

# REMEDIACIÓN ELECTROKINÉTICA DEL AIRE DE LOS TÚNELES DE LA CIUDAD DE GUANAJUATO

Olmos Gómez, Julio César (1), Puy Y Alquiza, María Jesús (2), Carreño Aguilera, Gilberto (3)

1 [Colegio del Nivel Medio Superior, Universidad de Guanajuato] | [jc.olmosgomez@ugto.mx]

2 [Departamento de Ingenierías en Minas, Metalurgia Y Geología, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | [yosune.puy155@gmail.com]

3 [Departamento de Ingeniería Geomática e Hidráulica, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | [gca@ugto.mx]

## Resumen

Se diseñó y construyó un prototipo de purificador de aire para la precipitación de partículas suspendidas en la atmósfera del túnel "La Galereña" de la Ciudad de Guanajuato. El prototipo consiste en generar un campo eléctrico que provoque la precipitación de partículas, por medio de placas de acero y cobre. Dicho prototipo fue instalado en la intersección del túnel "La Galereña" y el túnel "San Diego", a 2 metros del suelo en las paredes de conglomerado. Este prototipo fue retirado 17 días después de su instalación y fue llevado a su limpieza, para poder analizar los metales contenidos en él, por medio de una difracción de rayos X para determinar las fases mineralógicas y microscopía de barrido electrónico a las partículas obtenidas en dicho purificador para determinar la concentración en porcentaje de elementos.

## Abstract

A prototype air purifier was designed and built for the precipitation of particles suspended in the atmosphere of the "La Galereña" tunnel of the City of Guanajuato. The prototype consists of generating an electric field that causes precipitation of particles, by means of plates of steel and copper. This prototype was installed at the intersection of the "La Galereña" tunnel and the "San Diego" tunnel, 2 meters above the ground in the conglomerate walls. This prototype was removed 17 days after its installation and was taken to its cleaning, to be able to analyze the metals contained in it, by means of an X-ray diffraction to determine mineralogical phases and scanning electron microscopy to determine the percentual concentration of elements.

## Palabras Clave

Celda electrocinética; Precipitación de metales pesados; Purificación de aire; Remediación electrocinética del aire; Precipitador de partículas atmosféricas

## INTRODUCCIÓN

Desde el 25 de septiembre 1979, con la inauguración de los primeros túneles en la ciudad de Guanajuato, “La Galereña” (IMAGEN 1) y “El minero” y la existencia de la subterránea la población de la ciudad ha podido transportarse de manera rápida, siendo los túneles una excelente alternativa para el tránsito de vehículos y personas.

El principal problema que tienen estos túneles es su falta de flujo de aire limpio y de su cuidado ya que estos no cuentan con ningún tipo de ventilación al exterior, solamente las entradas y salidas de estos. Provocando una atmósfera sucia y espesa, llena de gases, los cuales contienen compuestos emitidos por los vehículos y que las personas respiran cada vez que pasan por ellos.



IMAGEN 1: Túnel “La Galereña”

“Siete mil personas caminan diariamente por los túneles de la ciudad de Guanajuato (cerca del 4% de la población total), siendo el túnel de Santa Fé el más transitado, con un total de 288 personas por hora que lo caminan diariamente” [1]. “En

cuanto al número de vehículos que transitan por los túneles es de 25,000 por día” [2], es por esto que la limpieza de estos túneles es necesaria, ya que se han encontrado concentraciones de metales pesados, como, Pb, Cu, Cr, Ni, V, Co, Zn, Sb, y la presencia de hidrocarburos por el tránsito vehicular, por lo que la elaboración de un método para descontaminar estos túneles, sin la necesidad de provocar problemas a las viviendas, era inmediata [3].

A raíz de esta inconformidad con las limitantes del terreno, se ideó la alternativa de la remediación con celdas electrocinéticas, la cual se presenta como una eficiente e ingeniosa alternativa para la purificación de la atmósfera en los túneles de Guanajuato

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la elaboración de este prototipo se utilizaron 5 placas de cobre de un área de 42.64060 cm<sup>2</sup> y 4 de acero inoxidable de 46.96460 cm<sup>2</sup>, ambas con un grosor 3 mm, 9 placas de acrílico de área despreciable y grosor de 4 mm, ya que su objetivo es soportar las demás placas y crear una separación entre ellas, dos ventiladores o abanicos para crear un flujo de aire constante, cables para las conexiones de los ventiladores y de la celda a la corriente eléctrica, un transformador Flyback, un autotransformador (Variac), una caja de madera en donde colocar el transformador Flyback, una canasta que sirviera como depósito de todo el sistema, dos varillas para unir a todo el prototipo y una más pequeña para unir las celdas (de cobre y acero) y provocar un tránsito de corriente entre ellas, una caja de plástico sellado para colocar las celdas y los abanicos, cinta aislante, tuercas, multímetros para poder medir el voltaje (voltios) y la Intensidad de Corriente (amperes).

El armado de este prototipo (IMAGEN 2) fue relativamente sencillo, ya que se tuvieron problemas en el diseño, pero una vez resueltos, se decidió colocar una placa de cobre, en seguida una de acrílico y después una de acero, dejando un espacio entre placas, para que así, el aire se moviese adecuadamente, cada lámina de cobre y acero tienen una pequeña abertura en un costado

de sus caras, alternando sus direcciones, para que así se pudieran precipitar los contaminantes, todo fue unido por medio de dos varillas de igual tamaño; también se utilizó una varilla de menor tamaño para unir solamente las placas de metal para así crear un flujo de energía eléctrica entre ellas, este se depositó en una caja sellada, de manera vertical, teniendo dos ventiladores, uno en la parte superior y otro en la inferior; el primero expulsaba el aire del exterior y el otro lo absorbía, creando así un flujo de aire; se conectó la varilla que unía las placas metálicas al transformador Flyback y éste, al autotransformador (Variac) para poder controlar la corriente eléctrica, y al final a la toma de luz del túnel.



**IMAGEN 2: Prototipo de purificador de aire por celdas electrocinéticas**

Cuando se aplica una corriente eléctrica continua no intensa a las placas de cobre y acero, en una atmósfera contaminada, se provoca una precipitación de los metales pesados contaminantes en los electrodos, en donde se concentran, para después ser extraídas y tratadas, esto nos da la oportunidad de estudiar el ambiente contaminado y remediarlo sólo con electricidad, con esta hipótesis y el prototipo listo, decidimos colocarlo en la intersección del túnel “La Galereña” y el túnel “San Diego”, esto con el propósito de captar la mayor cantidad de partículas posibles, ya que un mayor tránsito vehicular supone una mayor emisión de contaminantes. Con la ayuda de los trabajadores de la Comisión Federal de

Electricidad (CFE) del municipio de Guanajuato, fuimos capaces de colocar nuestro prototipo, ya que necesitábamos una línea directa a la corriente eléctrica y material para su segura colocación. Al ser colocado, se midió una corriente  $i=0.13$  A (amperes), con una densidad de corriente en las placas de cobre  $j=3.8109 \times 10^{-4}$  A/cm<sup>2</sup> y con una densidad de corriente del acero  $j=3.4600 \times 10^{-4}$  A/cm<sup>2</sup>, lamentablemente no pudimos cuantificar el voltaje de la celda, por lo cual no fue posible calcular los kWh consumidos (IMAGEN 3).

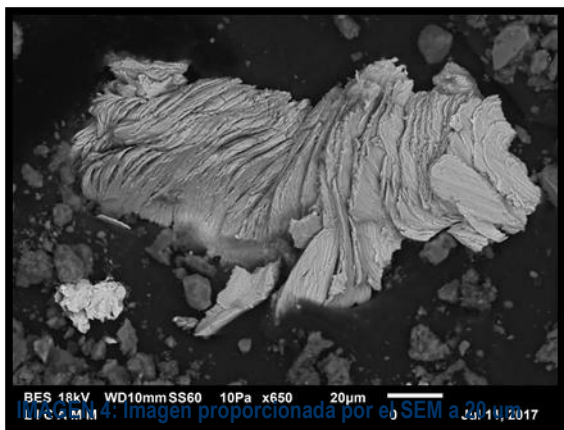


**IMAGEN 3: Diagrama de las celdas de cobre (arriba) y de acero (abajo)**

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al finalizar el periodo de prueba de nuestro prototipo (17 días), procedimos a hacer las pruebas pertinentes, se utilizó la difracción de Rayos X (DRX), y al Microscopio Óptico de Barrido (SEM, por sus siglas en inglés), en el laboratorio LICAMM, ubicado en la División de Minas, Metalurgia y Geología (IMAGEN 4) (Tabla 1). Se eligieron tres muestras de los precipitados en la

caja, una de las placas de cobre, una de las de acero y una del interior de la caja. Según la afinidad electrónica del cobre y del acero, para atraer con diferente fuerza materiales, se esperaba la presencia diferentes elementos, pero al finalizar estas pruebas, encontramos la presencia de elementos como litio (Li), berilio (Be), fósforo (P), titanio (Ti), cromo (Cr), níquel (Ni), cobre (Cu), plomo (Pb), hierro (Fe), manganeso (Mn), azufre (S), aluminio (Al), silicio (Si), oxígeno (O), magnesio (Mg), carbono (C), y, aunque en cantidades pequeñas uranio (U). Encontramos óxidos, como el dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) y el Trióxido de Azufre (SO<sub>3</sub>). También cabe señalar la presencia del Nitrógeno, el cual nos muestra la presencia de Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>). De la misma manera se encontró la presencia de partículas de hidrocarburos y hollín, el cual cubre el túnel.



Estos resultados son preocupantes, ya que cada día miles de personas transitan estos túneles y las emisiones de estos compuestos no cesan, ya que miles de vehículos (aproximadamente el triple que de personas) transitan estos túneles, emitiendo al ambiente gases contaminantes y hollín, este último formado por partículas sólidas, residuos de la combustión, siendo el causante de la precipitación de elementos como el carbono y los metales pesados en el túnel, formando además capas mayores a 1 cm de grosor.

El 90% de los elementos mencionados, son el resultado de la emisión de gases de la combustión (comunicación oral). “El tipo y la cantidad de contaminantes a la salida del escape de un motor de combustión interna, depende de un número de factores, los cuales son: relación aire-combustible, tiempo de ignición, relación de compresión, geometría de la cámara de combustión, velocidad del motor y tipo de combustible” [4], el resto de contaminantes es producido por las ruedas y su fricción con el suelo.

Con estos resultados, podemos saber los causantes de estas emisiones, los vehículos, los cuales no utilizan catalizadores o que se vean en la necesidad de usar aditivos son los principales contaminantes, ya que sus emisiones son menos controladas, ya sea por la vejez del motor o la falta de tecnología en él. El problema es que los vehículos que transitan esta ciudad son en su mayoría viejos o son camiones públicos, camiones que utilizan gasóleo (diésel). Este combustible es más contaminante que la gasolina tradicional (comunicación oral).

## CONCLUSIONES

Al finalizar las pruebas y después de un análisis de los resultados determinamos el exitoso funcionamiento de nuestro prototipo de purificador de aire, ya que algunos de los metales encontrados en el aire fueron Li (94.1106 ppm), Cr (146.572085 ppm), Pb (135.8786 ppm), Zn (458.01335 ppm), Ba (367.0437 ppm). De esto decimos que el aire contiene partículas de metales pesados y estas son retenidas en la celda electrocinética. La precipitación de partículas pudo haber sido mayor, pues solamente se aplicó una corriente de  $i = 0.13 \text{ A}$  y una densidad de corriente de  $j = 3.8109 \times 10^{-4} \text{ A/cm}^2$  en las placas de cobre y  $j = 3.4600 \times 10^{-4} \text{ A/cm}^2$  en las de acero. Con esto decimos que es necesario hacer varias pruebas más, variando la densidad de corriente aplicada y el voltaje de celda, aumentándolo para obtener un mayor número de partículas removidas del aire. El costo de energía no pudo ser calculado ya que solo se midió la corriente en la celda y no se midió el voltaje aplicado entre las placas. Estos resultados nos indican que este prototipo puede

ser una alternativa para limpiar el aire de los túneles en la ciudad de Guanajuato.

**Tabla 1: Elementos captados por el SEM en la muestra 2 (IMAGEN 4) perteneciente a lo precipitado en las placas de cobre**

	Elementos de un fragmento de la muestra 2 por el SEM (en %)								
	Fe	O	Mg	Al	Si	Ca	Cu	Zn	Sn
1. 01	94.66	3.16	0.08	0.41	0.68	0.14		0.87	0.63
2. 02	0.84	1.53					97.00		
3. 03	97.86	1.76		0.16	0.22	0.14			
4. Promedio	64.45	2.15	0.88	0.28	0.45		97.00	0.87	0.63
5. Desviación estándar	55.12	0.88	0.00	0.18	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00

## AGRADECIMIENTOS

Quiero dar un agradecimiento a la Universidad de Guanajuato y a la Dirección de Apoyo a la Investigación y al Posgrado, por brindarme la posibilidad de participación en esta edición de los Veranos de la Investigación Científica, a la Doctora María Jesús Puy y Alquiza por darme la oportunidad de participar en este proyecto, a Jesús René Báez Espinosa y a Luis Alberto García por su importante apoyo en la construcción del prototipo, así como por su ayuda en el momento de manejar los sistemas eléctricos e igualmente a Cristina Daniela Moncada Aguilera por su ayuda como técnica de laboratorio y en la interpretación de los resultados. También quiero agradecer a mis padres, hermano y familia por su invaluable apoyo y confianza en mí.

## REFERENCIAS

- [1][2] Puy-Alquiza María Jesús, Miranda-Avilés Raúl, Zanor Gabriela Ana, Salazar-Hernández Ma. Mercedes, Ordaz-Zubia Velia Yolanda, 2017. Study of the Distribution of Heavy Metals in the Atmosphere of the Guanajuato City: Use of Saxicolous Lichen Species as Bioindicators. Ingeniería, Investigación y Tecnología, volumen XVIII, número 1, 111-126. ISSN 1405
- [3] Ferrer, A., Intoxicación por metales Metal poisoning 2003; 26 (Supl. 1): 141-153.
- [4] Carreño-Aguilera, G., García de la Cruz, J. (1991). Formación de contaminantes atmosféricos generados por la combustión de gasolinas combustibles y sus efectos tóxicos, Instituto Politécnico Nacional, Tesis profesional, México D.F.