

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

Espinoza Bonilla José Arturo (1), Puy y Alquiza María Jesús (2), Carreño Aguilera Gilberto (3)

1 [Licenciatura en Ingeniería en Geología, Universidad de Guanajuato] | [ja.espinozabonilla@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 espacios confinados como es el caso de los túneles de la ciudad de Guanajuato. Con la finalidad de atrapar partículas suspendidas en la atmósfera de dichos espacios. El prototipo consistió en generar un campo eléctrico directo que provoque la precipitación de partículas metálicas en placas de cobre y acero. Dicho purificador fue instalado a una altura de dos metros sobre la roca encajonante (Conglomerado Guanajuato) y situado en la parte media del túnel "La Galereña", en la intersección con el túnel "San Diego". Una vez instalado el purificador en dicho espacio, este fue retirado dos semanas después y llevado al laboratorio para la recuperación de las partículas acumuladas en las placas antes mencionadas. Se realizó la difracción de Rayos-X a las partículas precipitadas para determinar las fases mineralógicas presentes y el análisis de microscopía de barrido para determinar el porcentaje de concentración de elementos.

Abstract

We designed and built a prototype air purifier for confined spaces, such as the tunnels of the city of Guanajuato. In order to entrap particles suspended in the atmosphere of said spaces. The prototype consisted in generating a direct electric field that causes the precipitation of metallic particles in plates of copper and steel. Said purifier was installed at a height of two meters on the encasing rock (Guanajuato Conglomerate) and located in the middle part of the "La Galereña" tunnel, at the intersection with the "San Diego" tunnel. Once the purifier was installed in the space, it was removed two weeks later and taken to the laboratory for the recovery of the accumulated particles in the aforementioned plates. X-ray diffraction was performed on the precipitated particles to determine the mineralogical phases present and the scanning microscopy analysis to determine the percentage of element concentration.

Palabras Clave

Celda Electrokinética; Precipitador Electroestático; Precipitación de Metales Pesados; Purificación de Aire; Remediación Electrokinética del Aire.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha comenzado a dar prioridad a temas de salud y cuidado ambiental, ya se ha hablado bastante sobre las emisiones de gases tóxicos emitidos por los motores de combustión interna, y los daños que estos representan a largo plazo para la salud de los seres vivos. Sumado a este problema, se incorpora otro factor de riesgo para los habitantes de la ciudad de Guanajuato; la larga red de túneles que recorren la ciudad. Durante análisis químicos realizados con anterioridad, se había logrado identificar ya una cantidad alta de partículas de metales pesados en la atmosfera de estos túneles.

Partículas de metales pesados como es el caso de “Pb, Cu, Cr, Ni, V, Co, Zn y Sb” [1] en la atmosfera de los túneles con mayor afluencia de peatones y vehículos, son las que se habían identificado hasta ahora, “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 Fe el más transcurrido con un total de 288 personas por hora, que lo caminan diariamente” [2], “En cuanto el número de vehículos que transitan por los túneles, es de veinticinco mil por día” [3], por lo que era de suma importancia implantar un sistema efectivo y viable de purificación, pues la inhalación constante de estos metales supone un riesgo de salud para los usuarios de dichos túneles.

Los metales pesados son sustancias propias de la naturaleza de peso molecular alto, muy difundidos y en ciertos casos muy útiles en la industria. Sin embargo, dejando a un lado sus aplicaciones tecnológicas e industriales, su presencia en la atmosfera en altas concentraciones supone una amenaza para el sistema respiratorio y nervioso central [4].

A partir del hallazgo de estos contaminantes en los túneles, nació la inquietud de la comunidad científica por crear una alternativa eficaz y económicamente accesible para la purificación de los mismos. Es así como se propone la limpieza de dichos túneles a partir de la colocación de una celda electrocinética capaz de entrapar y

precipitar las partículas nocivas suspendidas en su atmosfera.

Con la colocación del prototipo purificador se buscó comprobar que la remediación electrocinética supone una alternativa innovadora para la remoción de metales pesados presentes el aire de los túneles de Guanajuato.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales utilizados en la elaboración del prototipo fueron cinco placas de cobre (de 42.64cm² y 3mm de espesor cada una) y cuatro de acero inoxidable (de 46.96cm² y 3 mm de espesor cada una), nueve placas de acrílico para aislar las metálicas, un multímetro, un convertidor Flyback, un variador de corriente Variac, dos abanicos, dos varillas de 25 cm de longitud y 4 tuercas para ajustar y darle estabilidad a la celda y dos varillas de 15 cm de longitud que cumplen la función de transmitir la corriente entre las placas, cables para la conexión de los abanicos y la celda a la línea de luz, una caja de plástico con tapa que llevaría dentro a la celda y los abanicos instalados y finalmente una canasta de plástico en la que se introdujo todo el equipo para facilitar su instalación en el túnel, además de proporcionar protección al sistema. (IMAGEN 1).



IMAGEN 1: Laminas de cobre y multímetro utilizados en la construcción del prototipo.

Durante el ensamblaje de la celda se tuvo un pequeño fallo en la estructura de la misma, pues la configuración de las láminas impedía tener un flujo constante de aire, por lo que se modificó ligeramente la disposición de las láminas. Para el ensamblaje definitivo de la celda, se fue intercalando una lámina de acero y cobre por una de acrílico para aislar la corriente, además de alternar su dirección y así evitar corto, cada conjunto de placas fue atravesada por las varillas pequeñas y sujetadas mediante tuercas a cada placa individualmente para asegurar el flujo de corriente, hecho esto, se apretó y dio estabilidad a toda la celda mediante dos varillas y cuatro tuercas.

La celda ya terminada se colocó dentro de una caja plástica con tapa, en la que se instalaron los abanicos y el cableado que conecto la celda, los transformadores y los abanicos hacia la línea de luz del túnel (IMAGEN 2), la cual midió una corriente de $i=0.13$ A y densidad de corriente en las placas de acero de $j=3.46 \times 10^{-4}$ A/cm², y una densidad de corriente en las placas de cobre de $j=3.8109 \times 10^{-4}$ A/cm². El voltaje de la celda no fue posible medirlo, por lo que no se calcularon los kWh consumidos.

Como se mencionó anteriormente, la celda y los transformadores se introdujeron en una canastilla plástica para permitir su colocación en el túnel y su protección.

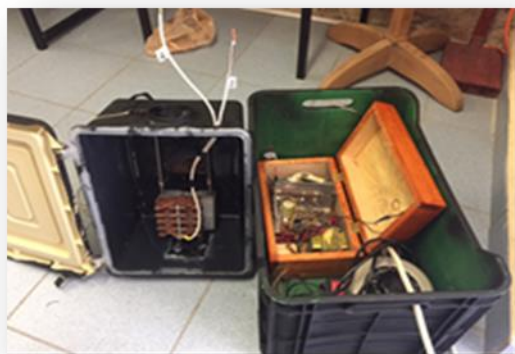


IMAGEN 2: Prototipo final del purificador, también se muestra la caja que contiene el convertidor y el variador de corriente.

El purificador fue instalado con ayuda del personal de municipio de la ciudad de Guanajuato, a una altura de dos metros sobre la roca encajonante (Conglomerado Guanajuato) y situado en la parte media del túnel “La Galereña”, en la intersección con el túnel “San Diego” (IMAGEN 3).

Para que el prototipo tuviera la posibilidad de capturar las partículas necesarias para comprobar su eficacia era necesaria su colocación por un periodo mínimo de dos semanas, pasado este tiempo sería posible retirarlo, el prototipo permaneció en el túnel un total de 17 días.

El principio que rige el funcionamiento de la celda es la electrocinética, ya que las partículas contaminantes son cargadas primeramente y después depositadas sobre el electrodo de polo de carga opuesto a ellas, pues la corriente que fluye a través de las placas, en conjunto con los abanicos que mueven el aire, logran atraer los metales pesados presentes en la atmosfera de los tunes y los haría precipitar electrostáticamente en ellas.

Para lograr tener un flujo de aire constante y abundante dentro de la purificadora se optó por colocar un abanico en cada extremo de la caja que contiene la celda y así facilitar la precipitación de material.



IMAGEN 3: Purificador instalado en el túnel “La Galereña”.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez retirado el purificador del túnel, se llevó al laboratorio de petrología, en donde se recuperó con espátulas el material acumulado dentro de la caja de plástico, así como en las láminas de metal, una vez clasificadas las muestras, se llevaron al LICAMM-UG para realizarles los estudios de difracción de Rayos-X y microscopia electrónica de barrido, y así determinar las fases mineralógicas y el porcentaje de elementos capturados. (IMAGEN 4)

Los análisis químicos se realizaron en tres partes: Al material precipitado dentro de la caja (muestra 1), al material precipitado en las láminas de cobre (muestra 2) y al material precipitado en las láminas de acero (muestra 3). Considerando la afinidad electrónica del cobre y el acero de atraer con mayor fuerza ciertos materiales, era de esperar que alguno tuviera mayor presencia de cierto elemento químico, sin embargo, los resultados de los estudios revelaron que las tres muestras contenían una alta concentración de los siguientes elementos: Ni, Cu, Pb, As, Sn, Zn, Fe, Cr, Mg, N, Mn, Ti, S, P, C, Al, Si, Ca, Na, Ba, O (Ver tabla 1); En la tabla 1 se muestran algunos de los elementos encontrados que resultan más tóxicos para el hombre; Óxidos se encontraron los siguientes: SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, Fe₂O₃, MnO, Na₂O, MgO, K₂O, CaO, P₂O₅, SO₃, finalmente se encontro una importante concentración de partículas de HO, NO_x y hollín de diésel.



IMAGEN 4: Recuperación de muestras de la caja y las láminas de acero.

El 90% de los elementos anteriormente mencionados son emitidos directamente por el escape del vehículo durante el proceso de combustión “El tipo y la cantidad de contaminantes a la salida del escape de un motor de combustión interna depende de un numero 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.” [5], y el restante correspondería al desgaste de los neumáticos por la fricción de estos con el pavimento. Pues los neumáticos incluyen en su composición química elementos como C, H, S, Cl, Fe, ZnO y SiO₂. Tomando en cuenta la implementación de catalizadores que por ley deben llevar ya todos los vehículos de gasolina de fabricación reciente, nos arrojaría como principales emisores de gases nocivos, a aquellos vehículos fabricados antes del año 2010, y que no han recibido servicio técnico regular y a aquellos motores que usan el diésel como combustible. Ya que además de los gases emitidos por todo motor de gasolina, los de diésel suman a su lista de emisiones el dióxido de Nitrógeno (NO₂), un gas toxico, irritante y precursor de la formación de partículas de nitrato, que en contacto con agua formara indudablemente ácido nítrico.

CONCLUSIONES

Al lograr recolectar una importante cantidad de material en el purificador, se pudo demostrar que la celda electrocinética, al precipitar partículas de metales pesados supone una alternativa eficaz y viable para la remediación del aire de los túneles de la ciudad de Guanajuato. Algunos de los elementos recolectados más representativos fueron el Ni, Cu, Pb, As, Sn y Zn, entre otros. Aunque se consiguió entrapar una cantidad importante de muestra, sería necesario mejorar ciertos elementos en la construcción de la celda, como la disposición y diseño de las placas metálicas para eficientizar el paso de aire a través del sistema, así como incrementar el paso de corriente usado durante el experimento ($i=0.13$ A, con valores de densidad de corriente para el acero y el cobre de $j=3.46 \times 10^{-4}$ A/cm² y $j= 3.8109 \times 10^{-4}$ A/cm² ,respectivamente), para así potenciar el campo electroestático de las mismas y obtener una mayor capacidad de precipitación.

ELEMENTOS EN PPM							
	Cr	Ni	Pb	Al	Ti	Mn	Zn
MUESTRA 1 - DENTRO DE LA CAJA	140	41,6	90,2	52300	3900	718	1350
MUESTRA 2 - COBRE	1,3	ND	ND	1530	11,2	34,6	33,7
MUESTRA 3 - ACERO	47,6	20	ND	2910	24	10,4	133
MUESTRA 4 - PLASTICO ACRILICO	21,4	7,26	ND	2900	68,5	17,3	97

Tabla 1: Algunos de los elementos tóxicos encontrados en los análisis químicos.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a la Dirección de apoyo a la Investigación y al Posgrado de la Universidad de Guanajuato, y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la oportunidad brindada para realizar el verano de investigación en el Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología. A Jesús René Báez Espinosa y Luis Alberto García por su apoyo durante el desarrollo del trabajo y a Cristina Daniela Moncada Aguilera por su apoyo en los análisis de las muestras en el laboratorio LICAMM-UG.

Finalmente, un enorme agradecimiento a mis papás, mis abuelos y hermano, de quienes recibí el apoyo incondicional para ser parte de este proyecto.

REFERENCIAS

[1][2][3] 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.

[4] Díaz-Barriga F. Metodología de identificación y evaluación de riesgo para la salud en sitios contaminados. OPS/CEPIS/PUB/99.34.

Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Organización Mundial de la Salud; 1999. 96 p.

[5] 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.