



---

**REMOVAL OF TPH FROM A CONTAMINATED INDUSTRIAL SOIL:  
ELECTROKINETIC- BIOREMEDIATION APPROACH**

**C. E. Soto-Álvarez**, A. Martínez-Prado, J. Pinto-Espinoza, T. Moorillón Piedra,  
J. Unzueta Medina and C. F. Cruz-Fierro

**ABSTRACT**

This research was conducted to remediate soil contaminated with hydrocarbons combining electrokinetic remediation and bioremediation. Preliminary batch tests (by triplicate) were conducted to evaluate the ability of native microorganisms to utilize total petroleum hydrocarbons (TPH), present in the contaminated soil, as a carbon and electron donor source. Experiments were performed in the presence or absence of oxygen, as electron acceptor, and results showed a greater % removal of TPH under aerobic conditions.

A 3-compartment lab acrylic prototype (35 x 25 x 15 cm.) was designed and constructed to treat an actual industrial contaminated soil. Operation conditions for the electrokinetic process were determined previously by Mota Bolivar and they were: flow = 8 mL/min and voltage = 12.5 Volts. A sample of 3 Kg of soil was loaded in the cell between two stainless steel electrodes (anode and cathode) and a mineral salts solution was used, as nutrient source, in order to stimulate growth of native microorganisms. Effluent was recirculated through the 170 hours experiment. Experiments were run by triplicate and TPH removal was  $86.66 \pm 3.51$  %. Kinetic growth-curve of microorganisms was carried-out to evaluate its population increase and behavior versus voltage applied as well. Results showed that concentration of microorganisms went up to  $6.13 \times 10^{13}$  UFC/mL. Parameters such pH, conductivity, and total dissolved solid (TDS) were measured and showed the same pattern in all replicates. Conductivity and TDS values were  $11,763 \pm 1134.51$   $\mu$ S/cm and  $8,463 \pm 769.48$  mg/L, respectively: and as a result anode was oxidized because of the high salts concentration of the effluent.

**INTRODUCCIÓN**

Las actividades mineras provocan generalmente fuertes impactos ambientales ya que han producido durante años una gran cantidad de contaminantes, ocasionando el deterioro de suelos así como la contaminación de aguas superficiales y subterráneas. Siendo Durango un estado con gran importancia minera ha venido enfrentando el riesgo de sufrir una profunda alteración ambiental [Moreno *et al.*, 2001] por el inadecuado manejo y disposición de productos de hidrocarburos. El objetivo de este estudio es implementar un proceso óptimo para regenerar un suelo contaminado con hidrocarburos totales de petróleo (TPH) combinando las técnicas de remediación electrocinética y biorremediación [Bedair, 1992].

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la remediación del suelo contaminado con hidrocarburos se construyó celda electrocinética con dimensiones: 35 cm de largo, 25 cm de alto y 15 cm de ancho, como se muestra en la Figura 1.

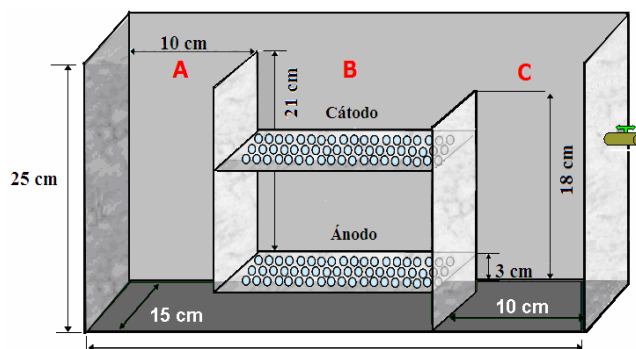


Figura 1. Celda de electrorremediación

El material con el que se construyó, fue acrílico de un espesor de 1/8 de pulgada material muy conveniente al no ser conductor de la electricidad y transparente, observándose el desarrollo del experimento.

### ➤ *Funcionamiento de la celda:*

En la sección A se agregó la Solución Medio Mineral, a un flujo constante de 8 mL/min. En la sección B se instalaron 2 placas de acero inoxidable (ánodo y cátodo) y entre estas se colocó el suelo a remediar (1.5 Kg).

El medio mineral pasó a través del suelo en dirección ascendente, estimulando los microorganismos y arrastrando el contaminante del suelo. La solución de medio mineral pasaba a la sección C, la cual tenía un agitador para mantener siempre una solución homogénea. A la salida de la celda se contaba con un tanque de almacenamiento de capacidad de



Figura 2. Corrida experimental



2 L y en el cual se mantuvo homogenizado el efluente, mismo que era recirculado a la sección A de la celda electrocinética, a través de una bomba con un flujo constante de 8 mL/min.

➤ *Biorremediación a nivel Batch:*

Se efectuaron pruebas con reactores batch por triplicado (100 mL de SMM + 50 g de suelo) con el mismo suelo que se empleó en la electro-biorremediación. Se agitaron a 150 rpm y una temperatura similar que prevaleció en el laboratorio.

➤ *Medición de Parámetros:*

Se midieron parámetros de pH (Potencial Hidrógeno), OPR (Potencial Oxido Reducción), Temperatura, CE (Conductividad Eléctrica), SDT (Sólidos Disueltos Totales), Pzetta (Potencial zetta) y UFC (Unidades formadoras de colonias) por recuento en placa. Para la determinación de TPH, en las muestras acuosas y sólidas, se empleó la técnica TNRCC Method 1005 [TNRCC, 2001] y el análisis se realizó en un cromatógrafo de gases Agilent modelo 6890.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Se realizaron tres corridas bajo las condiciones óptimas de operación obtenidas en el proceso de electrocinética [Mota Bolívar, 2005], a un flujo constante de 8 mL/min, Voltaje de 8 Volts y un tiempo promedio de 170 horas, con sus respectivos pruebas batch. Los resultados del proceso de Electro-biorremediación se graficaron con los controles con el fin de encontrar diferencias en los procesos de Electro-biorremediación y Biorremediación.

Los parámetros pH, conductividad y SDT demostraron la misma tendencia en todas las réplicas. El Pzetta y OPR tuvieron valores diferentes y no mostraron tener la misma tendencia. La conductividad y los SDT obtuvieron un promedio máximo de 11,763  $\mu\text{S/cm}$  (1134.51) y 8.463 mg/l (769.48), respectivamente. Las UFC obtuvieron un valor promedio máximo de  $6.13 \times 10^{13}$  UFC/mL. Los resultados de las pruebas de degradación de TPH se muestran en la Tabla 1, observándose un mayor % de remoción en Electro-biorremediación.



**Tabla 1.** Remoción (%) de los hidrocarburos

Corridas	Reactor Batch	Electrobiorremediación
1	73%	83%
2	78%	90%
3	81%	87%
Promedio ± Stdev	77.33 % ± 4.041	86.66 % ± 3.511

## BIBLIOGRAFÍA

- Bedair F, Diezel E, Lirette P, and Pauquette G. (1992). Comparative study of five polycyclic aromatic hydrocarbon degrading bacterial strains isolated from contaminated soils. *Can. J. Microbiol.* 43 (4): 368-77.
- Moreno C., González Becerra A. y Blanco M. J. (2001). Contaminación por hidrocarburos, aplicaciones de hongos en tratamientos de biorrecuperación.; Ciemat y 2cib-csic, Madrid, España.
- Mota Bolívar P. A. (2006). Electroremediación de suelo contaminado con hidrocarburos desechados por la industria minera. Tesis de Maestría. Departamento de Ingeniería Química. Instituto Tecnológico de Durango

## AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue financiado por el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Durango (COCyTED), proyecto con clave DGO-2006-CO1-44107, la industria minera Luismin S. A. de C. V. y el Instituto Tecnológico de Durango.