

Diseño de un filtro electrostático a escala piloto

Anderson Flórez R.

Diana Cabrera G.

William Ruano R.

Estudiantes del Programa de Ingeniería Ambiental

Universidad Mariana

Martin Moncayo

Juan Carlos Narváez

Docentes Facultad de Ingeniería

Universidad Mariana

Resumen

El precipitador electrostático es uno de los dispositivos que se emplea para disminuir la cantidad de material particulado (MP) mediante un campo eléctrico, que hace que las partículas en suspensión sean removidas fuera de la corriente de gas y sean recolectadas sobre las placas; Este estudio de caso se realizó con el fin de disminuir las concentraciones de partículas contaminantes del aire, a partir de una combustión de papel reciclado, beneficiando a los seres vivos, ya que se disminuye la densidad del humo, con esto se genera que desciendan las enfermedades respiratorias ya sean agudas o episodios asmáticos.

Por lo anterior, se planteó un diseño y construcción de un precipitador electrostático a escala piloto, para lo cual se empleó el equipo tubo Venturi como fuente emisora, el cual sirvió para simular la combustión en una típica caldera industrial. A partir de lo cual se obtuvo que el precipitador electrostático diseñado, fue capaz de reducir 98% de PM sobre la fuente emisora.

Palabras clave: campo eléctrico, diseño, disminución, enfermedades, equipo, material particulado, precipitador electrostático.

Introducción

La presencia de material particulado en el ambiente se ha convertido en una de las problemáticas ambientales de mayor atención en las ciudades modernas y es un indicador de deterioro atmosférico. La presencia de material particulado en la atmósfera por derivados del petróleo, genera demandas altas de emisiones, tanto CO₂, CO, hollín, entre otros componentes que se pueden presentar en la combustión; además, al mezclarse con la atmósfera puede ocasionar en los seres humanos alteraciones en la salud a lo largo del tiempo, afectando al sistema respiratorio, ya sean enfermedades agudas o episodios asmáticos (Nieto (1993); Abbey et al. (1995), como se citaron en Echeverry y Maya, 2008).

Si bien existen técnicas para capturar partículas de contaminantes, el empleo de un precipitador electrostático, es el dispositivo más común en cuanto a la captura de material particulado, debido a que es un mecanismo que aprovecha el potencial electrostático de las partículas para ser extraídas de la corriente de flujo, puesto que la combustión de papel reciclado emana partículas

con una temperatura y una carga eléctrica, forzando a que estas sean atraídas a las placas del precipitador, donde está cargado de electrodos que se conservan a un elevado voltaje en el centro de la línea de flujo (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 1999, cap. 3.) esto se presenta debido al campo eléctrico que se genera entre estos dos parámetros.

En el presente estudio, se pretende disminuir la emisión de partículas creada por una combustión proveniente de una quema de hojas de papel, a través de un precipitador electrostático de placas planas, por medio de tres etapas, la primera, consiste en identificar los parámetros para el diseño de un precipitador electrostático, la segunda, es elaborar un precipitador electrostático de tamaño óptimo para acoplarse al tubo venturi, y la tercera etapa, es determinar la concentración de hollín emitidas por la quema de papel, luego de pasar por el precipitador determinar el desempeño que tiene el precipitador electrostático para controlar las emisiones de hollín, y así reducir la concentración de material particulado y las posibles enfermedades presentes en los seres humanos.

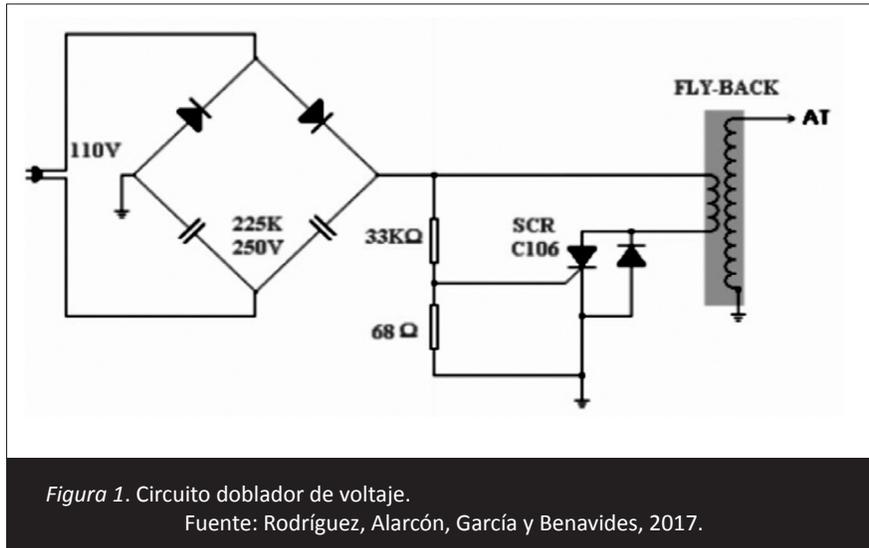
Metodología

Fuente de emisión

Como fuente emisora, se usó un sistema de combustión controlado, donde se quemó carbón vegetal, simulando una chimenea industrial con sus gases de salida. Se trata de un tubo Venturi, el cual se compone de un área de quema ubicada en la parte central y como área de conducción tiene la parte superior del Venturi, que gracias a su forma permite la reducción del flujo ciclónico y por tanto la homogeneidad del flujo de salida, así como de los gases que lo componen. Para mejorar la conducción del flujo a través del sistema, se adecuó un ventilador de 5 w de potencia en la parte baja del sistema, el cual trabajaba en nivel mínimo, esto debido a que una velocidad alta podría bajar el rendimiento dentro del precipitado electrostático.

Sistema de alimentación de alto voltaje

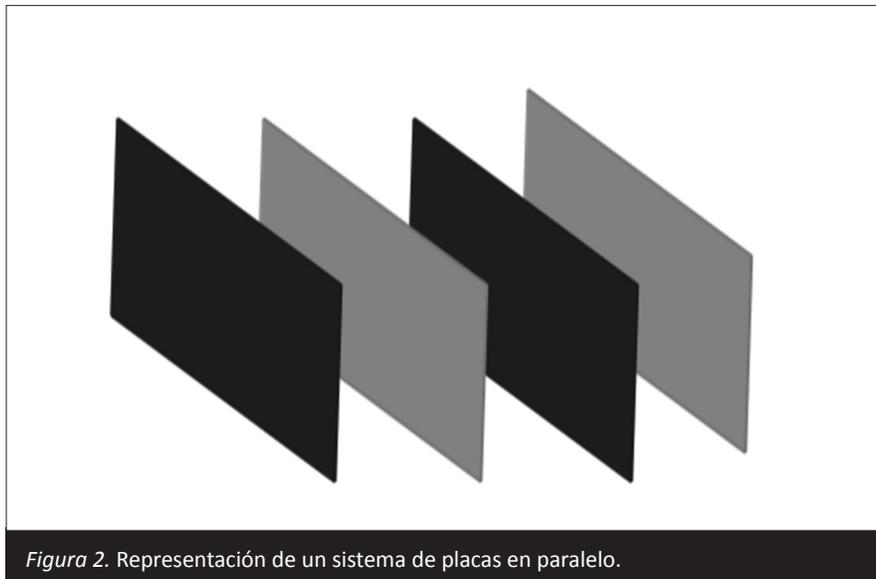
Como fuente de alimentación se eligió un circuito *flyback*, este se encargó de aumentar el voltaje a 25 Kv. El circuito se armó tomando como referencia la investigación de Rodríguez, Alarcón, García y Benavides (2017). (Ver Figura 1).



Diseño del precipitador electrostático

Se usó como guía la metodología descrita en Manual de Costos de Control de Contaminación del Aire de la EPA (Mussatti, 2002), para precipitadores electrostáticos de placas planas. Para lo cual fue necesario adaptar este modelo a las características de emisión del experimento. La eficacia de un precipitador electrostático depende de la velocidad de entrada del flujo y campo eléctrico que se genere, y a su vez de la distancia a la que se

encuentren los electrodos positivo y negativo, ya que estos brindan el campo eléctrico necesario para ionizar las partículas. Por esta razón, antes del diseño del precipitador se tuvo que obtener diferentes parámetros, entre ellos: la distancia de los electrodos, la cual se obtuvo de manera experimental, midiendo la mínima longitud en la que estos formaban el arco energía y el campo con mayor intensidad; la velocidad de flujo se regulo mediante el ventilador del Venturi ubicado en la base de la estructura. (Ver Figura 2).



Finalmente, el diseño de las placas se obtuvo a partir de las ecuaciones que se muestran a continuación:

$$E = \frac{V}{b} = \frac{20000}{0,02} = 1000000$$

E = Campo eléctrico (v/m).
V = Voltaje suministrado (v).
b = distancia entre placas (m).

$$q = 12\pi\epsilon_0 * E * d_p^2$$

q = carga de la partícula (c).
dp = diámetro de partícula (m).
E = Campo eléctrico (v/m).
ε₀ = permitividad del vacío (F/m)
b = distancia entre placas (m).

Pasamos a calcular la velocidad de migración lo cual es fundamental para calcular el área de las placas.

$$\omega_e = \frac{qE}{3\pi\mu d_p}$$

ω_e = Velocidad de migración (m/s).

μ = Viscosidad del fluido, se usó la del aire (Kg/).

$$A = \frac{Q_1}{\omega_e} \ln\left(\frac{1}{1 - 0,99}\right)$$

K = factor de corrección en función de la presión y temperatura del gas.

A = donde el área de las placas es el producto del largo por el ancho (m²).

n = eficiencia de recolección, se usó 99%.

μ = viscosidad, se usó la del aire (Kg/ms)

Q = Caudal de entrada (m³/s)

$$n = \frac{\text{Partículas removidas}}{\text{Partículas en la entrada}} * 100$$

El porcentaje de remoción real se debe calcular con los datos obtenidos en el experimento.

Captura de muestra

Para la medición del material particulado se trató de asemejar el muestreo con hi-vol, se puso un filtro de cuarzo en la parte de salida de gas y se succiono con una bomba de vacío, haciendo que el gas no se acumulara en la parte interna del filtro.

Resultados

La velocidad de circulación del gas entre las placas es un factor determinante en el proceso de recolección, ya que bajas velocidades permiten un tiempo mayor para que las partículas cargadas se desplacen hacia las placas colectoras y se reduzca la probabilidad de ser arrastradas por las corrientes del fluido. (Ver Figura 3).

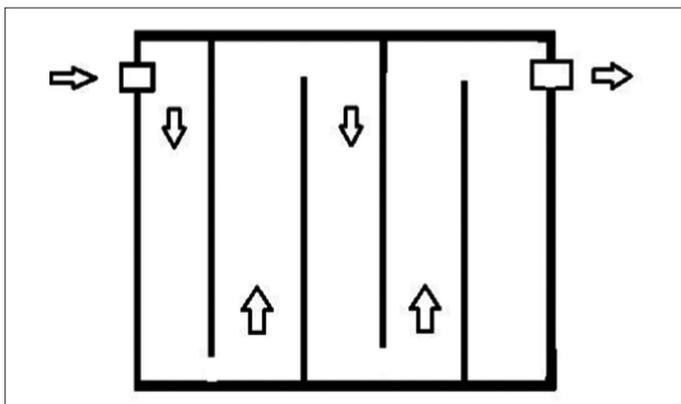


Figura 3. Sistema con camino modificado y dirigido entre las placas.

Por esta razón, el diseño ofrecido, donde el tiempo de circulación de la partícula dentro del precipitador es mucho mayor,

ofrece un elevado rendimiento de recolección. Para futuras investigaciones se podría estudiar el rendimiento, comparando un precipitador de placas en paralelo convencional y el diseño empleado en esta investigación, el cual fue basado en los estudios de Becerra (2010). De esta manera, es posible estudiar la optimización de recursos energéticos, ya que ésta, es una de las principales problemáticas que enfrentan los precipitadores de sólidos en la actualidad.

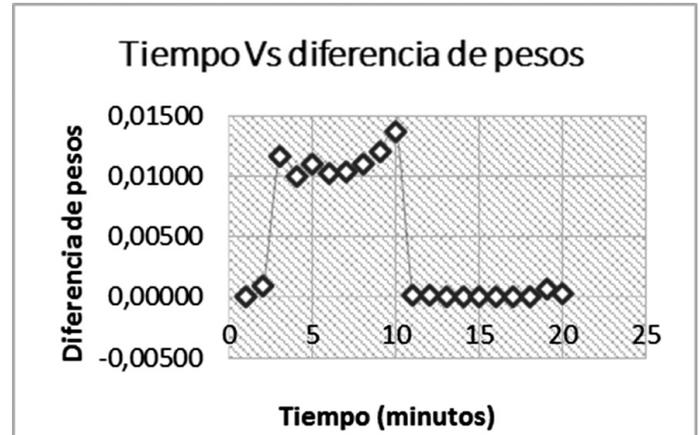


Figura 4. Resultados experimentales.

La Figura 4, muestra los resultados que se obtuvieron de material particulado quemando, papel reciclado, dentro del Venturi, en la cual, la curva azul representa el peso del filtro durante el periodo de tiempo del muestreo, como se puede observar, en el minuto uno no hubo un valor con respecto a material particulado. Con respecto a estos resultados, se puede observar que en el minuto uno no se presenta incremento de la carga de material particulado, esto es debido a que las mediciones iniciaron en el instante en que se inició la combustión de papel, por lo tanto, en ese instante el flujo de gas aún no se disipaba dentro del precipitador; así que el tiempo muerto se le atribuye al tiempo en que se tardaron los gases de combustión en pasar a través del precipitador.

Se empieza a tener valores significativos de material particulado a partir del minuto dos, y alcanza el máximo valor en el minuto nueve, siendo este el momento en el que el precipitador se satura completamente de humo proveniente del proceso de combustión, ya que se había provocado una concentración medianamente constante desde el minuto cuatro hasta el minuto diez.

Luego de este periodo se pone en funcionamiento el precipitador, contrario a la disminución de contaminantes que se podría esperar, en el minuto diez hubo un aumento de concentración de PM en la salida, producto de un movimiento brusco de la masa de aire. Posterior a esto, como se observa en la Figura 4, la curva de concentración muestra una disminución a valores cercanos a cero, que se extiende hasta el minuto veinte, momento de finalización del experimento, indicando que el precipitador funciona al 98%.

Conclusiones

El precipitador electrostático diseñado en esta investigación, bajo las condiciones de conducción de flujo presentadas, posee una eficiencia del 98% de remoción del material particulado sobre la fuente emisora y en una menor medida sobre partículas mucho más resistente y con diámetro aerodinámico menor como son el CO.

Cuando se incrementa el voltaje en los electrodos el campo eléctrico cerca de las placas se intensifica, a mayor cantidad de voltaje aplicado se genera mayor atracción de partículas en las placas, esto sumado a la larga trayectoria de que deben recorrer las partículas a través del precipitador que incrementa la eficiencia de remoción. Esto resulta extremadamente útil en caso que se tenga un proceso donde las partículas a tratar tengan débil atracción hacia las placas.

Al disminuir el espacio entre las placas la intensidad de campo eléctrico aumentó notoriamente. Por lo tanto, un precipitador puede aumentar la eficacia disminuyendo la distancia entre los electrodos hasta tener un campo eléctrico estable y seguro. Para precipitadores electrostáticos pequeños, como el de esta investigación, cuando se trata de obtener mayor rendimiento por este medio, se genera un aumento en la presión debido a la reducción del volumen del contenedor, resultando poco adecuado para flujos altos, ya que incrementa la

presión dentro del precipitador y puede provocar fallas en la estructura o rendimiento.

Las ventajas del prototipo desarrollado son los materiales que se usaron para su construcción, debido a su bajo costo y su fácil adquisición. Se aplicó el modelo de placas planas debido a la facilidad del diseño y a que éste ofrece mayor área superficial de recolección. Este prototipo se puede aplicar en contaminantes como el humo y las cenizas que produce la quema de carbón, papel y cigarrillos.

Referencias

- Becerra J. (2010). *Diseño de un precipitador electrostático* (tesis de pregrado). Universidad de Santiago de Chile, Santiago, Chile.
- Echeverry, C. y Maya, G. (2008). Relación entre las partículas finas (PM 2.5) y respirables PM 10) en la ciudad de Medellín. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 7(12), 23-42.
- Mussatti, D. (Ed.). (2002). *Manual de Costos de Control de Contaminación del Aire de la EPA* (6^{ta}. ed.). Recuperado de https://www3.epa.gov/ttnca1/dir2/c_allchs-s.pdf
- Rodríguez, J., Alarcón, U., García, O. y Benavides, G. (2017). Diseño y prototipo de un precipitador electrostático. *Mutis*, 7(2), 86-95. doi: 10.21789/22561498.1237



Fuente: pixabay