



Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), enero-febrero 2024,
Volumen 8, Número 1.

DOI de la Revista: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1

**ESTUDIO DE PROCESOS EN LA RECUPERACIÓN
DE PLATA Y ORO DE LIXIVIADOS MEDIANTE EL
USO DE UNA CELDA ELECTROLÍTICA**

**STUDY OF PROCESSES IN THE RECOVERY OF SILVER AND
GOLD FROM LEACHATES THROUGH THE USE OF AN
ELECTROLYTIC CELL**

Agustín Acevedo Figueroa

Tecnológico Nacional de México, México

Francisco Juárez Herrera

Tecnológico Nacional de México, México

Julio Cesar Flores Cabrera

Tecnológico Nacional de México, México

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1.9989

Estudio de Procesos en la Recuperación de Plata y Oro de Lixiviados Mediante el Uso de una Celda Electrolítica

Agustín Acevedo Figueroa¹

agustin.acevedo@iguala.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0003-1008-8395>

Tecnológico Nacional de México
Campus Iguala
México

Francisco Juarez Herrera

francisco.juarez@iguala.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0002-3847-0554>

Tecnológico Nacional de México
Campus Iguala
México

Julio Cesar Flores Cabrera

jcesar.flores@iguala.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0002-3847-0554>

Tecnológico Nacional de México
Campus Iguala
México

RESUMEN

La separación de plata y oro de minerales oxidados o sulfurosos se lleva a cabo mayormente mediante un proceso denominado disolución de valores, el cual produce una solución rica la cual se llama lixiviado. Una vez que se tiene esta solución se procesa para obtener la plata o el oro contenida en ella utilizando procedimientos ya estandarizados a gran escala que utilizan carbón activado y polvo de zinc, los cuales requieren el uso de áreas, procedimientos y materiales especiales para realizarse la separación denominada desorción. Esto ocasiona que el procedimiento sea más tardado, largo y complicado lo que ocasiona una tarea complicada para la obtención de plata y oro de minerales valiosos. Para solucionar esto, se pretende mejorar la recuperación de los metales valiosos del lixiviado mediante el uso de una celda electroquímica, para lo cual se prepararán los materiales y equipos requeridos, para utilizar una celda para electrodeposición, con la finalidad de recuperar metales valiosos contenidos en el lixiviado de minerales metálicos. Se utilizará el proceso de electrodeposición para optimizar la recuperación de metales valiosos, en lugar de otros procedimientos que existen actualmente, como son la flotación y la dilución de valores con (NaCN⁻) cianuro de sodio. Se construirá una celda electrolítica de material plástico, el ánodo que se utilizará será de alambre de cobre y el cátodo una lámina rectangular de aluminio, ambos electrodos se sumergirán en la celda dentro de la solución “rica” del lixiviado que contiene oro y plata diluidos en forma iónica. El cianuro de sodio (NaCN⁻) funcionará como electrolito y se alimentará con una corriente eléctrica a una celda electrolítica mediante un cargador que proporciona una corriente de salida de 3.6 V ~ 600 mA y Corrientes de entrada de 120 V ~ 60 Hz o 0,1 A con lo que se logrará depositar en el ánodo los metales valiosos de oro y plata. Se realizarán varias corridas de electrodeposición en el diseño experimental, con la finalidad de lograr un procedimiento optimo en la recuperación de metales valiosos.

Palabras clave: electrodeposición, lixiviado, electrodo, disolución, electrólisis

¹ Autor principal.

Correspondencia: agustin.acevedo@iguala.tecnm.mx

Study of processes in the recovery of silver and gold from leachates through the use of an electrolytic cell

ABSTRACT

The separation of silver and gold from oxidized or sulfide minerals is largely carried out by a process called stock dissolution, which produces a rich solution called leachate. Once this solution is obtained, it is processed to obtain the silver or gold contained in it using already standardized large-scale procedures that use activated carbon and zinc powder, which require the use of special areas, procedures and materials to carry out the separation called desorption. This causes the procedure to be slower, longer and more complicated, which creates a complicated task for obtaining silver and gold from valuable minerals. To solve this, it is intended to improve the recovery of valuable metals from the leachate through the use of an electrochemical cell, for which the required materials and equipment will be prepared, to use a cell for electrodeposition, with the purpose of recovering valuable metals contained in the leaching of metallic minerals. The electrodeposition process will be used to optimize the recovery of valuable metals, instead of other procedures that currently exist, such as flotation and dilution of values with sodium (NaCN-) cyanide. An electrolytic cell will be built of plastic material, the anode that will be used will be made of copper wire and the cathode a rectangular aluminum sheet, both electrodes will be immersed in the cell within the “rich” solution of the leachate that contains diluted gold and silver. in ionic form. Sodium cyanide (NaCN-) will function as an electrolyte and will be fed with an electrical current to an electrolytic cell by a charger that provides an output current of 3.6 V ~ 600 mA and input currents of 120 V ~ 60 Hz or 0. 1 A with which the valuable metals of gold and silver will be deposited on the anode. Several electrodeposition runs will be carried out in the experimental design, with the aim of achieving an optimal procedure in the recovery of valuable metals.

Keywords: electrodeposition, leached, electrode, dissolution, electrolysis

Artículo recibido 15 enero 2024

Aceptado para publicación: 20 febrero 2024



INTRODUCCIÓN

Los procesos de separación de los materiales preciosos son muy reconocidos en la industria metalúrgica. Con estos procesos se logra la eliminación de otras sustancias aliadas a los minerales y así extraer el material que requiere cada proceso ha sido de gran interés y proporciona múltiples maneras posibles de realizarse esto se hace para refinar y preparar a los materiales para su uso ya que por lo general contienen impurezas como son: metales, pequeños restos de escoria, elementos no metálicos y gases disueltos por eso se requiere que esta recuperación de metales se haga de la manera más óptima y al menor costo. Sabiendo bien que este es un proceso delicado y que requiere de mucho conocimiento. (Servicio Geológico Mexicano, 2017). Entre ellos hay procesos de separación de minerales haciendo la refinación del mismo, como son:

Gravimétrica: este método de separación se realiza aprovechando la diferencia de densidades del material, siendo de gran ayuda el agua y son utilizados desde los sulfuros metálicos pesados hasta el carbón.

Flotación: Este es el más usado en las industrias y es un proceso fisicoquímico que se basa en las propiedades superficiales de los minerales haciendo que los minerales entren en una fase o se queden en ella separando los materiales valiosos de los no valiosos y se realiza en una celda de flotación donde deben estar partículas del mineral, agua, espuma, burbujas y un sistema adecuado de agitación y homogenización de estos mediante componentes mecánicos o eléctricos (Elgueta, 2020).

Magnética: en este proceso se hace la atracción de algunos materiales a un campo magnético (Servicio Geológico Mexicano, 2017). Para la transformación de materiales o modificación se pueden diferenciar procesos como:

Hidrometalurgia: está basado en la extracción y recuperación de los materiales mediante concentrados, disolviéndolos con un reactivo para luego precipitarlo mediante la lixiviación este se realiza a bajas temperaturas.

Pirometalurgia: son técnicas para la obtención de los metales a altas temperaturas en procesos de tostación, calcinación, fundición, refinación, cocción y demás.

Biometalurgia: es un proceso que se realiza por medio de la bio-oxidación de compuestos minerales que conforman sustrato de microorganismos es decir es un proceso confiado a la acción de bacterias, este ayuda a reducir el impacto al medio ambiente. (Alcántara, 2011).

Electrometalurgia: consta de un proceso de recuperación de los metales mediante el uso de corriente eléctrica dando uso a la tecnología de la que obtiene reacciones físicas y químicas para la refinación de los materiales, se realiza mediante el proceso electrolítico. (Servicio Geológico Mexicano, 2017).

Cianuración: el material estado previamente molido pasa a unos tanques por medio de un rastrillo contantemente, agregándole cianuro para el proceso de recuperación de la plata haciéndose así una mezcla homogénea para luego precipitar el metal de la disolución hasta que lo reduce a la plata metálica. (Procesos Mineros, 2019).

En procesos más actuales tenemos: La refinación electrolítica: es uno de los menos costos y eficientes este consiste en la disolución electroquímica de ánodos de plata que proviene de un proceso de fundición obteniendo pureza de plata sobre cátodos este proceso se caracteriza de electrolisis y se debe realizar con concentraciones menores a 200mg/L. (CCM.El Consejo de Competencias Mineras, 2017).

La precipitación química: este consiste en adicionar productos químicos como bromuro, tiocianato y cianuro de hierro para la recuperación de la plata este puede utilizar soluciones acuosas con bajas concentraciones de plata.

Estos procesos tienen ventajas por su rapidez y eficacia, pero también tiene desventajas siendo nocivos y no pueden ser utilizados en cualquier desecho de plata se ha desarrollado un nuevo proceso llamado BIOLIXIVIACIÓN este usa microorganismos que de manera directa e indirecta disuelve el metal en un medio acuoso a través de bacterias que liberan plata en mayor cantidad que el método convencional, estas bacterias oxidan el azufre a ácido sulfúrico y el arsénico a una especie que es inofensiva para el ser humano. (Codelco, 2011).

La electro refinación consiste en purificar el metal que se lleva a cabo en una celda electrolíticas mediante la aplicación de corriente eléctrica para disolver el metal impuro, donde se colocan en forma alterna un ánodo y un cátodo dando lugar a cátodos con un alto índice de pureza que permite su utilización como conducto eléctrico, dándole un valor agregado al mineral ya que se utilizan tecnología adecuada para posteriormente poder llevar al mercado el metal. (Edoc.tips, 2017)

Celda electrolítica Them: Esta celda se caracteriza por tener cátodos y ánodos en forma de lámina o placas planas que esta paralelamente para la energía eléctrica, no tiene superficie equipotencial de una estructura de campo eléctrico regular, para la obtención de la plata fina la deposición en forma de cristales que van creciendo en todas la direcciones dentro del electrolito y se tiene que quitar de la superficie hacia un lado de la celda para la extracción de ella, en esta celda el potencial químico para la reacción es igual a cero y el potencial necesario depende de tres factores, el potencial óhmico para el electrolito, el de polarización y la caída de este entre los electrodos y conexiones al circuito eléctrico exterior, Este potencial al principio solo depende de la conductividad del electrolito. (Ortega & Gírlberto, 2016).

Celda electrolítica Moebius: Los ánodos de metal Doré y los cátodos están colocados verticalmente siendo más práctico, lo ánodos van colocados dentro de bolsas de tejido sintético de trama fina para recoger los Barros anódicos que contiene el oro y también impurezas del metal Doré, la plata es depositada en el cátodo que luego se remueven continuamente cayendo al fondo de las celdas, este proceso de recuperar es de 3 a 5 días, las celda operan con un electrolito de 150 g/lt de nitrato de plata , los cristales de plata recuperados tiene una pureza de 99.98% a 99.99% que se lavan con agua caliente para luego ser fundidos para tener lingotillos de plata 300 gr o 1500 gr. (Edoc.tips, 2017).

Las celdas electrolíticas que son utilizada en estos procesos contienen energía eléctrica procedente de una fuente externa dando lugar así a una reacción química no espontanea. Estas contienen un metal de reacción llamado electrodos, estos son superficiales y es donde se da lugar a las semirreacciones de oxidación y de reducción que son cátodo y ánodo, el primero es el encargado de la reducción mientras que el segundo es el encargado de la oxidación, por estos entra y sale la energía eléctrica. (Vera, 2007). Se han construido celdas de varios tipos con electrodos diversos y de dimensiones distintas por otros investigadores, pero la que se pretende construir, tiene una superficie de contacto en el cátodo más amplia y es más sencilla de construir.

También los investigadores han diseñado celdas para la deposición de valores mediante el uso de electrodos convencionales, pero se aglomera el material depositado y es por eso que se incluye en este diseño una lámina rectangular de aluminio que funciona como cátodo para la deposición de la plata y el oro, así como mejorar la captación por tener una mayor área de contacto.

Este sistema será utilizado para la electrodeposición de valores de minerales con contenido metálico, en la demostración de leyes electroquímicas o fisicoquímicas, así como metalúrgicas, en las prácticas de química en la demostración de fuerzas de atracción intermoleculares, lo cual refuerza la asignatura y el plan de estudios de la carrera.

Esto refuerza el Programa de Estudios para la evaluación del CACEI, y abona al cumplimiento de la meta institucional de contar con programas de estudios acreditados por el CACEI, la cual se encuentra declarada en el PTA institucional.

Este proyecto consta de varias etapas las cuales son: 1.- Búsqueda de información teórica. 2.- Diseño y construcción de una celda electrolítica. 3.- Preparación y tratamiento de las muestras. 4.- Pruebas de electrodeposición de valores del lixiviado. 5.- Resultados, conclusiones y recomendaciones.

La presente propuesta solicita apoyo, ya que se requiere material para diseñar, construir y poner en marcha las pruebas de obtención de lixiviado y las de electrodeposición de valores, hasta la obtención del botón de metal valioso con contenido de oro y plata.

METODOLOGÍA

La metodología utilizada fue de tipo cuantitativa, el tipo de investigación aplicativo y el diseño utilizado experimental.

Se siguieron los siguientes pasos para desarrollar la investigación.

1. Búsqueda de información teórica. Consiste en realizar una búsqueda del estado del arte con relación a la deposición de valores de minerales con contenido metálico mediante el uso de una celda electrolítica.
2. Diseño y construcción de una celda electrolítica. Consiste en diseñar y construir la celda electrolítica para realizar las pruebas de recuperación de valores, con los materiales correspondientes, para lo cual se construirá la celda con los materiales correspondientes.
3. Preparación y tratamiento de las muestras. Consiste en llevar a cabo la preparación y el tratamiento de la muestra de mineral para la obtención del lixiviado. Consiste en someter la muestra de mineral a la exposición de cianuro diluido, para la obtención del lixiviado, vigilando y controlando las operaciones necesarias para su obtención.

4. Pruebas de electrodeposición de valores del lixiviado; Consiste en realizar las corridas correspondientes de las pruebas de deposición, para lo cual se utilizará un equipo de análisis metalúrgicos vía seca, se realizarían solicitando el apoyo de la empresa jaguar y se realizarán también por vía seca por el método de copelación y vía húmeda por dilución de valores con ácido nítrico. Para ello se utilizará el lixiviado y se agregará en la celda electrolítica construida para ello y se realizaran las corridas por tiempo de deposición cada 5 minutos hasta completar 5 corridas.
5. Resultados, conclusiones y recomendaciones: consiste en analizar los resultados obtenidos de las 5 corridas realizadas en el diseño experimental, realizar las conclusiones correspondientes a que si se logró depositar la plata y el oro en el cátodo de aluminio de manera adecuada y realizar la recomendación correspondiente a la mejora o rediseño correspondiente para aumentar la captación de metal depositado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis de las muestras que se obtuvieron a través de la celda electrolítica fueron realizados y evaluados mediante el equipo de laboratorio para análisis de oro y plata GOLD XPERT XRF; los cuales se realizaron el día 6 de enero del 2024 el cual se les hizo la prueba a las 10 muestras que se mandaron a analizar las cuales dio un resultado que 10/10 de las muestras mandadas a hacer daba un resultado excelente ya que se obtuvo un resultado que se trataba de 100% plata y no se encontraron restos de ningún otro tipo de mineral, lo cual demuestra lo siguiente:

1. Se obtuvieron los resultados planteados al comienzo de este proyecto, que consistía en comprobar si se podían coleccionar metales valiosos de plata y oro de lixiviados de minerales tratados con cianuro. (Imagen 3)
2. Que se podía recuperar del lixiviado de cianuro, la plata y el oro mediante el uso de una celda electrolítica. (Imagen 5)
3. Se muestra en la Imagen 1, los resultados de la muestra 1 y que de manera similar presentaron las restantes 9 muestras, que se realizaron por dicho equipo de laboratorio. Para llegar a la conclusión de que se trataba de plata pura se dice que si pasa un porcentaje del 70% se considera que es plata pura la cual se considera un 100%.

Imagen 1. Resultado de análisis de la muestra M1. 100% (plata) Ag.



4. En este caso, no se obtuvieron resultados de oro, solamente se obtuvo plata pura, lo cual quiere decir que, mediante este análisis realizado, el mineral (Imagen 2) contenía plata solamente y que, si tuviera otro tipo de metales, estos no fueron significativos y no detectables en el análisis. Quizás mediante otro método de análisis vía húmeda o seca (mediante un espectrofotómetro de absorción atómica) pudieran haber sido detectados otro tipo de metales.
5. La celda electrolítica funcionó para la captura de metales preciosos como la plata.
6. Como se puede observar, los análisis realizados exponen que es plata pura al 100% la que se colectó en el cátodo de la celda electrolítica y que de las 10 muestras analizadas todas corresponden a este mismo de resultado.

De acuerdo con la bibliografía consultada y a los investigadores de artículos publicados son consistentes los resultados.

Solo resta realizar más pruebas con otro tipo de minerales valiosos con contenido de oro.

Se considera que esta técnica no está siendo utilizada en la industria como debiera y que hace falta más investigación sobre la misma, la deposición de valores de oro y plata mediante el uso de una celda electrolítica es prometedora.

Debe ser utilizada con fines prácticos y por la pequeña minería ya que representa un avance en el tratamiento de minerales con contenido valioso. (Imagen 4)

Ilustraciones, Tablas, Figuras

Imagen 2 Muestra de mineral molido a 65% retenido en la malla -200 de la serie de tamices taylor.



Imagen 3 lixiviado de cianuro de mineral molido.



Imagen 4 Muestra de mineral



Imagen 5 celda electrolítica con electrodos de acero inoxidable y placa de aluminio.



CONCLUSIONES

La electrodeposición de metales valiosos de minerales lixiviados con cianuro, se puede realizar mediante el uso de una celda electrolítica, mejorando la limpieza, pureza y facilidad con el que se colecta la plata, en este caso de los minerales.

Se debe continuar con este tipo de investigaciones que mejoren y optimicen los procesos de beneficio de minerales con contenido de metales valiosos. La teoría demuestra que es posible la deposición de valores y que dependiendo de la cantidad de amperes suministrados, es el peso de Ag metálico depositado en el electrodo.

El electrodo de acero inoxidable utilizado y el electrodo de aluminio, son una nueva forma de realizar este estudio o investigación. Se utiliza una placa de aluminio para lograr mayor superficie de

depositación y mejorar el proceso.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alcantara, H. (23 de octubre del 2011). Word press.com. Obtenido de Word press.com:

<https://hubertalcantara.wordpress.com/2011/10/23/biometalurgia/>

Codelco. (18 de Febrero de 2011). CODELCO. Obtenido de CODELCO:

https://www.codelco.com/biolixiviacion/prontus_codelco/2011-02-18/091203.html

CCM.El consejo de Competencias Mineras. (3 de JUNIO de 2017). CCM.El Consejo de Competencias Mineras. Obtenido de CCM.El consejo de Competencias Mineras:

<https://www.ccm.cl/refinacion-electrolitica/>

Davis. (27 de septiembre de 2016). 911 Metallurgist. Obtenido de 911 Metallurgist:

<https://www.911metallurgist.com/metallurgia/refinación-electrolitica/>

Elgueta, H. (19 de Noviembre de 2020). Metso. Obtenido de Metso:

<https://www.metso.com/cl/blog/mineria/la-importancia-del-proceso-de-flotacion-de-minerales>

Edoc.tips. (22 de Enero de 2017). Edoc.tips. Obtenido de Edoc.tips:

https://edoc.tips/download/refinación-del-oro_pdf

Galvín, R. M. (1999). Físicoquímica de las aguas. Madrid: diaz de santos.

Ortega, J., & Gilberto, C. (2016). Refinación electrolítica de estaño en celda Balbach-Thum. Revista Metalúrgica UTO, 38.

Procesos Mineros. (3 de Febrero de 2019). Weebly.com. Obtenido de weebly.com:

<https://procesosmineros.weebly.com/plata.html>

Servicio Geológico Mexicano. (22 de marzo de 2017). GOBIERNO DE MÉXICO. Obtenido de GOBIERNO DE MÉXICO:

https://www.sgm.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Beneficio-y-transformacion-minerales.html