

PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO¹

ELECTROSTATIC PRECIPITATOR¹

Norma Graciela Silva Ortiz²

Alfredo Renault López²

Edgar Marcial Maqueda Acuña²

1 Trabajo presentado por la Facultad Politécnica y financiado con rubros del Rectorado de la Universidad Nacional de Asunción durante el año 2013

2 Docentes investigadores de Grupo de Investigación en Electrónica y Mecatrónica de la Facultad Politécnica.

RESUMEN

La investigación se enfocó en el dimensionamiento y diseño de la estructura de un precipitador electrostático (PES) de modo a reducir la emisión del material particulado del carozo de coco (biomasa), debido a su alto poder calorífico, es el combustible mayormente utilizado en el horno de las industrias en Paraguay. El PES placa-alambre está diseñado para atrapar en general partículas de $10\mu\text{m}$ a $0.1\mu\text{m}$, compuesta por 3 electrodos colectores y 4 electrodos de descarga formados a su vez por 9 hilos de alambre, entre las placas. La tensión máxima de entrada es de 13 kV, circuito que utiliza un transformador flyback, la distancia entre las placas y la distancia entre alambre del electrodo fueron ajustados de acuerdo a las pruebas de campo, obteniendo una eficiencia promedio de 74% proveniente de la observación, experiencia propia y los resultados de la ingeniería realizada.

Palabras clave: Precipitador electrostático, PES, biomasa, electrodos, flyback.

ABSTRACT

The research focused on the dimensioning and design of the structure of an electrostatic precipitator (ESP) in order to reduce the emission of particulate material from the pitococnut (biomass), due to its high calorific power, is the most widely used in the fuel oven industries in Paraguay. The PES plate-wire is designed to trap particles generally $10\mu\text{m}$ to $0.1\mu\text{m}$ composed of three collecting electrodes and discharge electrodes 4 turnformed by nine metal wires, between the plates. The maximum input voltage is 13k circuit using a fly back transformer, the distance between the plates and the distance between the electrode wire were adjusted according to field tests,

obtaining an average efficiency of 74% from the observation, experience and performance of engineering made.

Key words: Electrostatic precipitator, PES, biomass, electrodes, flyback.

INTRODUCCIÓN

El Precipitador Electrostático (PES) es un electrofiltro de materia particulada utilizado en las industrias para la recolección de las partículas de cenizas producidas por la combustión. El humo producido por la combustión, es una mezcla de gases y partículas, teniendo en cuenta que es utilizado para un ambiente seco y no húmedo, a estas partículas al pasar por el precipitador, son ionizadas por un campo eléctrico entre un alambre (electrodo colector) y una placa (recolectora), para luego ser recolectados en una tolva.

Este proyecto consiste en desarrollar un filtro electrostático con un sistema de control de sus principales variables, que permita optimizar el proceso de reducción de la emisión de las partículas al aire libre, por parte de las industrias, de esta manera las personas cercanas a las fuentes de emisión no serían afectadas en su salud y así se puede evitar las enfermedades respiratorias por causa del material particulado.

La investigación se enfocara a la reducción de la emisión del material particulado del carozo de coco, ya que por su alto poder calorífico, es el combustible mayormente utilizado en el horno de las industrias en Paraguay y es una planta común de la zona, las cenizas se recolectan en la tolva, para luego poder reutilizarlas al ser mezcladas con abono.

El PES es un electrofiltro de alta eficiencia de recolección, la investigación realizada demuestra el uso del PES de placa-alambre, es el más utilizado para grandes volúmenes de gas,

Dimensionamiento de los principales elementos del PES

1- Zona de Tratamiento

Electrodo de descarga.

En los precipitadores estadounidenses, los electrodos de descarga son hechos de delgados alambres de acero de alto carbono, redondos de 0,13 a 0,38 cm de diámetro, generalmente de 0,25 cm de diámetro.

(NEUNDORFER)

Fabricantes de precipitador europeos y la mayoría de los sistemas más recientes (desde la década de 1980) hecha por los fabricantes estadounidenses usan marcos rígidos de soporte para electrodos de descarga. La marcos pueden consistir en alambres en espiral de resorte, tiras dentadas o puntos de agujas montadas sobre un apoya tira. (NEUNDORFER).

En nuestro prototipo para el electrodo de descarga se utilizo alam-

bres en los cercos eléctricos con un marco de aluminio, con las siguientes medidas cuyos cálculos fueron basados en los siguientes items:

- La distancia entre los electrodos de descarga debe ser entre 1,1 a 1,2 veces la distancia al electrodo colector más próximo (FERNANDEZ OVIEDO, 2000).
- Cuando más cerca este cada electrodo de descarga del siguiente, mayor podrá ser la corriente de trabajo. Sin embargo si el espacio entre ellos es muy pequeño cada uno puede hacer de escudo del otro, disminuyendo así la corriente por unidad de longitud que pueden suministrar (FERNANDEZ OVIEDO, 2000).

Dimensiones del Electrodo de descarga:

- Ancho = 35 cm
- Largo = 60 cm
- Alambre de Acero Inoxidable diámetro 0,60 mm.
- Cuadro soporte hecho de Perfil de Aluminio tipo U.

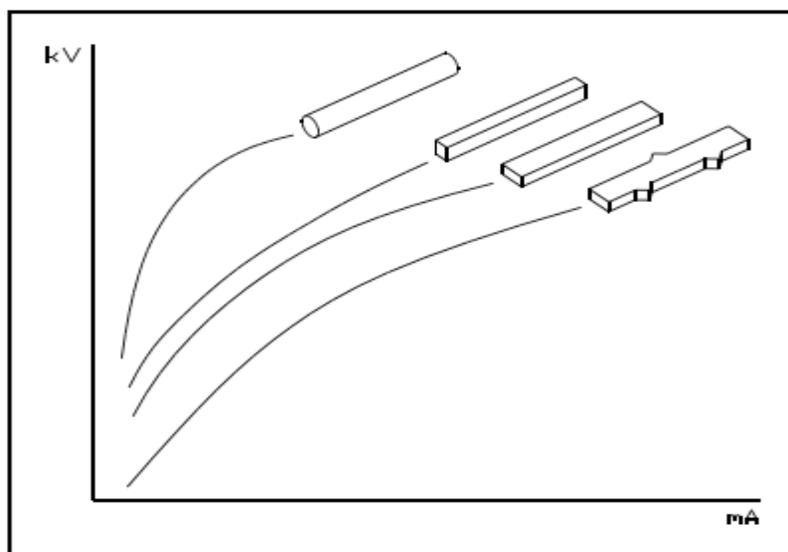


Figura 2. Características tensión-corriente de los diversos tipos de electrodos de descarga.

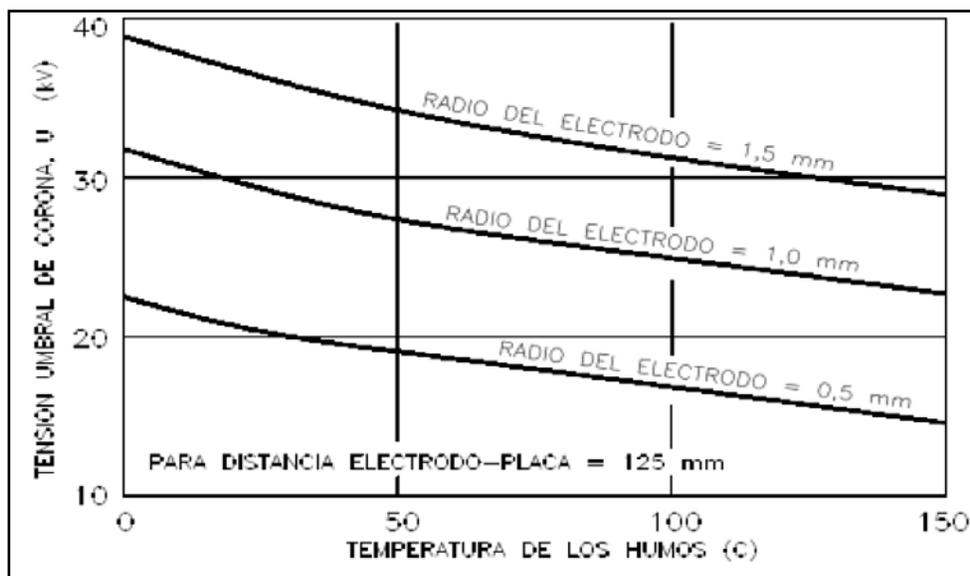


Figura 3. Tensión umbral de corona en función de la temperatura para distintos radios del electrodo de descarga.



Figura 4. Electrodo de descarga.

Electrodo Colector

Los electrodos colectores tienen una superficie plana. La evolución a través de los años de estos electrodos ha dado lugar también a una gran variedad de formas de los mismos. Los requerimientos principales para un electrodo colector son los siguientes:

- Asegurar el cumplimiento de las propiedades eléctricas deseadas, en cuanto a la tensión de descarga y a la distribución del campo eléctrico.
- Tener una rigidez adecuada para evitar las vibraciones. El grado de rigidez de los electrodos es muy importante ya que afecta

a la vibración de las placas especialmente cuando se golpean. Un golpeo será tanto más eficiente cuanto más uniforme sea la distribución de las aceleraciones transversales máximas a lo largo de toda la superficie del electrodo. Este es un aspecto muy cuidado actualmente ya que las aceleraciones pueden exceder 500g, siendo g la aceleración de la gravedad. Hace algunos años raramente alcanzaban valores de 100g.

- Bajo peso: Es muy importante que los electrodos colectores no sean muy pesados, para disminuir las

cargas que debe soportar la carcasa y los apoyos.

- El perfil del electrodo debe ser tal que impida la reentrada del polvo en la corriente de humos cuando se produce la limpieza por golpeo (FERNANDEZ OVIEDO, 2000).

Teniendo en cuenta cada uno de los criterios citados anteriormente se procedió al diseño del electrodo colector con las siguientes características:

- Chapa Galvanizada N° 29
- Ancho = 35 cm
- Largo = 60 cm

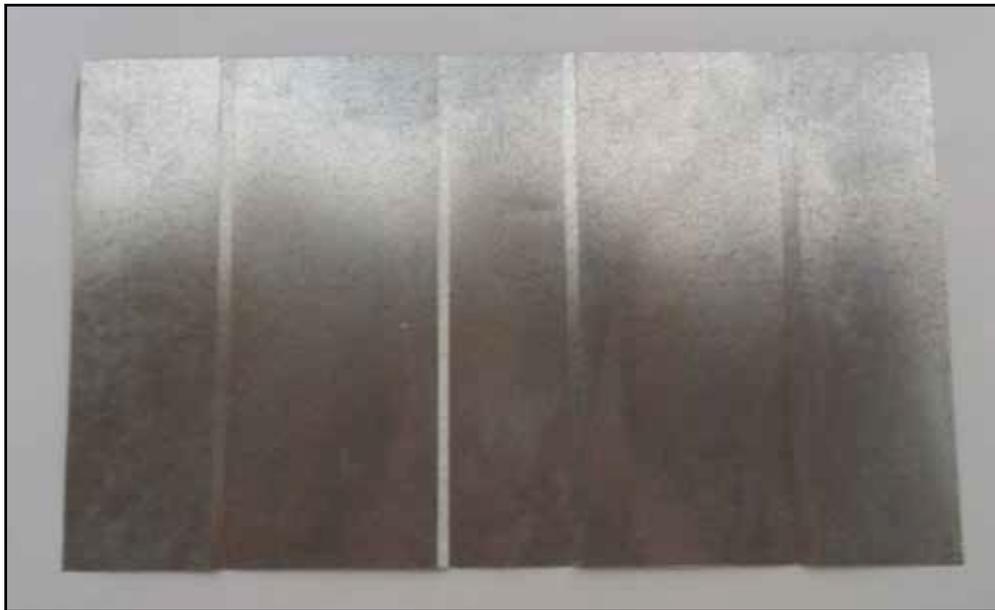


Figura 5. Electrodo colector.

Estructura:

- Esqueleto estructural: Se utilizó Perfiles de Aluminio tanto para el marco soporte de los electrodos de descarga y para el cuerpo central por su características de peso ligero, dureza, fácil manipulación para las diferentes formas que se requieren para la construcción.
- Paredes: se utilizó acrílico transparente para poder ser visualizado el comportamiento del gas en el interior del prototipo.
- Ductos de entrada, salida y recolección: se utilizaron para sus construcciones Chapa Galvanizada N° 27 por sus características de resistencia a la corrosión, dureza y puede soportar altas temperaturas.

- Sellador para las uniones: Se utilizó adhesivo plástico sinza por sus características de soportar altas temperaturas, bajo costo, fácil empleo.



Figura 6. Estructura

1- Aislantes

Se utilizó aislantes PVC tipo cercado eléctrico ya que está preparado para su utilización en altas tensiones y temperaturas considerables.

2- Circuito generador de alta tensión

Para el circuito generador de alta tensión se utilizó un transformador flyback, un circuito oscilador, dos transformadores de 5V y $\pm 30V$, el primero para alimentar el circuito oscilador y el segundo para alimentar el primario del flyback.

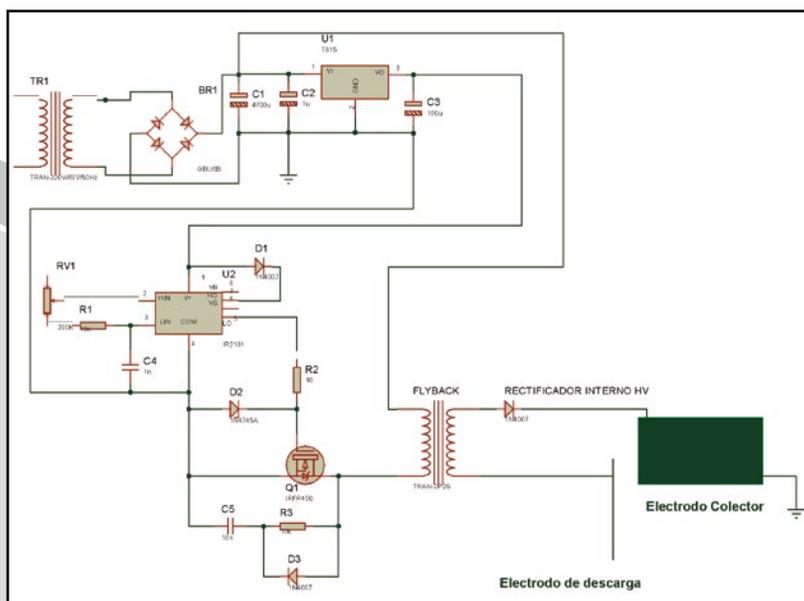


Figura 7. Circuito generador de alta tensión.

Como se puede observar en la figura 6, el integrado IR2153, es un oscilador parecido al temporizador 555, el cual se encarga de abrir y cerrar el transistor Mosfet IRFP450, la cual está conectado al bobinado primario del flyback, luego el bobinado secundario del fly-

back se conectan a los electrodos (Vcc) y placas (Gnd). La frecuencia de oscilación es variable y tiene un rango de 3kHz a 60kHz, al variar la frecuencia también varía el voltaje de salida y donde tenemos la máxima tensión de salida es a la frecuencia de 3kHz.

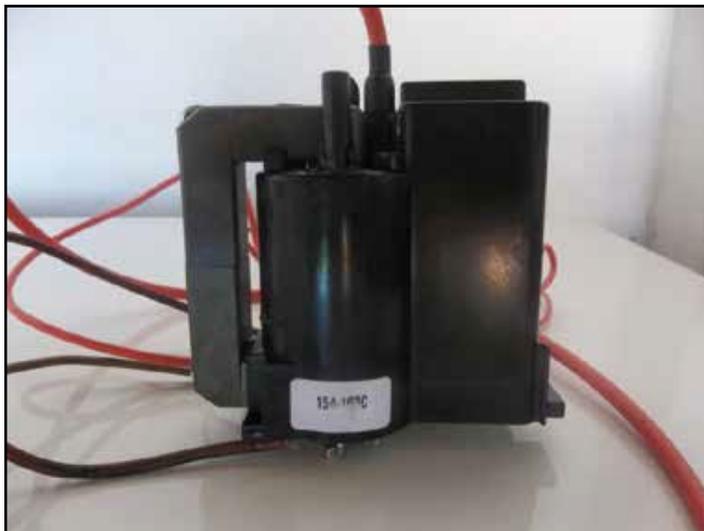


Figura 8. Transformador flyback.

Por la necesidad de contar con un instrumento para la medición de alta tensión se procedió a la construcción de una sonda de alta tensión.

Construcción de una sonda de alta tensión.

La sonda de alta tensión es un dispositivo que se utiliza para medir tensiones continuas de hasta 150 kV.

Funciona como un reductor de tensión, dando a conocer el valor real de la variable medida por medio de una relación de 1000:1, es decir que por cada 1000 V de tensión continua aplicada a la punta metálica de la sonda, se tendrá 1V al otro extremo del dispositivo conectado al multímetro digital donde es leído el valor numérico 1000 veces menor al real.

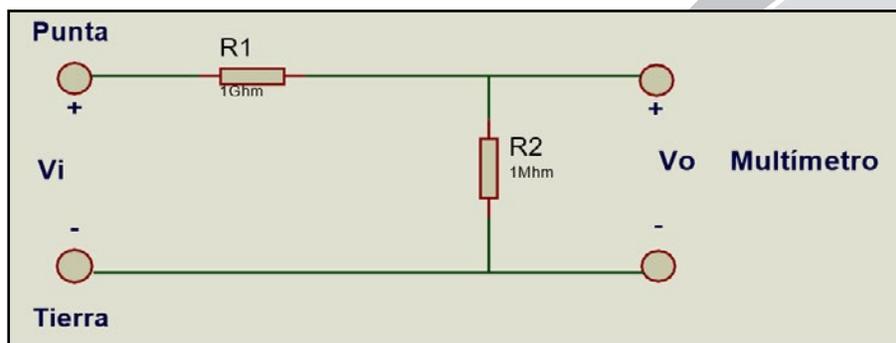


Figura 9. Circuito eléctrico de la sonda

Calculo ideal: $V_i = 1000 \text{ V}$
R1: $1 \text{ Ghm}; 0.25 \text{ W} * 100 = 25 \text{ W}$

donde 100 es la cantidad utilizada de resistencias

R2: $1 \text{ Mhm}; 0,25 \text{ W}$

Se calcula V_o por ley de Ohm:

$V_o = I * R_2$

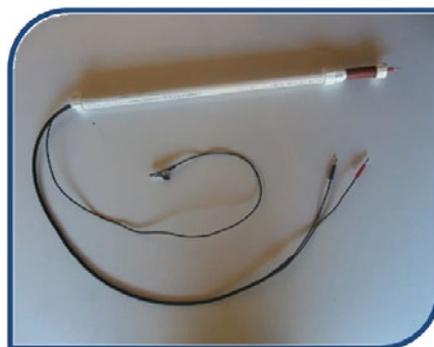


Figura 10. Sonda de alta tensión

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los parámetros más importantes para el diseño del PES es la generación del campo eléctrico por medio de la fuente de alta tensión, la eficiencia y el consumo.

Generación del campo eléctrico

La fuente de alimentación realizada cumple con los requerimientos necesarios para la generación de un campo eléctrico con las especificaciones técnicas que se pueden observar en la tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones técnicas de la fuente de alimentación

Tension sin carga	Tension con carga	Corriente en la entrada	Potencia en la entrada del Flyback	Corriente de salida	Pconsumo
22kv	13kv	$I = 220 \text{ mA}$	$P = 27 \text{ v} \times 220 \text{ mA}$	$P_{sal} = P_{ent}$	$P = (6 \text{ w} / 1000) \times 1 \text{ hora}$
			$P = 5,94 \text{ W}$	$5,94 = 13 \text{ kv} \times I_{sal}$	
				$I_{sal} = 0,46 \text{ mA}$	

Rendimiento o eficiencia del PES diseñado

Método utilizado para el cálculo del rendimiento:

Cociente entre pesos del polvo coleccionado e ingresante del PES.

Descripción:

El polvo utilizado es ceniza producto de la combustión de carozo de coco utilizado por la empresa PARESA en su proceso de producción, proporcionados por la empresa para las pruebas. El polvo es ingresado al PES por medio de una corriente de aire por medio

de un ventilador colocado en la entrada; las cenizas son arrastradas dentro del PES en funcionamiento simulando una combustión pero sin calor.

Siendo debidamente pesados el polvo ingresante y recolectado por el dispositivo, mediante sus diferencias se obtiene el peso calculado que escapó al aire. Entonces el rendimiento se obtiene dividiendo el peso de las cenizas coleccionadas e ingresantes al PES multiplicadas por 100.

$$\text{Rendimiento} = \text{polvo colectado} / \text{Polvo entrante} \times 100$$

Tabla 2. Resultado de 5 ensayos hechos

Masa (gramos)	Tiempo (segundos)	tensión kV	Potencia	Recolectado (gramos)	Salida (gramos)	Eficiencia Rec/ent %
70	60	13	6	60	10	86
85	90	13	6	60	25	71
115	120	13	6	95	20	83
125	150	13	6	80	45	64
130	180	13	6	90	40	69

Valor medio eficiencia	74 %
------------------------	------

OBS.: Al no contar todavía el prototipo con el sistema de limpieza automatizada, la extracción total del polvo recolectado fue hecho manualmente, lo cual dificultó la extracción completa del polvo colectado por el PES, reduciendo por este inconveniente la exactitud del cálculo.

CONCLUSIÓN

Se logró la construcción de un prototipo de Precipitador Electrostático el cual reduce el material particulado de la combustión de carozo de coco por el método empleado hasta un 74 % con un consumo de energía de 6 watts hora, un consumo muy bajo, cuya implementación es viable por las industrias para cuidar el aire que respiramos.

En los ensayos hechos se constató la generación de ozono durante el funcionamiento del PES, esto es debido al alto campo eléctrico existente y es característico en las precipitaciones de este tipo de campos.

El ozono expide un fuerte olor, el cual es nocivo para el ser humano en contacto directo con dicho gas.

AGRADECIMIENTOS

Al Grupo de Investigación en Electrónica y Mecatrónica GIEM, por el apoyo y asesoramiento técnico para la realización del proyecto.

REFERENCIAS

BIBLIOGRAFICAS

- Fernandez Oviedo, I.P. 2000. precipitadores electrostaticos utilizados en centrales termoelectricas. 2000.
- Neundorfer. Electrostatic Precipitator Components.
- Walter Egli, U.K. 1999. Avanzados instrumentos de cálculo para precipitadores electrostáticos. revistaabb.4(1).33-42.
- ChayasakRuttanachot, YutthanaTirawanichakul, PerapongTeka-sakul, 2011.
- Application of electro-static precipitator in collection of smoke aerosol particles from wood combustion. 9p.
- H. J. White, industrial electrostatic precipitation, reading, addison wesley publishing company, new york, 1963.