

SISTEMA DE CAPTURA Y PROCESADO DIGITAL DE LA DISTRIBUCIÓN DEL POTENCIAL ELÉCTRICO EN EL ESTUDIO DE LA ELIMINACION ELECTROKINÉTICA EN DOS DIMENSIONES

AQUISITION AND DIGITAL PROCESSING FOR THE ELECTRIC POTENTIAL STUDY IN THE ELECTROKINETIC REMOVAL IN TWO DIMENSIONS

Horacio Munguía A.¹, Rigoberto Franco M.¹, Virgilio Rubio N.², Manuel Pérez T.².
hmunguia@correo.fisica.uson.mx / rfrancom@correo.fisica.uson.mx / virgil@iq.uson.mx / mperez@iq.uson.mx

Recibido: junio 01, 2009 / Aceptado: diciembre 08, 2009 / Publicado: diciembre 17, 2009

RESUMEN. Se describe el diseño y montaje del sistema de adquisición y procesamiento digital del potencial eléctrico medido durante un experimento de eliminación electrocinética de cobre en un arreglo bidimensional a nivel laboratorio. El sistema consta de una celda triangular de acrílico transparente conteniendo arena sílica y una solución de sulfato cúprico simulando un suelo contaminado con cobre. Un ánodo y dos cátodos de grafito electrolítico se insertaron en el medio poroso y se aplicó una diferencia de potencial entre los electrodos con el fin de promover el movimiento de los iones cobre hacia los cátodos. Para registrar la evolución del proceso de eliminación electrocinética como función del tiempo, 53 electrodos pasivos fueron distribuidos uniformemente en la celda. Un sistema de adquisición de datos desarrollado exprofeso permitió la lectura de los potenciales eléctricos en los electrodos pasivos. Los datos fueron almacenados en una computadora y procesados mediante un algoritmo computacional con el fin de eliminar señales espurias y permitir la interpretación adecuada de los datos experimentales.

PALABRAS CLAVE: sulfato de cobre, contaminación de suelo, migración de iones de cobre.

ABSTRACT. The assembly and associated instrumentation for a laboratory experiment to evaluate the technique of electrokinetic removal of copper in two dimensions is described. It consists of a triangular cell containing a copper sulphate solution embedded in silica sand simulating a contaminated soil. In order to register the evolution process in the electrokinetic removal of copper throughout this cell, three active electrodes –one anode and two graphite cathodes- and 53 passive platinum electrodes were evenly distributed. A voltage is applied between the anode and cathodes which are located at the vertices of the cell. A specific data acquisition system was built in order to capture the readings of the potential at each electrode periodically. The information is captured on a computer with a program and an interface designed for this purpose. The data were saved and processed with an algorithm which would let us have a proper interpretation.

KEYWORDS: copper sulphate, soil contamination, migration of copper ions.

Introducción

La restauración de suelos contaminados es un tema de relevancia en los ámbitos industrial, social y legislativo a nivel mundial. Con el fin de prevenir efectos nocivos a la salud humana o al medio ambiente, se han propuesto varios métodos de restauración de suelos tales como: inmovilización, degradación, atenuación, reducción de volatilización, y extracción [1]. Una modificación de esta última categoría es el proceso de eliminación electrocinética, el cual ha recibido una atención considerable debido a su potencial para reducir los contaminantes a niveles seguros y a bajo costo.

La técnica de eliminación electrocinética consiste en saturar primeramente el suelo con agua, a fin de promover la disolución de los contaminantes del suelo en forma de iones acuosos. Típicamente, los contaminantes metálicos forman iones con carga positiva o cationes. Enseguida se colocan en el suelo

¹ Departamento de Física, Universidad de Sonora, Hermosillo, Son. México 83000

- www.uson.mx

² Departamento de Ing. Química y Metalurgia, Universidad de Sonora, Hermosillo. México 83000



electrodos de acuerdo a un arreglo geométrico predeterminado y se hace pasar corriente directa a dichos electrodos. El campo eléctrico provoca que los cationes en la solución acuosa se desplacen a los electrodos negativos o cátodos, favoreciendo de este modo la concentración de los contaminantes en una región reducida del suelo. En una variación de esta técnica, agua de lavado es introducida constantemente en los pozos de los ánodos. La solución conteniendo los cationes de los metales contaminantes fluye a través del suelo y sale por los pozos de los cátodos a un flujo constante, eliminándose los contaminantes.

La eliminación electrocinética es una tecnología actualmente en desarrollo. Hasta la fecha no se han esclarecido los fenómenos relevantes que se presentan durante su operación, por lo que existe la necesidad de comprender su comportamiento desde un punto de vista fundamental. En la literatura se han reportado estudios sobre eliminación electrocinética desde el punto de vista teórico [2-4] y experimental [5, 6]. Por simplicidad, la mayoría de dichos estudios se han restringido a sistemas unidimensionales los cuales presentan poca similitud con un campo contaminado en el cual la distribución de contaminantes ocurre en dos y tres dimensiones.

Durante un experimento de eliminación electrocinética es necesario medir a intervalos regulares el potencial eléctrico en el medio poroso bajo estudio. La magnitud local del voltaje está directamente relacionado con la rapidez de movimiento de los iones a través de la matriz del suelo, y consecuentemente con la eficiencia de eliminación de los contaminantes [2, 3].

En este trabajo se presenta un sistema experimental novedoso para el estudio en dos dimensiones del proceso de eliminación electrocinética a nivel laboratorio. De especial relevancia es el sistema de captura y el posterior procesamiento numérico de la distribución del voltaje registrada durante un experimento típico. El sistema se aplica a la eliminación de cobre de un medio poroso constituido por partículas de sílica gel en presencia de una solución acuosa sintética de sulfato de cobre.

Sistema Experimental y Captura de Datos

La [figura 1](#) muestra la geometría de la celda experimental bidimensional. Esta consiste de un triángulo equilátero de 78.8 cm de lado con las esquinas redondeadas y construida en acrílico transparente. El medio poroso es de sílica gel con un tamaño promedio de 0.8468 mm de diámetro y una densidad aparente de 500 kg/m³. El medio poroso fue saturado con una solución acuosa sintética de 100ppm de Cu total. Tres electrodos activos de grafito operando como un ánodo y dos cátodos se colocaron en las cercanías de las esquinas de la celda y separados entre sí por una distancia de 54 cm. Distribuidos uniformemente en el medio poroso se colocaron 57 electrodos pasivos de acero inoxidable.

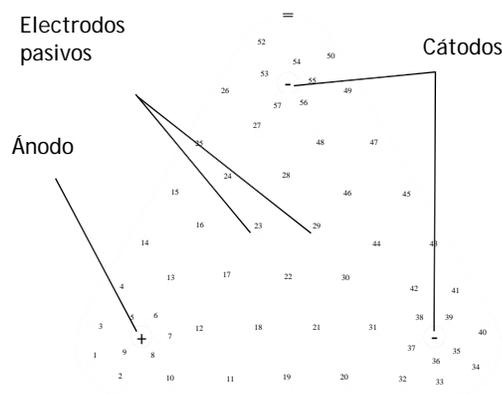


Figura 1. Esquema de la distribución de los electrodos en la celda experimental.

Los electrodos pasivos se localizan en cada uno de los puntos de muestreo, donde se mide el pH y la concentración de cobre total en mg/L de la solución (Figura 2).

Los electrodos activos, mostrados en la figura 3, están colocados dentro de un cilindro de acrílico con agujeros en su periferia (pozo del electrodo) y envueltos en papel filtro. Esto permite que el electrodo tenga contacto con la solución acuosa a la vez que se mantienen aislados del medio poroso. Los electrodos están conectados a la fuente de voltaje mediante un cable de cobre metálico. La fuente de voltaje es regulada y ajustable en el intervalo de 0-50 V con capacidad de hasta 2 A.

Para este sistema se diseñó, construyó y calibró el equipo electrónico para adquirir los datos del potencial eléctrico en cada uno de los electrodos pasivos. Asimismo, para la captura de los potenciales de la celda en una PC se desarrolló con un programa en VB 6 que permite controlar el experimento. El sistema de captura se muestra esquemáticamente en la Figura 4.

Cada uno de los cables de los electrodos pasivos se conecta en su otro extremo a un relevador electromecánico tipo SPST ubicados en el módulo de relevadores. En este módulo los electrodos son seleccionados secuencialmente para su lectura mediante la activación de su correspondiente relevador por un multicanalizador que es a su vez manejado por la unidad de control.



Figura 2. Muestreo de solución acuosa en la celda experimental para cuantificación de pH y concentración de Cu total.



Figura 3. Detalle del pozo del electrodo activo

La señal del electrodo seleccionado es atenuada a la salida del banco de relevadores por un factor que depende del voltaje aplicado a la celda. De aquí la señal se aplica a un amplificador que sirve esencialmente como acoplador de impedancia para la entrada del convertidor A/D de la unidad de control.

La unidad de control se implementa con un circuito microcontrolador PIC16F876 [7] que lleva a cabo tres funciones:

1. Digitaliza la señal proveniente del amplificador con el convertidor A/D que dispone internamente.
2. Maneja el circuito multicanalizador para la selección ordenada de la lectura de los diversos electrodos pasivos.
3. Establece la comunicación con la computadora para el almacenamiento de la información de las lecturas efectuadas y para la determinación de los parámetros del experimento tales como la velocidad de muestreo en la celda y la cantidad de muestras a tomar.

En el proceso de la lectura de datos el módulo multicanalizador se encarga de seleccionar una de las 53 líneas de los electrodos pasivos mediante la activación de su correspondiente relevador del banco según se lo vaya indicando el microcontrolador a través de las líneas de control con la cual se conecta. Este módulo incluye cuatro circuitos decodificadores TTL de 4 a 16 líneas (74154) que son la interfase entre los relevadores y el microcontrolador.

La interacción del usuario con el experimento se lleva a cabo en una PC tal como se aprecia en la [Figura 5](#). El programa desarrollado proporciona una interfaz al usuario que le permite establecer y monitorear los siguientes parámetros: número total de muestras a tomar, período del muestreo y momento de inicio del experimento. Cada muestra se compone de un registro con las 57 lecturas de cada electrodo pasivo más la lectura del voltaje de la fuente, el cual se mantiene constante durante el experimento. Estas lecturas se realizan cada segundo por lo que un registro total se lee en menos de un minuto. Durante el experimento la computadora muestra los datos recogidos y el número de la muestra en curso. Al final, la PC almacena la información para su posterior procesamiento.

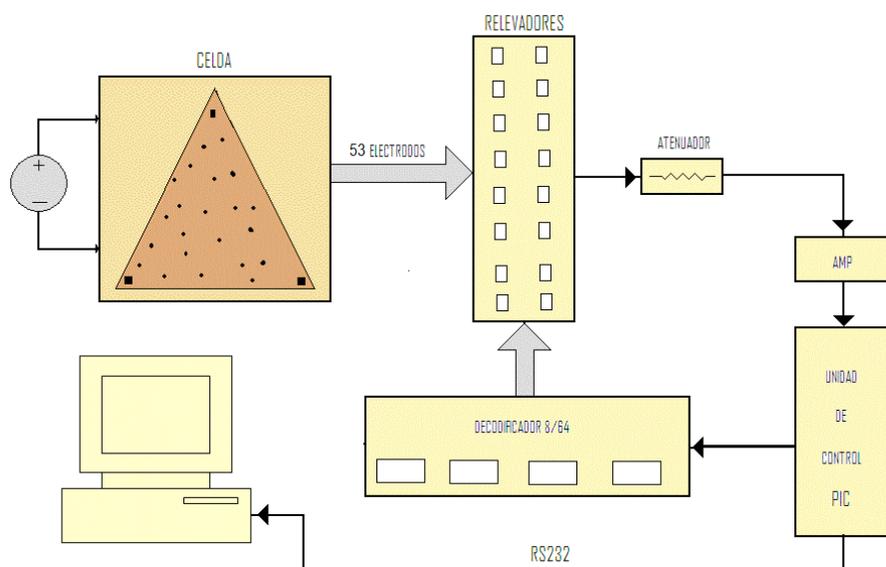


Figura 4. Esquema a bloques del arreglo experimental



Figura 5. Sistema experimental completo: celda experimental, instrumentación electrónica y equipo de cómputo.

Procesamiento y Visualización de los Datos

Se realizó un experimento para evaluar el correcto funcionamiento del sistema. Posteriormente los datos de los potenciales fueron procesados numéricamente para interpolar los valores correspondientes a cualquier posición del medio poroso en la celda.

El experimento típico que enseguida se muestra tuvo una duración de 72 horas. En este período se hicieron 73 lecturas de datos de voltaje cada hora. La primera lectura se realizó al inicio del experimento, es decir a tiempo cero. En la [figura 6](#) se muestran los valores del voltaje sin procesar a tiempo cero visualizados con el software Tecplot 360 [8]. Debido a que las paredes de la celda así como las fronteras de los electrodos son eléctricamente neutras, los valores de voltaje en los puntos que coinciden con las paredes deben tener un valor de cero. En la [Figura 6](#) se observa sin embargo la presencia de valores espurios en los puntos cercanos a las paredes de la celda experimental. El uso de esta información puede llevar a conclusiones erróneas sobre el comportamiento de los fenómenos observados, por lo cual se requiere de un procesamiento numérico previo a los datos originales.

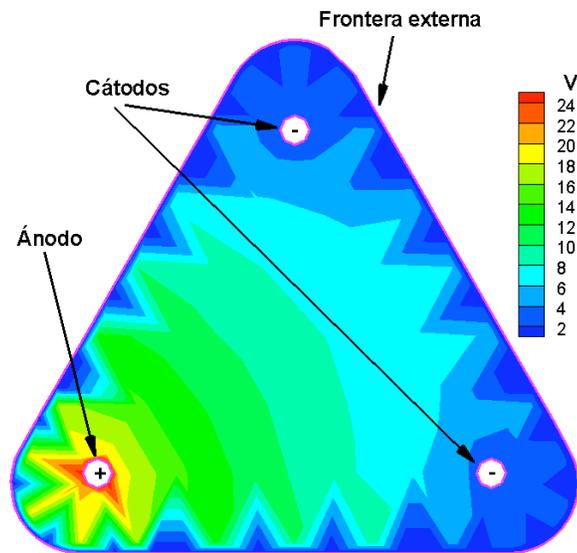


Figura 6. Distribución espacial del voltaje en el medio poroso a partir de una diferencia de potencial de 25 volts entre un ánodo y dos cátodos.

Con este propósito se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

- (1) Los datos originales fueron transferidos al software Surfer [9].
- (2) Dentro de Surfer se generó una malla cuadrada de 300 nodos por lado tal que la resolución de la frontera externa de la celda y los electrodos fueran lo más parecidos al sistema físico.
- (3) Se desarrolló un programa en lenguaje Fortran para eliminar los datos de la malla computacional fuera de la frontera externa de la celda, así como aquellos dentro de los electrodos,
- (4) A partir de los datos originales filtrados, se llevó a cabo la interpolación en dos dimensiones en la malla computacional, utilizando polinomios de Lagrange
- (5) los datos procesados se visualizaron nuevamente con el software Tecplot 360 para verificar la eficiencia del proceso de filtrado.

En las Figuras 7a-7d se muestran los resultados del procesamiento de datos para la distribución del voltaje para valores de tiempo de 0, 24, 48 y 72 h. En todos los casos los valores espurios de voltaje han sido eliminados, por lo cual es posible apreciar los detalles de la evolución del potencial como resultado del proceso de eliminación electrocinética.

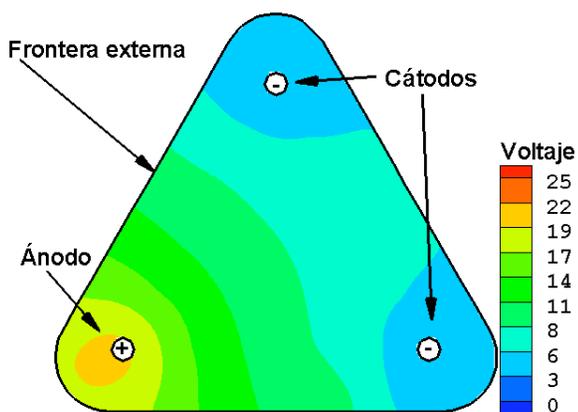


Figura 7a. Distribución del voltaje en el medio poroso a tiempo de 0 horas

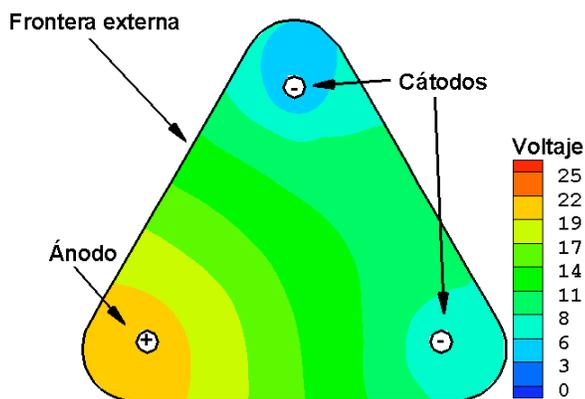


Figura 7b. Distribución del voltaje en el medio poroso a tiempo de 24 horas

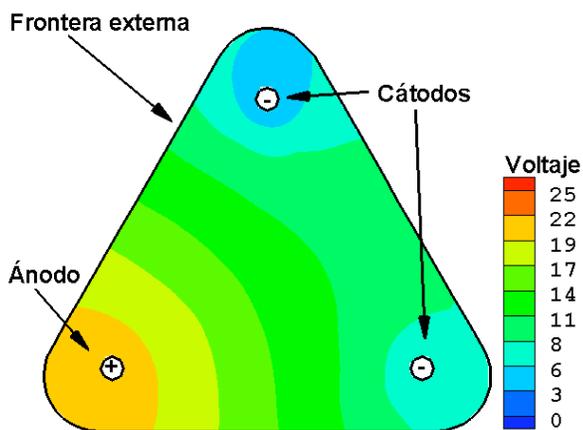


Figura 7c. Distribución del voltaje en el medio poroso a tiempo de 48 horas

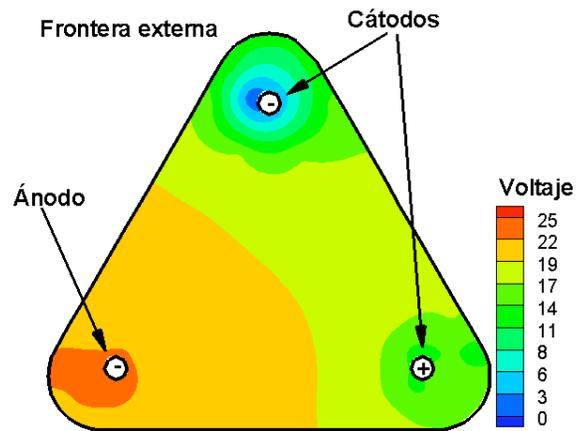


Figura 7d. Distribución del voltaje en el medio poroso a tiempo de 72 horas.

Conclusiones

1. Se dispone de una celda apropiada para evaluar la eliminación electrocinética en dos dimensiones.
2. La instrumentación electrónica desarrollada para el sistema es económica y versátil en cuanto a la adquisición de los datos.
3. Se realizó el proceso de interpolación de los datos experimentales de potencial eléctrico en dos dimensiones.
4. Se discriminaron aquellos valores de potencial eléctrico localizados por fuera de la frontera externa del dominio computacional que representa la forma de la celda.

REFERENCIAS

- [1] Sims, R. (1986). *Contaminated Surface Soils In-place Treatment Techniques*. Noyes Publications. Berkshire, UK
- [2] Shapiro, A. P., P. C. Renaud, et al. (1989). *Preliminary Studies on the Removal of Chemical Species from Saturated Porous-Media by Electroosmosis*. *Physicochemical Hydrodynamics* **11**(5-6): 785-802
- [3] Alshawabkeh, A. N. and Y. B. Acar (1996). *Electrokinetic remediation: Theoretical model*. *Journal of Geotechnical Engineering Asce*. **122**(3): 186-196
- [4] Rubio, V. Tesis de Maestría, (2004). *Modelación Matemática del Proceso de Remoción Electrocinética de Especies Contaminantes en Suelos*. Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia, Universidad de Sonora. Hermosillo, Son. México: 111.
- [5] Acar, Y., B., Akram, N. Alshawabkeh, Robert, J. Gale (1993). *Fundamentals of extracting species from soils by electrokinetics*. *Waste management* **13**: 141-151.
- [6] Probstein, R. F. and R. E. Hicks (1993). *Removal of Contaminants from Soils by Electric Fields*. *Science* **260**(5107): 498-503
- [7] Microchip Technology. <<http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en010239>>
- [8] Tecplot 360. <<http://www.tecplot.com/products/360/>>
- [9] Surfer < <http://www.hearne.com.au/products/surfer/>>