

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIA

DEPARTAMENTO DE FISICA

DISEÑO DE UN PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO

Jaime Alexis Becerra Guzmán

DISEÑO DE UN PRECIPITADOR
ELECTROSTATICO

Trabajo de graduación presentado a la Facultad de Ciencia, en cumplimiento parcial de
los requisitos exigidos para optar al título de Ingeniero Físico

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE
SANTIAGO – CHILE

2010

DISEÑO DE UN PRECIPITADOR ELECTROSTATICO

JAIME ALEXIS BECERRA GUZMAN

Este trabajo de Graduación fue elaborado bajo la supervisión del profesor guía Sr. Ernesto Gramsch Labra y los profesores Yolanda Vargas, Patricio Perez y Jorge Ferrer, del Departamento de Física de la Universidad de Santiago de Chile.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a la Universidad de Santiago de Chile, y de manera señalada a todos los profesores del Departamento de Física quienes han entregado sus conocimientos y valores.

De una manera especial, agradezco el profesor *Ernesto Gramsch*, quien con muy buena voluntad ha depositado en mí reiteradas veces su confianza, para la realización de dicho trabajo con una invaluable paciencia y apoyo en momentos claves.

Deseo agradecer de manera señalada a los miembros del Comité de Carrera y del Departamento de Física de la Universidad de Santiago de Chile, quienes han dado su apoyo para que este trabajo de titulación pueda llegar a término.

También a mi familia que ha apoyado cada uno de mis pasos y me ha levantado en cada uno de mis errores.

A Dios por sobre todas las cosas, y a todos que de alguna u otra forma han aportado para que esta etapa finalice satisfactoriamente.

INDICE

Resumen	8
Objetivos Generales	9
Objetivos Específicos	9
Capítulo I	Introducción.....	10
Capítulo II	Precipitadores electrostáticos.....	13
II.1	Introducción.....	13
II.2	Tipos de precipitadores electrostáticos.....	14
II.2.1	Precipitador de placa y alambre.....	14
II.2.2	Precipitador de placas paralelas.....	15
II.2.3	Precipitador Tubular.....	16
II.3	Principio básico de funcionamiento de un precipitador: La ionización del aire.....	17
Capitulo III	El transformador Flyback.....	18
III.1	Funcionamiento.....	18
III.2	Diferencias con el transformador común.....	18
Capitulo IV	Resultados de las mediciones obtenidas.....	20
IV.1	Metodología empleada	20
IV.2	Modelo de prueba.....	21
IV.3	Eficiencia, resultados preliminares.....	22
IV.4	Dependencia del voltaje de ionización.....	25
IV.5	Sistema con aire en circulación.....	26

IV.6	Eficiencia y tiempo de contacto con las placas.....	28
IV.7	Construcción de un precipitador domiciliario.....	30
IV.8	Resultados obtenidos en una habitación.....	32
Capítulo V	Análisis de los resultados.....	36
Capítulo VI	Conclusión.....	38
Referencias	40
Apéndice A	Costos y utilidades asociados al producto.....	41
Apéndice B	Generador de alta tensión, circuito flyback.....	42

RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolla un estudio de las características y de los parámetros típicos de un precipitador electrostático, usando como fuente de alimentación un circuito flyback. La idea y motivación principal es poder fabricar un sistema de mitigación adecuado para espacios pequeños y cerrados, que sea principalmente de bajo costo usando a la vez, materiales de fácil obtención.

Se estudiaron en una primera etapa, las diversas variables que influyen en la eficiencia de la recolección de partículas para un precipitador electrostático tales como voltaje de aplicación, tiempo de contacto del material con los electrodos y sistema de ventilación, usando como prueba, una carcasa metálica de dimensiones 30x46x46 cm.

Posteriormente se fabricó un precipitador electrostático, cuyas dimensiones son de 15x15x25 cm y se realizaron mediciones de su respectiva eficiencia usando un circuito de 7kV, luego se comparó con la precipitación natural del material particulado en una habitación de 3x4x3m

Se presentan los resultados obtenidos de las mediciones y sus respectivas conclusiones, utilizando planilla de cálculo para el análisis de la información recopilada.

OBJETIVOS GENERALES

Existen variados métodos para reducir la contaminación por material particulado. Uno de ellos es la mitigación mediante la aplicación de alto voltaje entre dos o más electrodos. Las partículas se eliminan al hacer pasar un flujo de aire contaminado entre los electrodos.

Los objetivos del proyecto son construir un sistema de mitigación de contaminantes basado en la aplicación de alto voltaje, entre electrodos metálicos. El sistema debe ser adecuado para eliminar partículas en oficinas y casas particulares. Por esta razón las dimensiones deben ser pequeñas y construido de tal forma que pueda aislar el alto voltaje del exterior y que pueda ser manipulado. La generación del alto voltaje se hará usando un flyback de un televisor CRT. Por esta razón es posible obtenerlos a bajo costo.

Se estudiarán y harán pruebas de diversas variables que puedan influir en la eficiencia de recolección de partículas. Entre ellas el flujo de aire, voltaje aplicado, tiempo de contacto del flujo de aire con las placas.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinación de los parámetros para obtener la mejor eficiencia en la recolección y eliminación de partículas.
- Construcción de un precipitador electrostático de tamaño pequeño, en base a los parámetros obtenidos.

Capítulo I **INTRODUCCION**

El desarrollo de las actividades humanas, en su gran mayoría, genera algún tipo de residuo o contaminación, que puede permanecer por mucho tiempo dentro de un lugar cerrado. Por otra parte, los compuestos orgánicos volátiles (*COV*) son los principales contaminantes en el aire interior, que tienen un impacto significativo en la contribución al aumento del material contaminante, por tanto influyen irrefutablemente en la calidad de vida. Una exposición a largo plazo a los compuestos orgánicos volátiles será perjudicial para la salud humana.

Un Precipitador Electrostático es un dispositivo que se usa para atrapar las partículas contaminantes para su posterior remoción, usando la ionización o carga por inducción electrostática. Son considerados como altamente eficientes, puesto que reducen notablemente la contaminación, impiden el flujo de los gases a través del dispositivo, y pueden remover fácilmente finas partículas como polvo y humo polen y otros del aire.

Las partículas pueden estar presentes en un estado cargado en la atmósfera, o ellas pueden cargarse en el dispositivo. La precipitación puede ocurrir en ambos casos, y las partículas cargadas pueden ser reintroducidas en el aire, con una aglomeración de carga a su alrededor, en este caso se llaman *iones grandes*.

Además de precipitar material particulado que fluye por el ionizador, tales aparatos purifican el aire ambiente, produciendo moléculas de aire cargadas negativamente, principalmente oxígeno que son llamadas a veces *pequeños iones*.

Debido a que las partículas en el aire como polvo y humo tienen una concurrente carga positiva, permanecen suspendidas en el aire producto de la repulsión electrostática con las diversas superficies de una habitación. Habitualmente dichas superficies están hechas con materiales sintéticos, con una carga neta positiva. Cuando tales partículas, interactúan con los pequeños iones generados por el precipitador, ellas adquieren una carga negativa y son atraídos a las superficies para luego ser retenidas.

Se ha demostrado que la presencia de iones cargados negativamente, aporta con beneficios en el ámbito fisiológico y psicológico¹. Por ejemplo, la sensación de mayor vigor que produce el aire de las montañas es atribuida a una mayor concentración de iones negativos en esas altitudes. También para lugares cercanos a las costas y para otros con una vegetación más abundante se les puede atribuir una mayor concentración de iones negativos². La vida moderna, moderada principalmente por aparatos electrónicos y otros de combustión, es la causa más importante en la generación de iones positivos. En un ambiente cerrado y adicionado al uso de materiales sintéticos la concentración de dichas cargas aumenta³.

Un precipitador electrostático puede generar también cantidades indeseables de ozono. Adicionalmente a sus propiedades de oxidación y limpieza, el ozono en cantidades superiores a 0,12 ppm es un elemento tóxico⁴. La cantidad de ozono producido depende de una variedad de factores ambientales, los que incluyen: la proporción entre iones positivos y negativos en el ambiente, la cantidad de polución en el aire, la humedad ambiental, la presión barométrica, temperatura y la presencia de

campos electrostáticos próximos al dispositivo que genera el ozono. El proceso de ionización adquiere efectividad a partir de voltajes superiores a 2500V DC.

Diversas formas de generar el voltaje requerido han sido usadas. Una de ellas, alternativa y de bajo costo para generar semejantes voltajes se puede conseguir utilizando un *circuito transformador flyback*⁵.

Un flyback se diseña para guardar energía en su circuito magnético, es decir, funciona como un inductor puro. Además la corriente no circula en el embobinado primario y secundario de manera simultáneamente. Por el hecho de tener un espacio entre las láminas de hierro, cuidadosamente calculado, su reluctancia magnética es mucho mayor que en un transformador común, por lo tanto, la energía almacenada es mayor.

Un circuito flyback puede obtenerse de las componentes electrónicas de monitores y televisores del tipo CRT (sistema de tubo de rayos catódicos). Dependiendo del modelo de fabricación y las especificaciones los voltajes típicos que pueden generar están entre los 3kV y los 40 kV en DC⁶. La unión del circuito flyback a un sistema de placas que se alternan en la polaridad, permitirá caracterizar el precipitador en cualidades como porcentaje de remoción de un contaminante determinado, eficiencia, tiempo de remoción acorde al voltaje entre placas.

Capítulo II **PRECIPITADORES ELECTROSTÁTICOS**

II.1 INTRODUCCIÓN

Un precipitador electrostático es un dispositivo que se utiliza para atrapar partículas de un efluente de gas contaminado, a través del proceso de ionización, específicamente a través del proceso de carga electrostática inducida.

Se emplean a nivel industrial, para reducir la contaminación atmosférica que contiene humos y otros desechos gaseosos, especialmente en las plantas y lugares que funcionan en base a combustibles fósiles o donde se genera una cantidad considerable de material particulado.

Los precipitadores electrostáticos son dispositivos de filtración altamente eficientes, que mínimamente impiden el flujo de los gases a través del dispositivo, y pueden remover fácilmente finas partículas como polvo y humo de la corriente de aire.

Los primeros precipitadores electrostáticos fueron diseñados y armados en la primera década del siglo XX.

La corriente de alto voltaje que se aplica a los electrodos de descarga ioniza las impurezas. Esta ionización entrega carga a las partículas en suspensión, las que generalmente son de naturaleza positiva. Los electrodos del colector tienen una carga opuesta a la de las partículas ionizadas, de tal forma que éstas se mueven hacia estos electrodos y llegan a depositarse en la superficie de los mismos. Los electrodos del colector deben lavarse o limpiarse cada cierto tiempo para eliminar las impurezas depositadas.

Los precipitadores electrostáticos se usan frecuentemente para la eliminación de la contaminación atmosférica en chimeneas de aparatos industriales (calderas de vapor, hornos de cemento y etapas del procesamiento en la minería). Además se utilizan para recoger vapores de ácidos.

II.2 TIPOS DE PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS

II.2.1 PRECIPITADOR DE PLACA Y ALAMBRE

Consta de placas paralelas y alambres entre las placas (ver figura II.1), dispuestos de manera alternada. Esta forma permite muchas líneas de flujo operando en paralelo, las que a su vez pueden ser muy altas, permitiendo de esta manera, tratar grandes volúmenes de aire.



Figura II.1 Esquema para un precipitador de placa y alambre.

Usualmente este modelo de precipitador debe ser golpeado periódicamente para poder desprender el material que se recolecta.

Hay que tener en cuenta la resistividad del material recolectado, ya que altas resistividades provocan la situación de corona invertida (se inyectan iones de polaridad

contraria que disminuyen la eficiencia de recolección), si la resistividad es muy baja, las partículas se mantienen en la placa muy disgregadas, lo que provoca fenómenos de suspensión, que también disminuye la eficiencia. En el cálculo de la resistividad del material influyen muchos factores como: naturaleza del gas y del material recolectado, temperatura, humedad, características de la superficie recolectora, etc.

II.2.2 PRECIPITADOR DE PLACAS PLANAS

En este tipo de precipitadores electrostáticos, generalmente de menor tamaño, se cambian los alambres por placas planas para los electrodos de alto voltaje (**figura II.2**). Esto incrementa el valor del amperaje eléctrico promedio usado para recolectar partículas y proporciona una mayor área superficial. La corona no puede formarse entre placas planas. Los precipitadores de placas planas son menos susceptibles a la formación de corona invertida, siendo especialmente útiles para la recolección de material con gran resistividad. Además, son menos propensos a la formación de chispas, por lo que suelen ser de polaridad positiva, para minimizar la formación de ozono.



Figura II.2 Representación de un sistema de placas paralelas.

II.2.3 PRECIPITADOR TUBULAR

Los precipitadores de este tipo tienen forma de tubo, o tubos en paralelo semejantes a una simetría de panal, con el electrodo de alto voltaje en forma de alambres. Normalmente son lavados con agua, por lo que son más utilizados con particulado húmedos o pegajosos.

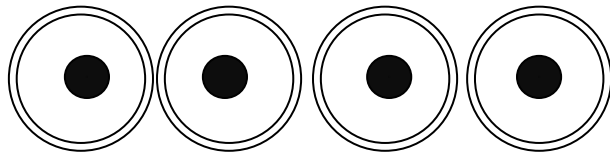


Figura II.3 Esquema de un sistema precipitador tubular. Los puntos centrales representan los electrodos de alambre.

Capítulo II.3. PRINCIPIO BASICO DE FUNCIONAMIENTO.

Ionización del aire.

Todo precipitador electrostático de placas paralelas funciona con un principio básico: al principio el aire es dirigido a un conducto por donde pasa entre las láminas cargadas. Una fuente de alto voltaje mueve los electrones entre ambas placas, generando así una diferencia de potencial que usualmente es de varios miles de voltios.

Las placas están cargadas con polaridades opuestas. Se acumula entre ellas carga como en un condensador, como consecuencia, un campo eléctrico (ver figura II.3.1). El aire al ingresar al sistema entra en contacto inmediatamente con las cargas producidas entre las placas (preferentemente negativas). De esta forma, y por atracción electrostática, se logra que atraigan también a otras partículas ionizadas.

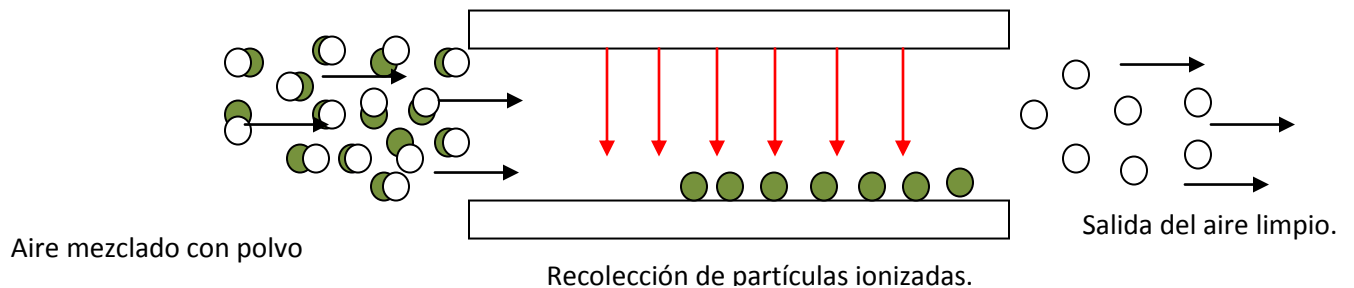


Figura II.3.1 Principio de funcionamiento.

La molécula de aire se separa finalmente del contaminante y continua la trayectoria con una carga negativa mayor comparada con la del flujo entrante.

Capítulo III EL TRANSFORMADOR FLYBACK

III.1 FUNCIONAMIENTO

Es un transformador especial que junto con el transistor y circuitos de salida y deflexión horizontal, eleva el voltaje de la fuente de poder (usualmente AC), a 20kV a 30 KV DC para hacer funcionar un tubo de rayos catódicos (TRC) sistema propio de los monitores de computador y de los aparatos de televisor. Provee, además, otros voltajes más bajos para otros circuitos.

Contiene también un circuito rectificador que convierte los pulsos de alto voltaje en corriente continua que luego el condensador formado en el TRC, filtra o aplanan. El alto voltaje puede desarrollarse directamente en un solo bobinado con muchas espiras de alambre, o un bobinado que genera un voltaje más bajo y un multiplicador de voltaje de diodo-condensador. Posee, además un divisor de voltaje que proporciona el enfoque y *screen* de la pantalla. En los potenciómetros y circuito divisor se encuentran las principales causas de falta de foco, brillo excesivo, o fluctuación del enfoque y/o brillo.

III.2 DIFERENCIAS CON EL TRANSFORMADOR COMUN

La diferencia principal entre un transformador flyback y un transformador común, es que un flyback se diseña para guardar energía en su circuito magnético, es decir, funciona como un inductor puro, mientras que transformador común se diseña para transferir energía del primario al secundario con un mínimo de energía almacenada.

En segundo lugar, un transformador flyback en su forma más simple tiene corriente que o fluye en su primario, o en su secundario (pero no ambos al mismo tiempo).

En tercer lugar, la reluctancia del circuito magnético de un flyback, normalmente es mucho más alta que la de un transformador común. Esto es debido a un espacio de aire (entrehierro) cuidadosamente calculado para almacenar energía.

En cuarto lugar los voltajes aplicados a un flyback en el primario casi siempre son rectangulares (pulsos), mientras que los transformadores regulares normalmente tienen voltajes sinusoidales.

En quinto lugar, las corrientes que fluyen a través de cualquier lado de un flyback, crecen o disminuyen en forma de diente de sierra lineal, mientras que en un transformador común, normalmente tiene corrientes sinusoidales.

Finalmente, debido a las propiedades de los materiales del núcleo, los flyback operan convenientemente en el rango de 1 kHz a 1MHz, mientras que los transformadores comunes tienen un rango mucho más ancho, de unos pocos Hz a 10^{12} Hz.

Capítulo IV. **MEDICIONES Y RESULTADOS OBTENIDOS**

IV.1 METODOLOGIA EMPLEADA

Para caracterizar la eficiencia del precipitador electrostático se realizó un montaje de prueba inicial, descrito en el capítulo siguiente, del que se tomaron los datos y se registró cada una de las modificaciones y sus efectos sobre este diseño preliminar.

Una vez terminada dicha tarea, se procedió a la elaboración de un prototipo de tamaño reducido. Se midieron las concentraciones utilizando un contador de partículas de marca Met-One, modelo GT521. La realización de todas las tareas para determinar las variables típicas, se realizaron en el Laboratorio de Óptica y Semiconductores de la Universidad de Santiago de Chile. Las mediciones y sus resultados se analizan usando una planilla de cálculo de uso general.

IV.2 MODELO DE PRUEBA

Se utilizó una carcasa metálica preparada para la aislación del alto voltaje cuyas dimensiones son de 30x46x46cm de acuerdo con la figura siguiente.

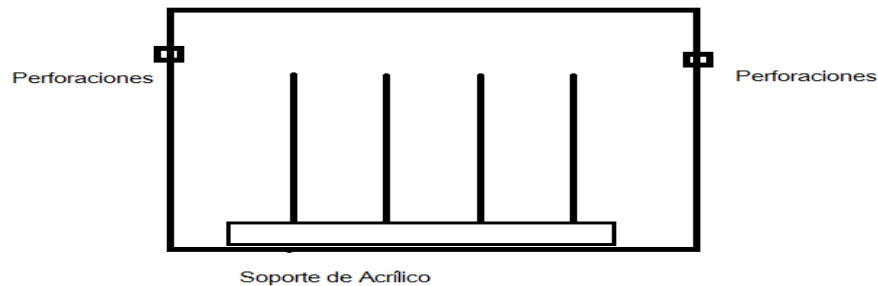


Figura IV.1 a Sistema de placas alternadas en carcasa metálica, con base acrílica.

Se disponía de perforaciones por el lado izquierdo y derecho, cuya superficie total era de 48 cm^2 , las cuales fueron selladas inicialmente para probar la eficiencia de las placas sin circulación de aire. Se instaló un sistema de placas metálicas de manera vertical, conectadas, a la fuente de voltaje con polaridad alternada en las placas, como se muestra en el esquema de la figura IV.1 b. Todas las placas estaban apoyadas sobre una base de acrílico

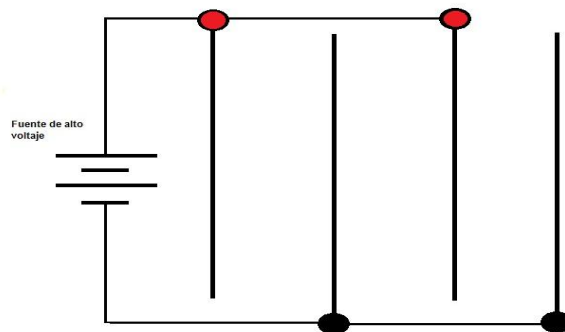


Fig. IV.1 b Esquema del sistema de placas, y sus correspondientes voltajes.

A través de una de las perforaciones de la carcasa se introduce un tubo conectado directamente al contador de partículas para la toma de datos desde el exterior. Con este instrumento, posteriormente se registrarán las mediciones.

IV.3 EFICIENCIA, RESULTADOS PRELIMINARES

La primera medición se realizó una vez cerrada y sellada completamente la carcasa. Solamente con el aire encerrado y sin circular, sin humo. Se realizó una medición por cada minuto de tiempo transcurrido, luego de transcurridos cinco minutos se enciende la fuente de alto voltaje de 7,5 kV y se continúa midiendo por cada minuto de tiempo transcurrido. Se repiten las mediciones para obtener un valor más representativo. Se obtiene el siguiente gráfico de la cantidad de partículas por pie cúbico.

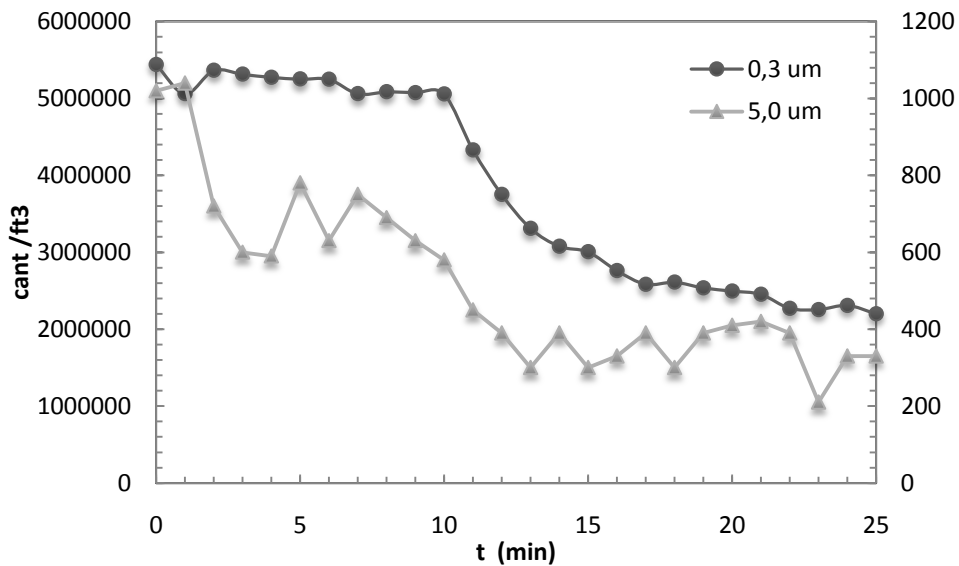


Fig. IV.2. Resultados usando circuito flyback de 7,5 kV. Solo con el aire interior.

La ionización del aire contenido en la carcasa se empieza a notar cuando han transcurrido cinco minutos desde que se encendió la fuente de voltaje. De esta forma la rapidez de remoción es evidentemente mayor.

Posteriormente se realiza el mismo tipo de medición, esta vez agregándole una fuente que genera humo para aumentar la cantidad de material particulado del interior de la carcasa y simular alguna situación más real. En este caso la fuente de humo es una varilla de incienso de 1 cm de longitud.

Al encender el alto voltaje diez minutos después de iniciar el registro de datos, el proceso de remoción vuelve a incrementar su rapidez. Se hace notorio nuevamente a los cinco minutos de encendida la fuente. Tal como se muestra en la figura IV.3.

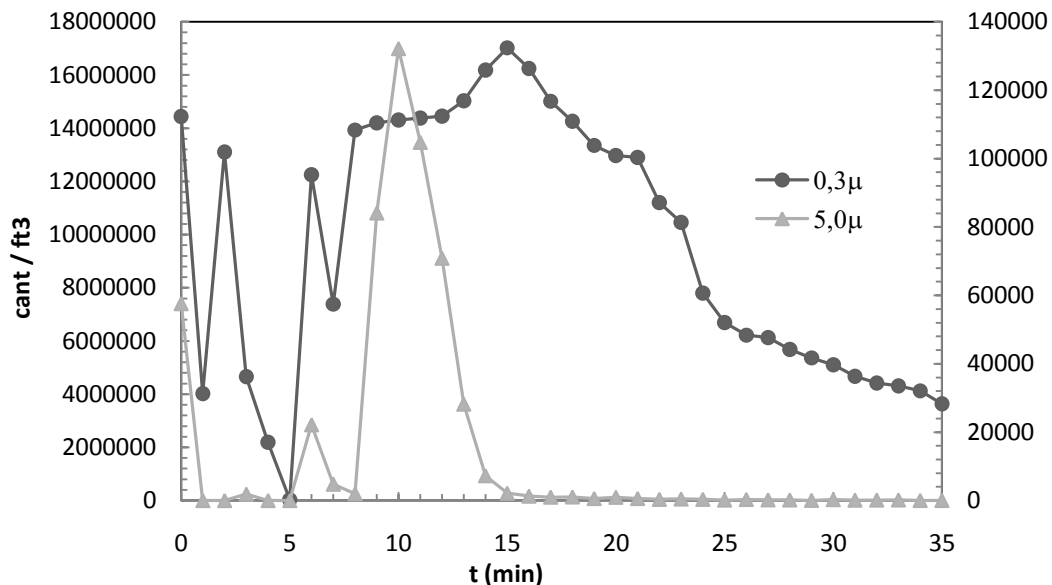


Fig. IV.3 Resultados preliminares usando flyback 7,5kV y humo en el interior.

Bajo estas condiciones es posible obtener la eficiencia η del sistema de prueba. En la figura IV.4 se muestra la eficiencia obtenida para partículas de $0,3 \mu\text{m}$ y $5,0 \mu\text{m}$ en un ambiente cerrado y sin circulación de aire, solo bajo la acción del campo eléctrico generado por las placas y considerando el aire contenido y el humo adicionado.

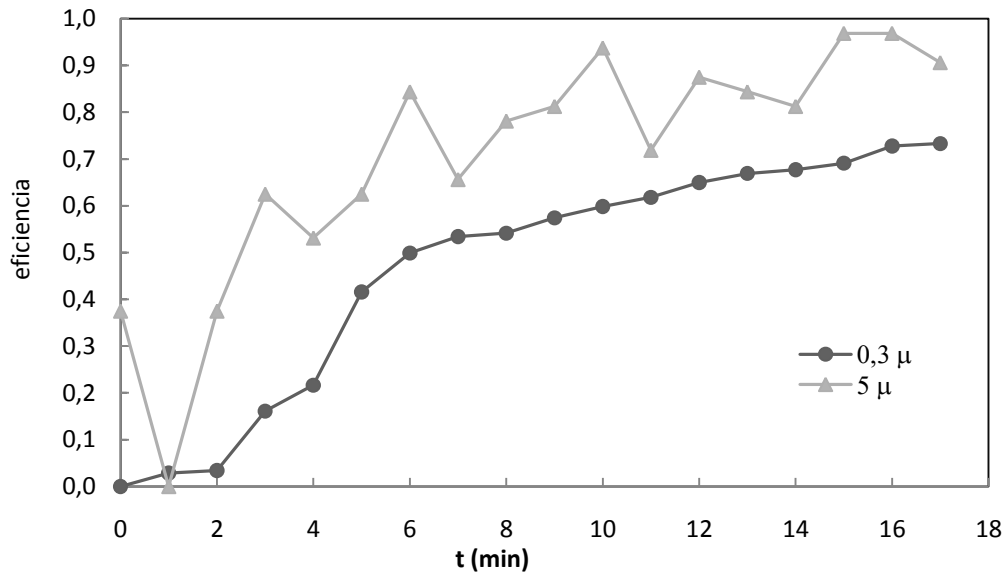


Fig. IV.4 Eficiencia preliminar para el sistema con flyback 7,5 kV.

Para el cálculo de la eficiencia η , se consideran los datos desde el momento en que la fuente de alto voltaje es puesta en funcionamiento. La eficiencia preliminar se obtuvo tomando en cuenta la cantidad de partículas contadas q_t , transcurrido un tiempo t , la cantidad máxima de partículas medida y usada como referencia, q_0 :

$$\eta = 1 - \frac{q_t}{q_0}$$

Con los resultados previos se aprecia que para $0,3 \mu\text{m}$ es posible obtener un 80% de remoción del volumen interior, luego de unos 20 minutos de puesta en funcionamiento. Para partículas de $5,0 \mu\text{m}$, debido a su mayor tamaño pueden llegar a un 90% de remoción bajo estas condiciones.

Una vez obtenidos estos resultados, se aprecia que el sistema de mitigación funcionando.

IV.4 DEPENDENCIA DEL VOLTAJE DE IONIZACION

Una vez que se puso a prueba y se realizaron las mediciones, se buscó la relación entre el voltaje de ionización y el tiempo de respuesta del sistema. Para tal efecto, se reemplazó la fuente de voltaje por una de mayor energía, la que entrega un voltaje de 14 kV DC. Bajo estos parámetros se repiten las mediciones usando el sistema con humo de incienso, sin realizar la circulación del aire interior.

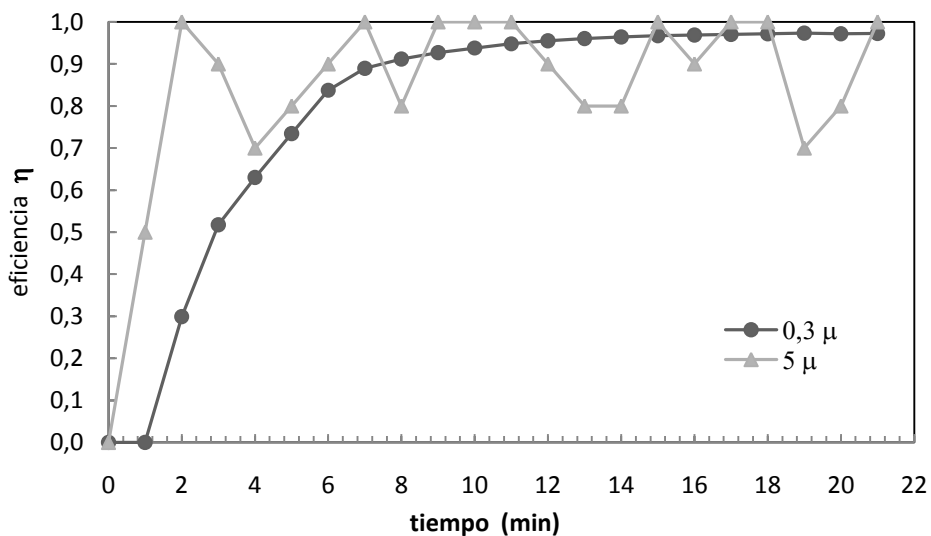


Fig. IV.5 Eficiencia del sistema, alimentado a 14 kV, sin circulación de aire.

Considerando las partículas de $0,3 \mu\text{m}$, en el sistema de $7,5\text{kV}$ el tiempo para llegar a un 50% de eficiencia es de 6 minutos, mientras que en el sistema con 14kV es de solo 3 minutos. Se aprecia, entonces que el tiempo de ionización es menor, por lo tanto la rapidez de remoción será mayor.

IV.5 SISTEMA CON AIRE EN CIRCULACION

En las mediciones anteriores, se cerraron las salidas y posibles pérdidas, de esta forma se caracterizó el funcionamiento del sistema para un volumen fijo de aire ($0,063 \text{m}^3$). Entonces para modificar algunas condiciones se hace necesario que el aire que está en el interior de la carcasa pueda circular, de esta forma puede tener una interacción más dinámica con la superficie ionizante. Desde esta perspectiva se acercamos un poco más a lo que realmente se espera del funcionamiento de un precipitador electrostático, que es la mitigación del material particulado con un flujo de aire circulante.

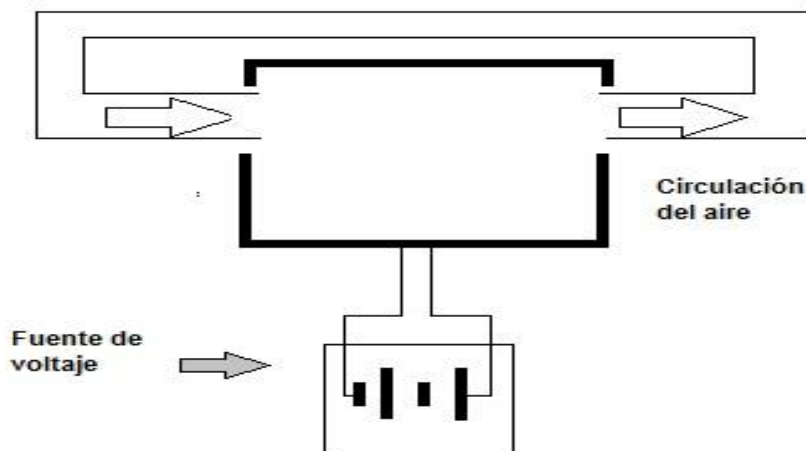


Fig. IV.6 Configuración del sistema usando circulación de aire.

Para lograr este requerimiento, se instalaron dos ventiladores, para que el aire ingrese, como también para sacarlo de la recámara. Se midieron variaciones de cantidad de partículas en función del tiempo transcurrido. Junto a ello se realizan pruebas para comparar el sistema con los voltajes de 7,5kV y 14kV. De esta forma se pudo caracterizar la eficiencia del sistema.

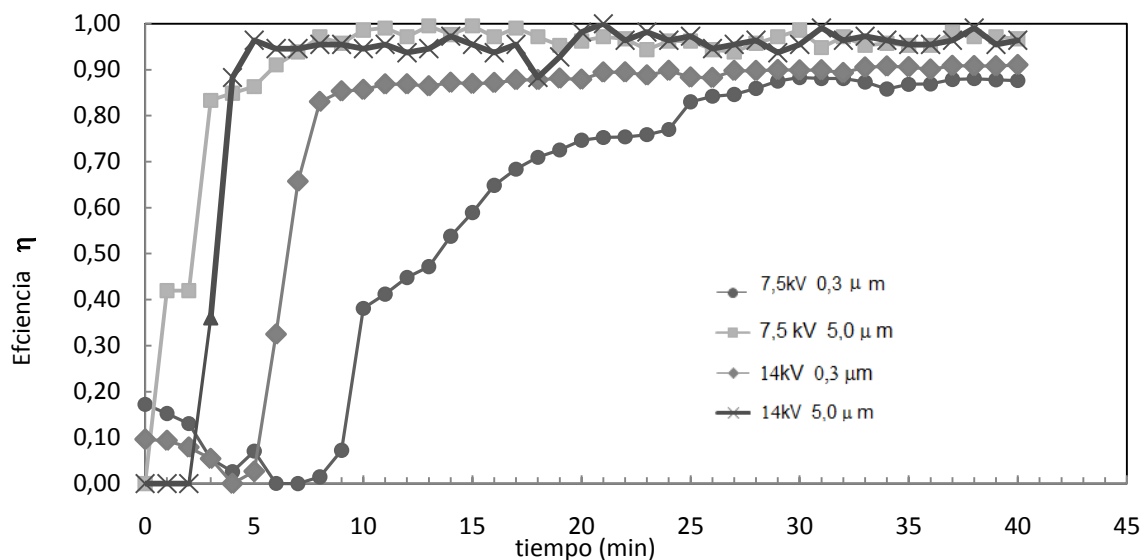


Figura IV.7 Comparación entre las eficiencias para los tamaños y para dos voltajes de ionización.

Se puede apreciar que para el material particulado de 0,3 μm la fuente de 14kV remueve con mayor rapidez la cantidad de impurezas, comparada con la fuente de 7,5 kV. En 15 minutos de funcionamiento del precipitador a 14kV, las partículas de 0,3 μm han sido removidas en un 87% comparado con un 59% usando la fuente de 7,5kV.

No se aprecia una diferencia significativa para las partículas de 5,0 μm entre la fuente de 7,5kV y la fuente de 14kV.

IV.6 EFICIENCIA Y TIEMPO DE CONTACTO CON LAS PLACAS

El tiempo de contacto del flujo de aire con las placas es una variable importante, pues aumenta las probabilidades de que una partícula sea ionizada. Por esta razón, para que el aire incidente mantenga un mayor tiempo de contacto con las placas, es necesaria una modificación en el sistema.

Se hizo un cambio en el recorrido del flujo de aire circulante, dirigiéndolo por lugares específicos, tal como se muestra en la figura IV.8.

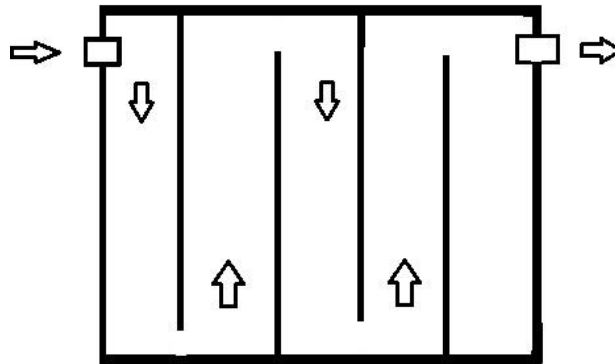


Figura IV.8 Sistema con camino modificado y dirigido entre las placas.

Esta modificación se realizó sellando todos los posibles caminos por los que el aire podría circular. Se hace una perforación pequeña cada placa. En una placa arriba y en la siguiente por abajo, y se colocan de manera alternadas.

Una vez realizada la modificación se procedió a realizar las mediciones correspondientes de la eficiencia y se obtuvieron resultados comparativos para el camino libre y para el camino forzado.

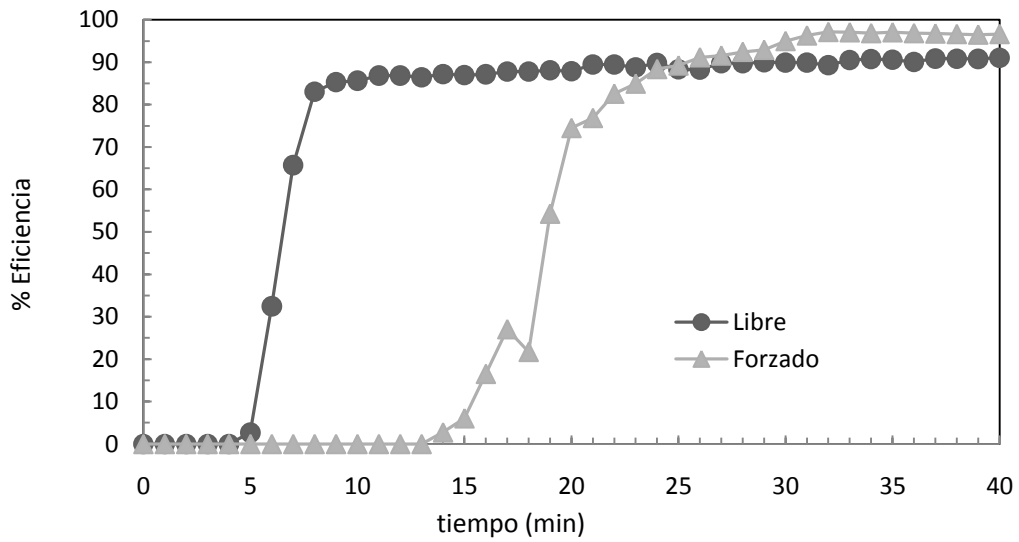


Figura IV.9 Comparación de las eficiencias para un camino libre y un camino dirigido.

Tal como se puede apreciar la *reacción* del sistema con camino forzado (o dirigido) es más lenta, pero finalmente logra un mayor porcentaje de remoción, aproximadamente un 7% más de remoción para el mismo tiempo de muestreo. Esta medición se realizó con los voltajes de 7,5 kV y 14 kV, logrando de esta manera demostrar que este resultado es independiente del voltaje aplicado.

Es importante señalar que en el diseño preliminar con camino libre, fue hecho para probar inicialmente la rapidez de remoción del aire interior contenido en la carcasa metálica (Véase la figura IV.10)

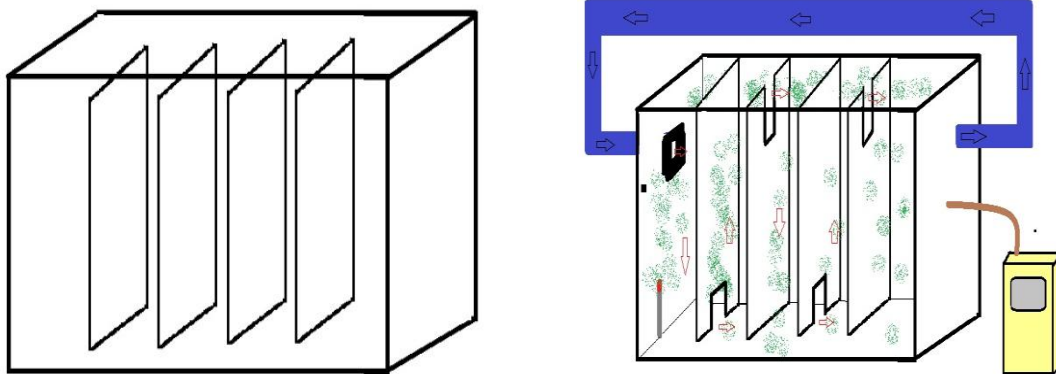


Figura IV.10 Sistema inicial (izquierda) y sistema modificado (derecha) con aire circulante y con camino forzado.

IV.7 CONSTRUCCIÓN DE UN PRECIPITADOR DOMICILIARIO

En base a los resultados obtenidos anteriormente, se procedió a elaborar un prototipo que reuniera aquellas características que nos permiten tener la mejor eficiencia de precipitación.

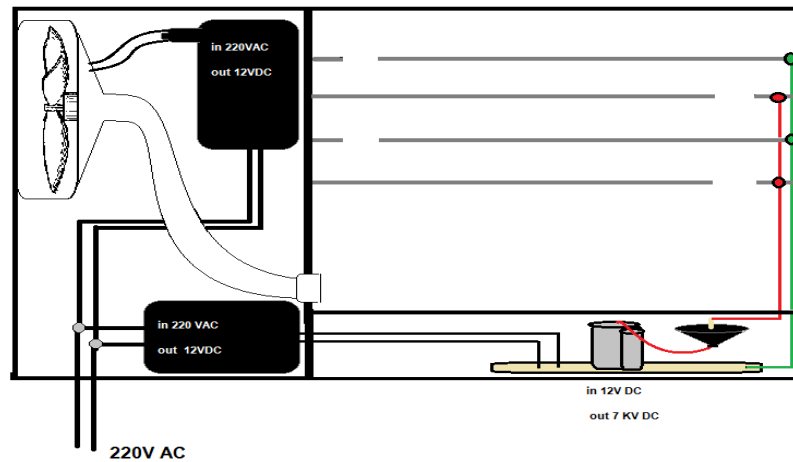


Figura IV.11 Esquema de precipitador electrostático domiciliario

El prototipo fue armado usando una fuente de 7,5 kV, con sistema de absorción del aire exterior, usando un ventilador propio y con polaridad alternada, entre las placas.

El aire es absorbido y luego es transportado por un tubo hasta la zona donde debe pasar por una recámara totalmente cerrada y sellada, donde solo puede continuar el trayecto por una perforación situada en cada una de las placas. Esta perforación asegura que el aire pasará solo por ese lugar y luego continuará ascendiendo hasta la siguiente perforación aumentando drásticamente el tiempo de contacto y por ende la ionización. Finalmente el aire sale de la recámara de ionización por una abertura dispuesta en la parte posterior

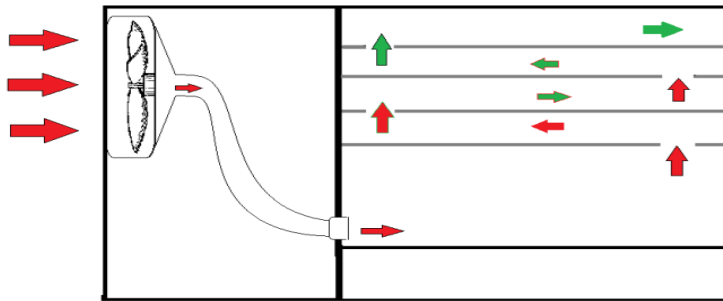


Figura IV.12 Esquema de la circulación del aire en el precipitador.

IV.8 RESULTADOS OBTENIDOS EN UNA HABITACIÓN.

Una vez construido el precipitador y verificado su funcionamiento, se procede a realizar mediciones en un lugar cerrado, para verificar su funcionalidad y finalmente su eficiencia, bajo condiciones más reales.

Se coloca el dispositivo en el centro de un cuarto cerrado de volumen 36m^3 ($3 \times 4 \times 3\text{m}$) y a un metro de altura del suelo. Posteriormente, se coloca cerca de éste una fuente que emite humo para saturar el lugar. Se deja actuar durante algún tiempo al contaminante para que se distribuya por el espacio en cuestión.

Para hacer comparaciones, se deja que el humo precipite de manera natural, y se realizan mediciones cada diez minutos, posteriormente se registran los datos. Luego se repite el proceso, pero en esta ocasión, cuando se ha logrado un nivel de contaminante elevado, se enciende el precipitador y se vuelve a registrar cada diez minutos.

Finalmente se realizan las comparaciones de la rapidez de remoción del sistema con la rapidez de decantación sin el precipitador.

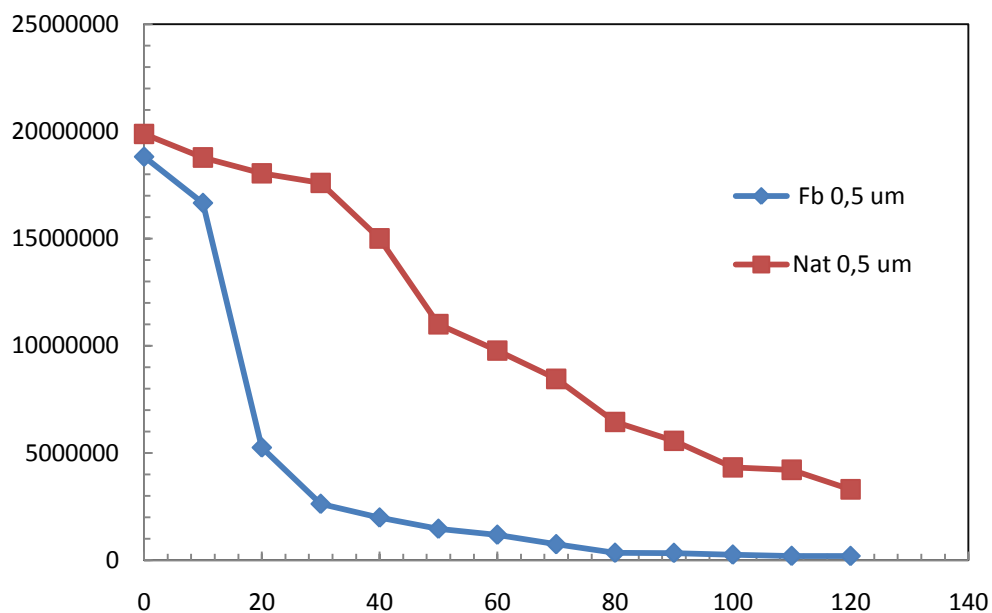


Figura IV.13 Comparación de la concentración de partículas, entre la decantación natural (Nat) del contaminante y la filtración con precipitador (Fb), para partículas de 0,5 µm.

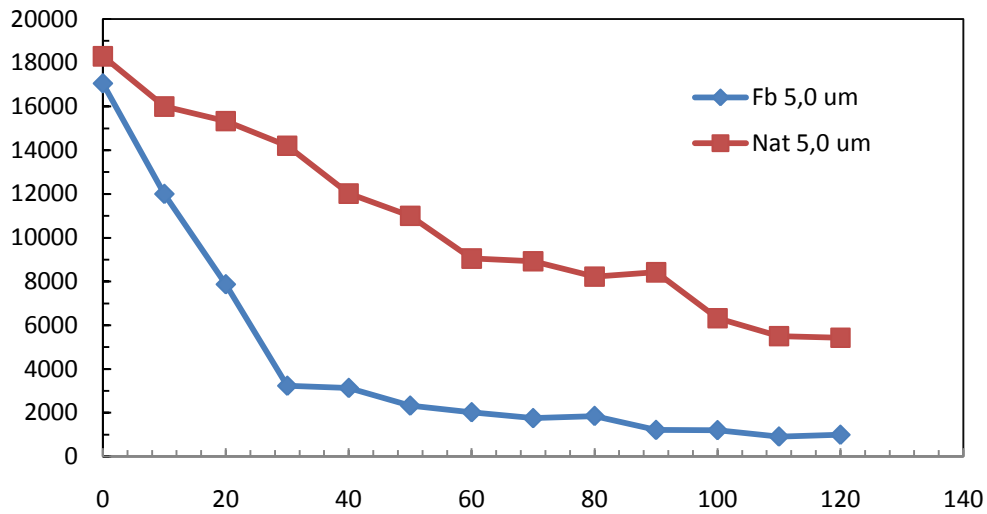


Figura IV.14 Comparación de la concentración de partículas, entre la decantación natural (Nat) del contaminante y la filtración con precipitador (Fb), para partículas de 5,0 µm.

Los valores correspondientes de eficiencia, son mostrados en las figuras IV.15 y IV.16

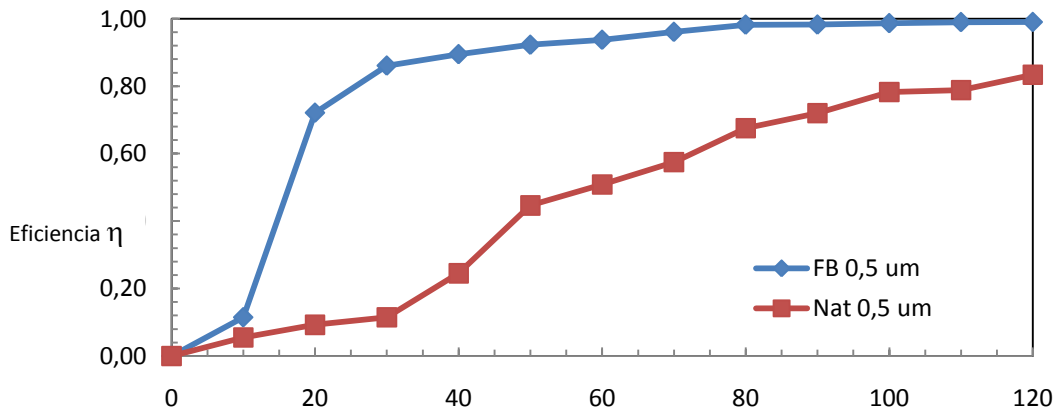


Figura IV.15 Eficiencia obtenida en función del tiempo, para partículas de 0,5 µm
t (min)

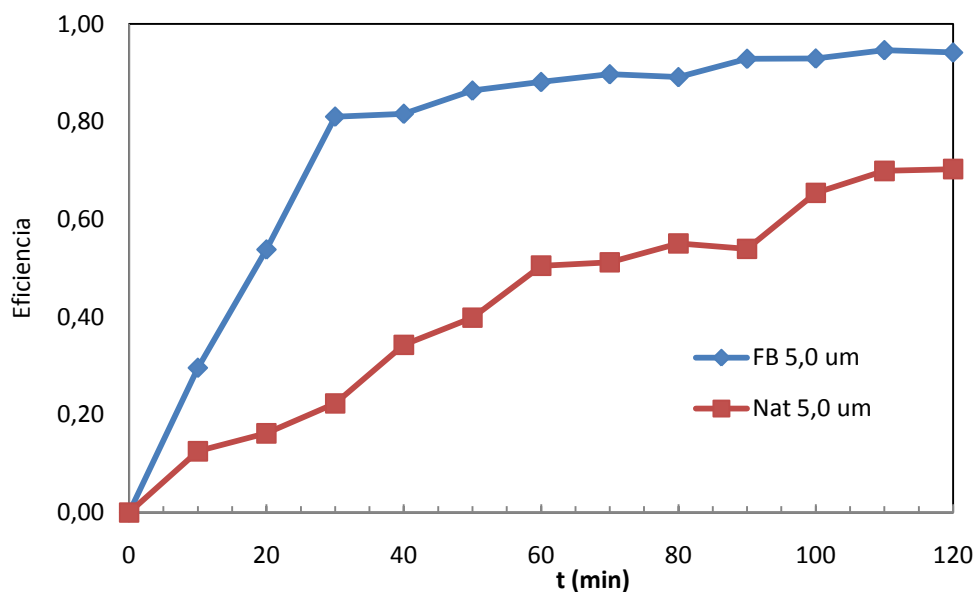


Figura IV.16 Eficiencia obtenida en función del tiempo, para partículas de 5,0 μm

Al observar los resultados de los gráficos IV.13 a IV.16, se aprecia claramente que el uso del precipitador reduce el tiempo de permanencia del contaminante en el cuarto de prueba. Esto se traduce en una mayor rapidez de remoción de dichas sustancias. Cabe mencionar que para partículas de tamaño pequeño, esto es, para 0,5 μm y durante 50 minutos de funcionamiento, el precipitador ha reducido en un 90% el contaminante del cuarto, mientras que la decantación natural ha alcanzado un 40%. En cambio para partículas de 5,0 μm y durante un tiempo de 50 minutos el precipitador ha reducido el contaminante en un 86%, mientras que el sistema solo ha caído en un 40% respecto de la cantidad inicial.

Capítulo V ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos inicialmente con la carcasa de prueba, y mostrados en la figura IV.2 fueron obtenidos para el sistema en el que se instalaron cuatro placas, separadas a 10 cm entre sí. La fuente generadora de humo correspondía a un trozo de vara de incienso de 2 cm. Siempre se usó la misma longitud del incienso con el objetivo de lograr la misma cantidad de contaminantes dentro de la carcasa. Los ensayos preliminares mostraron que el sistema de prueba podía limpiar hasta un 40% del total de contaminantes en tan solo 30 minutos, y un 70% en una hora de tiempo transcurrido. Se deduce entonces, que del volumen contenido de aire, el sistema preliminar podía limpiar aproximadamente $0,043 \text{ m}^3/\text{hr}$. Este valor se consideró bajo, por lo tanto se buscó mejoras en el sistema.

Adicionalmente el sistema de ventilación, tiempo de permanencia del contaminante y voltaje entre las placas, nos muestran claramente que el proceso de remoción es mucho más efectivo, más rápido y más controlado. De esta manera y usando todas las modificaciones ya descritas anteriormente se obtiene un 90% de remoción del contaminante en tan solo 20 minutos, llegando posteriormente al 98% en una hora de funcionamiento. Resulta, entonces un valor de la rapidez de remoción del sistema de aproximadamente $0,061 \text{ m}^3/\text{hr}$, valor considerado como óptimo para la fabricación de un prototipo de precipitador con fines domésticos.

Para el precipitador fabricado, considerando las variables descritas anteriormente, la recámara tiene dimensiones de $15 \times 15 \times 25 \text{ cm}$. (Volumen interior de

0,0056m³). Se usaron 4 placas de aluminio de 15x15cm y de 1 mm de espesor. Para estas dimensiones se hizo necesario usar el circuito flyback de 7,5 kV, el que era alimentado por una fuente 12V DC. En el sistema de extracción de aire se usó un ventilador también alimentado con 12V DC.

El circuito flyback usado de 7,5 kV fue extraído de un televisor CRT de 7", mientras que el de 14 kV de un televisor CRT de 14". El primero de ellos alimentado con 12 v DC, mientras que el circuito de 14 kV con entrada 220 V AC

Las placas del sistema colector estaban separadas a 2 cm entre sí. Esta distancia era óptima ya que no se producía el arco cuando la recámara tenía en su interior el humo circulante.

Con esta información se pudo comprobar que la rapidez de remoción del sistema fue de 34 m³/hr. Mucho mayor que el sistema de prueba, poniendo así un alza considerable de las cualidades de este dispositivo.

La dependencia de la eficiencia con el voltaje del flyback es un parámetro a considerar, ya que el haber usado un flyback de 14 kV el tiempo de remoción habría sido, menor.

No se ha comprobado la dependencia de la eficiencia con la geometría del sistema de precipitación. Se consideró que el sistema de placas planas y paralelas es el más óptimo para fines domésticos.

Capítulo VI CONCLUSIÓN

Se ha presentado un diseño de precipitador electrostático cuya finalidad es poder ser utilizado para fines domiciliarios. El tipo escogido es el de placas cuadradas y paralelas, el que fué diseñado para evitar el arco electrostático entre placas. Un precipitador tubular o de alambre es más usado en lugares donde existe una mayor concentración de partículas, producto de actividad industrial o minera en general, pero en él se genera regularmente arco producto del cambio en la resistividad del aire contenido.

El sistema diseñado fue caracterizado con las variables más relevantes que influyen en la eficiencia de la recolección.

Es posible obtener una eficiencia aún mayor al sistema ya diseñado, utilizando adicionalmente filtros entre el sistema de recolección y la recámara de precipitación. En el mercado se usan los filtros HEPA⁷, los que garantizan una limpieza adicional, logrando así eficiencias de hasta un 99,997% comparado con el sistema sin filtro, el cual ha alcanzado una eficiencia del 98%.

El diseño presentado y sus resultados obtenidos indican que los parámetros son adecuados para un uso domiciliario interior, incluso pudiendo ser usado en lugares públicos y cerrados de volumen no superior en demasía a los volúmenes ya señalados (por ejemplo una sala de fumadores en un restaurant). En particular este dispositivo es

de baja emisión de ozono, dado su bajo voltaje de ionización en comparación con los sistemas industriales cuyos voltajes de operación superan fácilmente los 50 kV.

Una masificación de dispositivos como éste permitiría una mejora en la calidad de vida de las personas que están frecuentemente sometidos a algún tipo de contaminación del lugar donde residen o frecuentan.

REFERENCIAS

- [1] **BADRE R. GUILLERM, HEE J.** *L'électricité atmosphérique et ses rapports avec la biologie examen critique des publications, resultants personnels.* Rev Gén. Elect, 81(4), 240-244, 1972.
- FEITELEVICH J., MISBASHAN A.** *Terapéutica por inhalación de Iones en padecimientos respiratorios.* La Prensa Médica Argentina, pág. 45, 1958.
- RAMSON K. J.** *An experimental study of the effects of negative ionization of general activity.* Unpublished thesis, Baylor University. 1983.
- SULMAN F. G. ASSAEL M., ALPERN S. and PFEIFFER.** *Influence of artificial ionisation of air on the electroencephalogram.* Journal of Medical Science, Israel (1974).
- [2] **OLIVEREAU J. M.** *Influence des ions atmosphériques négatifs sur l'adaptation á une situation stressante chez le rat.* Int. J. Blometeor.Sous presse, 1973b.
- PALTY Y., DENOUR E., ABRAHAMOF A.** *The effects at athmospheric ions on the respiratory system of infants Pediatrics,* 38 (3), 405-411, 1966.
- FURST R.** *Studies on ionization effects.* Annual Report, Anderson Hospital. Houston University of Texas, 1955.
- [3] **PIOLET H.** *L'Homme et son environnement: un climat électrique.* Le Moniteur de la construction pag. 11-113, Oct. 1974
- [4] **PAUL C. ADAMS.** *Air purifier and Ionizer,* Berkeley University, U.S. Patent 4,253.852, March 3, 1981.
- [5] **GRAMSCH E., GAETE E.** *“Mitigación de Contaminantes en mina subterránea, División Andina”.* Informe de pruebas Experimentales. Enero 2008
- [6] **HOROWITZ PAUL,** *“The Art Of Electronics” Cambridge University Second Edition,1989*
- [7] **DONALD TOLLIVER,** *“Handbook of contamination control in microelectronics”* Noyes Publications, 1988.

APENDICE A.

COSTOS Y UTILIDADES ASOCIADOS AL PRODUCTO.

La siguiente tabla muestra una estimación resumida de los costos asociados a la fabricación y puesta en venta para un precipitador electrostático. Suponiendo una fabricación de varias unidades en serie.

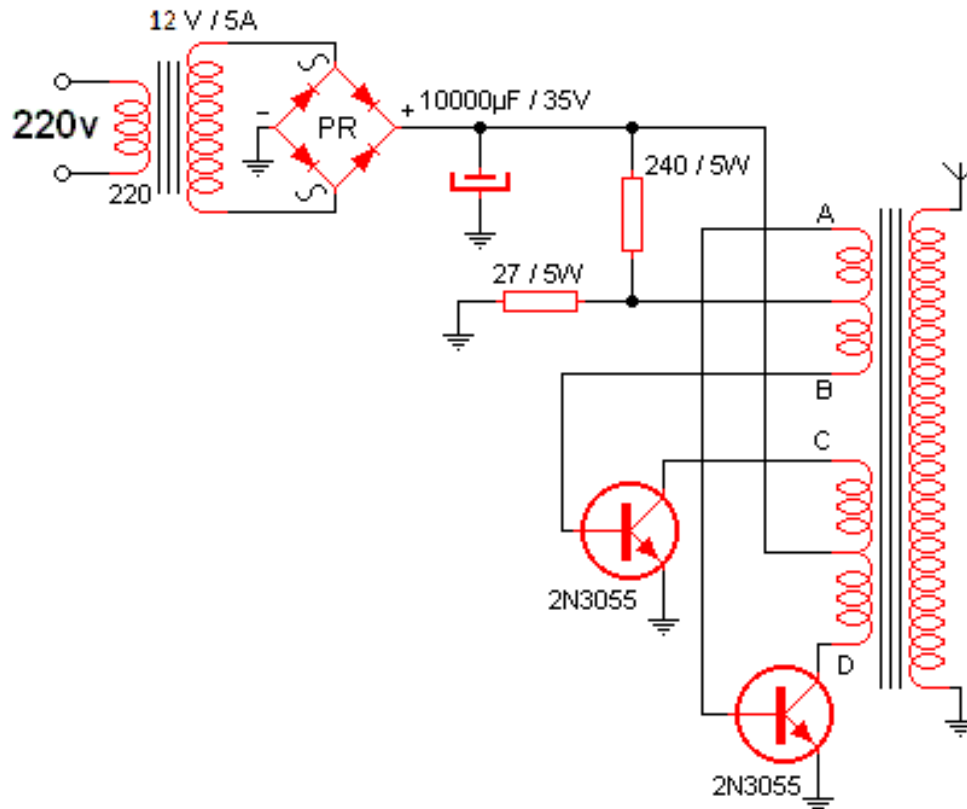
Variable		Detalle	Precio Unitario \$	Total \$
PRODUCCION	MATERIALES			
		Flyback 7,5 kV	5.000	5.000
		Manguera	500	
		Electrodos de Al 15x15cm (4unids)	1500	
		Cables e interruptores.	3000	
		Carcasa	2000	
		Sistema de montaje interior	500	
		Transformador 220V AC a 12V DC	4000	
		Sistema de ventilación	1000	
		Cintas y pegamentos	2500	
		Sellantes, pinturas.	4000	
		Embalaje y sellado	1000	
		TOTAL DE COSTOS		25.000
VENTA	PRECIO MINIMO			
		1 UNIDAD		40.000

Con esta información es posible obtener un margen de ganancia por unidad, cercano al 60% sin considerar las variaciones en el precio que cada material puede tener. El servicio de mantención y transporte no están incluidos.

APENDICE B

FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO FLYBACK

Este sistema permite obtener hasta 40KVCD desde 12 VDC. El equipo se alimenta de la red eléctrica aunque de forma aislada ya que el primer transformador (de 220 a 24) aísla la red al tiempo que reduce la tensión de entrada.



Se usará un flyback, obtenido de un televisor en desuso. Conviene utilizar uno de estos dispositivos sin triplicador, ni diodo de alto voltaje. Este tipo de transformadores permiten obtener tensiones del orden de los diez mil voltios fácilmente.

El bobinado de potencia (formado entre los puntos C y D) está compuesto por diez espiras de alambre AWG18 con una toma central (o sea, cinco espiras, la toma central y otras cinco espiras mas). El bobinado de control (formado entre los puntos A y B) está compuesto por cuatro espiras de alambre AWG22 con una toma central (lo que sería igual a dos espiras, la toma central y otras dos espiras más).

Los transistores deberán estar debidamente disipados térmicamente a fin de evitar problemas por sobre temperatura.