



ELECTROOBTENCIÓN

"Obteniendo la máxima pureza"

La precipitación por reducción electrolítica, comúnmente conocida como electroobtención o electrodeposición, es uno de los procedimientos actuales más sencillos para recuperar, en forma pura y selectiva, metales que se encuentren en solución.

Índice temático

Electrolito y cátodos necesarios para la obtención de metales	3
Celdas electrolíticas (EW).....	3
1. Configuración de circuitos	4
2. Características de las conexiones eléctricas	4
Barras conductoras de cobre de sección rectangular	4
Barra triangular	5
Otros perfiles	5
3. Recomendaciones de uso	5
4. Diseño y materiales para celdas electrolíticas	5
Celdas para procesamiento de sales fundidas	6
Celdas para lecho particulado fluidizado	6
Celda para producción directa de láminas de metal	6
Celda cilíndrica para electroobtención de oro	6
Celda convencional para electrólisis en medio acuoso	7
5. Recomendaciones generales	7
6. Materiales.....	8
7. Eficiencia y densidad de corriente	8
Sistemas de sales fundidas	8
Soluciones acuosas	9
8. Ánodos y cátodos	9
Ánodos de electroobtención	9
Ánodos de electrorrefinación	9
9. Cátodos: diseño, materiales y manejo del producto	10
Placas madre	10
Cátodos permanentes	10
Proceso ISA	10
Proceso Kidd Creek	10
Tecnologías relacionadas	11
10. Diafragmas para electrodos	11
11. Proceso de cementación	11
La cementación en fase líquida presenta ventajas	12
Cementación de cobre con chatarra de hierro	12
Precipitación con bateas o canaletas gravitacionales	13
Precipitación con equipos rotatorios discontinuos	13
Precipitación con equipos rotatorios continuos	14

La electroobtención es particularmente interesante en el proceso de producción de cobre, ya que prácticamente todo el cobre de uso industrial a nivel mundial, requiere del grado de pureza que alcanza cobre que ha pasado por este proceso.

Básicamente, este proceso consiste en recuperar el metal desde una solución de lixiviación debidamente acondicionada (solución electrolito) y depositarlo en un cátodo, utilizando un proceso de electrólisis. Para ello se hace circular a través de la solución

electrolito, una corriente eléctrica continua de baja intensidad entre un ánodo (la solución misma) y un cátodo. De esta manera, los iones del metal de interés (cationes) son atraídos por el cátodo (polo de carga negativa) depositándose en él y las impurezas quedan disueltas en el electrolito y también precipitan en residuos o barras anódicas. La electroobtención es un proceso de una gran importancia económica, ya que permite recuperar metales, como cobre, oro y plata, a partir de recursos lixiviables que de otra forma serían inviables.

ELECTROLITO Y CÁTODOS NECESARIOS PARA LA OBTENCIÓN DE METALES

Metal	Electrolito	Cátodo	Comentario
Antimonio	Soda y sulfuro de sodio	Acero	
Cadmio	Solución de sulfato	Aluminio	Subproducto de recuperación de Zn.
Cromo	Solución de sulfato	Hastelloy	
Cobalto	Solución de sulfato	Acero inoxidable	Producido junto al cobre en Zaire.
Cobre	Solución de sulfato	Acero inoxidable	Soluciones de lixiviación de alta ley o tras la extracción por solventes.
Galio	Solución de sodio (NaOH)	Acero inoxidable	Subproducto de la producción de aluminio desde bauxita.
Manganeso	Solución de sulfato	Acero inoxidable	
Níquel	Solución de sulfato	Níquel o acero inoxidable	
Oro	Solución de cianuro	Lana de acero	
Plata	Solución de nitrato	Plata o grafito	
Telurio	Solución de sodio (NaOH)	Acero inoxidable	
Zinc	Solución de sulfato Solución de sodio (NaOH)	Aluminio Acero inoxidable	Producción de zinc en polvo.

Los nuevos procesos de purificación y concentración de soluciones lixiviadas, como la extracción por solventes (SX) en el caso del cobre y el carbón activado (CA) para el oro, han permitido ampliar el ámbito de aplicación de la electroobtención a la recuperación de estos metales. Tanto es así que algunos metales como el Zinc, dependen casi exclusivamente de la electroobtención para lograr una recuperación que sea económicamente viable.

A su vez, esta tecnología también es una alternativa muy competitiva para tratar minerales combinados de cobre-cobalto y níquel-cobalto.

CELDA ELECTROLÍTICAS (EW)

Para realizar el proceso de electroobtención se requiere de instalaciones especializadas llamadas celdas electrolíticas equipadas con sistema de circuitos eléctricos para hacer circular una corriente eléctrica continua de baja intensidad.

Para que el proceso se realice eficientemente se requiere considerar los siguientes aspectos:

1. CONFIGURACIÓN DE CIRCUITOS

Para proveer de la corriente continua que requiere el proceso de electrólisis, se utilizan equipos rectificadores de corriente que mantienen constantes las características del flujo eléctrico. La tecnología de los rectificadores ha evolucionado siendo actualmente la norma el uso de transfo-rectificadores tristorizados, lo que ha hecho a estos equipos más accesibles y económicos. Los requerimientos de filtros para el control de corrientes armónicas constituyen en la actualidad los mayores factores del aumento de costos de estos rectificadores. Los filtros se utilizan para lograr un mejor efecto con dos unidades (celdas de electroobtención), en vez de una sola.

2. CARACTERÍSTICAS DE LAS CONEXIONES ELÉCTRICAS

Normalmente, las conexiones eléctricas de las celdas de electroobtención son muy sencillas, ya que se intenta disminuir los trayectos, en corriente continua y alta tensión, desde los rectificadores de corriente hasta los bancos de celdas electrolíticas. **Ejemplos de conexiones eléctricas:**

- **Barras conductoras de cobre de sección rectangular:** En general, la conexión se hace con paquetes de estas barras, apernadas y con distanciadores que permiten la circulación interna de aire para la mejor refrigeración. Estas son conocidas con su nombre en inglés: bus-bars.

Al poner las celdas en serie, se requiere sólo una conexión en los extremos del banco de celdas. Si al término del primer banco, éstas se conectan con un solo conductor a otro banco paralelo a su lado, el recorrido desde el rectificador disminuye aún más.

Este tipo de conexiones es la más usada en la mayoría de las instalaciones recientes para electroobtención de cobre.

- **Barra triangular:** En este caso la conexión eléctrica es en serie, con una barra triangular (de 2 a 2,5 cm de arista) que sirve de apoyo y contacto en su eje afilado, para los ánodos de una celda y los cátodos de la celda contigua. Este es el sistema más utilizado.
- **Otros perfiles:** Recientemente, se han incorporado otros perfiles para la barra de contacto, tipo "hueso para perro" o *dogbone*, pero la más usada sigue siendo la de perfil triangular. Los aisladores interceldas, que separan y apoyan los ánodos y cátodos, se conocen como *camping-boards*.

3. RECOMENDACIONES DE USO

Como los cátodos de un lado y los ánodos de la celda contigua, están todos conectados en paralelo a través de esta barra de contacto, es importante un buen y constante aseo de los contactos.

También, se debe comprobar uno a uno los respectivos apoyos, ya que los electrodos deben recibir la misma corriente. Cuando unos reciben más corriente que otros, se producen densidades de corriente muy diferentes, que inducen el crecimiento de dendritas, que pueden provocar cortocircuitos y calentar las barras y contactos hasta incluso llegar a derretir los apoyos de los aisladores de plástico. Para detectar estos puntos anómalos se pueden usar un

gaussmetro, detectores de temperatura con visores infrarrojos, o bien el monitoreo de voltaje de cada celda. Lo importante es corregir rápidamente la anomalía para maximizar la eficiencia de corriente. Mediante estas observaciones se puede determinar las características de la conexión de los electrodos de dos celdas contiguas.

Por su parte, la circulación de la corriente de ánodo a cátodo a través del electrolito, se pueden determinar mediante el movimiento de los cationes en la solución, y por medio de las barras y los contactos de apoyo, a través de la circulación de los electrones en el sólido conductor.

4. DISEÑO Y MATERIALES PARA CELDAS ELECTROLÍTICAS

Industrialmente, hay una gran variedad de celdas electrolíticas. La fabricación y selección de ellas depende de factores tales como:

- Tipo de electrolito, si es acuoso o de sales fundidas.
- Tipo de cátodo, si es líquido o sólido, o bien si es compacto, esponjoso o particulado.
- Tipo de proceso, si es electroobtención (EW) o electrorrefinación (ER).

En soluciones acuosas, las celdas de EW y de ER convencionales varían muy poco entre sí, lo que no sucede en otros casos como los que veremos a continuación.



CELDA PARA PROCESAMIENTO DE SALES FUNDIDAS

Para las sales fundidas, la situación es muy diferente de un caso a otro, considerando si el metal se puede depositar en un líquido más pesado o más liviano que el electrolito mismo. Es así que para cada situación se requiere un diseño específico.

Por ejemplo, la producción del aluminio es diferente a otros casos de sales fundidas, ya que los ánodos son consumibles.

CELDA PARA LECHO PARTICULADO FLUIDIZADO

Desde hace años, los lechos de material particulado como concentrados de sulfuros, cementos agranallados, mata agranallada y recortes de recuperación secundaria de metales, son un desafío interesante para la electrólisis directa, que evite los pasos intermedios, ya sea por vía pirometalúrgica o por lixiviación y purificación.

En estos casos se logran altas densidades de corriente, de 10 a 100 veces las alcanzadas en los sistemas convencionales, debido al permanente movimiento y fricción de las partículas, lo que ayuda a despolarizarlas, y desprende los eventuales residuos de la disolución del ánodo de partida. Por ejemplo, el azufre elemental de un sulfuro.

En este caso, los tamaños de las instalaciones son menores, lo que incide en disminuir significativamente los costos de capital de inversión. Sin embargo, aún las aplicaciones son escasas, a nivel piloto y sin divulgación masiva. Existe también un sistema de circulación independiente de un electrolito anódico (anolito) y de un electrolito catódico (catolito), ambos separados por una membrana conductora o diafragma.

CELDA PARA PRODUCCIÓN DIRECTA DE LÁMINAS DE METAL

Mediante este tipo de celdas se puede lograr en forma directa y continua la preparación de una lámina de cobre electrolítico. Esta celda contiene un cátodo en forma de tambor, parcialmente sumergido en el electrolito de la celda, y que gira con velocidad variable de acuerdo al espesor de la lámina que se desea obtener.

CELDA CILÍNDRICA PARA ELECTRO-OBTENCIÓN DE ORO

El procesamiento de concentración de oro por carbón activado, termina con la recuperación electrolítica del oro, usando como electrolito la solución de elución de carbón. En estos casos, se usa un ánodo inerte de acero y un cátodo, compuesto de un conductor inserto con lana de acero colocada en un contenedor apropiado.

CELDA CONVENCIONAL PARA ELECTRÓLISIS EN MEDIO ACUOSO

El diseño de celdas electrolíticas para medios acuosos varía muy poco, ya que en general se trata de ánodos y cátodos suspendidos verticalmente, frente a frente unos de otros.

Las diferencias tienen que ver con el uso final, según se trate de electroobtención (EW) o de electrorrefinación (ER). En EW es más necesario renovar y agitar el electrolito frente a las placas, ya que con la nueva solución se renueva el metal para la depositación.

5. RECOMENDACIONES GENERALES

En la ER es necesaria la permanente renovación y agitación del electrolito frente a las placas, ya que con la nueva solución cada vez se renueva el metal para la depositación.

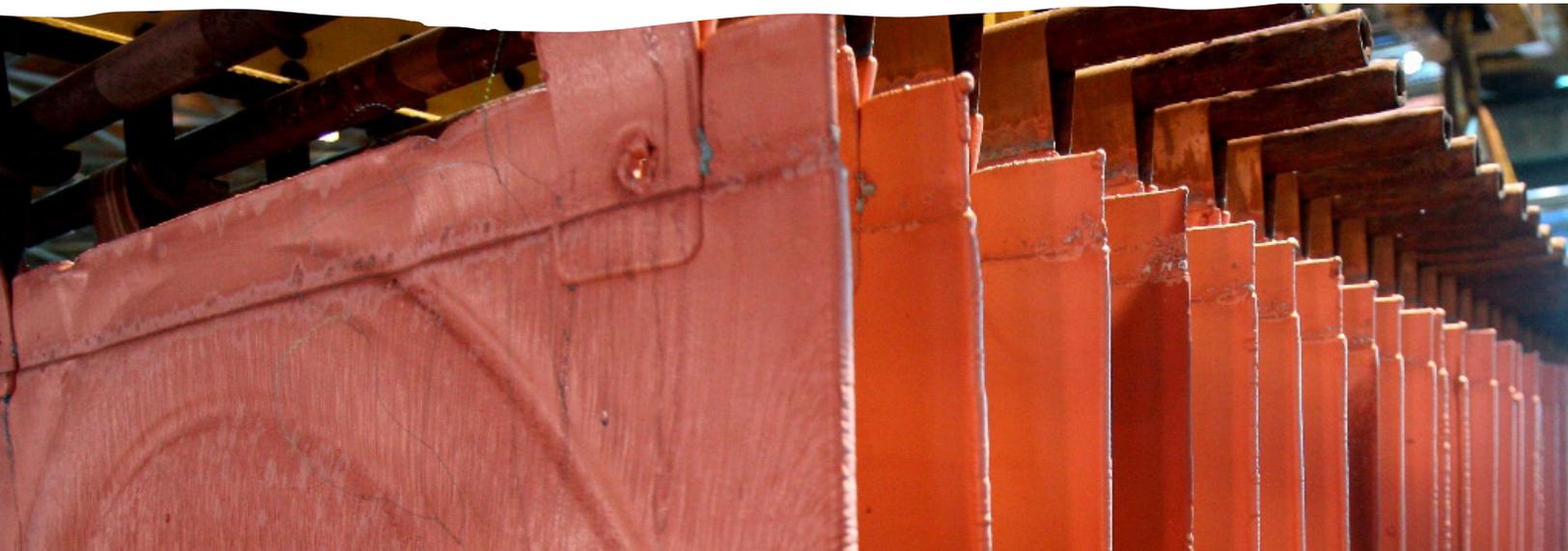
En cambio, en la electrorrefinación, el metal se renueva y recorre sólo el espacio entre placa y placa, por lo que la agitación requerida en el baño es bastante menor: basta con movimiento convectivo y de agitación suave en la renovación normal del electrolito.

En el caso de la EW de cobre, cerca del fondo de las celdas electrolíticas existe un anillo de distribución de soluciones, que consiste en una cañería perimetral con una perforación frente a cada espacio interplaca ánodo-cátodo.

En ambos casos debe cuidarse de reservar un cierto espacio en el fondo de la celda para la acumulación y evacuación de los residuos de ánodos en el caso del EW, y de barras anódicas, en la ER.

En ambos casos (EW y ER), y tanto para cobre como níquel, se debe cuidar el ingreso y distribución del electrolito en las celdas para evitar la contaminación de los cátodos con la remoción accidental de las impurezas acumuladas en el fondo de la celda.

En la EW de oro y plata, cuando se escoge un diseño rectangular convencional, se suele usar como cátodo un canastillo (paralelepípedo rectangular) relleno con esponja o virutilla de acero. En esencia, este cátodo no difiere de otros cátodos verticales.



6. MATERIALES

Se ha desarrollado con el tiempo un progreso significativo en los materiales de construcción de celdas convencionales, así como de las cañerías y bombas.

A principios del siglo XX, las celdas eran de concreto revestidas de una protección estanca (lámina de plomo soldado). En la década de los '70 se introdujeron los revestimientos de membrana de plástico resistente al calor y a los productos químicos del electrolito (entre ellas, el paraliner). A fines de los años '80 se consolidó el uso de un nuevo producto: el

hormigón polimérico, que es un hormigón formado por resina de poliéster -que actúa como ligante-, y arena de cuarzo -que actúa como carga-, que permitió eliminar los revestimientos de membranas y hacer celdas monolíticas prefabricadas, de una sola pieza.

En la actualidad, se han introducido materiales plásticos de creciente resistencia química y térmica, así como aceros inoxidable especiales donde hay casos como el del titanio, cuyo costo se ha reducido considerablemente.

7. EFICIENCIA Y DENSIDAD DE CORRIENTE

El concepto de eficiencia de corriente corresponde a la relación que se establece entre el metal efectivamente depositado y el que debiera depositarse, de acuerdo con la cantidad de corriente eléctrica aplicada. A diferencia de lo que ocurre en EW, en la práctica industrial de la ER, las eficiencias de corriente efectivas, pueden ser muy altas -entre 95 y 98%-, ya que se trata de un proceso con muy pocas reacciones secundarias que puedan hacer mal uso de dicha energía.

En la EW, hay muchas reacciones posibles -tanto catódicas como anódicas-, potencialmente competitivas a la reacción principal, de modo que la desviación del 100% de uso teórico de la corriente se explica por varias razones.

Otra causa de aparente ineficiencia suele ser la pérdida de corriente por cortocircuitos -entre ánodo y cátodo, así como entre celda y celda- o por fugas de corriente a través de las estructuras de la nave electrolítica o de las propias celdas. Muchas plantas en operación tienen fugas de corriente sin percibirlo, y combaten la supuesta ineficiencia de corriente, pensando en una causa electroquímica, cuando en realidad se trata de una falla estructural, o de simple mantención y limpieza.

Siempre hay que recordar que el metal sólo puede depositarse con la corriente que efectivamente pasa por el electrolito.

Los rangos de densidades de corriente aplicadas se distinguen en:

- **Sistemas de sales fundidas:** Alcanzan fácilmente los 10 y 15 kA/m² (kilo amperes por metro cuadrado). Ello se debe a factores como la gran conductividad que se logra a altas temperaturas, la ausencia de limitaciones físicas para el desplazamiento de la corriente y el uso directo de ella en el baño electrolítico, sin posibilidad de fugas.

- **Soluciones acuosas:** Están entre 200 y 300 A/m², particularmente en los casos de EW y ER de cobre y níquel. Si las geometrías de los electrodos son distintas entre sí, puede haber diferentes densidades en el ánodo en relación al cátodo (desde el punto de vista práctico, la que interesa es la catódica).

Una manera de aumentar la densidad en forma considerable en estos sistemas acuosos, se encuentra en el uso de electrodos particulados y en efectuar la electrólisis en un lecho fluidizado. Si bien, esta tecnología ha sido profusamente investigada, hasta ahora, no ha alcanzado aplicaciones industriales de relevancia.

8. ÁNODOS Y CÁTODOS

ÁNODOS DE ELECTRO-OBTENCIÓN

En el proceso de EW, los ánodos son, por definición, insolubles y teóricamente inertes al proceso. Cuando la electrólisis es en un medio acuoso, predomina el uso de ánodos de plomo. En alguna de sus aleaciones donde es predominante, se le confiere al ánodo mejores características físicas y químicas que las del plomo puro, en especial, en lo que se refiere a la estabilidad mecánica, rigidez, dureza y resistencia química a la corrosión.

Se han desarrollado intentos por incorporar ánodos de metales nobles en la tecnología con ánodos dimensionalmente estables (DSA), donde el platino se aplica en delgadísimas capas sobre un sustrato soportante de titanio para fabricar ánodos alternativos que requieran una menor tensión de sobrevoltaje. Dicha tentativa ha demostrado un ahorro considerable de energía operacional, pero el costo de la inversión inicial han impedido su uso industrial.

Hasta ahora se han probado numerosos otros sustratos para la fabricación de ánodos, como grafito, plomo/calcio y cerámica, y también otros metales y óxidos metálicos; conductores alternativos, como óxido de iridio y óxido de rutenio, entre otros, incentivados para su uso con electrolitos químicamente más agresivos, como los de medio clorhídrico.

ÁNODOS DE ELECTRO-RREFINACIÓN

En el proceso de ER los ánodos son por definición, solubles, y pueden ser moldeados individualmente en una rueda de moldeo. El giro de la rueda permite pasar sucesivamente por varias etapas: llenado y pesado del molde con el metal líquido fundido; enfriado con rociado de agua; levantamiento y retiro del ánodo; limpieza y preparación del molde para un nuevo llenado.

Los ánodos -principalmente en la ER de níquel y cobre-, tienen una superficie irregular y rugosa, con dimensiones de 80 a 100 cm de ancho, 90 a 110 cm de largo y unos 3 a 6 cm de espesor.

Con el método Hazelett de fabricación los ánodos se producen a través de una colada continua, que se lamina en caliente con un ancho uniforme, manteniendo un espesor constante de 16 mm. Así, se recortan los ánodos de dimensiones iguales, sin dejar despuntes.

Una variación de la tecnología de ER consiste en la disolución anódica de mata, es decir, del sulfuro metálico de níquel o de cobre, para la producción directa de cátodos. En este caso, los ánodos solubles también se preparan con el mismo procedimiento de moldeo del metal fundido.

Otra opción que aún requiere mayor desarrollo, es usar el ánodo de mata agranallada, es decir, de sulfuros particulados, tanto en canastillos estáticos como en lecho fluidizado, sistema que permitiría utilizar mayores densidades de corriente.

9. CÁTODOS: DISEÑO, MATERIALES Y MANEJO DEL PRODUCTO

PLACAS MADRE

Las placas madre corresponden, en general, a un sustrato de un metal sobre el cual se deposita el metal de interés, como ocurre en los procesos de EW, en los que los depósitos pueden ser desde soluciones acuosas de zinc sobre una placa de aluminio hasta una de cobalto sobre una placa de acero inoxidable.

De igual modo, en la EW de cobre se usan placas madre las que originalmente eran de titanio o de cobre recubierto con un aceite conductor, para facilitar el despegue del depósito, pero que actualmente son de acero inoxidable.

Luego de la depositación durante un tiempo aproximado de 24 horas, el metal que se ha adherido se desprende de la placa madre. Las láminas se estiran y planchan, y se les agregan como soporte dos trozos previamente recortados de las mismas láminas, llamados "orejas". Para continuar la depositación en las llamadas "celdas comerciales", se cuelgan mediante una barra de cobre, para luego continuar la depositación por unos 5 a 7 días. Esta tecnología aún se usa en aplicaciones antiguas.

CÁTODOS PERMANENTES

Esta tecnología se deriva del esquema original de placas madre: no se retira el depósito inicial de las láminas de 24 horas, sino que se continúa la depositación directamente sobre la misma placa madre durante todo el período denominado comercial, el cual fluctúa entre 5 y 7 días.

El sustrato de estos cátodos fue inicialmente de titanio, pero hoy se emplea acero inoxidable 316L. Las dimensiones sumergidas de estos cátodos, útiles para la depositación, se han estandarizado en 1 m de ancho por 1 m de alto. Esta tecnología es conocida también como:

- **Proceso ISA:** Fue inicialmente desarrollado en Australia por Mount Isa. Se caracterizaba por usar cera en el borde inferior del cátodo para controlar el depósito inferior.
- **Proceso Kidd Creek:** Desarrollado por la planta de la compañía canadiense Falconbridge. Esta es una variante muy similar a la anterior, pero, en vez de cera, utiliza un borde biselado en ángulo agudo hacia adentro como canal maquinado en el canto inferior, el cual permite que se quiebre cualquier depositación permanente en ese punto.

- **Tecnologías relacionadas:** Asociadas a estas tecnologías se desarrollan otras complementarias tales como:

- Barras de suspensión de acero recubiertas con cobre electrolíticamente adherido, para hacerlas conductoras.
- Diversos sistemas de soldadura y unión de la placa de acero inoxidable con la barra, para evitar caídas de tensión provocadas por una soldadura imperfecta.
- Aisladores especiales para el borde lateral de la placa.
- Aisladores entre cátodo y ánodo.
- Máquinas automáticas para el lavado, despegue del depósito desde las placas, manejo, muestreo, pesaje, empaquetado y etiquetado automático del paquete de cátodos.

Actualmente, las tecnologías canadiense y australiana han superado la etapa de investigación y han alcanzado una madurez, la cual puede apreciarse en la similar demanda que ambas poseen en el mercado.

Para los procesos de sales fundidas, el cátodo más usado es el de acero, por ejemplo en la producción de metales alcalinos y alcalino-térreos. Como en el caso del aluminio, el papel de cátodo lo desempeña el propio metal fundido, al que se le aplica un contacto eléctrico mediante una barra conductora de acero.

10. DIAFRAGMAS PARA ELECTRODOS

El diafragma es una tela, membrana o material similar, que aísla el espacio que rodea los electrodos, ya sea el cátodo o el ánodo, para usar electrolitos de diferente naturaleza en cada uno de estos espacios.

Es indispensable que este sea permeable al paso de la corriente. Aún así, el diafragma aumenta la resistencia eléctrica del electrolito al imponer una caída de potencial, equivalente a una pérdida de carga, por el paso de la corriente a través de él.

Por estas razones, un diafragma ideal debiera:

- Ser permeable a los iones, pero no a las burbujas de gas.
- Poseer una gran proporción de huecos, para minimizar la resistencia eléctrica.
- Tener un tamaño de poro suficientemente pequeño como para prevenir el paso de los gases y minimizar la difusión a través de él.
- Ser de estructura homogénea, para asegurar una distribución uniforme de la corriente.
- Ser no conductor, para evitar que accidentalmente actúe como un electrodo más.
- Ser químicamente resistente a los electrolitos y a los productos de la reacción electrolítica.
- Ser mecánicamente resistente.

La estabilidad química es un problema constante, especialmente si el anolito es ácido y el catolito es alcalino, situación en que los diafragmas normalmente tienen una vida útil muy breve y requieren una reposición frecuente. Para esto se han utilizado diversos materiales, como:

- Concreto poroso, asbesto y mezclas de asbesto, que han resultado ser resistentes al medio alcalino.
- Cerámicas, cuarzo y arcilla refractaria, las que han resultado resistentes a los ácidos.
- Comercialmente, se han probado varias gomas microporosas, diversos tejidos y gasas metálicas.

11. PROCESO DE CEMENTACIÓN

La cementación es la precipitación de un metal desde una solución acuosa, que se produce por efecto de la presencia de otro metal. En este proceso el metal precipitado usualmente se deposita o "cementa" sobre el metal añadido.

El proceso se basa en el potencial de electrodo que tengan los metales involucrados. El metal con potencial de electrodo más alto, tiene mayor tendencia a la oxidación, y pasará a la solución desplazando al metal que tenga un menor potencial positivo.

Lo anterior ocurrirá de este modo siempre y cuando las soluciones sean diluidas y el ión del metal no se encuentre formando complejo. Cuando hay complejos involucrados, los datos de potencial de electrodo pueden cambiar drásticamente.

En general, mientras mayor sea el potencial de celda de la reacción de cementación, mayor será la tendencia a precipitar impurezas, ya que éstas se encontrarán comprendidas con mayor probabilidad, en cierto rango de potenciales, por lo que se verán favorecidas para precipitar en conjunto.

Por ejemplo, en el caso de la cementación de cobre mediante hierro, junto al cobre coprecipitan el plomo, estaño, níquel y cobalto que se encuentran presentes en solución, contaminando el producto. De igual modo, cualquier impureza insoluble presente en el hierro, como los carburos, también contaminará el producto. En la cementación de platino y paladio con zinc, es mayor la amenaza de coprecipitaciones y de posterior contaminación del precipitado. En estos casos, la selectividad del proceso es más baja y la contaminación puede resultar inaceptable.

LA CEMENTACIÓN EN FASE LÍQUIDA PRESENTA LAS SIGUIENTES VENTAJAS

La reacción se produce con gran rapidez.

El precipitado puede separarse con facilidad sin contaminación.

Se puede reciclar la solución gastada final y proceder a devolverla a su estado reducido anterior con algún otro proceso sencillo.

Presenta una gran economía de espacio y de costos de operación.

Como precaución, debe mantenerse siempre alejado el ingreso de oxígeno al reactor de cementación, para evitar reacciones competitivas que reduzcan la efectividad del agente precipitante.

CEMENTACIÓN DE COBRE CON CHATARRA DE FIERRO

La cementación del cobre con chatarra es una técnica muy utilizada en la industria minera de mediana y pequeña escala para recuperar el metal que se encuentra en las soluciones acuosas ricas provenientes de la lixiviación.

La implementación de procesos de sedimentación requiere una inversión menor a la requerida para las plantas tradicionales de SX (extracción por solvente)-EW (electroobtención). No obstante, el uso de SX-EW es en la actualidad una operación muy utilizada, fundamentalmente porque no requiere de un proceso de fundición de cementos.

Una vez obtenidas las soluciones de lixiviación ricas en cobre, éstas son sometidas al proceso de cementación con hierro haciendo uso de las técnicas y alternativas que se indican a continuación.

PRECIPITACIÓN CON BATEAS O CANALETAS GRAVITACIONALES

Este es el sistema más antiguo para la cementación de cobre y se basa en el uso de recipientes o bateas hechas de hormigón con fondo de madera. La base de estas bateas tiene una pendiente de 2%, lo que permite el escurrimiento de las soluciones desde una punta hacia la otra.

En cada una de las bateas se adiciona permanentemente chatarra de hierro, y desde el extremo de mayor altura, se alimentan en forma continua las soluciones ricas en cobre.

De esta forma y por efecto de la pendiente de la batea, las soluciones escurren hacia el extremo de menor altura, manteniendo un contacto permanente con la chatarra, logrando que se produzca la cementación.

Cabe recordar que por efectos de eficiencia del sistema, se requiere un flujo continuo y una velocidad de escurrimiento suficiente para que el consumo de chatarra no aumente, ya que a mayor tiempo de cementación, aumenta considerablemente los requerimientos de chatarra.

La recuperación de cobre mediante este sistema alcanza alrededor de un 80 – 85%, obteniéndose un producto bastante sucio, debido a la contaminación con chatarra.

PRECIPITACIÓN CON EQUIPOS ROTATORIOS DISCONTINUOS

Estos equipos fueron desarrollados en Alemania en la década del 60, y se les conoce como "fall-trommels". En Chile, fueron utilizados en la Mina La Cascada entre los años 1972 y 2000, y en Mantos Blancos desde 1991 a 1996.

Cada reactor de estos equipos está formado por una botella de acero cilíndrica, cerrada y con un extremo semi-esférico. Su capacidad alcanza a los 33 metros cúbicos y tiene un eje inclinado a unos 25 grados por encima de la horizontal. A su vez, el reactor cuenta con los mecanismos necesarios para rotar lentamente sobre el eje a unas 0,3 rpm, similar a la rotación que mantienen los camiones que transportan cemento.

La gran ventaja de estos reactores en relación al uso de las bateas, es que logran mantener la chatarra en movimiento permanente, con lo que el cobre depositado se despega continuamente, generando nuevas superficies de precipitación y pudiendo así alcanzar grandes rendimientos.

PRECIPITACIÓN CON EQUIPOS ROTATORIOS CONTINUOS

A partir de los diseños originales alemanes, en los años 60 se desarrolló en Chile una serie de reactores cilíndricos, pero horizontales, de diversas dimensiones, inicialmente hechos de madera y con sistemas de movimiento similares a los de un molino de bolas, que giran sobre su eje a una frecuencia muy baja, correspondiente a una vuelta por cada 3 a 5 minutos.

En su interior, los cilindros presentan un sistema de protección basado en tacos de madera de fibra larga, similar a la del eucalipto, colocados uno al lado del otro, con el sentido de la fibra orientada hacia el interior del reactor.

Al humedecerse, la madera se hincha, generando un sello perfecto para el líquido contenido. En el manto del cilindro se ubica una compuerta para efectuar el relleno de chatarra cada vez que se inicia un nuevo turno.