

# ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE LA UTILIZACION DE PLASMA COMO HERRAMIENTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS

*Claudia Sofía Quintero Duque - Escuela de Ingenierías y Administración.*

*Claudia Paulina González Cuervo - Departamento de Ciencias Básica.*

*Juan Carlos Mantilla Saavedra - Facultad de Ingeniería Electrónica.*

*Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. A.A. 2932. Bucaramanga, Colombia.*

*Recibido octubre 13, 2008-Aceptado Abril 13, 2009*

<http://dx.doi.org/10.18566/puente.v3n1.a03>

**Resumen**—El presente trabajo plantea el estudio teórico práctico de la utilización del plasma como herramienta de tratamiento de residuos, tecnología que tiene grandes beneficios, ya que el producto generado por el tratamiento no representa un riesgo contaminante, pues su composición principal son compuestos Vitro cerámicos, que pueden ser utilizados como materia prima en diferentes procesos industriales.

El plasma es considerado como el cuarto estado de la materia, conformado por gases, cuya composición química está representada principalmente por iones y algunas especies neutras. Una de las formas de obtener este estado, consiste en ionizar los gases utilizando fuentes de alto potencial del orden de los 20 KV, con temperaturas de  $10^2$  K para una presión de 1000 Torr.

Para cumplir con los requerimientos del proceso de obtención del Plasma, el proyecto plantea un diseño de la ionización de los gases Helio (He) y Oxígeno ( $O_2$ ), utilizando una fuente pulsada de alto voltaje para la generación de un arco eléctrico, a través de un reactor piloto, con un espectrofotómetro que permite el control de la intensidad del plasma.

La selección del residuo a tratar, se basó en información recopilada en tesis y estudios realizados por el Ministerio del Medio Ambiente en Colombia; otro de los criterios que se tuvo en cuenta es la problemática en el manejo, disposición y tratamiento de residuos peligrosos, que actualmente son incinerados siendo fuentes generadoras de dioxinas y otros compuestos tóxicos en la atmósfera.

**Palabras clave**— Plasma, Voltaje, Residuos hospitalarios, Reactor, Ionización.

**Abstract**— The purpose of this essay is approached an theoretical and practical study about plasma as waste treatment tool than offer benefits in front of other methods as incineration. The main composition of treatment residue is vitroc ceramic materials which it has had industry application as raw material.

Plasma has been considered “fourth state of matter” set up for ionized gas and some neutral particles. One way for obtaining this state consist of gas ionization using high potential power supply in order of 20 KV (Kilovoltios),  $10^2$  grados de temperature and pressure of 1000 Torr.

This work has studied all requirements to produce plasma and give design planning for gas ionization, using Helium and Oxygen as raw matter, close to power supply which generate an arc electrical into a test driver analized for spectrophotometer.

The kind of waste has been choose according to Colombia problematic, it involves management, disposition and treatment of dangerous wastes whose residue involves dioxins and toxics compounds in the air.

**Keywords**— Plasma, voltaje, hospital residue, ionization and reactor.

## I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo económico y social de los países Eha provocado el aumento de la presión sobre el ambiente, surgiendo la necesidad de reducir, reutilizar, recuperar y reciclar los residuos

Claudia González. Ph.D. en Ciencias Física de la Universidad del Valle

e-mail: [claudia.gonzalez@upbbga.edu.co](mailto:claudia.gonzalez@upbbga.edu.co)

precedentes de las actividades humanas. Para lograr el tratamiento de los residuos se ha recurrido a la utilización de técnicas como: incineración, gasificación, pirolisis y biometanización, consideradas como generadoras en la mayoría de veces de productos tóxicos como dioxinas y similares. Sin embargo, dentro del campo de las nuevas tecnologías en la industria, el empleo del plasma en muy diversas aplicaciones se está destacando por su gran velocidad de expansión y desarrollo. Actualmente se emplea en los usos más simples, como método de análisis químico en la detección de compuestos, hasta la fabricación de circuitos integrados de semiconductores, templado de piezas industriales, recubrimientos anticorrosivos, obtención de superconductores, etc. y eliminación de residuos. [1,2]

En este último sector, la tecnología de plasma se encuentra a nivel mundial en una fase todavía muy inicial, existiendo muy pocas instalaciones industriales de este tipo, ofreciendo gran diversidad de posibles aplicaciones, puesto que esta tecnología es ambientalmente limpia y de gran utilidad para el tratamiento de residuos considerados como especiales peligrosos.

En la actualidad existen únicamente instalaciones que emplean esta tecnología en la eliminación de residuos en Japón, Canadá y Francia, principalmente para compuestos orgánicos persistentes, PCBs, lodos industriales, pesticidas, amianto, cenizas de incineradoras, etc, generando finalmente material vitrocerámico. En Colombia, se han realizado investigaciones aisladas alrededor de este tema, resaltando que la aplicación del Plasma no se ha hecho evidente en los niveles doméstico e industrial.

En Colombia existe un sin número de Decretos referidos a los residuos peligrosos, sin embargo el Decreto 1443 de 2004 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; reglamenta parcialmente el Decreto-Ley 2811 de 1974, la Ley 253 de 1996, y la Ley 430 de 1998 en relación con la prevención y control de la contaminación ambiental por el manejo de plaguicidas y desechos o residuos peligrosos provenientes de los mismos y se toman

otras determinaciones. El Decreto 2676 de 2000, el cual reglamenta la gestión integral de los residuos hospitalarios y similares. Decreto 4741 de 2005 que contempla la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral. Sin embargo, no se contempla el uso de tecnologías para el tratamiento de los residuos listados como peligrosos o especiales [3].

El objeto del presente artículo es presentar una compilación de pruebas con el fin de establecer las condiciones que se requieren para la obtención del plasma, y ensayos utilizándolo como método de tratamiento de residuos como: trozos de icopor, papel plastificado; secado de diferentes materiales como: cigarrillos, granos de café, entre otros efectuados en los laboratorio de control de la facultad de ingeniería electrónica de la UPB- Bucaramanga.

## II. PROCESO EXPERIMENTAL Y RESULTADOS [4-9].

En la primera parte de la fase de experimentación se realizaron una serie de pruebas con diferentes tipos de fuentes de alimentación, para el manejo de un circuito básico de control basado en un LM 555 que controla la frecuencia de operación (entre 50Hz y 200Hz), y un circuito de potencia basado en una bobina elevadora de tensión (de automóvil) y un interruptor de potencia de estado sólido (IRF 840). Dentro de las fuentes usadas se tenía:

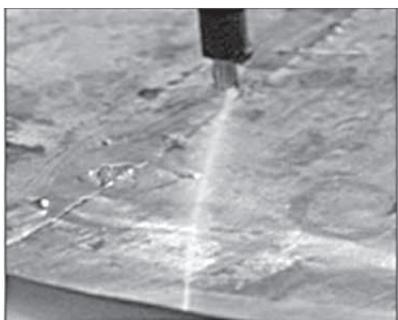
-Fuente interna de un computador: No se pudo generar descargas eléctricas, puesto que la corriente de salida de la fuente era de 2.5A y los circuitos de control y potencia pedían una corriente de mayor valor, lo que se evidenciaba en la caída de tensión de la fuente.

-Fuente regulada de voltaje Protek 3003B variable de 0 a 30 VDC: Esta fuente tiene una corriente de salida máxima de 3A; tampoco fue posible la obtención de la descarga, pues al momento de energizar los circuitos, la tensión de la fuente se caía. Al no tener certeza de la potencia experimental que requería el circuito para su funcionamiento, se realizó una estimación

de esta, obteniendo como resultado una corriente aproximada de 4A a 12VDC; de acuerdo a esto, se procedió a realizar el diseño y la implementación de una fuente de alimentación que cumpliera con estas características.

-Primera fuente implementada: fuente regulada de voltaje basada en el LM317, diseñada para suministrar un voltaje de 12 VDC a 5 A, con el fin de garantizar la potencia requerida en los circuitos de control y potencia para la generación de descargas pulsadas de alto potencial, lo cual se logro, con el inconveniente del sobrecalentamiento del LM317, lo que lo desactivaba, generando una interrupción en la operación del circuito.

-Segunda fuente implementada: Se diseño una fuente rectificadora, con un transformador TR6, un puente de diodos de potencia de 15A y un filtro de 35800  $\mu$ F, con la cual se produjo la potencia necesaria para mantener un arco eléctrico constante, de aproximadamente 5KV, con una distancia de arco eléctrico máxima de aproximadamente 3cm, tal como se aprecia en la siguiente figura (1):



**Figura 1. Arco eléctrico.** Fuente Blanquicett J.B., Quintero C.S., González C.P., Mantilla J.C. Septiembre de 2007

Para generar la descarga eléctrica se acondicionaron dos láminas de cobre soldadas que cumplen la función de tierra física, y un cable AWG16 como electrodo de alto potencial.

En la segunda parte de la fase de experimentación se trabajo en el mejoramiento de los circuitos de control y potencia; para el primero se paso de un simple oscilador (entre 50Hz y 200Hz) basado en un LM 555, a un oscilador de baja frecuencia (5Hz y 20Hz) que modula un oscilador de alta frecuencia

(1KHz) con el fin de proteger el transformador elevador. Para el circuito de potencia se paso de trabajar con interruptores de estado sólido IRF 840, a IRFP260N, cuya mejora se presenta en el manejo de corriente que tiene éste último, la cual es de 50A, lo que disminuye el tamaño de los disipadores usados en los IRF 840.

Teniendo la descarga eléctrica variable, y usando como medio dieléctrico el aire, se desarrollaron los siguientes experimentos:

- Confinamiento de la descarga eléctrica en un medio saturado de humo producto de un proceso de incineración: Se genera una disipación lenta del humo causada por la generación de iones negativos de la descarga eléctrica. La evidencia de la generación de iones negativos se da en el olor a frescor (límpido) que se produce en el ambiente al momento de la descarga. Ver siguiente figura 2.



**Figura 2– Arco Eléctrico en Gas Confinado**  
Fuente: Blanquicett J.B., Quintero C.S., González C.P., Mantilla J.C.. Septiembre de 2007.

- **EXPOSICIÓN DEL CIGARRILLO A LA DESCARGA ELÉCTRICA**



**Figura 3. ARCO ELÉCTRICO EN CIGARRILLO.**  
Fuente: Blanquicett J.B., Quintero C.S., González C.P., Mantilla J.C. Septiembre de 2007.

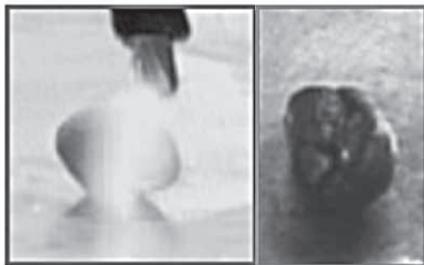
De acuerdo a la figura 4, se toma un cigarrillo y se expone a la descarga de alto potencial. Cuando la descarga es aplicada a una alta potencia, y se concentra en un solo punto del cigarrillo, se produce un proceso de incineración que deja el cigarrillo como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 4. RESIDUO DEL CIGARRILLO.** Fuente: Blanquicett J.B., Quintero C.S., González C.P., Mantilla J.C. Septiembre de 2007

Cuando la descarga se aplica a baja potencia, y sin concentrar el rayo en un solo punto a manera de barrido por el cuerpo del cigarrillo, no se produce incineración, sino que las paredes del cigarrillo se humedecen y se genera un pequeño deposito liquido en la lámina de cobre utilizada como soporte, lo que podría inferirse como un posible proceso de deshidratación.

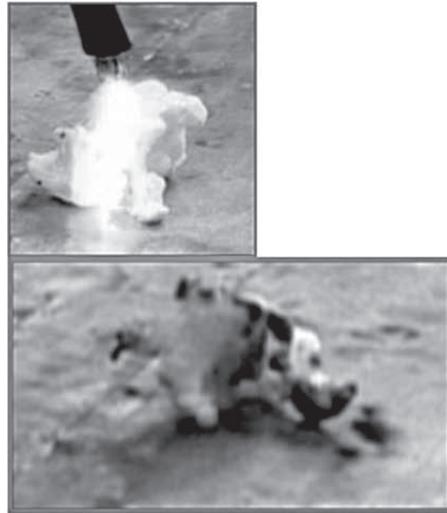
**- EXPOSICIÓN DE UN GRANO DE CAFÉ A LA DESCARGA ELÉCTRICA**



**Figura 5. GRANO DE CAFÉ TRATADO** Fuente: Blanquicett J.B., Quintero C.S., González C.P., Mantilla J.C. Septiembre de 2007.

Como se puede apreciar en la figura, se experimento con un grano de café a la exposición de la descarga eléctrica. Con la descarga a alta potencia y concentrada en un punto, incinera el grano, mientras que con una menor intensidad de descarga aplicada en barrido, se obtiene una especie de tostado sobre la cáscara del grano, generándose un fuerte olor a café. No se evidencian procesos de deshidratación.

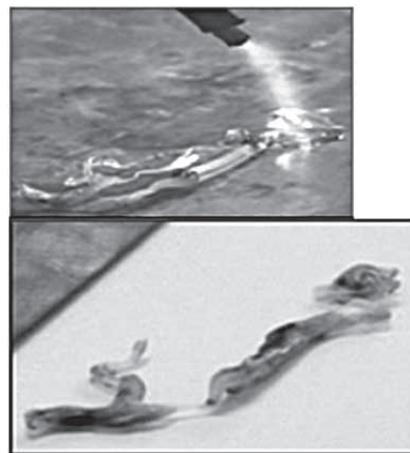
**- EXPOSICIÓN DE UN TROZO DE ICOPOR A LA DESCARGA ELÉCTRICA**



**Figura 6 – ICOPOR TRATADO.** Fuente: Blanquicett J.B., Quintero C.S., González C.P., Mantilla J.C. Septiembre de 2007.

Cuando el icopor se expone a la descarga eléctrica de alta potencia y concentrada en un punto, tal como en los casos anteriores, se genera un proceso de incineración, pero al disminuir la potencia y aplicar la descarga a manera de barrido, el icopor se degrada sin que se genere incineración del mismo.

**- EXPOSICIÓN DE UN TROZO DE VASO PLÁSTICO A LA DESCARGA ELÉCTRICA**



**Figura7. PLÁSTICO TRATADO.** Fuente: Blanquicett J.B., Quintero C.S., González C.P., Mantilla J.C. Septiembre de 2007.

En esta instancia se puede generalizar el caso en el cual a una mayor potencia y un punto fijo de concentración de la descarga, se produce incineración del material, tal como sucede con el plástico; mientras que a baja potencia y aplicando la descarga a manera de barrido, el plástico se encoge por temperatura sin incinerarse.

- **EXPOSICIÓN DE UN TROZO DE PAPEL PLASTIFICADO A LA DESCARGA ELÉCTRICA**

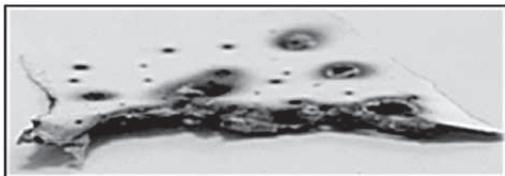


Figura 8. PAPEL PLASTIFICADO TRATADO Fuente: Blanquicett J.B., Quintero C.S., González C.P., Mantilla J.C. Septiembre de 2007.

Además de la incineración a alta potencia, a baja potencia y aplicando la descarga a manera de barrido, se logra la separación del plástico (se encoge), pero el papel se incinera.

De estas pequeñas experiencias se puede inferir que la intensidad de la descarga eléctrica, su frecuencia y forma de aplicación juegan un papel fundamental en el tipo de resultado deseado. Obviamente la descarga asociada al aire constituye un ionizador básico, asociado a una generación de plasma de bajo nivel y muy ineficiente alrededor de la descarga propiamente dicha. Cambiar o mejorar las características del plasma implica cambiar el tipo de gas, el medio de confinamiento y el diseño de un reactor para su generación, además del control de algunas variables como el flujo de gas, la intensidad de la descarga, su frecuencia y forma de aplicación, y la temperatura del proceso.

Además de la eliminación de residuos, del proceso de experimentación podemos inferir que el plasma podría tener otro tipo de aplicaciones, tales como la deshidratación de algunos elementos, o procesos de separación de materiales, tal como lo hace una empresa brasilera con el TETRAPAK, envase hecho con tres materiales: 75% de papel (fibra larga), 20% de polietileno de baja densidad y 5% de aluminio, mediante la aplicación de la tecnología Thermal Plasma.

## DISEÑO PRELIMINAR DEL REACTOR Y SISTEMA DE TRATAMIENTO

En la figura 9. se presenta un diseño preliminar del reactor y el sistema de tratamiento de residuos basado en el proceso de experimentación, el análisis de la información y en las experiencias compartidas por los profesionales de la región que han trabajado con plasma.

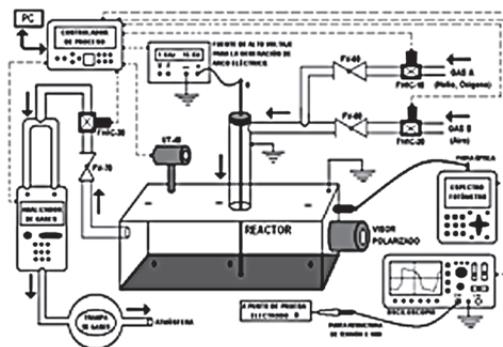


Figura 9 DISEÑO PRELIMINAR DEL REACTOR Y SISTEMA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS. Fuente: Quintero C.S., González C.P., Mantilla J.C. Septiembre de 2007

Para este planteamiento no se tuvo en cuenta la capacidad del reactor en cuanto a la cantidad de residuos a tratar, sino simplemente se establece la ingeniería conceptual y básica del sistema de tratamiento.

Inicialmente se considera la utilización de gases, además del aire, como el Helio y el Oxígeno mezclados en porcentajes máxicos. Los instrumentos que conforman el sistema propuesto de acuerdo a la simbología estándar establecida por la ISA (Sociedad de Instrumentos de América) son:

FWIC: Controlador Indicador de Flujo Másico.  
FV: Válvula de Flujo tipo Check (Rectificadora).

UT: Transmisor Multivariable (Presión y Temperatura).

Fuente de Alto Voltaje para la generación de arco eléctrico.

Analizador de Gases.

Controlador de Procesos Multilazo.

El diseño básicamente consiste en introducir al sistema 2 o más gases mezclados en porcentajes máxicos, mediante los FWIC-10 y FWIC-20, y las válvulas check FV-50 y FV-60 que impiden la contaminación de las fuentes de gases por desequilibrios de presión en el sistema. En el REACTOR se tiene un electrodo central llamado “+” que incluye el piso del contenedor, siendo este de material conductor; y la carcasa externa del reactor y tapa superior del contenedor son llamados “-”, también de material de naturaleza conductora que conforman la tierra física del sistema. Mediante la utilización de una fuente de alto voltaje (entre 10KV y 30KV) se generará un arco eléctrico en el reactor (entre los materiales + y -) que tiene como propósito ionizar la mezcla de gases, generando el plasma y manteniéndolo en el contenedor para que actúe sobre el residuo residente, produciendo su descomposición. Vale la pena aclarar que los materiales conductores + y - se encuentran aislados en el sistema por un material no conductor (teflón, p.e.). Dentro del contenedor se plantea un UT que tiene como propósito transmitir al controlador de proceso la presión y temperatura del sistema, controlándolas con los flujos máxicos de los gases y la intensidad del arco eléctrico. El contenedor posee un visor polarizado que permite ver de manera segura y externamente la reacción.

Conforme la mezcla de gases ionizados fluyen a través del reactor, y bajo unas condiciones de presión establecidas, esta sale a través de la válvula check FV-70 que impide el regreso de la mezcla de gases al contenedor, mezcla que al salir ya no esta sometida al arco eléctrico y por tanto vuelve a su estado natural, y cuyo caudal es controlado por el FWIC-30 que básicamente es el principal responsable del control de la presión en el reactor.

Esta mezcla saliente es procesada por un analizador de gases que verifica el porcentaje de los gases originalmente mezclados, junto a otro tipo de gases que pudiesen haberse generado en la reacción del plasma con los residuos. Luego del análisis de gases, esta mezcla se pasa por una trampa de gases para retenerlos y confinarlos, excepto el aire, de tal manera que no sean arrojados a la atmósfera, evitando otro tipo de contaminación.

El sistema propone un control centralizado que manipule los controladores indicadores de flujo máxico, la fuente de alto voltaje para la generación de arco eléctrico, el analizador de gases y el transmisor multivariable, teniendo como objetivo controlar las condiciones de presión y temperatura en el reactor.

Esta ingeniería conceptual y básica propone una estructura general del reactor y sistema de tratamiento, siendo carente de un modelo matemático que soporte su dimensionamiento, pues dependiendo de la cantidad y tipo de materiales a procesar, se caracterizará el plasma y consecuentemente se procederá al cálculo de cada una de sus dimensiones (ingeniería de detalle); lo que será tarea de una próxima fase de la investigación.

### III. CONCLUSIONES

- El plasma es el cuarto estado de la materia, y se puede considerar como un gas de partículas neutras y cargadas “cuasi-neutro” que presenta un comportamiento colectivo. Este comportamiento colectivo se debe: al largo alcance de las fuerzas eléctricas y a que la existencia de cargas móviles puede provocar que se produzca una ligera pérdida local de la neutralidad espacial lo que origina campos eléctricos a los que se ven sometidas las cargas. También como consecuencia del movimiento de las mismas se producen campos magnéticos que ejercerán acciones dinámicas sobre las cargas.

- Del proceso de experimentación se puede concluir que la intensidad del arco eléctrico, su frecuencia y forma de aplicación juegan un papel fundamental en el tipo de resultado deseado. El arco eléctrico en el aire constituye un ionizador básico, asociado a una generación de plasma de bajo nivel y muy ineficiente alrededor de la descarga eléctrica propiamente dicha. Cambiar o mejorar las características del plasma implica, cambiar el tipo de gas, el medio de confinamiento y el diseño de un reactor para su generación, además del control de algunas variables como el flujo de gas, la intensidad del arco, su frecuencia y forma de aplicación, y la temperatura del proceso.

- El plasma posee múltiples aplicaciones, tales como la deshidratación de algunos elementos, o procesos de separación de materiales, tal como lo hace una empresa brasilera con el TETRAPAK, envase hecho con tres materiales: 75% de papel (fibra larga), 20% de polietileno de baja densidad y 5% de aluminio, mediante la aplicación de la tecnología Thermal Plasma.

- En el diseño propuesto es indispensable la implementación de un controlador multivariable, pues cada variable, como lo es la temperatura y la presión en el reactor, dependen de todos los factores del sistema, como lo son los flujos másicos de los gases y su mezcla, la intensidad del arco eléctrico y el tipo de gases que se están generando en la reacción.

- El manejo de residuos peligrosos en Colombia, solo se realiza hasta la clasificación en la fuente, dejando por fuera las tecnologías para su tratamiento. En la revisión realizada solo se cuantifica y clasifica, una vez cumple con los dos requisitos anteriores se incineran en hornos que poseen temperaturas de pirólisis.

- De acuerdo con los Sistemas de Gestión Integral de Residuos Peligrosos, el objetivo principal es minimizar los riesgos para los seres humanos y el medio ambiente a través del adecuado manejo y disminución de la cantidad y/o peligrosidad de los residuos que llegan a los sitios de disposición final.

- El Sector Agroindustrial es el principal usuario y generador de residuos peligrosos, dentro de los cuales se encuentra los Fertilizantes, biocidas, insecticidas, herbicidas, fungicidas y acaricidas.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al estudiante José Blaquicett por su gran dedicación en el desarrollo de la fuente de poder y a La Dirección de Investigaciones de la UPB seccional Bucarmanga por el soporte financiero del proyecto 005-1005-9560.

## BIOGRAFÍA

Claudia Sofía Quintero Duque, Lugar de nacimiento Socorro, Química, Especialista en Ingeniería Ambiental de la Universidad Industrial de Santander. Interés de Investigación en Manejos y Tratamiento de Residuos. Aguas residuales, Normas de calidad y química aplicada.

Claudia Paulina González Cuervo, Lugar de nacimiento Tunja, Licenciada en Ciencias de la Educación especialidad en Física y Matemáticas de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Magíster y Doctorado en Ciencias Física de la Universidad del Valle, Cali. Intereses de investigación en Nanopartículas, aleaciones, espectroscopia Mössbauer, difracción de rayos x, Microscopía electrónica.

Juan Carlos Mantilla Saavedra. Lugar de nacimiento Bucaramanga, ingeniero Electrónico de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. Interés de investigación en sistemas de control, programación SCADA.

## REFERENCIAS

- [1] Harold M. Mott-Smith en una carta a Nature, vol. 233, (1971) p. 219
- [2] Roth J. R. Industrial Plasma Engineering. Vol. 1 Principes. Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, 1995
- [3] Herrera, Ricardo Felipe. Las basuras un problema municipal aún por resolver. Citado 15 Noviembre 2007. Disponible en Internet
- [4] Conrads H. and M Schmidt, Plasma Sources Sci. Technol, 9 (2000) 441-454
- [5] Chang S., Lawless P. A., Yamamoto T. "Corona Discharge Processes IEEE Transactions on Plasma Science 16 (6)(1991) 1152 -1166
- [6] J. Reece Roth. Industrial Plasma Engineering Vol 2. Applications to Nonthermal Plasma Processing. Institute of Physics Publishing. Cap 15, (2001) 51-52.
- [7] Rashid Muhammad H., Electrónica de Potencia – Circuitos Dispositivos y Aplicaciones, 3ra Edición, Editorial Pearson, 2004.
- [8] Sedra Adel S. Circuitos Microelectronicos, 4ta Edición, Editorial Mexicana, 1999.
- [9] Fitzgerald A. E. Maquinas Eléctricas, 5ta Edición, Mc Graw Hill USA, 1992.

