

RECUPERACIÓN DE METALES DE RESIDUOS LÍQUIDOS GENERADOS POR LA INDUSTRIA GALVÁNICA

Silvia Barbosa, César Alvarado
silvia@corporacionalquimia.org; calvarado@iquce.edu.ec

Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería Química. Casilla 17-01-3972
Recibido: 12 marzo 2013 Aceptado: 10 abril 2013

RESUMEN

Recuperación de los metales cobre y zinc a partir de los residuos líquidos generados por la industria galvánica, empleando procesos fisicoquímicos y electroquímicos. La experimentación se definió mediante el diseño factorial 2^k , que establece como variables la concentración de la solución, el voltaje y la relación del área anódica/catódica. Antes de la electrólisis, se procede a pre concentrar la solución para el caso del zinc, mediante el proceso de ósmosis inversa. El proceso electrolítico aplicado a las aguas de enjuague, se efectuó en una celda electroquímica, que utiliza electrodos inertes de grafito y/o cátodos del mismo metal a recuperar y su funcionamiento es regulado por las condiciones de operación establecidas en las matrices de ensayos.

Para la recuperación del cobre y zinc, se establecieron como condiciones apropiadas, concentración de la solución del 1%, relación área anódica/catódica de 2:1 y voltaje 2,5 y 4 V respectivamente. El rendimiento del proceso de recuperación fue de 96% para el cobre y 76% para el zinc.

PALABRAS CLAVES: Recuperación; metales; osmosis inversa; celda electroquímica

ABSTRACT

The research tried to recover copper and zinc, from liquid waste produced by the galvanic industry, using physiochemical and electrochemical processes. The factorial design 2^k was used for the experimental part, defining as variables: the concentration of the solution, voltage and anodic/ cathodic area relation. Before the electrolysis, it is necessary make a pre concentrated solution of zinc through inverse osmosis method. An electrolytic process apply to the rinse water was done in an electrochemical cell that uses inert electrodes of graphite and/ or cathodes of the same metals that are going to be recovered. The operation is regulated by the conditions established in the essay matrices.

For the recovery of copper and zinc the appropriated conditions were the following: solution concentration 1%; 2:1 anodic/cathodic area relation; and, voltage 2.5 and 4 V respectively. The recovery process yield was 96% for copper and 76% for zinc.

KEYWORDS: Recovery; metals; inverse osmosis; electrochemical cell.

1. INTRODUCCIÓN

La recuperación de metales para la industria galvánica utiliza métodos gravimétricos, fisicoquímicos, para concentrar las soluciones que contienen los metales pesados y finalmente recuperarlos aplicando la electroquímica.

Parte de las actividades normales de la industria metalmetálica es aplicar el mejor tratamiento para los residuos líquidos que genera, con el objeto de cumplir con la Ordenanza Municipal Ambiental, en cuanto a los parámetros específicos de concentración de metales en los desechos líquidos.

Con este propósito se plantea la recuperación de los metales de los residuos líquidos a nivel de laboratorio, considerando que los metales pesados generados producen daños al ecosistema, especialmente si se encuentran en solución acuosa.

El cobre y cinc, metales semipreciosos, se utilizan en mayor cantidad como base para los recubrimientos galvánicos, y su recuperación es el objeto del presente estudio.

El diseño experimental estadístico utilizado 2^k , genera un método en el cual se estima el efecto que causan las variables: concentración de la solución, voltaje y relación área anódica/catódica en el proceso de recuperación de estos metales.

2. RECUPERACIÓN DE METALES

2.1. Principios electroquímicos usados en procesos galvánicos

La cantidad de electricidad que circula por una celda electrolítica puede determinarse hallando el producto de la intensidad de la corriente, expresada en amperios por el tiempo transcurrido, expresado en segundos.

$$Q \text{ (columbios)} = I * t \quad (1)$$

2.1.1 Primera Ley de Faraday. La masa depositada por electrólisis es directamente proporcional a la cantidad de electricidad que ha circulado.

2.1.2 Segunda Ley de Faraday. Si varias celdas electrolíticas conectadas en serie y provistas de electrodos inertes son atravesadas por la misma cantidad de corriente eléctrica, las cantidades de sustancias depositadas en cada electrodo son proporcionales a los equivalentes-gramo de las sustancias depositadas.

Se denomina equivalente electroquímico de una sustancia a la masa en gramos de dicha sustancia depositada por el paso de un culombio. De acuerdo con esta definición se puede escribir:

$$m = \frac{P * I * t}{96500 * n} \quad (2)$$

Donde:

m = masa de una sustancia electrodepositada

P = peso atómico

n = valencia

I = Intensidad de corriente

t = tiempo

$$\text{Equivalente electroquímico} = \frac{P}{96500 * n}$$

2.2. Recuperación de metales en fase acuosa (Me^{n+})

La industria galvánica utiliza metales pesados y otros compuestos para los recubrimientos metálicos, los cuales constituyen agentes contaminantes para el medio ambiente, por tal motivo, las descargas deben cumplir ciertos parámetros emitidos por normas ambientales y, por tanto, cada muestra de agua que se utilice en el proceso es tratada de diferente manera.

2.2.1. Método Gravimétrico. Se basa en hacer un análisis de los afluentes tanto cualitativo como cuantitativo y conociendo sus características, se dosifican diferentes productos químicos, que permiten precipitar los componentes iónicos que formen compuestos de reducida solubilidad en medio acuoso (lodos), estos últimos poseen los contami-

nantes de metales pesados, los cuales se encapsulan y se depositan en sitios apropiados para su disposición final.

2.2.2. Método Biológico. Consiste en la utilización de microorganismos. Es una técnica que está siendo cada vez más aceptada; sin embargo, existe un microorganismo para cada metal o agente a tratar, por lo tanto hay que analizar, buscar y tener cuidado con los microorganismos en el proceso.

2.2.3. Membranas de Osmosis Inversa. Es el uso de membranas semipermeables con ayuda de alta presión, ingresa el agua a tratar y salen dos corrientes simultáneas, la primera agua de alta calidad (conductividades bajas), mientras que en la segunda corriente se obtienen soluciones concentradas.

2.2.4. Resinas de Intercambio Iónico. Es un proceso rápido y reversible en el cual los iones impuros presentes en el agua son reemplazados por iones que se liberan de una resina de intercambio de iones.

2.3. Recuperación de metales de una matriz sólida

2.3.1. Método Extractivo. Es un proceso mediante el cual se trata una sustancia sólida con una sustancia adecuada para obtener la parte soluble de ella en el medio aplicado.

2.3.2. Método Electroquímico. Para este propósito se utilizan celdas electroquímicas, como por ejemplo la llamada "célula de Chemelec". Teóricamente, la solución de metal debería contener un solo metal; el cátodo ya recubierto se puede quitar y usar como ánodo en un baño de recubrimiento electrolítico, o venderlo como material de grado electrolítico

2.4. Aspectos económicos de la recuperación de metales

Muchas disoluciones para aplicar el recubrimiento electrolítico representan una inversión

considerable y, excepto la cantidad de metal que se aplica sobre las piezas, el resto se va perdiendo poco a poco al menor descuido, lo cual es una insensatez desde el punto de vista económico. La recuperación de metales para volverlos a usar, aunque pueda incluir una tercera partida de costos, representado por la captura de lodo o la inversión en resinas intercambiadores de iones, debe ser la actividad principal en el tratamiento de metales.

2.5. Aspectos ambientales de los metales pesados

Desde hace mucho tiempo se han detectado diversos problemas de contaminación, toxicidad y ecotoxicidad atribuidos a ciertos metales y algunos de sus compuestos. Algunos de los denominados metales pesados ingresan habitualmente a nuestro organismo en porciones menores, vehiculizados por los alimentos, el agua o el aire que respiramos. Varios persisten o se bioacumulan durante largo tiempo en los organismos vivos.

2.6. Análisis del sistema del diseño experimental y variables estadísticas para el análisis de los resultados

2.6.1. Diseño Factorial 2^k . Ciertos tipos de diseños factoriales son muy útiles. Uno de estos es un diseño factorial con k factores, cada uno en dos niveles. Debido a que cada réplica completa del diseño tiene 2^k ejecuciones o combinaciones de tratamiento, el arreglo se llama diseño factorial 2^k .

Diseño 2^k para $k \geq 3$. Un diseño factorial 2^3 , tiene 8 combinaciones de tratamiento. En este diseño se estiman tres factores principales (A, B y C) junto con tres interacciones de dos factores (AB, AC Y BC) y una interacción de tres factores (ABC).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso de recuperación de metales (Me^{n+}) de descargas líquidas para los enjuagues de cobre y cinc en los diferentes procesos galvánicos, se realizó con muestras de aguas de enjuague, cuantificando las siguientes variables del proceso: voltaje, amperaje, incremento de masas de los electrodos de prueba y tiempo de depósito, con $n = 2$ réplicas.

Los ensayos realizados fueron:

a) Recuperación de metales en soluciones estándares

- Preparar soluciones de concentración conocida al X% P/P de cobre y cinc, éstas no deben tener ningún tipo de interferentes o impurezas para que no afecten al proceso.
- Dejar reposar un día.
- Cortar y medir la distancia de los electrodos tanto cátodos como ánodos (distancia en el que los electrodos se sumergen en la solución, la misma debe ser aproximadamente 1/3 del electrodo total).
- Para el caso del cinc, se debe retirar el recubrimiento de cobre de los electrodos de grafito.
- Armar la celda.
- Conectar un voltímetro al rectificador y del rectificador con ayuda de las pinzas de batería, al amperímetro (en paralelo) y en serie a los ánodos y cátodos.
- Comprobar que las conexiones estén bien realizadas con la ayuda de un multímetro (se mide la conductividad en cada uno de los puntos).
- Medir la temperatura y pH de las soluciones.
- Tomar una muestra inicial de la solución.
- Encender el rectificador, regular el voltaje y to-

mar el tiempo con la ayuda de un cronómetro.

- Leer lo que marca el amperímetro. La medida tanto de voltaje como amperaje deben mantenerse constantes durante el proceso de recuperación.
- Después de un tiempo determinado apagar el rectificador y al mismo tiempo retirar el cátodo de la celda.
- Enjuagar de forma muy suave con agua destilada y dejar secar.
- Pesar el cátodo (masa final).
- Tomar la muestra final de la solución.

b) Recuperación de metales en aguas de enjuague para el cobre

- Preparar una solución al 1%P/P del baño de cobre ácido procedente de los baños electrolíticos.
- Una vez analizadas las condiciones óptimas de proceso, repetir el literal a.

c) Recuperación de metales en aguas de enjuague para el cinc

- Tomar muestras de aguas de enjuague procedentes de los baños electrolíticos.
- Medir pH, temperatura y densidad de la solución.
- Preconcentrar el agua residual utilizando el sistema de ósmosis inversa, obteniéndose dos corrientes: la primera agua de baja conductividad que retorna al proceso y la segunda solución de alta concentración de iones (metales a recuperar). El proceso de concentración se realiza varias veces hasta obtener la concentración deseada del baño a recuperar.
- Analizar la solución concentrada.
- Una vez analizadas las condiciones óptimas de proceso, se procede a repetir el literal a.

4. RESULTADOS

Tabla 1. Variables para la recuperación de metales cobre y cinc

Metal a recuperar	Concentración, %P/P	Voltaje, V	Relación área anódica/catódica
Cobre	1	2,5	2:1
Cinc	1	4	2:1

Tabla 2. Concentración de agua de enjuague de cobre y cinc

Metal que contiene la solución	Concentración inicial, mg/L	Masa inicial de la solución, g	Rendimiento del proceso, %
Cobre	1.902,92	4,8	96
Cinc	2.000,82	5,0	76

5. DISCUSIÓN

- Las variables determinantes para la recuperación de cobre y cinc simultáneamente son la concentración y el voltaje, ya que son variables que estadísticamente tienen un menor error en su tratamiento, lo que se evidenció al momento de realizar la recuperación a nivel de laboratorio.
- La experimentación permite recuperar metal electrolítico y obtener solución de baja conductividad, pH neutro.
- Para la recuperación del cobre se utilizó una solución preparada de concentración definida; en el caso del cinc se realizó la pre concentración de la muestra y la recuperación electrolítica del metal, obteniendo rendimientos según la tabla 2 del 96% y 76% respectivamente.

- En la recuperación de cobre se utilizaron los principios electroquímicos y las leyes de Faraday, para determinar la cantidad de masa depositada.
- Ambientalmente la recuperación de metales reduce la concentración de los metales de las aguas de enjuague de los procesos electroquímicos producidos en la industria galvánica, reduciendo el impacto ambiental.

6. CONCLUSIONES

- De acuerdo a la tabla 1 se concluye que las condiciones apropiadas para recuperar cobre son: concentración 1%P/P, voltaje: 2,5 V y relación de área anódica/catódica de 2:1.
- Los parámetros condicionales adecuados para recuperar cinc son: concentración 1%P/P,

voltaje: 2.5 V y relación de área anódica/catódica de 2:1.

- El rendimiento del proceso para la recuperación del cobre es de 96% mientras que para el cinc fue del 76%.
- La recuperación de metales a partir de las aguas de enjuague de cinc y cobre es un proceso que contribuye con la reducción del impacto ambiental, generando producción limpia, porque trata el problema de contaminación en la fuente.

BIBLIOGRAFÍA

- AMMEN, C. W. *Recovery and Refining of Precious Metals*. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1984. 328 p.
- ARUNDEL, John. *Tratamiento de aguas negras y efluentes industriales*. Edición en lengua española. Zaragoza: Editorial Acribia S.A., 2000. 337 p.
- GLAYMAN, J.; FARKAS, G. *Galvanotecnia. Técnicas y Procedimientos*. Valencia: Editores Asociados, 1980. 383 p.
- SCHINITMAN, N. *Metales pesados, ambiente y salud* [en línea]. España, 2004. [Fecha de consulta: 25 de septiembre de 2010]. Disponible en: http://www.ecoportel.net/Temas_Especiales/Contaminacion/Metales_Pesados_Ambiente_y_Salud.
- WILEY JOHN & SON. *Modern Electroplating*. Third Edition. New York: Edited by Lowenheim, 1974. 130 p.