

Diseño y construcción de un reactor electrolítico multielectródico para laboratorio

Design and construction of an electrolytic multi electrode reactor for laboratory

Vladimir Arias A.*, Daniel Lovera D.*, Iván García G.**

Recibido: 31/01/2011

Aprobado: 12/03/2011

RESUMEN

La construcción de un reactor electrolítico para uso en laboratorio con la posibilidad de variar el número de electrodos y simultáneamente el volumen del electrolito y su aplicación a una gama de procesos de electrosíntesis, han determinado la elección de un modelo paralelepípedo de cara rectangular, de manera que se pueda determinar las variables operativas al abordar un proceso específico.

En el diseño se tuvo en cuenta la respuesta a las exigencia de trabajo, siendo ellas la simplicidad operativa, la fiabilidad en el mantenimiento y la versatilidad para adecuarse fácilmente a diversos procesos, teniendo en cuenta los costos de producción. Por ello la elección de la celda modular tipo filtro prensa permitirá aumentar el número de electrodos y la capacidad en cuanto se precise, sin alterar las dimensiones de la misma.

Palabras clave: reactor electrolítico, celda electroquímica, diseño de celda, electrosíntesis

ABSTRACT

The construction of an electrolytic reactor for its use in a laboratory with the possibility of varying the number of electrodes, simultaneously the volume capacity of the electrolytic, and its application to a gamma of electrosynthesis process, has determined the election of a rectangular model, so in this way it can be defined the operative variables when addressing a specific process. The job requirements were taken into account during the design, which were the operational simplicity, the maintenance reliability, and the faculty to fit easily taking into account all the involved costs. Therefore, the election of a filter press type modular cell will allow increasing the number of electrodes and the capacity as it is required, without changing its dimensions.

Keywords: electrolytic reactor, electrochemical cell, cell design, electrosynthesis

* Docentes de la EAP de Ingeniería Metalúrgica - UNMSM. E-mail: variasa@unmsm.edu.pe, dloverad@unmsm.edu.pe

** Estudiante de Ingeniería Metalúrgica - UNMSM. E-mail: ir_garcia21@hotmail.com

I. INTRODUCCIÓN

El reactor electrolítico constituye el instrumento fundamental de todos los procesos industriales de electro síntesis, por ello el adecuado diseño y la interpretación de cada una de las variables del equipo constituyen razones fundamentales de su estudio.

Una de ellas es la elección del material adecuado para la construcción, teniendo en cuenta que cada proceso exige el desarrollo de una celda específica, que generalmente no es posible por el costo de fabricación sin tener en cuenta el costo de producción y la retribución económica que pueda generar. Dado la diversidad de uso en la actualidad se puede pensar en la construcción de celdas polivalentes y de fácil adaptabilidad a diversos requerimientos y a diversas escalas de producción industrial.

Los procesos electroquímicos son usados en una variedad de condiciones y un amplio rango de sistemas, lo que determina la imposibilidad de formular las pautas precisas para el diseño de la celda. Sin embargo, los problemas de difusión iónica son funciones de la concentración, del tiempo y del espacio, y esta representada por la siguiente ecuación:

$$C = f(x,t) \quad (1)$$

quedan establecidos en una ecuación linealizada por Poisson Boltzmann:

$$\frac{1}{r^2} = \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{d\psi}{dr} \right) = \aleph^2 \Psi r \quad (2)$$

Siendo \aleph la constante que agrupa a varios aspectos fundamentales de la difusión de iones presentes en un medio electrolítico e Ψr el potencial electrostático dentro del volumen predeterminado.

La aplicación de la Transformada de Laplace (J. Bockris y A. Reddy, 1979) se da mediante la conversión a una ecuación diferencia total a partir de la segunda ley de Fick:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (3)$$

y la aplicación de condiciones de frontera, se obtiene:

$$p\bar{c} - c[t=0] = D \frac{d^2 \bar{c}}{dr^2} \quad (4)$$

II. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE UNA CELDA

Los principales criterios abordados para la selección y diseño de una celda electroquímica que pueda responder las exigencias de trabajo a nivel de laboratorio y también a nivel industrial son la simplicidad operativa a costos reducidos, la fiabilidad de mantenimiento y funcionamiento relacionados al espacio y

al tiempo, la versatilidad para adecuarse a diferentes procesos de electrosíntesis considerando la capacidad y eficiencia de proceso (J. Chaussard, 1990). Por ello las celdas modulares tipo filtro prensa son útiles porque permiten aumentar la capacidad en cuanto se precise, sin necesidad de alterar las dimensiones de la celda. Nuestro diseño contempla cubículos móviles para modificar el volumen de electrolito. Finalmente, es de considerar los costes de fabricación y mantenimiento, atendiendo la versatilidad deseada.

III. PARÁMETROS DE DISEÑO

Teniendo en cuenta la versatilidad de uso, se considera la construcción de una celda tipo tanque por su aparente simplicidad en el diseño y construcción, la cual consta de electrodos verticales con variación en su forma y área catódica y anódica previendo la distribución de corriente y potencia uniforme, facilitando la transferencia de materia automática y mediante generadores de movimiento (Ochoa, 1996).

3.1. Geometría de la celda y de electrodos

Las celdas multifuncionales son del tipo filtro prensa que permite la velocidad lineal del electrolito en su interior, considerando que a mayor velocidad lineal es mayor el coeficiente de transferencia de materia (Chlanda, 1991). Para una sección transversal determinada, la velocidad lineal es función directa del caudal de flujo. La distribución de flujos de entrada y salida, así como los promotores de turbulencia entre los electrodos permitirá generar vórtices en el electrolito para mejorar el coeficiente de transferencia de materia.

La geometría de los electrodos importa para obtener la relación de área electródica y volumen de electrolito en el interior de la celda. Teniéndose preferencia por las celdas de flujo con placas paralelas, con la salvedad de la influencia de las características de material que requiere cada proceso. En el uso de electrodos bidimensionales se consigue disminuyendo la distancia entre ellos. Otra alternativa se da en el uso de electrodos tridimensionales con alta relación de área electródica y volumen de electrolito, tan solo con el inconveniente de la heterogeneidad de la distribución de corriente (Ochoa, 1996; Twidwell, 1989).

3.2. Transferencia de materia

Los mecanismos de transporte de materia pueden ocurrir: por migración, debido a la existencia del campo eléctrico; por difusión, debido a la diferencia de concentraciones entre la disolución y la interface electrodo disolución; y por convección, a consecuencia de la aplicación de una fuerza mecánica externa. Esta fuerza gobierna el proceso de transferencia de

materia, ya sea por convección libre o por convección forzada. La convección libre es consecuencia de la velocidad del fluido, que resulta de variaciones en su densidad causadas por diferencias de concentración. La convección forzada, que resulta de la agitación de la disolución electrolítica.

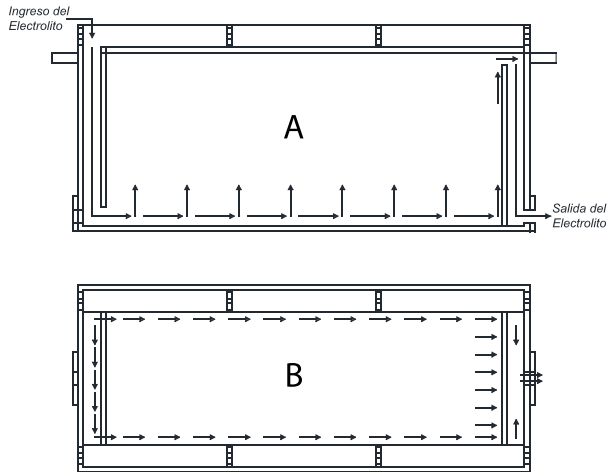


Figura N.º 1. Distribución de flujo. A) Vista lateral, flujo horizontal y ascendente. B) Vista superior

En la mayoría de las celdas comerciales del tipo filtro prensa con placas paralelas el electrolito se recircula a través de una bomba para facilitar la transferencia electrolítica de forma uniforme, sin embargo se producen zonas muertas que alteran la composición del electrolito, ello incide negativamente en la eficacia del proceso. La distribución del flujo hidráulico puede realizarse de dos modos: en paralelo o en serie y externa o interna; en relación a la disposición de los electrodos. Predominando la distribución interna por las ventajas de proceso a nivel industrial (Pagliero, 1989).

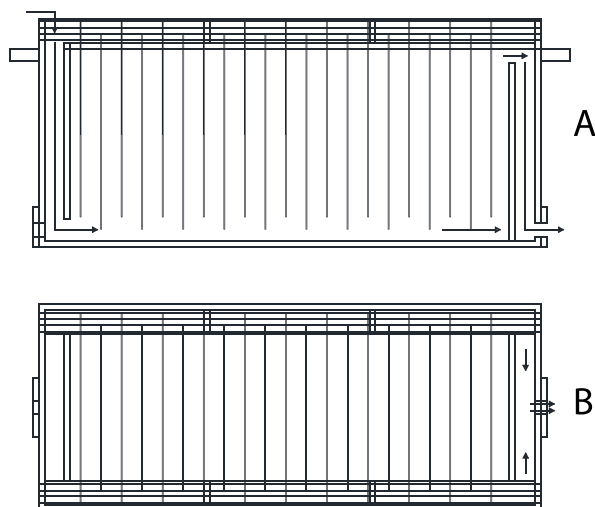


Figura N.º 2. Distribución de electrodos. A) Vista lateral, flujo interno y ascendente. B) Vista superior. Flujo horizontal.

3.3. Diseño de los electrodos

Bajo la consideración que la eficiencia de proceso está en función de la uniformidad en la transferencia de materia en cada punto del electrodo y siendo el transporte de materia el proceso controlante, se debe garantizar la uniformidad en la distribución de corriente y la densidad en cada una de las subáreas. Para el proceso de electrodeposición del cobre, por razones operativas, se diseñó electrodos rectangulares donde predomina la superficie plana continua con 98.8% de área.

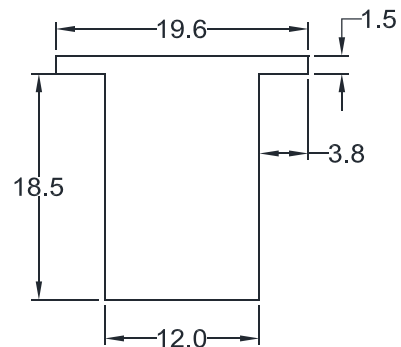


Figura N.º 3. Dimesiones del electrodo

3.4. Tipo de conexión eléctrica

En la conexión monopolar ambas caras de cada electrodo tienen la misma polaridad, por lo que es preciso un contacto eléctrico externo con cada electrodo. Este tipo de conexión no presenta mayor complejidad siendo casi nula la pérdida de corriente y requiere rectificadores de bajo voltaje y alta intensidad; teniéndose el inconveniente de distribución uniforme de corriente y potencial entre los electrodos.

El análisis de la distribución de corriente y potencial en celdas con electrodos paralelos de longitud infinita depende del gradiente de potencial entre los electrodos, de la conductividad del electrolito, la cinética de transferencia electrónica (polarización de activación) y de la polarización por concentración.

La determinación de la eficiencia de corriente y la selectividad en la obtención del producto de calidad, amerita la evaluación de las variables de proceso y los parámetros de diseño de la celda electrolítica.

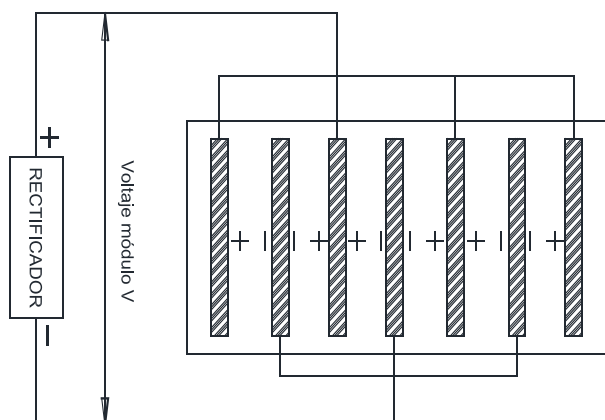


Figura N° 4. Conexiones eléctricas en celda multielectródica monopolar (conexión en paralelo).

IV. CONFECCIÓN DE PLANOS

De las consideraciones expresadas y de rigurosidad en la elaboración de los planos, se optó por la selección de los materiales con las especificaciones de funcionamiento en un proceso.

4.1. Selección de materiales

Teniendo en cuenta que en los procesos de electro-síntesis, generalmente se emplean disolventes de alta reactividad y ello genera cambios térmicos que facilitan la movilidad iónica y por ende la síntesis del proceso; la necesidad de uso de materiales adecuados, teniendo en cuenta estos factores y especialmente por el costo; se eligió el uso de acrílico transparente y sus aditivos de elaboración.

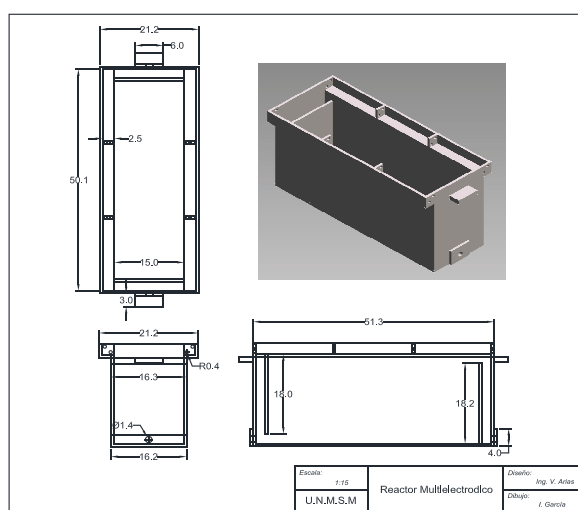


Figura N.º 5. Vistas de diseño del reactor electrolítico

4.2. Especificaciones de equipo

Tipo de tanque: Celda multielectródica rectangular

Dimensiones : 240 x 120 x 180 mm

Capacidad máxima : 12 litros

Capacidad mínima : 3 litros

N.º de electrodos : 9 ánodos y 8 cátodos

Dimensión de electrodos : 110 x 150 mm

Flujo de solución : constante

Tiempo de residencia : 10 – 18 minutos

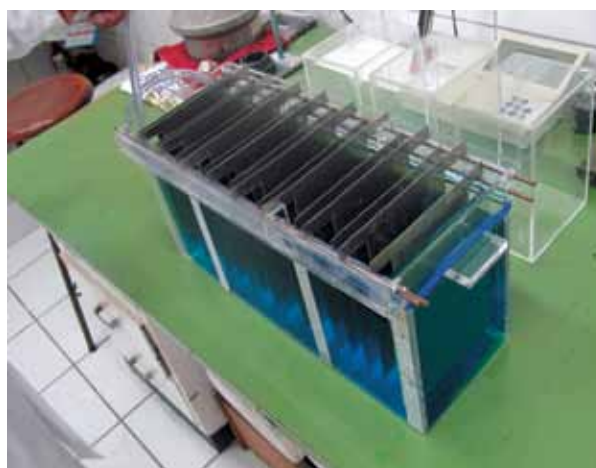


Figura N.º 6. Celda multielectródica de laboratorio.

Dadas las circunstancias de proceso, se evaluarán: Capacidad de producción, número de cátodos y costo operativo (productividad).

4.3. Determinaciones volumétricas

Para la variabilidad de la capacidad volumétrica se usó cubículos (tres cubos) que permitieron disminuir el volumen de solución electrolítica progresivamente de 12 a 9 a 6 y a 3 litros con una variación media de 1.0, 0.8, 0.6 y 0.3 litros, respectivamente. La variación del volumen conlleva a la disminución del número de electrodos, lo cual se puede observar en la Tabla N.º 1.

Tabla N.º 1. Volúmenes y variación de la celda electrolítica.

N.º cubos	Ánodo/ cátodo	Capacidad, Lt.	DVariación, Lt.
0	9/8	12	1.0
1	6/5	9	0.8
2	4/3	6	0.6
3	2/1	3	0.4

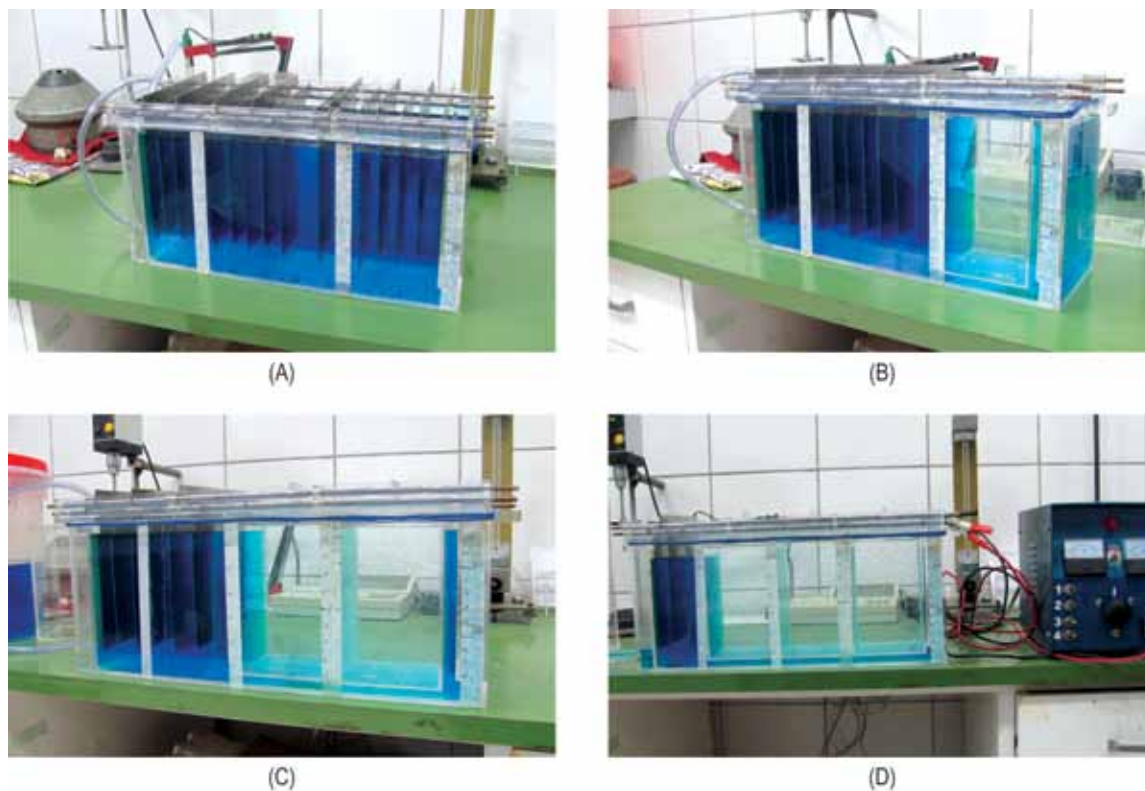


Figura N.º 7. Determinación de la capacidad de la celda luego de sumergir los cubos. (A) Volumen total 12 lts. (B) Volumen 9 lts. con un cubo. (C) Volumen de 6 lts. con 2 cubos. (D) Volumen de 3 lts. con 3 cubos.

4.4. Ensayos preliminares

Usando la celda multielectrónica se empezó a tratar solución de lixiviación de minerales de cobre. La electrodeposición obtenida se puede apreciar en las Figuras N.º 8, 9 y 10.



Figura N.º 8. Puesta en operación y ensayo de electrodeposición de cobre a partir de una solución de lixiviación.



Figura N.º 9. Identificación de variables de proceso



Figura N.º 10. Obtención del electrodo anódico cubierto de cobre.

V. CONCLUSIONES

En la celda electroquímica construida para las pruebas de laboratorio, se observó **simplicidad** operativa, **fiabilidad** de mantenimiento y **versatilidad** para diversas aplicaciones de electrosíntesis.

Los resultados del proceso de electrodeposición a partir de soluciones ricas en cobre, mostraron la operatividad y la electrosíntesis deseada.

El diseño rectangular con cubículos móviles permite la adaptación a varios volúmenes de solución electrolítica, según la necesidad del proceso.

Para determinar la selectividad en la obtención de un producto y por ende la eficiencia del proceso es necesario efectuar una evaluación rigurosa de cada una de las variables teniendo en cuenta el diseño de celda.

VI. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al Vicerrectorado de Investigación (a través de Consejo Superior de Investigación), al grupo de docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Metalúrgica y a

los estudiantes, quienes viabilizaron la ejecución del Proyecto de Investigación N.º 101601051

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. F. Chlanda (1991). Electrolytic treatment of aqueous solutions containing aminoacid. US Patent 5.049.250
2. J. Bockris y A. Reddy (1979). Electroquímica Moderna. Vol. 1 y Vol. 2. Editorial Reverte, España.
3. J. Chaussard (1990). Electrosynthesis from lab. to pilot, to production. The Electrosynthesis Company. P.O. BOX 430, East Amherst, New York, 14051.
4. José R. Ochoa G. (1996). Electrosíntesis y Electrodiálisis, Fundamentos y aplicaciones tecnológicas. Ed. Mc Graw-Hill, Madrid, 340 pp.
5. L. G. Twidwell (1989). Electrometallurgy Unit processes in Extractive Metallurgy National Science Foundation
6. Pagliero (1989). Electroquímica para metalurgia. Universidad de Concepción. Curso Panamericano de Metalurgia.