

Diseño y construcción de una fuente de plasma para aplicaciones médicas

Franklin W. Peña-Polo

Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas
Centro de Física, Laboratorio de Física de Fluidos y Plasmas
franklin.pena@gmail.com
Venezuela

Irving Rondón Ojeda

Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica, Luis
Enrique Erro 1,
Tonantzintla Puebla
México

José L. Figueroa

Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas
Unidad de Tecnología Nuclear. Servicio de Radio Física
Sanitaria
Venezuela

Claudia M. Cortesía

Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas
Centro de Microbiología y Biología Celular
Venezuela

Mariela Martínez

Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica
Tonantzintla Puebla – México
Centro de Investigaciones Médicas y Biotecnológica
Universidad de Carabobo, Laboratorio de Ultra-estructura
Venezuela

María Martínez

Centro de Investigaciones Médicas y Biotecnológica
Universidad de Carabobo, Laboratorio de Ultra-estructura
Venezuela

Aarón Muñoz

Centro de Investigaciones Médicas y Biotecnológica
Universidad de Carabobo, Laboratorio de Ultra-estructura
Venezuela

Leonardo Sigalott

Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas
Centro de Física, Laboratorio de Física de Fluidos y Plasmas
Caracas- Venezuela

Fecha de recepción: 19 -03 -2019 - Fecha de aceptación: 01- 04- 2019

Resumen

Actualmente existe un rápido crecimiento en el uso de los plasmas de gas ionizado de bajas temperaturas para su aplicación en el área médica especialmente para fines terapéuticos, entre sus aplicaciones se encuentran la eficiencia para esterilizar agua, capacidad de eliminar bacterias, tratamiento de enfermedades y la esterilización de instrumentos médicos. Siendo este último un

problema importante en la actualidad ya que según cifras oficiales de la OMS en Latinoamérica nuestros países están en riesgo de contraer infecciones nosocomiales entre 2 y 20 veces superior al del mundo desarrollado; en algunos de ellos la proporción de pacientes afectados puede superar el 25%. En el presente trabajo proponemos el diseño y construcción de una fuente generadora de plasma de bajo costo para su uso en la esterilización de instrumental médico

de uso cotidiano, de tal manera lograr la independencia tecnológica en la fabricación de este tipo de dispositivo, los resultados obtenidos muestran que el equipo desarrollado posee calidades de esterilización acordes para aplicaciones médicas.

Palabras clave: Plasmas de gas ionizado; fuente generadora de plasma

Design and construction of a plasma source for medical applications

Abstract

Currently there is a rapid growth in the use of low temperature ionized gas plasmas for application in the medical area especially for therapeutic purposes, among its applications are the efficiency to sterilize water, ability to eliminate bacteria, treatment of diseases and the sterilization of medical instruments. The latter is a major problem nowadays

because according to official WHO figures in Latin America our countries are at risk of contracting nosocomial infections between 2 and 20 times more than in the developed world; in some of them the proportion of affected patients can exceed 25%. In the present work we propose the design and construction of a low-cost plasma generating source for use in the sterilization of medical instruments for daily use, in such a way to

achieve technological independence in the manufacture of this type of device, the results obtained show that the developed equipment possesses suitable sterilization qualities for medical applications.

Key words: Ionized gas plasmas; plasma generating source

Introducción

El término de plasma, para un gas ionizado, fue introducido por primera vez en 1928 por Irving Langmuir, mientras investigaba el proceso de descargas eléctricas en átomos y moléculas. Langmuir observó experimentalmente, aplicando externamente una fuente de energía, como las moléculas de gas se ionizan o disocian de electrones o por colisiones de iones con el aire ambiente para crear un plasma (Langmuir, 1919). Existen distintas maneras de suministrar la energía necesaria para la generación de plasma a un gas neutro. Este se puede caracterizar experimentalmente por su forma y comportamiento temporal debido a la fuente generadora. Las distintas formas de generar plasma caracterizando la fuente y los parámetros físicos se puede revisar en Laroussi *et al.*, 2004.

Es nuestro interés en este trabajo, los plasmas de bajas temperaturas o de presión atmosférica, debido al gran potencial y aplicaciones reportadas en los últimos años. En Conrads y Schmidt, (2000), se muestra una clasificación de los plasmas presentes en la naturaleza con los valores promedios de la temperatura y número de electrones.

El plasma a presión atmosférica ha recibido mucha atención en los últimos años como una herramienta prometedora para la descontaminación y esterilización biológica. Los métodos convencionales de esterilización involucran agentes para su tratamiento tales como el calor, la radiación y los químicos. Sin embargo, estos métodos pueden dañar un sustrato sometido a

tratamiento. En este sentido, los plasmas no térmicos (Moisan, *et al.*, 2001; Becker, *et al.*, 2006) han sido utilizados como un método de esterilización y eliminación de varios microorganismos. En la actualidad, se exploran diversas técnicas en el empleo de plasma frío a presión atmosférica, las cuales involucran el uso de gases nobles o agua, y a su vez, empleando diferentes rangos de frecuencia de excitación y en algunos casos frecuencias duales (Tachibana, 2006; Kolb, 2008).

Muchos de los dispositivos de plasma que producen una pluma de plasma frío a presión atmosférica han sido investigados para su uso en materiales térmicamente sensibles, y aplicaciones médicas (X.-P. Lu, *et al.*, 2008; T. Sato, *et al.*, 2006). Los estudios han demostrado que una fuente de plasma generada de aire puede tratar con eficacia las infecciones por hongos en la piel (X.-P. Lu, *et al.*, 2008; X.T. Den, *et al.*, 2007; Y.C. Hong, *et al.*, 2007). Por otro lado, la utilización de aire a presión atmosférica no sólo reduce la complejidad del dispositivo, pero también aumenta la producción de especies reactivas tales como radicales hidroxilos, oxígeno atómico, y el óxido nítrico (X.-P. Lu, *et al.*, 2008; X.T. Den, *et al.*, 2007; Y.C. Hong, *et al.*, 2007). Los cuales son útiles para la inactivación de *Escherichia coli* (Hockney, *et al.*, 1994; Rahul, *et al.*, 2005), la producción de plasma atmosférico alimentado con RF reduce efectivamente el número de células viables dentro de 2 s, lo que sugiere que es muy eficaz para inactivar microorganismos perjudiciales. También se ha mostrado que su aplicación a *B. atrophaeus endospora* para su inactivación, notado una reducción de 10

veces en 3 min. Podemos afirmar que las utilizaciones de estos tipos de plasmas son útiles para reducir o esterilizar contaminaciones bacterianas en superficies de materiales (Rahul, *et al.*, 2005). En el siguiente estudio se reportan las principales características de un chorro (fuente) de plasma de bajo costo, mostramos alcanzar los valores promedios experimentales en pruebas preliminares y sus potenciales aplicaciones.

Métodos

Una característica distintiva de la configuración del plasma es su capacidad para generar la descarga estable en una región de gas inerte y poder transportar el plasma a una región separada de gas para aplicaciones de procesamiento, proporcionando así la reactividad química sin comprometer la estabilidad del plasma (Ohshima, *et al.*, 2002). Esta separación espacial de la generación del plasma y las regiones de la superficie de procesamiento permite una flexibilidad considerable en los diseños del flujo generado para variar y controlar tanto la dinámica del plasma como la química de la reacción. Los plasmas de presión atmosférica pueden ser generados para diversos gases y usando diferentes excitaciones eléctricas. Estos incluyen fuentes de corriente continua que emplean aire y nitrógeno (Walsh, *et al.*, 2006; Feng, *et al.*, 2009), los de frecuencia pulsada del orden de los kilohertz (kHz) y sinusoidal (Walsh y Kong, 2007; Lu y Laroussi, 2006), radio frecuencia (RF) (Babayan, *et al.*, 2001; Benedikt, *et al.*, 2008) de microondas excitados (Benedikt, *et al.*, 2008). Dependiendo de la configura-

ción del flujo y la excitación eléctrica, las características del plasma pueden diferir significativamente.

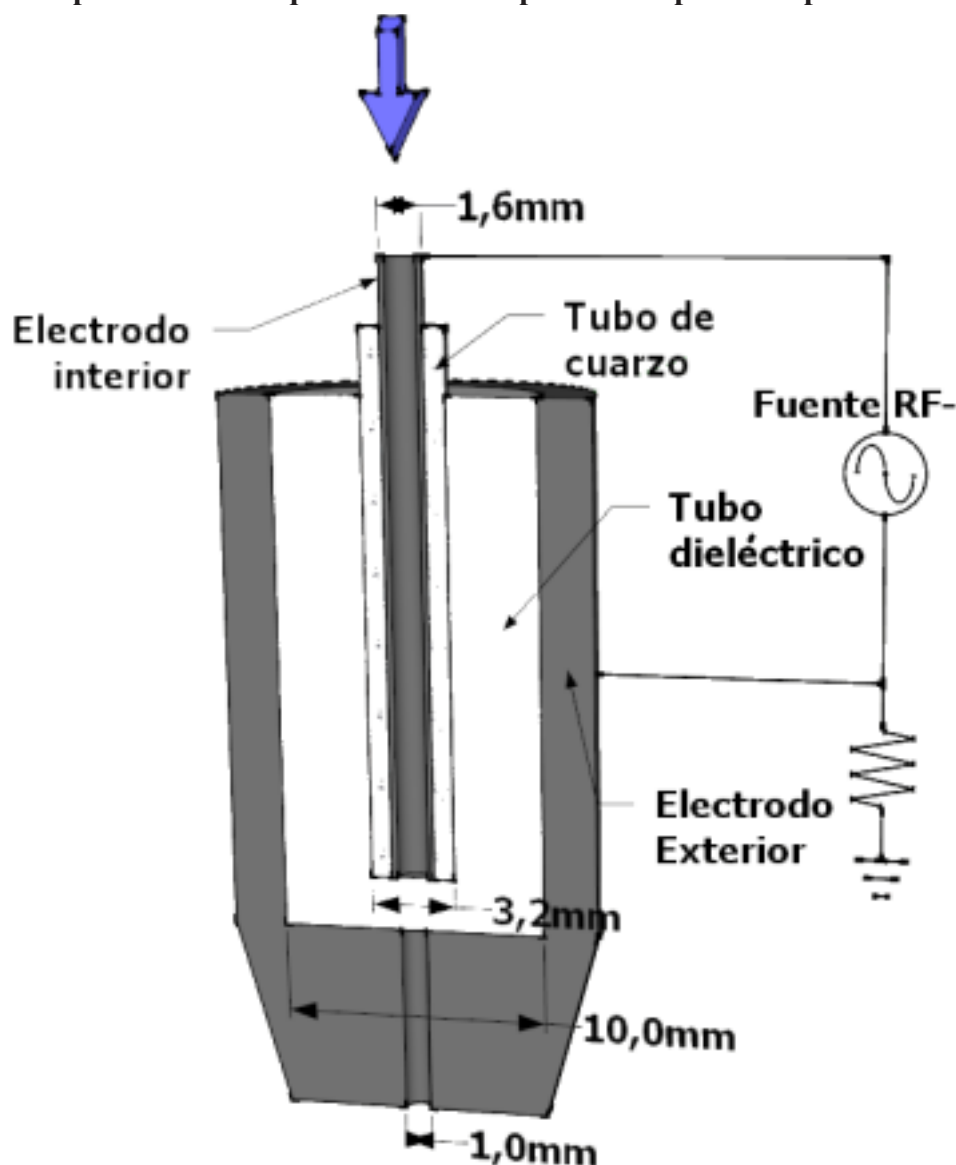
Montaje

La Figura 1 muestra una representación esquemática de un dispositivo

de plasma a presión atmosférica con un dieléctrico de alúmina porosa. El sistema de plasma se compone principalmente de los electrodos, un par de dieléctricos, y una fuente de alimentación de alta tensión (HV) a 60 Hz, conectada a dos electrodos. La fuente de alimentación de HV consiste de una fuente de voltaje de 12 voltios, la cual

suministra la tensión a un circuito generador de ondas cuadradas de amplitud variable, El acoplamiento de la fuente a la etapa de amplificación empleando un dispositivo de protección para HV, que evita la sobre carga del dispositivo y cuya salida van conectada a los electrodos.

Figura 1. Representación esquemática del dispositivo de plasma a presión atmosférica



El electrodo interno es una aguja hipodérmica típica de acero inoxidable con un diámetro interno de 1,2 mm y un espesor de 0,2 mm, que está firmemente cubierta con un tubo de cuarzo con un diámetro exterior de 3,2 mm. Para el electrodo interior se mecaniza una barra de alúmina porosa 10 mm de diámetro y 20 mm de longitud, a través del cual el tubo de cuarzo es insertado.

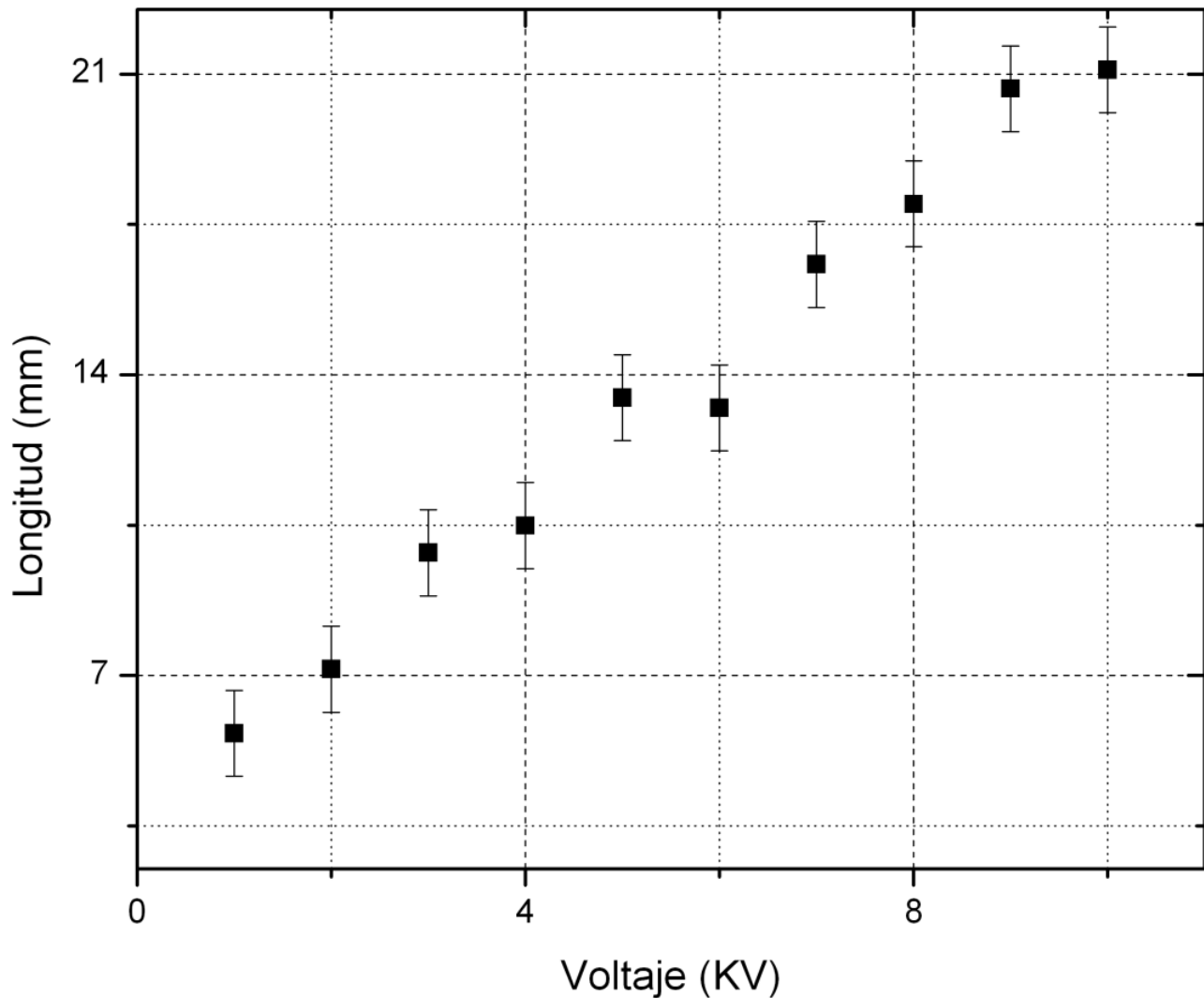
La punta del electrodo interior y la superficie interna de la alúmina porosa está en contacto. El electrodo exterior está fabricado de acero inoxidable y tiene una forma cónica, con un pequeño orificio de diámetro de 1 mm a través del cual se expulsa el chorro de plasma al aire ambiente del entorno. Como se observa en la Figura 2, la alúmina porosa con el tubo de cuarzo y el electrodo interior está inserta dentro del electrodo exterior. El espacio de

descarga, es de 2 mm, siendo esta la distancia entre la punta de la alúmina porosa y el electrodo interno. La superficie interior del electrodo exterior y la punta de la alúmina porosa también se encuentran en contacto. Se inyecta aire en la aguja de inyección y entonces se expulsa a través del agujero de 1 mm en el electrodo exterior a través de la alúmina porosa. La alúmina usada en este trabajo tiene aproximadamente 30 vol. % de porosidad y tiene un diámetro de poro medio de 100 micras. Una vez que el aire se introduce a través del electrodo interior y se aplica la alimentación de la fuente de alta tensión, una descarga se dispara entre los electrodos, atravesando la alúmina porosa, generando un chorro de plasma que alcanza una longitud de hasta varias decenas de milímetros que se ve expulsada hacia el exterior de la punta.

Resultados y Discusión

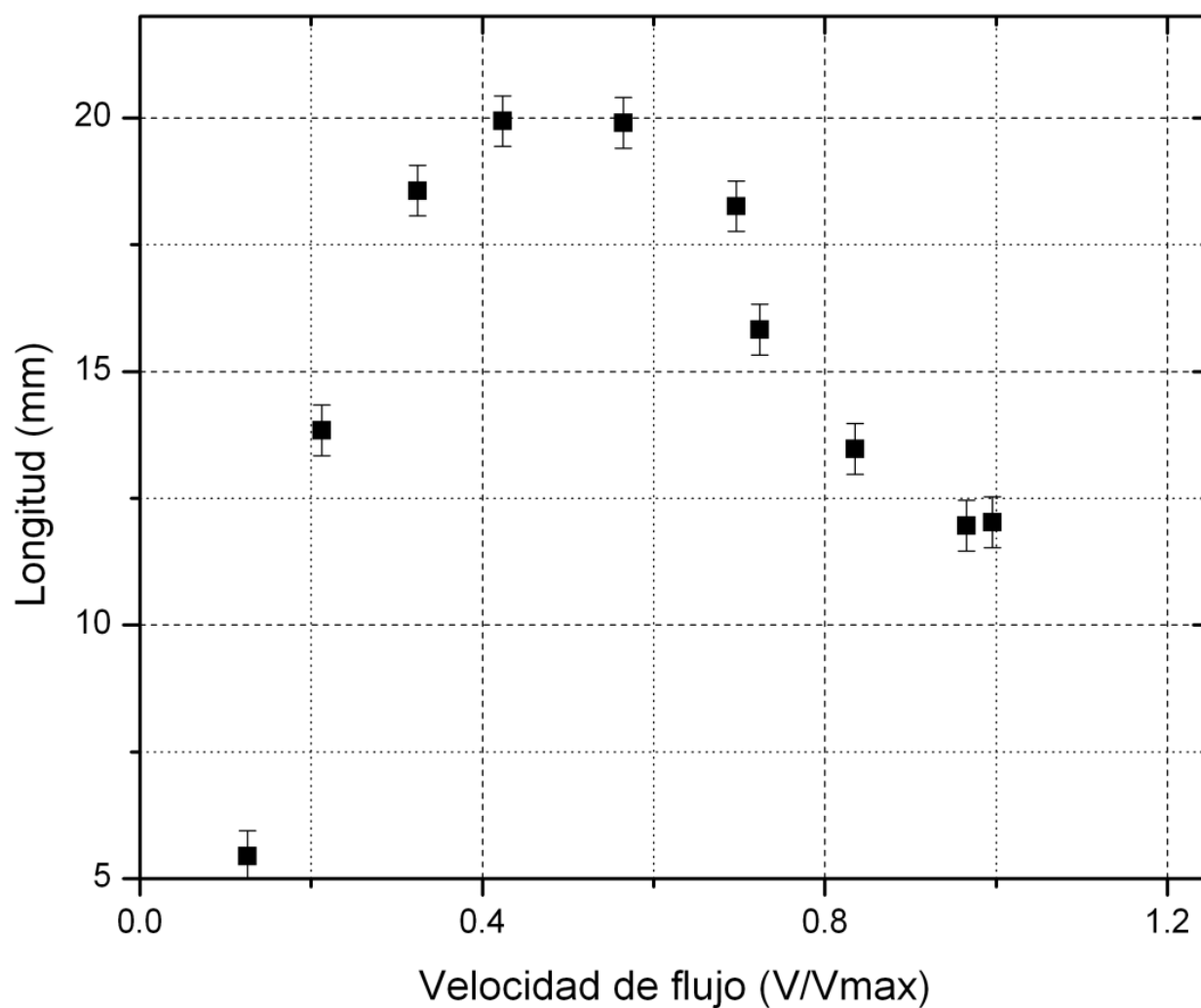
Este proyecto en la actualidad se encuentra en etapa de desarrollo, sin embargo, las pruebas preliminares sugieren una gran factibilidad del mismo. Los resultados obtenidos para los parámetros característicos sugieren la necesaria ampliación de las capacidades del dispositivo. En importante mencionar que dicho dispositivo ha sido realizado con materiales de bajo costo y partes de reciclaje, lo que evidentemente afecta la eficiencia del dispositivo. La Figura 2 nos muestra como la longitud del plasma se ve afectada por la diferencia de potencial del plasma. En general, podemos decir que el incremento de la longitud del plasma es lineal con respecto al voltaje de excitación; por otra parte, debemos considerar como la presión del flujo de aire afecta la prevalencia o persistencia y longitud del chorro de plasma.

Figura 2. Variación de la longitud del chorro de plasma como función del voltaje de excitación para una velocidad de flujo de 98km/h



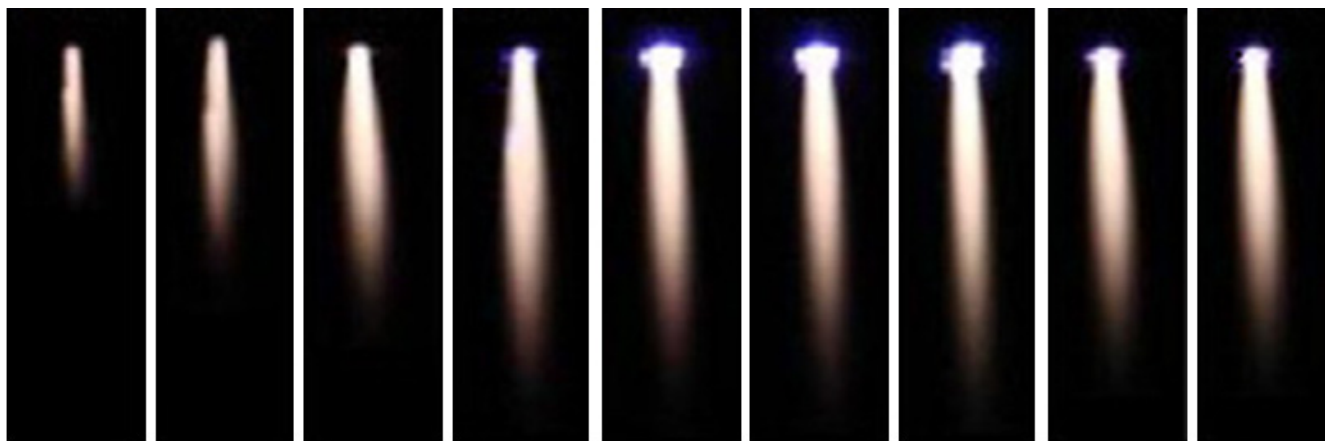
En la Figura 3 observamos cómo afecta la velocidad del flujo de aire a la longitud del chorro de plasma. La velocidad del flujo está normalizada con respecto a su valor máximo de las velocidades de flujo empleadas.

Figura 3. Variación de la longitud del chorro de plasma como función de la velocidad del flujo para un voltaje de 10KV



Como se observa en la Figura 4 la longitud del chorro incrementa rápidamente con el aumento de la velocidad del flujo hasta alcanzar una longitud máxima, para luego disminuir suavemente hasta un valor en donde parece estabilizarse.

Figura 4. Secuencia de imágenes de la variación de la longitud del chorro de plasma para diferentes velocidades del flujo para un voltaje de 8KV



Las limitaciones del montaje restringieron la posibilidad de analizar cuan estable es el comportamiento del chorro de flujo, sin embargo, para experiencias futuras se espera poder ampliar el montaje a rangos de velocidades de flujo y valores de voltaje mayores, que permitan un estudio más detallado de los parámetros involucrados en la formación de un chorro de plasma.

Conclusiones

Las pruebas preliminares validan la factibilidad del desarrollo de un dispositivo de generación de chorro de plasma a presión atmosférica. Comparado con dispositivos comerciales de similar funcionamiento, nuestro sistema es de muy de bajo costo y aun cuando los materiales y partes del montaje son de reciclaje los resultados obtenidos son bastante satisfactorios. Por otra parte, la simplicidad del dispositivo ofrece la posibilidad de la modificación del mismo con muy poco esfuerzo.

Las características iniciales del montaje ofrecen la posibilidad de la am-

pliación del dispositivo. De allí que las Figuras 3 y 4 nos sugieren que, una correcta estimación y adaptación de los parámetros del chorro de plasma (Temperatura, velocidad del flujo, tipo de gas) de acuerdo con los requerimientos médico-técnico, pueden obtenerse con facilidad; por lo tanto, aunque el dispositivo funciona de forma satisfactoria, se requiere de una ampliación y mejoramiento del mismo con fines más prácticos.

Agradecimientos

Al Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas por permitirnos desarrollar todo el potencial científico y tecnológico en sus instalaciones. Al Ministerio del Poder Popular para la Educación Universitaria Ciencia y Tecnología por apoyar y promover la investigaciones científicas y tecnológicas, abriendo espacios para el intercambio de ideas y conocimientos.

Referencias Bibliográficas

- Langmuir, I. (1919). The Arrangement of Electrons in Atoms and Molecules, *Journal of the American Chemical Society*. Vol. 41, No. 6, 868.
- M. Laroussi, F. Leipold, (2004). *Int. J. Mass Spectrom.* 233/81.
- Conrads H. y Schmidt, M. (2000). Plasma generation and plasma sources, *Plasma Sources Sci. Technol.* 9 . 441/454.
- M. Moisan, J. Barbeau, S. Moreau, J. Pelletier, M. Tabrizian, L.H. Yahia, (2000). *Int. J. Pharm.* 226-1.
- Becker K H, Schoenbach K H and Eden, J. (2006). *J. Phys. D: Appl. Phys.* 39 R55
- Tachibana K. (2006). *IEEJ. Trans.* 1 145
- J.F. Kolb, A.-A.H. Mohamed, R.O. Price, R.J. Swanson, A. Bowman, R.L. Chiavarini, M. Stacey, K.H. Scho-

- nenbach, (2008) Appl. Phys. Lett. 92 /241502.
- X.-P. Lu, Z.-H. Jiang, Q. Xiong, Z.-Y. Tang, X.-W. Hu, Y. Pan, (2008) Appl. Phys. Lett. 92/ 081502.
- X.T. Deng; J.J. Shi; M.G. Kong, J. (2007). Appl. Phys. 101/ 074701.
- Y.C. Hong; S.C. Cho; H.S. Uhm (2007). Appl. Phys. Lett. 90/ 141501.
- T. Sato; T. Miyahara; A. Doi; S. Ochiai; T. Urayama; T. Nakatani, (2006). Appl. Phys. Lett. 89 /073902.
- R.C. Hockney, (1994). Trends Biotechnol. 12/ 456.
- R. Rahul; O. Stan; A. Rahman; E. Littlefield; K. Hoshimiya; A.P. Yalin; A. Sharma; A. Pruden; C.A. Moore; Z. Yu; G.J. Collins, J. (2005). Phys. D Appl. Phys. 38 /1750.
- T. Ohshima; K. Okuyama; M. Sato, J. (2002). Electrostat. 55/227.
- Walsh, J.; Shi, J. and Kong, M. (2006). Appl. Phys. Lett. 88 171501
- Feng, H. ; Sun, P.; Chai, Y.; Tong, G.; Zhang, J.; Zhu, W. and Fang, J. (2009). IEEE Trans. Plasma Sci. 37 121
- Walsh, J. and Kong, M. (2007). Appl. Phys. Lett. 91 221502
- Lu, X. and Laroussi, M. (2006). J. Appl. Phys. 100 063302
- Babayan, S. E.; Jeong, J. ; Schutze, A.; Tu, V. J. ;Moravej, M. ; Selwyn, G. S. and Hicks, R. F. (2001) Plasma Sources Sci.Technol. 10 573
- Benedikt, J.; Focke, K.; Yanguas-Gil, A. and Von Keudell, A. (2008). Appl. Phys. Lett. 92 251504