

# Fuente de plasma para aplicaciones biomédicas

**Resumen:** *El desarrollo de fuentes de plasma no térmico para aplicaciones biomédicas es un tema de investigación de gran interés actual. En este trabajo se presenta el desarrollo y caracterización eléctrica de una fuente de plasma no térmico de baja potencia para aplicaciones biológicas operada en aire a presión atmosférica y a baja frecuencia.*

## 1. Introducción

En estudios recientes se ha encontrado que estos plasmas pueden generar efectos no letales sobre células mamíferas y al mismo tiempo producir inactivación de bacterias. Se ha estudiado su eficacia en aplicaciones dermatológicas como la curación de heridas, odontológicas, para el tratamiento de caries, y en aplicaciones oncológicas para el tratamiento de tumores localizados. Actualmente, en el mundo existen fuentes de plasma con certificación médica disponibles de forma comercial para la realización de tratamientos dermatológicos. [1-3]

Las descargas de barrera dieléctrica (DBD) son un tipo de descargas muy difundidas para la generación de

plasmas no térmicos con aplicaciones biológicas. Estas descargas operan a presión atmosférica en el entorno gaseoso del material biológico a tratar, en general aire ambiente. En este tipo de descarga uno o ambos electrodos están cubiertos por una capa de material dieléctrico. La tensión aplicada entre los electrodos es alta tensión (kV) pulsada o alterna. Cuando la tensión aumenta se produce la ruptura dieléctrica del gas entre los electrodos. Al circular corriente, la carga se deposita sobre el dieléctrico que cubre el electrodo generándose un campo eléctrico que se opone al campo eléctrico aplicado, y la descarga se detiene. En general, estas descargas tienen una estructura filamentosa, la corriente circula por múltiples microcanales de plasma no térmico. En un plasma no térmico, no hay equilibrio termodinámico entre electrones y especies pesadas, la mayor parte de la energía eléctrica se emplea en la generación de electrones energéticos, a la vez que el gas en el cual se realiza la descarga prácticamente no se calienta debido a que el grado de ionización es bajo, y a que los electrones no transfieren su energía a los iones

y otras partículas pesadas por la gran diferencia de masa. Cuando la descarga opera en aire, en el plasma se generan especies reactivas que son principalmente compuestos de oxígeno (O, OH, O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) y compuestos de nitrógeno (NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, HNO<sub>2</sub>). Al interactuar con material biológico una fracción de estas especies reactivas actúa en la pared celular y otra fracción puede ser transportada al interior, generando efectos oxidativos en las células. Además, de especies reactivas, en el plasma se generan fotones, flujo de calor y campos eléctricos, que también pueden actuar sobre el material biológico [4]. En este trabajo presentamos la caracterización eléctrica de una fuente de plasma no térmico basada en una descarga DBD con geometría cilíndrica y doble barrera dieléctrica que opera en aire y es alimentada con una fuente de alta tensión alterna de 50 Hz. Este dispositivo, ha mostrado ser efectivo en la inactivación de biofilms de *P. aeruginosa*, un tipo de comunidad microbiana con gran resistencia a métodos de esterilización y descontaminación tradicionales y con responsabilidad como agente patógeno en humanos [5].

## 2. Descripción de la fuente de plasma

La fuente de plasma posee una geometría similar a la desarrollada por X. Lu et al. [6], operando con aire en lugar de helio. Consta de dos electrodos axiales y ambos recubiertos por material aislante (figura 1). El electrodo central es un alambre de acero de 1 mm de diámetro cubierto por un tubo de vidrio de 6 mm de diámetro externo, 1,2 mm de diámetro interno y cerrado en el frente. El electrodo externo es una cinta de aluminio de 25 mm de largo adherida a un tubo de acrílico de 10 mm de diámetro externo y 7 mm de diámetro interno. La fuente de alta tensión ac es un transformador disponible comercialmente para luces de neón (8 kV, 70 mA y 50 Hz). La fuente de plasma puede operar en la atmósfera circundante o con un flujo de aire presurizado. Este tipo de descarga genera microdescargas tenues de color violáceo en el espacio comprendido entre el tubo de vidrio y el tubo de acrílico y no da lugar a un efluente visible cuando opera con flujo de aire. (ver figura 2).

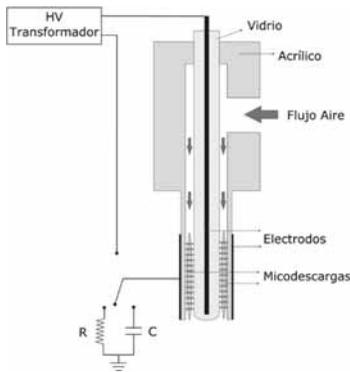


Figura 1: Esquema de la fuente de plasma

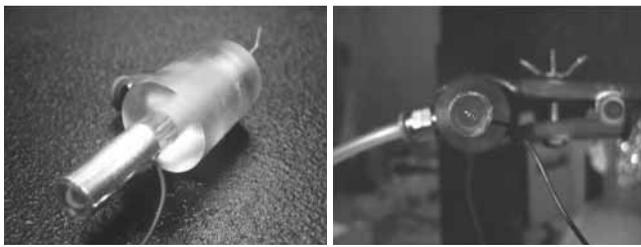


Figura 2: Fotos de la fuente de plasma

## 3. Características eléctricas de la fuente de plasma

La caracterización eléctrica se realizó operando la fuente de plasma en aire ambiente, sin flujo, con el electrodo central a una tensión de 8 kV de amplitud. La tensión (V) entre

electrodos se midió con una punta de alta tensión conectada al electrodo central. La corriente (I) se determinó a partir de la tensión sobre una resistencia ( $V_i$ ) como  $I = V_i / R$  con  $R = 100 \Omega$ . La carga (Q) se determinó a partir de la tensión sobre un capacitor ( $V_Q$ ) como  $Q = V_Q C$  con  $C = 2,2 \mu F$ . Ambos, R y C, fueron conectados al electrodo externo (ver figura 1). Las señales eléctricas se muestran en la figura 3. La señal de la tensión presenta componentes armónicas superiores a 50 Hz debido a la no linealidad del transformador comercial. La señal de corriente se compone de pulsos de entre 5 y 20 mA de intensidad superpuestos a una corriente de desplazamiento despreciable de unos  $10 \mu A$  de amplitud. En cada semiciclo de tensión, los pulsos de corriente se inician cuando la señal de voltaje supera la tensión de ruptura dieléctrica ( $V_R \sim 4kV$ ). A continuación, el material dieléctrico se carga generando un campo eléctrico opuesto que extingue la circulación de corriente. El sucesivo aumento de la tensión y la ionización remanente de cada ruptura dan lugar a la formación de reiterados pulsos de corriente. Los pulsos se interrumpen cuando la tensión alcanza su valor máximo en cada semiciclo dado que la carga almacenada sobre el material aislante impide la generación de rupturas adicionales.

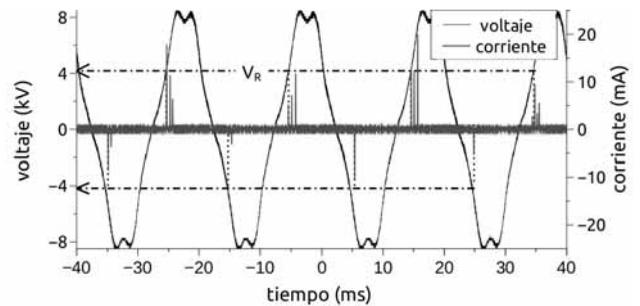


Figura 3: Señales de voltaje y corriente

La potencia de la descarga (P) se dedujo de la integración del ciclo de tensión-carga [7] (figura 4)

$$P = \frac{f}{N} \sum_{i=1}^N \oint Q(t) dV$$

Donde  $f$  es la frecuencia de señal de alimentación (50 Hz),  $Q$  es la carga en función del tiempo y  $N$  el número de ciclos considerados. En estas condiciones de operación de la fuente, se obtuvo como resultado una potencia eléctrica  $P = (138 \pm 4)$  mW. El análisis de la figura 4 permite además obtener información sobre la capacitancia efectiva de la fuente. Los flancos ab y cd del paralelogramo se corresponden con los intervalos de ausencia de pulsos de corriente y los flancos

bc y da con los intervalos en los que ocurren descargas filamentosas entre los electrodos. La tensión en el punto c (o a) es la tensión máxima en semiciclos positivos (o negativos). Dado que  $C = dQ/dV$ , las pendientes ab y cd corresponden a la capacitancia total entre los electrodos ( $C_{total}$ ), resultante de la capacitancia del espacio con aire entre los electrodos en serie con la capacitancia del material dieléctrico. Por otro lado, las pendientes bc y da se asocian a la capacitancia del dieléctrico ( $C_{dieléctrico}$ ). A partir del ajuste lineal de los flancos de los ciclos de tensión-carga se obtuvieron valores de  $C_{total} = 0,9 \text{ pF}$  y  $C_{dieléctrico} = 1,6 \text{ pF}$ . Para la inactivación de biofilms, el electrodo externo se conectó a la otra salida del transformador en contrafase con el electrodo central.

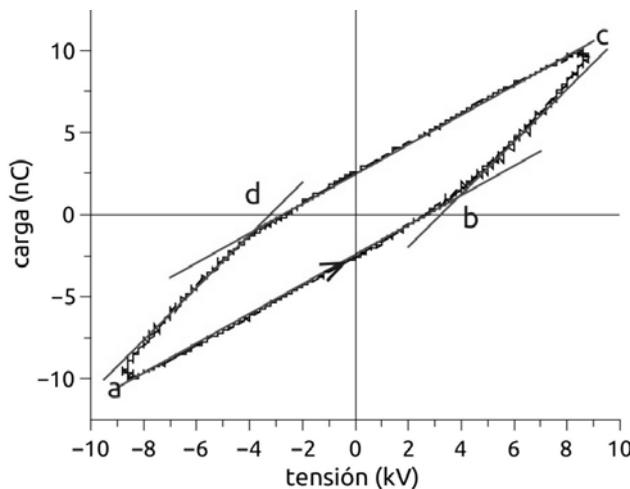


Figura 4: Ciclo de tensión-carga.

#### 4. Comentarios finales

En este trabajo se presenta el desarrollo y caracterización eléctrica de una fuente de plasma no térmico de baja potencia para aplicaciones biológicas operadas en aire a presión atmosférica y a baja frecuencia, como alternativa

más económica y práctica al empleo usual en este tipo de dispositivos de gases nobles y fuentes de alimentación no comerciales con diseño especial de alta frecuencia. La operación con aire también facilita el transporte de una tecnología con potenciales usos médicos incluso a lugares de difícil abastecimiento.

#### 5. Referencias

- [1] V. Nehra, A. Kumar y H. K. Dwivedi: Atmospheric Non-Thermal Plasma Sources. 2(1):53–68, 2008.
- [2] G. Fridman, G. Friedman, A. Gutsol, A. B. Shekhter, V. N. Vasilets y A. Fridman: Applied Plasma Medicine. Plasma Process. Polym., 5(6):503–533, 2008.
- [3] M. Laroussi, X. Lu y M. Keidar: Perspective : The physics, diagnostics and applications of atmospheric pressure low temperature plasma sources used in plasma medicine. J. Appl. Phys., 020901:122, 2017.
- [4] R. Brandenburg: Dielectric barrier discharges: progress on plasma sources and on the understanding of regimes and single filaments. Plasma Sources Sci. Technol., 26:053001, 2017.
- [5] J. Soler-Arango, M. Xaubet, L. Giuliani, D. Grondona y G. Brelles-Mariño: Air-based coaxial dielectric barrier discharge plasma source for Pseudomonas aeruginosa biofilm eradication. Plasma Medicine, 7(1):43–63, 2017.
- [6] X. P. Lu, Z. H. Jiang, Q. Xiong, Z. Y. Tang, X. W. Hu y Y. Pan: An 11 cm long atmospheric pressure cold plasma plume for applications of plasma medicine. Appl. Phys. Lett., 92(8):081502, 2008.
- [7] T. C. Manley: The electric characteristics of the ozonator discharge. J. Electrochem. Soc., 84(1):83–96, 1943.