
ELECTROREMEDIATION: A NOVEL TECHNOLOGY FOR THE REMEDIATION OF CONTAMINATED SOILS

J. Unzueta Medina, C. E. Soto Álvarez, M. A. Martínez Prado, J. Pinto Espinoza, C. F. Cruz Fierro, & F. S. Hernández Rodarte
Instituto Tecnológico de Durango

ABSTRACT

Electrokinetic remediation, known as well as Electroremediation (ER), is a novel technology used lately in the treatment of contaminated soil. This technology takes advantage of soil conductivity for removing organic and inorganic contaminants, involving several mechanisms such as electroosmosis, electromigration, and diffusion. As a brief description, in this process considers a direct electric current passes through the soil, between electrodes (anode and cathode) distributed properly. Along the treatment, it is necessary to evaluate parameters as redox potential, pH, electric conductivity, zeta potential, and electric field gradient, in order to understand what takes place and to optimize the process. With migration conditions in the soil, the immediate result is a local change in the solution, while acidity at the anode increases with time, and so it does alkalinity at the cathode. Zeta potential is the dispersing force present between the particles in a colloid, and it is negative in most soils, since there is usually a negative charge at the surface, causing an electroosmotic flow, generally towards the anode. Larger negative redox potentials in the solution indicate larger tendency to donate electrons. Conductivity indicates that positive and negative ions are capable of electric energy transport when an electric field is applied. Results of the actual electroremediation process conducted in this research demonstrated removal of total petroleum hydrocarbons present in a contaminated soil.

INTRODUCCIÓN

La Electrorremediación es una tecnología en desarrollo que aprovecha las propiedades conductivas del suelo y tiene como objetivo separar y extraer contaminantes orgánicos (hidrocarburos) e inorgánicos (metales) de suelos, lodos y sedimentos, con el uso de un campo eléctrico que permite remover las especies cargadas (iones). La Electrorremediación implica la aplicación al suelo contaminado de una corriente directa de bajo voltaje o un gradiente de potencial bajo a través de un electrodo positivo (ánodo) y uno negativo (cátodo) para separar el contaminante (Volke y Sepúlveda, 2003).

En el estado de Durango existen varias zonas mineras donde se produce contaminación del suelo por el derrame de combustibles, aceites y lubricantes hacia el suelo de forma accidental o por deterioro de las maquinarias y vehículos propios de esta industria provocando un serio problema de contaminación. Es por ello que se deben tomar acciones para descontaminar este suelo de acuerdo con la NOM-138-SEMARNAT-2003 (referida a límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelo).



Una solución viable se encuentra presente en la Electrorremediación en la cual mediante la aplicación de una corriente eléctrica se crea un campo eléctrico entre los dos electrodos, en donde las sustancias altamente solubles se orientan similarmente a las moléculas de agua y tienden a emigrar hacia uno de los dos electrodos de acuerdo a las cargas, polaridad y movilidad de los contaminantes, provocando la descontaminación del suelo. La migración de estos compuestos depende principalmente del efecto del campo eléctrico para remover especies químicas cargadas por medio de varios mecanismos de transporte como son la electromigración (transporte de iones), electroósmosis (transporte del agua de solvatación de iones) y la difusión (distribución homogénea de las partículas en una solución) además de la electroforesis (arrastre mecánico de coloides y microorganismos) (Page & Page, 2002).

Durante le Electrorremediación es de suma importancia también tomar en cuenta los efectos de la electrólisis (absorción, las reacciones de precipitación presentes, etc.), los del pH, potencial zeta, y principalmente los efectos de la química propia del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este proyecto se construyó una celda experimental de acrílico delgado. Tiene tres compartimientos interiores permitiendo que el flujo de agua atravesase la celda con el suelo por medio de orificios con un acomodo triangular. Los Compartimientos laterales contienen los electrodos (placas perforadas cuadrangulares de acero inoxidable) y el compartimiento central es donde se coloca el suelo a tratar. Para asegurarse de mantener el suelo en su lugar permitiendo el paso del agua a través de él se colocó malla plástica delgada. Al final de la celda se instaló un vertedero de lámina metálica delgada para desalojar la solución de la celda.

En la celda (Figura 1) se coloca el suelo contaminado en el compartimiento central; se acomodan los electrodos en su posición, se pone la malla plástica para evitar que el suelo salga por los orificios y por último se llenan con agua destilada los compartimientos laterales de la celda (para permitir que el agua se distribuya uniformemente en la celda) hasta un nivel determinado, esto se hace de una manera cuidadosa para evitar que el suelo se agite y se disemine por toda la celda. Una vez que lo anterior esta hecho los electrodos se conectan a la fuente de poder de corriente directa DC ajustada para proporcionar 12 volts de salida. Finalmente Se comienza a suministrar agua destilada a la celda utilizando una bomba peristáltica calibrada a flujo de 8 ml/min en el compartimiento de la izquierda (tomando en cuenta que el flujo recorre la celda de izquierda a derecha).

El experimento duró 224 horas se tomaron un total de 18 muestras una cada 12 horas aproximadamente. A cada muestra se le analizó el pH, el Potencial Óxido Reducción (POR), Conductividad Eléctrica (CE), el Potencial Zeta y cantidad la cantidad de TPH's (por sus siglas en inglés *Total Petroleum Hydrocarbons*) presentes utilizando la técnica TNRCC 2005 (TNRCC 2001) además a la celda se le midió el gradiente eléctrico existente a lo largo de ella, todo esto se hizo utilizando

equipo de campo adecuado para cada parámetro. Al suelo contaminado y el suelo lavado fueron caracterizados para compararlos y ver la mejora que se dio además de obtener el porcentaje de remoción del contaminante.

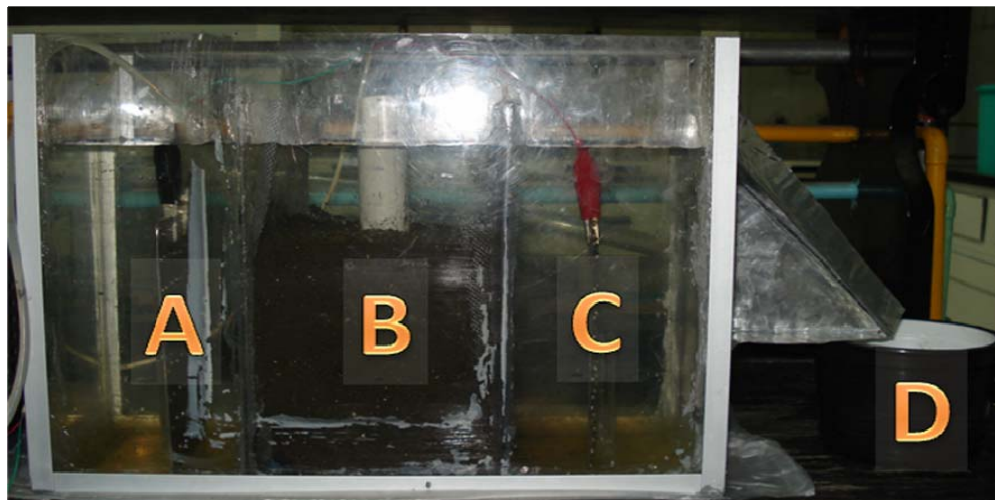


Figura 1. Celda de Electrorremediación: A) Entrada de la solución. B) Deposito del suelo. C) Solución removiendo el contaminante del suelo y D) Efluente de salida de la celda.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El suelo contaminado pertenece a los talleres de mantenimiento de una mina localizada en el municipio de Tayoltita Durango, tiene un color oscuro y olor penetrante.

Al inicio y al final del experimento se caracterizó al suelo para hacer una comparación de los resultados (Tabla 1) y efectuar el balance de masa de los hidrocarburos en el suelo y en la solución. Al final se registró un porcentaje de remoción de los TPH's del suelo con lo que se sabe que se logró la eliminación de más del 67% del contaminante presente en él. La densidad del suelo inicial era de 1.3986 g/ml y la del suelo tratado 1.2071 g/ml además de que los parámetros del suelo mejoraron; sin embargo el uso de únicamente agua destilada no garantiza una remoción máxima de los hidrocarburos, por tal razón es necesario utilizar surfactantes biodegradables (como es el Ecoterra BS1) para incrementarla.

Para el gradiente eléctrico se midió la resistencia existente a lo largo de la celda (entre el ánodo y cátodo). Los datos de la resistencia (de hasta 42.7 k Ω) a lo largo del proceso muestran que se incrementa conforme hay más presencia del contaminante en la solución disminuyendo por tal razón la intensidad de la corriente eléctrica que pasa a través de la celda (que tiene un valor muy pequeño) asegurando que el suelo no sufra ninguna alteración.



Tabla 1. Caracterización del suelo

Propiedad	Contaminado	Lavado
Densidad (g/cm ³)	1.3986	1.2071
pH	7.29	6.95
ORP (milivolts)	-16	-6
Conductividad eléctrica (μS/cm)	1018	718
Potencial Zeta (milivolts)	-15.89	-29.18

Los datos obtenidos del pH indican que en el compartimiento A presenta los valores más altos, mientras que en el compartimiento C los más bajos. En el A, y D se presentó un compartimiento similar. En B (donde está depositado el suelo) los valores fueron prácticamente constantes.

Los valores de POR tienen una tendencia casi igual a los del pH solo que en sentido opuesto ya que estos parámetros son inversamente proporcionales.

Analizando el comportamiento de la Conductividad Eléctrica en la celda se observa que los valores permanecen constantes en toda la solución (siendo prácticamente iguales el de entrada A y el de salida D), sin embargo en el espacio donde está el suelo es apreciable como existe valores mayores de CE y a la vez tienen un comportamiento que no es constante, esto se debe a las características y los cambios que sufre el suelo a lo largo del experimento.

En lo que se refiere a los valores del Potencial Zeta se mantuvieron prácticamente constantes con una ligera tendencia a incrementarse a lo largo de toda la celda. Los valores medidos en cada compartimiento tienen una desviación estándar no mayor al 6%. Aunque los valores de Potencial Zeta se incrementan ligeramente en el experimento se pueden considerar como constantes para toda la celda, lo que nos indica que el potencial zeta solo mide la carga de los coloides dándonos una idea si la solución es catiónica o aniónica.

CONCLUSIONES

El proceso de Electroremediación resulta lento pero muy eficaz, sin embargo la cantidad de agua destilada utilizada es bastante en comparación con la cantidad de suelo tratado, por lo tanto es necesario implementar un sistema de recirculación de la solución, utilizar surfactantes biodegradables así como utilizar técnicas de biorremediación a fin de minimizar gastos y optimizar la eficacia del proceso.

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.



BIBLIOGRAFÍA

- Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SS-2003, límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación.
- Page M. Mary & Page L. Christopher. 2002. Electroremediation of Contaminated Soils. Journal of Environmental Engineering, pp. 208-219.
- TNRCC Method 1005 Total Petroleum Hydrocarbons, Texas Natural Resource Conservation Commission, June 1, 2001
<http://www.tceq.state.tx.us/assets/public/remediation/trrp/method1006.pdf>
- Volke Sepúlveda Tania L. & Velasco Trejo Juan Antonio. 2003. Biodegradación de Hidrocarburos del Petróleo en Suelos Intemperizados Mediante Composteo.