largo de éste, forman un todo en unión interna, estando conectados a los cabezales por los cuales se cargan electrolito al circuito de catolito y licor al circuito de anolito, que fluyen a los compartimentos catódico y anódico, respectivamente, llenando de fluido cada cámara del dispositivo de electro obtención. Por los orificios laterales (12) y (13) se ingresa a los compartimentos de anolito, mientras que por los orificios laterales (9) y (15), se extrae el producto de la electrolisis. Similarmente, y en manera equivalente y de forma paralela, el fluido catolito se ingresa por los orificios (14) y (16), y se extrae por los orificios (10) y (11). Los electrodos cátodo (1) y ánodo (8), están construidas de manera tal que no interfieren en los flujos de circulación de los licores de entrada y salida al dispositivo, y en el caso de los extremos del dispositivo de electro obtención, ambos electrodos cátodo (1) y ánodo (8) disponen de orificios para la conexión a la energía eléctrica. Producto de la electrolisis, se genera metal que se deposita en los electrodos cátodo (1) del dispositivo. Al término del ciclo de producción, al alcanzar el espesor esperado de metal en el electrodo cátodo (1) y un mínimo de concentración de metal disuelto en el electrolito, por apertura del dispositivo, éstos se levantan y extraen. Posteriormente se reemplazan para iniciar un nuevo ciclo productivo. También basta, en los casos que se requiera, despegar el metal depositado dejándolo caer directamente a la base del dispositivo para su recolección y transporte. La guía (17) común a los marcos, fija éstos a un riel y su prensado, según corresponde, equivale a un tipo filtro prensa. De este modo, la guía (17), permite el desplazamiento de los marcos (3), (4) y (7) en el cerrado, y apertura del dispositivo de electro obtención, según la invención.

El espacio entre la superficie del electrodo cátodo (1) y la superficie de la membrana de intercambio iónico (5), y entre ésta y la superficie del electrodo ánodo (8), varía entre 1-50 mm, mientras que la tasa de alimentación de la solución electrolítica varía entre 1-2000 l/min. El dispositivo de electrolítico está construida de PVC (Policloruro de vinilo), PP (Polipropileno) u otro material plástico resistente a la solución ácida, básica o neutra y eléctricamente neutro.

En referencia a la **Figuras 2, 3 y 4** corresponden al despliegue seccional del marco (3) de la **Figura 1**. Del punto de vista de construcción y fácil montaje de la presente patente, es posible conformar la trayectoria hidrodinámica de menor resistencia a la circulación del electrolito o del licor a través de los orificios (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15) y (16) con otras vistas seccionales a los compartimentos de las respectivas cámaras de la celda.

También los orificios (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15) y (16) pueden ser formados independientemente en la parte superior como inferior, no permitiendo la comunicación entre catolito y anolito. La guía (17) alinea el marco (3) con los otros marcos (4) y (7), y los otros que se instalen sucesivamente para conformar una o varios dispositivos de electro obtención según la invención.

En relación a las **Figuras 5, 6, 7, 8, 9 y 10**, son vistas seccionales del marco tipo (4) correspondiente a las piezas que conforman sus partes para un fácil montaje y construcción en donde la **Figura 5** es la cara anterior de la primera sección y la **Figura 6** es la cara posterior de la misma. Cada surco u orificio de una superficie tiene su correspondencia en la otra superficie, (10), (11), (14) y (16). Similarmente, en las **Figuras 7 y 8** conforman la segunda sección, cada forma de parte proyectada tiene su correspondencia sobre cada lado de superficie, (9), (15), (12) y (13). Esta forma constructiva desde el punto de vista de esfuerzo del marco es preferible por su fácil construcción y montaje y mantiene el orificio (2) constante en el compartimento electrolítico. El marco (4) contiene en su interior la membrana de intercambio de iones la que por su flexibilidad y largo período estimado de uso debe ser rigidizada, ya que ésta separa los compartimentos de catolito y anolito. La **Figura 9** contiene la rejilla de soporte (6) que se muestra en la **Figura 10**, siendo estructurada y formada de cuadriláteros, construida del mismo material del dispositivo lo que le imparte gran resistencia y fácil montaje.

En referencia a las **Figuras 11, 12, 13, 14 y 15** corresponden al marco terminal del dispositivo de electro obtención, mostrando secciones hidrodinámicas de conducción de los fluidos del mismo, tanto para facilidad constructiva como fácil montaje. En el primer corte seccional, **Figura 11**, los orificios activos de conducción de líquido de entrada (10) y (11), que correspondientemente tienen su salida en el orificio (18), tal como lo muestra la sección de la **Figura 12**. Similarmente los orificios activos de conducción de entrada (12) y (13), tienen su salida (19) que se reflejan en la **Figura 11**. Posteriormente, continúan a través de las **Figuras 13 y 14**. La **Figura 15** es la tapa de sello (20) del dispositivo de electro obtención según la invención.

En referencia a la **Figura 16**, el cátodo (1), típicamente de acero inoxidable, titanio, aleaciones de hierro u otro adecuado para el compartimento de catolito de acuerdo con la presente invención.

En referencia a la **Figura 17** el ánodo (8), típicamente de plomo, aleación de plomo, estaño, calcio, u otro requerido según el licor del anolito de acuerdo con la presente invención.

En referencia a la **Figura 18**, la plancha de goma (21) típicamente goma Eva, caucho u otro adecuado para aislar y separar los electrodos ánodo (8) del electrodo cátodo (1) en el dispositivo de electro obtención según la invención.

EJEMPLOS DE REALIZACIÓN

En lo sucesivo, la presente invención será descrita en más detalle referido a algunos ejemplos de trabajo, lo cual no obstante, no limitan el alcance de la invención.

Cobre electrolítico fue producido utilizando el dispositivo de electro obtención descrito en la presente invención **Figura 1**. El dispositivo de obtención de metales tipo filtro prensa fue ensamblado conformado de acuerdo a lo descrito en la presente invención, de un tamaño en referencia al requerido industrialmente para la obtención de cobre de $\frac{1}{4} \text{ m}^2$, y que definen los ejemplos que se describen:

1. Posicionar en los marcos correspondientes, un electrodo cátodo (**1**) plano y un electrodo ánodo (**8**) plano, de acero inoxidable en lo correspondiente al cátodo y de plomo referido al ánodo, respectivamente, de 250 mm x 250 mm cada uno, dispuestos cara a cara cátodo y ánodo.
2. Ambos electrodos separados por una membrana de intercambio de iones, con un espesor del paso definido para la circulación del catolito de 40 mm, esto es del cátodo a la membrana; y para la circulación del anolito de 10 mm, esto es del ánodo a la membrana.
3. La presión requerida para un rápido ensamble de los elementos varió entre 3-5 kg/cm², ejerciéndose tal presión mediante la prensa hasta que no hubo indicios de fuga de la solución desde el dispositivo.
4. Las soluciones electrolíticas son conducidas al dispositivo de electro obtención por cañerías de material plástico, al igual que los estanques de almacenamiento y receptores del líquido circulante.
5. La solución de anolito circula por los compartimentos y ductos dispuestos a tal efecto, según la invención a 600 l/min, mientras que la solución de catolito lo hace por sus respectivos compartimentos también a 600 l/min.
6. En uso una fuente de poder eléctrica DC (corriente directa) se conecta al dispositivo de electro obtención con su terminal positivo al electrodo ánodo (**8**), , y su terminal negativo al metal electrodo cátodo (**1**), preferentemente con conectores de clip-on de fácil montaje.

Con aplicación de corriente continua entre el cátodo y el ánodo y la solución acidificada de sulfato de cobre, se obtuvo cobre electrolítico 99,99% Cu, bajo las condiciones que se indican en la Tabla I.

Tabla I. Datos operacionales EO dispositivo tipo filtro prensa

Ejemplo No.	1	2
Concentración Cu (g/l)	5	5
Flujo electrolito (l/min)	600	600
Voltaje celda (V)	12,8	12,0
Temperatura catolito (°C)	42,5	41,0
pH catolito	1,46	1,34
Densidad de corriente (A/m ²)	192	192
Tiempo operación (h)	8	24
Peso cátodos (3) (g)	292,8	853,7
Eficiencia (%)	97	96

DESCRIPCIÓN ORIGINAL.

TÍTULO

DISPOSITIVO TIPO FILTRO PRENSA PARA ELECTRODEPOSITAR METAL DESDE SOLUCIONES, EL CUAL ESTÁ COMPUESTO POR ELEMENTOS SEPARADORES CONFORMADOS POR MEMBRANAS DE INTERCAMBIO IONICO FORMANDO UNA PLURALIDAD DE CÁMARAS DE ANOLITOS Y CATOLITOS, EN DONDE LOS ELECTRODOS ESTAN CONECTADOS EN SERIE CON DESPEGUE AUTOMATICO DEL PRODUCTO METÁLICO

MEMORIA DESCRIPTIVA

ARTE PREVIO.

Los métodos y dispositivos para la extracción de metales desde los minerales, son conocidos en un amplio espectro y la literatura técnica hace un despliegue de dichas técnicas.

Por lo general, el proceso final de esta serie es la electro refinación, para el caso en que el electrolito de cobre proviene de ánodos impuros de cobre o bien de chatarra reciclada; o la electro obtención (en adelante también denominada como EO) si el cobre proviene de cobre oxidado o sulfatado disuelto en una solución concentrada de ácido sulfúrico u otro medio ácido o básico. En el primer caso, para la electro refinación, el electrolito proviene de sulfuros de cobre; mientras que en el segundo, la electro obtención, proviene de la extracción por solvente (en adelante también denominada como SX). En ambos casos, el cobre disuelto mediante la aplicación de corriente eléctrica, se deposita sobre una superficie para formar cátodos de alta pureza. El estanque en el cual ocurre este proceso es comúnmente referido como una celda de electro obtención o electro refinación o también denominada cuba electrolítica, la cual data desde el siglo pasado.

Este último procedimiento se encuentra bien establecido en la industrial, y el electrolito, por ejemplo, proveniente de la extracción por solvente (SX), está compuesto de sulfato y ácido sulfúrico, en contenidos de 40 – 45 g/l Cu y 180 - 200 g/l de ácido, e impurezas Fe (<1 g/l), Mn y Cl. Como aditivos para mejorar la calidad del cátodo se agregan sulfato de cobalto y goma Guar.

Uno de los problemas que presenta la electro deposición es la formación de neblina ácida ($O_2 + H_2SO_4$), y para mantener la calidad del producto con un depósito catódico aceptable hay una densidad de corriente crítica que se mantiene entre 250 – 360 A/m². Fuera de este rango, los cátodos pueden ser menos densos y brillantes, y en general, comercialmente inaceptables. También la literatura técnica indica que existe un gran consumo de energía asociado, del orden de 3 kWh/kg Cu, debido a la reacción anódica, y que está asociado al hecho que la deposición catódica de media reacción involucra un proceso de dos electrones, a saber, el cobre bivalente descarga a cobre metálico. No es posible operar en un ambiente de ácido sulfúrico con cobre monovalente, ello porque el ión cuproso tiene

un potencial de reducción mayor que el ión cúprico, siendo una indicación de la tendencia natural del ión cuproso a dismutar en ión cúprico y cobre metálico.

El camino más económico adoptado en la industria, para obviar la producción de cobre desde sulfatos de cobre, es tener un baño electrolítico operando en un ambiente hidrocórico con excesos de iones cloruro, que ejerce una acción acomplejante, desplazando el equilibrio de la reacción de desproporción de una manera elegante. Así, el mineral puede ser atacado con cloruro cúprico y cloruro de sodio, permitiendo maximizar el contenido de cobre monovalente. La solución típica obtenida con 5 – 75 g/l Cu^+ junto con 60 – 300 g/l de NaCl y 1 M de ácido hidrocórico, y pH no mayor de 2 puede ser sometida al proceso de electro obtención. Por este camino se reduce el consumo de energía, pero la calidad de los cátodos no es en manera similar al obtenido con sulfato de cobre, dado que aun operando con densidades de corriente no mayores de 1 kA/m^2 , existen problemas con adherencias de los cátodos y brillo del mismo. Al efecto, la patente US 7,658,833 B2, de Robinson et al., de febrero de 2010, resuelve el problema modificando la deposición del cátodo por medio de un diafragma semi permeable que permite la circulación controlada del electrolito desde ánodo al cátodo en las cubas electrolíticas.

La tecnología de cloruro se utilizó a nivel industrial en Australia, pero la corrosión en la planta fue excesiva por lo que la producción debió detenerse. En consecuencia, no existe hoy una tecnología implementada para ión cuproso.

Por otro lado, en cualquier sistema electrolítico para obtener depósitos de metal de calidad aceptable, y especialmente, si es para obtener cátodos comerciales, caso de la mayoría de los procesos de electro obtención y electro refinación, lo constituye la densidad de corriente, que está directamente relacionada al área superficial de los electrodos, y por ende, al tamaño de la celda electrolítica y al costo de la misma. Entonces, cualquier desarrollo que sirva para incrementar el límite de la densidad de corriente, sin agregar un costo significativo a la misma, es altamente apreciado. Así, para disminuir el aumento del espesor de la película adyacente al cátodo que disminuye la tasa de difusión e impide el objetivo anterior, se requiere de un aumento de la agitación del electrolito. Al respecto, existen numerosas patentes sugiriendo diversos mecanismos.

La patente, U.S. Pat. No. 4,053,377 desarrolla una celda de electro deposición donde mantiene un flujo uniforme de solución a través de los electrodos con densidades de corriente en el rango de 645 a 4300 A/m^2 . Específicamente, se introduce el electrolito a la celda por medio de una bomba centrifuga pasando a través de una serie de compuertas que tienen un número incremental de orificios dentro de un Venturi. El electrolito fluye dentro de las celdas de gran tamaño a una velocidad promedio de 23 m/min.

Otra solución, dada la impracticabilidad comercial por la ineficiencia del bombeo por cañerías externas, es la propuesta en la patente U.S. Pat. No. 4,139,429, donde se propone un nuevo tipo de celda que incluye introducir el electrolito a una velocidad uniforme y moderada paralela pasando por toda la superficie de los electrodos, mientras se minimizan las pérdidas de energía en mover el electrolito. Además, se maximiza la velocidad del electrolito por unidad de energía de entrada y se propone un nuevo diseño de celda adaptado para contener dos paredes laterales, dos paredes arqueadas y un fondo. Adyacente a cada pared arqueada, se encuentra incorporado (por el fondo) un agitador centralmente dispuesto, que por rotación imparte un flujo de recirculación del electrolito

en la celda. Proceso en el cual al menos la densidad de corriente empleada corresponde a 430 A/m^2 .

Por su parte, la patente U.S. Pat. No.5,855,756 de 1999, muestra otro método y diseño de celda de electro refinación que incrementa las tasas de flujo del electrolito mientras se mantiene la capa de barro en el fondo de la celda y mantiene la cara del ánodo substancialmente intacta. La celda incluye un colector localizado cerca del fondo de la celda y tiene múltiples orificios de descarga para la solución electrolítica. Una configuración análoga se emplea para la descarga del electrolito que permite un relativamente alto flujo de entrada y salida de la celda.

Estos ejemplos ilustran los intentos de mejorar la operación de la cuba electrolítica sin lograr sus objetivos.

Un concepto de celda diferente al convencional y que considera la inducción de un flujo de fluido turbulento con altas densidades de corriente sobre 1 kA/m^2 , es la celda EMEW (ElectroMetals ElectroWinning) que se encuentra descrita en la patente U.S. Pat. No. 5,529,672 de Barr et al., Jun. 25, 1996. Esta celda puede trabajar con concentraciones de electrolito para el caso del cobre entre 5-45 g/l, tolerando a la vez altos niveles de contaminantes como cloruro ($>10 \text{ g/l}$), hierro férrico (15 g/l), entre otros; estando dentro de sus características que puede operar sin la etapa de SX siempre y cuando el PLS sea de una calidad aceptable en contenidos de impurezas. También es posible su uso para extraer electrolíticamente otros metales, como Zn, Ni y Ag. La celda está conformada por dos electrodos cilíndricos, un ánodo de aleación de base titanio y un cátodo exterior de acero inoxidable. La cámara de la celda es cerrada por lo que no hay emisiones de neblina ácida, con una alimentación tangencial de electrolito de alto caudal pudiendo operar con altas densidades de corriente, sobre 1 kA/m^2 para la obtención de cátodos grado A. Si bien este tipo de celda es muy diferente al convencional, permite alcanzar altas densidades de corriente con una alta eficiencia de corriente, de manera tal que en términos energéticos, su efecto no es significativo, produciendo a la vez cátodos comerciales de difícil aceptación en el mercado.

En las celdas de EO convencionales, la reacción que ocurre en el ánodo es la descomposición electrolítica del agua, que no afecta la eficiencia en el uso de la corriente debido a que no genera cationes que se puedan reducir en el cátodo. No obstante, el uso de esta reacción anódica requiere de un elevado voltaje de celda, dando como resultado un alto consumo de energía, además, de la generación de la llamada neblina ácida en las naves de electro obtención.

Asimismo, se ha estudiado el uso de la oxidación de Fe^{2+} a Fe^{3+} como reacción anódica en la EO de cobre. Sin embargo, el uso de esta reacción anódica en la EO convencional conlleva a una disminución de la eficiencia de corriente catódica, debido a que una parte de la corriente se consume en la reducción de los iones de Fe^{3+} que se encuentran en las cercanías del cátodo. Por ello, las membranas de intercambio iónico son interesantes en esta técnica, ya que se pueden separar dos soluciones, una con los iones de cobre (catolito) y otra conteniendo iones de Fe (anolito), conservando la conductividad eléctrica entre ellas por medio del transporte selectivo de especies en solución y permitiendo que se lleve a cabo la electro deposición del cobre.

Basado en lo anterior, se han desarrollado celdas alternativas a las convencionales empleando membranas como las celdas de lecho fluidizado. La patente U.S. Pat. No. 7,494,592 B2, Feb. 24, 2009, describe una celda denominada “Spouted Bed”, celda que mejora ostensiblemente la condición hidrodinámica. Estas celdas de lecho fluidizado están formadas en la mayoría de los diseños por compartimentos independientes para anolito y catolito, separados entre sí por membranas de diafragma. Dichas membranas de intercambio iónico sirven de soporte para el lecho. El metal que forma el cátodo debe ser el mismo que el que se desea recuperar, debido a que las partículas iniciales pasan a ser parte del producto final; por esto, en el caso del cobre, esta celda posee un lecho de partículas de cobre en el compartimento del catolito, el cual es puesto en suspensión por un flujo ascendente de solución que ingresa a la celda a través de un diafragma o de un distribuidor. Las partículas de cobre se polarizan catódicamente mediante un alimentador de corriente inserto en el lecho, y el circuito de la celda se completa con un ánodo de material para la reacción de oxidación presente en el compartimento del anolito. El cuerpo de este tipo de celdas puede ser rectangular o cilíndrico, pero, en ambos casos, la alimentación del electrolito se realiza por la parte inferior del cuerpo, mientras que la descarga del mismo, se lleva a cabo por rebalse en la parte superior. Este tipo de celdas, se caracteriza por tener una gran superficie catódica, lo que les permite disponer de un área mayor para la deposición de cobre y operar a densidades de corriente más bajas, lo que conlleva a una reducción en la polarización del cátodo. Por otra parte, la fluidización del lecho, genera una alta velocidad relativa entre la solución y el electrodo, con lo cual se incrementa la transferencia de masa. En este último caso, el cuerpo de la celda puede ser cilíndrico o de geometría plana.

No obstante lo anterior, cabe destacar que este tipo de celdas de lecho fluidizado presentan inconvenientes, tales como, problemas de resistencia mecánica del material que soporta al lecho, extensas zonas de disolución en el lecho (debido a la distribución del potencial), elevados costos de bombeo para fluidizar altas cantidades de partículas y tendencia a ensuciar la membrana generándose una capa pasiva. Estos alcances son los que han impedido que este tipo de celdas se masifique a nivel industrial.

Otras celdas alternativas con empleo de membranas, son las celdas de electrodiálisis especialmente diseñadas, en las que se dispone de manera alternada membranas de intercambio iónico homopolares entre un ánodo y un cátodo y un campo eléctrico perpendicular a ellas. Este tipo de celda permite separar y concentrar diversas especies iónicas, por lo que su uso se ha inclinado principalmente en el tratamiento de efluentes industriales, producción de sustancias para la fabricación de alimentos y desalinización de agua de mar. La separación de especies iónicas se conoce como proceso de electrodiálisis (en adelante también denominado como ED) y cuando se propician adicionalmente reacciones químicas específicas en los electrodos se habla de electrodiálisis reactiva (en adelante también denominado como EDR), técnica que ha sido empleada para la producción de cobre a nivel de laboratorio.

Una celda EDR de dos y tres compartimentos concernientes al uso de membranas de intercambio iónico se encuentran descritas en la publicación de L. Cifuentes et al, “Electrowinning of copper in two-and three-compartment reactive electrodyalisis cell”, Chem. Eng. Sci. 61(2006), 3623-3631; en la patente Chilena No. 49958 del 07.08.2009 “Procedimiento hidrometalúrgico autógeno para la producción de metales y materiales combinando lixiviación y regeneración del oxidante a través de celdas electrolíticas con membranas” de los autores J.M. Casas y M. Amigo; y el Modelo de Utilidad de Chile

No. 336 de 09.09.2014 “Cuba electrolítica para procesos de electrodiálisis” del autor M. Amigo, basado en la patente anterior. Esta última publicación si bien se refiere a un posible diseño de celda de EO, solo es un intento de incorporar membranas de separación a una celda de EO convencional con el único objetivo de obtener el ion férrico.

Un alcance mejor establecido en consecución de una celda EDR, se encuentra en la solicitud de patente WO201227438 A2, de los autores Simpson Araya J.R. et al., “Electrolyte cell for the winning of metals by reactive electrodyalisis and electrolytic process for the winning of metals that uses said cell” de fecha 22 de marzo de 2012. En esta última publicación se describe una celda de electrolítica para la obtención de metales que consiste en tres compartimentos de iguales dimensiones, separados por membranas de intercambio iónico, donde dos compartimentos contienen una disolución de anolito y un electrodo de placa inmerso en ella polarizado positivamente (ánodo), mientras que el tercer compartimento contiene una disolución de catolito y un electrodo inmerso en ella, polarizado negativamente (cátodo). Dichos compartimientos se encuentran intercalados, separándose físicamente ambas disoluciones por membranas de intercambio iónico, que permite la conducción eléctrica entre ambas disoluciones. Este tipo de celda, según se indica, puede operar con densidades de corriente de hasta 1,5 kA/m², bajo caudales de electrolito entre 100 y 1000 l/min, acidez entre 50 y 190 g/l de H₂SO₄, concentración de hierro total en el anolito entre 0,3 y 1 M, concentración de cobre en el catolito entre 3 y 15 g/l y una tensión de celda entre 0,5 y 2,5 volt. Aun cuando su uso está orientado principalmente al cobre, también puede ser aplicada en otros metales, siendo sus principales ventajas la eliminación de la neblina ácida, un menor consumo específico de energía y operando sin la etapa de SX. No se indica el procedimiento de operación de la celda en la extracción de los cátodos.

Cabe destacar que ninguno de los casos señalados anteriores de EDR, ha sobrepasado la etapa de laboratorio.

Otros tipos de celda electrolítica, son las de tipo filtro prensa selladas con membranas de intercambio iónico que se utilizan en la industria química para obtener gases halógenos, tales como cloruros o bromuros, desde una cámara anódica y un hidróxido de metal alcalino desde una cámara catódica mediante la electrolisis de una solución acuosa de un haluro metálico alcalino tal como cloruro de sodio, cloruro de potasio o bromuro de sodio. El proceso llamado “proceso de intercambio de membrana iónico” tiene una alta aceptación comercial por la calidad de los productos con un reducido consumo de energía. Este tipo de celda electrolítica puede ser monopolar o bipolar.

En un tipo de celda monopolar, la membrana de intercambio iónico se posiciona entre ánodo y cátodo, y en la bipolar la membrana de intercambio iónico posicionado entre cada ánodo de un electrodo bipolar y un cátodo de un electrodo bipolar adyacente. La estructura de las celdas es compacta con pequeños espacios inter electrodo e inter membrana seleccionado generalmente en el rango de 5 a 30 mm. Una celda bipolar se encuentra descrita en la U.S. Patent No. 4,465,579 “Bipolar electrolytic cell” de los autores Mataga et al., de Aug. 14 1984, y una celda monopolar o bipolar en la patente U.S. Patent No. 4,729,822, “Electrolytic Cell”, de los autores James et al., de Mar. 8, 1988. Dichos inventos, aplicados a la industria química del cloro, álcalis y generación de gases como por ejemplo hidrógeno y oxígeno, proporcionan una celda electrolítica tipo filtro prensa la cual comprende una serie de placas de ánodos, cátodos y empaquetaduras de un material eléctricamente aislante, y una membrana de intercambio iónico posicionada entre cada ánodo y cátodo formando compartimentos anódicos y catódicos

por lo general de muy poco espesor, en donde cada uno de ellos contiene orificios longitudinales que sirven como cabezales por donde se puede cargar los compartimentos anódicos y catódicos separadamente y orificios para descargar los productos de la electrolisis desde los compartimentos anódicos y catódicos.

Se desconoce la aplicación de este tipo de patentes en metalurgia extractiva, y en específico, a la electrodeposición de metales.

Considerando lo anterior, se observa que en las patentes referenciadas del estado del arte de EO existe una tendencia a mitigar y/o resolver el tema de la generación de neblina ácida y emisión de gases mediante celdas cerradas e incrementar la densidad de corriente. Sin embargo, algunas de ellas no han superado la etapa de laboratorio ni la de banco, mientras que otras no presentan un producto comercial aceptado en el mercado. Por otro lado, la industria química presenta una serie de celdas electroquímicas con empleo de membranas de intercambio iónico, como es el caso de las celdas de electro diálisis (ED), cuyo traspaso a la industria metalúrgica requiere un depósito catódico, y de las celdas de electro diálisis reactiva (EDR), las cuales no han superado la etapa de laboratorio ni menos aproximado a la producción de cátodos estándar.

Así mismo, la tecnología actual, tal como está concebida por condiciones hidrodinámicas, no puede operar con altos flujos de electrolito, ni con bajas concentraciones de soluciones de PLS, lo que conlleva a trabajar en un rango limitado de densidad de corriente, alta temperatura y concentración de metal en la solución para producir cobre calidad catódica, requiriendo la operación de SX e ingentes cantidades de reactivos químicos, fomentando el gigantismo en este tipo de plantas.

La presente patente resuelve los problemas antes mencionados con un nuevo diseño de dispositivo de electro obtención tipo filtro prensa basado en la utilización de membranas de intercambio iónico que permite ser aplicada en la obtención de una gran variedad de metales disueltos en soluciones de diverso origen o bien orientada a la producción de compuestos o materiales requeridos por la industria metalúrgica. Este dispositivo de electro obtención reemplaza las etapas de extracción por solvente (SX) y electro obtención (EO) que prosiguen a la lixiviación de minerales.

DESCRIPCION DE LA INVENCION.

La presente patente que conlleva a un nuevo dispositivo de electro obtención de metales o compuestos tipo filtro prensa donde el dispositivo en sí, está constituido por cámaras unitarias que operan independientemente, catolito o anolito, a uniformes y elevados caudales.

En cada una de las cámaras se dispone de ánodos y cátodos de superficie variable pudiendo diseñarse éstos de acuerdo a los requerimientos industriales, ya sea de 0,25, 0,50, 1 m² o superior. Asimismo, cada cámara está compuesta con membranas de intercambio iónico de separación para formar alternativamente compartimentos por donde circulan el anolito y el catolito.

Las cámaras se conectan en serie eléctricamente e hidráulicamente en paralelo con la solución.

El proceso de deposición del metal se realiza por medio de energía eléctrica, aplicada en los electrodos del dispositivo, utilizando un rectificador de corriente, permitiendo que se deposite el metal. Así, uno de los objetivos de la presente invención, es proporcionar una construcción de un dispositivo simplificado de producción electrolítica de metal, de aquella clase que comprende electrodos conectados en serie, construcción que es especialmente diseñada para circulación de electrolito, resistencia a la corrosión a altas temperaturas, accesibilidad para la reparación y cosecha del metal.

El dispositivo de la invención consta de cámaras de tal manera que la construcción para una producción industrial estará compuesto por una pluralidad de dispositivos de electro deposición conectados eléctricamente en serie, donde todos los electrodos, excepto los terminales, están provistos con una base de placa vertical separados por una goma. Un lado funciona como ánodo en una célula unitaria, mientras que en el otro lado funciona como cátodo en la cámara unitaria adyacente.

Las placas de los electrodos están intercaladas entre ellos, con contacto eléctrico por sobre la goma, formando un paquete de cámaras con sus respectivos electrodos. Los lados exteriores de los electrodos terminales, están equipados con conexiones eléctricas para conformar el dispositivo electrolítico. Con este arreglo se puede aplicar una alta densidad de corriente a cada dispositivo y al mismo tiempo pasar un alto flujo vertical de electrolito. La separación entre las cámaras se efectúa mediante membranas de intercambio iónico, así por la cámara anódica circulará anolito y por la cámara catódica catolito. Dicha membrana permite la conducción eléctrica entre ambas disoluciones.

De acuerdo a la invención, el dispositivo electrolítico es de tipo filtro prensa porque cada dispositivo electrolítico formado comprende disponer alternativamente marcos, membranas de intercambio iónico y electrodos para formar alternativamente compartimentos anódico y catódico, por lo cual, en virtud de la fijación de ellos, se conforma un dispositivo completamente cerrado y sellado. Cada marco de la cámara que conforma la trama, comprende espacios huecos para la trayectoria de líquido y gas, en que cada marco tiene entrada y salida en la superficie exterior del mismo y agujeros en la superficie interior del mismo, por el que cada tipo de electrolito pasa a un compartimento anolito o catolito formado en el bastidor y el producto electrolizado se descarga desde el compartimento anolito o catolito, siguiendo la configuración hidráulica en paralelo antes mencionada.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar un aparato de electro obtención del tipo filtro-prensa, que mantiene la distribución uniforme del líquido dentro de las cámaras que se aseguran bajo condiciones de alta presión para la prevención completa de fugas de líquido dentro de las cámaras, y que es fácilmente ensamblado o desarmado.

Bajo el arreglo antes descrito, un flujo uniforme de electrolito anolito o catolito circula por cada cámara desde los orificios inferiores hacia los superiores, donde los electrodos se encuentran polarizados positiva (+) o negativamente (-) por efecto del campo eléctrico aplicado, ocurriendo la electro deposición en el cátodo. Dicho flujo es esencialmente estable durante la circulación, libre de interferencias, proporcionando simultáneamente, suficiente tiempo de residencia para la ocurrencia de las reacciones químicas y la electro deposición de metal. Las dimensiones y posiciones de los orificios entregan una baja resistencia al flujo, siendo el volumen estable, conducente a una operación fácilmente

controlada con mínima variación de los parámetros operacionales. El espesor de metal depositado en la placa catódica, aunque disminuye el volumen de circulación de catolito, no afecta la calidad de éste ni la operación de la celda por la condición hidrodinámica de diseño de la misma.

De acuerdo a la instalación preferente del dispositivo de electro obtención, los orificios de circulación del electrolito, anolito y catolito, están conectados interiormente con sellos que impiden las fugas, pero a la vez facilitan la renovación y reparación de los ensambles. A su vez, los electrodos de depósito de metal -cátodos- pueden ser levantados fuera del dispositivo electrolítico, retirados del lugar para el despegue de metal y reemplazados. Asimismo, el dispositivo cuenta con un mecanismo para el despegue automático de los cátodos, siendo éstos colectados en la parte inferior del dispositivo. Los marcos de las cámaras están fabricados de material plástico resistente a la corrosión de los ácidos, mientras que las placas de los electrodos de metal, son de acero inoxidable, plomo u otro requerido según se traten de cátodo u ánodo, respectivamente. También estos tipos de metal están condicionados al tipo de mineral disuelto en la solución que se quiere depositar y extraer de la solución. Dicha solución puede ser de carácter ácida, básica o neutra.

La presente invención tiene las siguientes ventajas comparado con los otros métodos y dispositivos de electrodeposición de metal:

13. La operación de electro deposición de metal se efectúa con PLS proveniente directamente de la operación de lixiviación prescindiendo del proceso de extracción por solvente (SX), permitiendo a la etapa anterior de lixiviación trabajar con soluciones en condición ácida, básica o neutra. Además de lo mencionado, también es posible operar con soluciones provenientes de SX u otras de similares características.
14. Bajo la condición anterior, el metal obtenido presenta características de calidad superior al proceso tradicional de forma directa, sin requerir la adición de reactivos químicos, mejorando la extracción global y la cinética del proceso.
15. Es posible operar con mayores densidades de corriente que el proceso convencional ($>400 \text{ A/m}^2$) lo que redundará en un mayor depósito de metal por área efectiva en un menor tiempo de proceso. Esto, producto de las condiciones hidrodinámicas de la celda que permite trabajar con altos caudales de electrolito.
16. Es amigable con el medio ambiente, ya que la electrodeposición se efectúa en un dispositivo electrolítico completamente cerrado y sellado, sin emisión de gases contaminantes ni neblina ácida que se envíe a la atmósfera, ni derrame de líquidos, condición que mejora considerablemente el área de trabajo, el circundante a la faena y no contamina de ninguna forma.
17. Involucra un menor consumo de energía específica para alcanzar igual densidad de corriente.
18. Permite generar Fe^{+3} , reactivo esencial para la lixiviación de minerales y estabilización de impurezas como As^{+5} a la forma de FeAsO_4 .
19. La obtención de metal en el dispositivo de electro obtención es a temperatura ambiente, o entre el rango de $10\text{-}60^\circ\text{C}$, sin requerir consumo de energía para precalentar el electrolito.
20. Permite recuperar como reactivo, ya sea el ácido sulfúrico (H_2SO_4) u otros ácidos, o bases que han disuelto los metales durante la lixiviación de minerales, polvos u

- otros presentes en los procesos mineros, implicando una economía del proceso con menor requerimiento del reactivo durante la operación.
21. Las condiciones de seguridad laboral mejoran como resultado de operaciones que no exponen a los operadores al contacto, manejo ni inhalación de ácidos o bases peligrosos y corrosivos.
 22. Es una alternativa económicamente viable de electro deposición de metales, principalmente de cobre, oro, plata y otros metales, obviando el proceso actual que se fundamenta en extracción por solvente (SX), aditivos orgánicos y otros reactivos químicos, algunos de ellos incluso cancerígenos.
 23. Puede operar eléctricamente en modo intensiostático (modo de operación convencional actual en EO de cobre) o potenciostático según se requiera.
 24. Es posible el despegue inmediato del metal desde la superficie catódica si ésta es de menor rugosidad comparada con el proceso estándar, no requiriendo una etapa posterior de despegue asociada.

BREVE DESCRIPCION DE LAS FIGURAS

La **Figura 1** es una vista esquemática en despiece que muestra una disposición de los marcos de las cámaras, los electrodos entre los marcos de cámaras, la membrana de intercambio de iones, el soporte de la misma y los orificios de transferencia de electrolito y licor en un aparato tipo filtro prensa de dispositivo de electro obtención interpretado de acuerdo con la presente invención.

Las **Figuras 2, 3 y 4** son vistas seccionales en corte de un marco de cámara del dispositivo de electro obtención comprendiendo los orificios de circulación de electrolito y los elementos de condición de ensamblaje de acuerdo a la invención.

Las **Figuras 5, 6, 7, 8, 9 y 10** son vistas seccionales de un marco de cámara comprendiendo su vista anterior y posterior, y la rejilla de estructura de soporte de la membrana de intercambio iónico de acuerdo a la invención.

Las **Figuras 11, 12, 13, 14 y 15** son vistas seccionales del marco terminal del dispositivo de electro obtención.

La **Figura 16** es una vista seccional del electrodo del dispositivo de electro obtención, en su configuración como cátodo.

La **Figura 17** es una vista seccional del electrodo del dispositivo de electro obtención, en su configuración como ánodo.

La **Figura 18** es una vista seccional de una plancha de goma del dispositivo de electro obtención, en su configuración como aislante y separador de los electrodos, ánodo y cátodo.

DESCRIPCION DETALLADA DE LA INVENCION

En referencia a la **Figura 1** del dispositivo de electro obtención, el cátodo comprende una placa (1) que cubre totalmente la abertura central siendo la superficie activa del cátodo,

la cual es el espacio (2) por cuyo marco (3) circula el catolito. Adyacente a este marco (3), se encuentra el marco (4), el que está dispuesto en línea en un plano paralelo a ese de la placa (1). En el interior de este marco (4), en el espacio correspondiente a la abertura central (2), contiene una membrana de intercambio iónico (5), la que se encuentra soportada por ambos lados con rejillas (6) e impide la transferencia de fluido desde el espacio de circulación del anolito correspondiente al marco (7), abertura de espacio (2) cubierta totalmente por la superficie activa de la pared del electrodo (8) en contacto con el anolito actuando como ánodo que sella la abertura por donde circula el anolito. La pared opuesta del electrodo está cubierta con una goma aislante (21) que la separa del cátodo (1), permitiendo la reconfiguración del dispositivo de electro obtención de forma equivalente a lo explicitado anteriormente, para configurar dos cámaras iguales y el dispositivo de electro obtención conformada por cámaras equivalentes de acuerdo con la presente invención.

Los marcos (3), (4) y (7) tienen ocho aperturas (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15) y (16) que en el dispositivo de electro obtención, a lo largo de éste, forman un todo en unión interna, estando conectados a los cabezales por los cuales se cargan electrolito al circuito de catolito y licor al circuito de anolito, que fluyen a los compartimentos catódico y anódico, respectivamente, llenando de fluido cada cámara del dispositivo de electro obtención. Por los orificios laterales (12) y (13) se ingresa a los compartimentos de anolito, mientras que por los orificios laterales (9) y (15), se extrae el producto de la electrolisis. Similarmente, y en manera equivalente y de forma paralela, el fluido catolito se ingresa por los orificios (14) y (16), y se extrae por los orificios (10) y (11). Las placas catódica (1) y anódica (8), están construidas de manera tal que no interfieren en los flujos de circulación de los licores de entrada y salida al dispositivo, y en el caso de los extremos del dispositivo de electro obtención, ambos electrodos (1) y (8) disponen de orificios para la conexión a la energía eléctrica. Producto de la electrolisis, se genera metal que se deposita en los cátodos (1) del dispositivo. Al término del ciclo de producción, al alcanzar el espesor esperado de metal en el cátodo (1) y un mínimo de concentración de metal disuelto en el electrolito, por apertura del dispositivo, éstos se levantan y extraen. Posteriormente se reemplazan para iniciar un nuevo ciclo productivo. También basta, en los casos que se requiera, despegar el metal depositado dejándolo caer directamente a la base del dispositivo para su recolección y transporte. La guía (17) común a los marcos, fija éstos a un riel y su prensado, según corresponde, equivale a un tipo filtro prensa. De este modo, la guía (17), permite el desplazamiento de los marcos (3), (4) y (7) en el cerrado, y apertura del dispositivo de electro obtención, según la invención.

El espacio entre la superficie del cátodo (1) y la superficie de la membrana de intercambio iónico (5), y entre ésta y la superficie del ánodo (8), varía entre 1-50 mm, mientras que la tasa de alimentación de la solución electrolítica varía entre 1-2000 l/min. El dispositivo de electrolítico está construida de PVC, PP u otro material plástico resistente a la solución ácida, básica o neutra y eléctricamente neutro.

En referencia a la **Figuras 2, 3 y 4** corresponden al despliegue seccional del marco (3) de la **Figura 1**. Del punto de vista de construcción y fácil montaje de la presente patente, es posible conformar la trayectoria hidrodinámica de menor resistencia a la circulación del electrolito o del licor a través de los orificios (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15) y (16) con otras vistas seccionales a los compartimentos de las respectivas cámaras de la celda. También los orificios (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15) y (16) pueden ser formados independientemente en la parte superior como inferior, no permitiendo la comunicación

entre catolito y anolito. La guía (17) alinea el marco (3) con los otros marcos (4) y (7), y los otros que se instalen sucesivamente para conformar una o varios dispositivos de electro obtención según la invención.

En relación a las **Figuras 5, 6, 7, 8, 9 y 10**, son vistas seccionales del marco tipo (4) correspondiente a las piezas que conforman sus partes para un fácil montaje y construcción en donde la **Figura 5** es la cara anterior de la primera sección y la **Figura 6** es la cara posterior de la misma. Cada surco u orificio de una superficie tiene su correspondencia en la otra superficie, (10), (11), (14) y (16). Similarmente, en las **Figuras 7 y 8** conforman la segunda sección, cada forma de parte proyectada tiene su correspondencia sobre cada lado de superficie, (9), (15), (12) y (13). Esta forma constructiva desde el punto de vista de esfuerzo del marco es preferible por su fácil construcción y montaje y mantiene el orificio (2) constante en el compartimento electrolítico. El marco (4) contiene en su interior la membrana de intercambio de iones la que por su flexibilidad y largo período estimado de uso debe ser rigidizada, ya que ésta separa los compartimentos de catolito y anolito. La **Figura 9** contiene la rejilla de soporte (6) que se muestra en la **Figura 10**, siendo estructurada y formada de cuadriláteros, construida del mismo material del dispositivo lo que le imparte gran resistencia y fácil montaje.

En referencia a las **Figuras 11, 12, 13, 14 y 15** corresponden al marco terminal del dispositivo de electro obtención, mostrando secciones hidrodinámicas de conducción de los fluidos del mismo, tanto para facilidad constructiva como fácil montaje. En el primer corte seccional, **Figura 11**, los orificios activos de conducción de líquido de entrada (10) y (11), que correspondientemente tienen su salida en el orificio (18), tal como lo muestra la sección de la **Figura 12**. Similarmente los orificios activos de conducción de entrada (12) y (13), tienen su salida (19) que se reflejan en la **Figura 11**. Posteriormente, continúan a través de las **Figuras 13 y 14**. La **Figura 15** es la tapa de sello (20) del dispositivo de electro obtención según la invención.

En referencia a la **Figura 16**, el cátodo (1), típicamente de acero inoxidable, titanio, aleaciones de hierro u otro adecuado para el compartimento de catolito de acuerdo con la presente invención.

En referencia a la **Figura 17** el ánodo (8), típicamente de plomo, aleación de plomo, estaño, calcio, u otro requerido según el licor del anolito de acuerdo con la presente invención.

En referencia a la **Figura 18**, la plancha de goma (21) típicamente goma Eva, caucho u otro adecuado para aislar y separar los electrodos, ánodo (8) del cátodo (1) en el dispositivo de electro obtención según la invención.

EJEMPLOS DE REALIZACIÓN

En lo sucesivo, la presente invención será descrita en más detalle referido a algunos ejemplos de trabajo, lo cual no obstante, no limitan el alcance de la invención.

Cobre electrolítico fue producido utilizando el dispositivo de electro obtención descrito en la presente invención **Figura 1**. El dispositivo de obtención de metales tipo filtro prensa fue ensamblado conformado de acuerdo a lo descrito en la presente invención, de

un tamaño en referencia al requerido industrialmente para la obtención de cobre de $\frac{1}{4} \text{ m}^2$, y que definen los ejemplos que se describen:

7. Posicionar en los marcos correspondientes, un cátodo plano **(1)** y un electrodo plano ánodo **(8)**, de acero inoxidable en lo correspondiente al cátodo y de plomo referido al ánodo, respectivamente, de 250 mm x 250 mm cada uno, dispuestos cara a cara cátodo y ánodo.
8. Ambos electrodos separados por una membrana de intercambio de iones, con un espesor del paso definido para la circulación del catolito de 40 mm, esto es del cátodo a la membrana; y para la circulación del anolito de 10 mm, esto es del ánodo a la membrana.
9. La presión requerida para un rápido ensamble de los elementos varió entre 3-5 kg/cm^2 , ejerciéndose tal presión mediante la prensa hasta que no hubo indicios de fuga de la solución desde el dispositivo.
10. Las soluciones electrolíticas son conducidas al dispositivo de electro obtención por cañerías de material plástico, al igual que los estanques de almacenamiento y receptores del líquido circulante.
11. La solución de anolito circula por los compartimentos y ductos dispuestos a tal efecto, según la invención a 600 l/min, mientras que la solución de catolito lo hace por sus respectivos compartimentos también a 600 l/min.
12. En uso una fuente de poder eléctrica DC (corriente directa) se conecta al dispositivo de electro obtención con su terminal positivo al electrodo **(8)**, que es el ánodo, y su terminal negativo al metal cátodo **(1)**, preferentemente conectores de clip-on de fácil montaje.

Con aplicación de corriente continua entre el cátodo y el ánodo y la solución acidificada de sulfato de cobre, se obtuvo cobre electrolítico 99,99% Cu, bajo las condiciones que se indican en la Tabla I.

Tabla I. Datos operacionales EO dispositivo tipo filtro prensa

Ejemplo No.	1	2
Concentración Cu (g/l)	5	5
Flujo electrolito (l/min)	600	600
Voltaje celda (V)	12,8	12,0
Temperatura catolito (°C)	42,5	41,0
pH catolito	1,46	1,34
Densidad de corriente (A/m^2)	192	192
Tiempo operación (h)	8	24
Peso cátodos (3) (g)	292,8	853,7
Eficiencia (%)	97	96