



| Identificación del Trabajo | |
|----------------------------|---------------|
| Área: | Materiales |
| Categoría: | Alumno |
| Regional: | Venado Tuerto |

Caracterización experimental de una descarga eléctrica atmosférica de baja corriente

Ezequiel CEJAS

Grupo de Descargas Eléctricas, Departamento Ingeniería Electromecánica, Facultad Regional Venado Tuerto (UTN), Laprida 651, 2600 Venado Tuerto, Santa Fe, Argentina

E-mail de contacto: cejasezequiel@hotmail.com

Este trabajo ha sido realizado bajo la dirección del Dr. Leandro Prevosto, en el marco del proyecto "PID-UTN 2264: Descargas eléctricas de alta presión: estudio experimental y modelado numérico".

Resumen

Se reportan los primeros resultados experimentales obtenidos en el Grupo de Descargas Eléctricas de la Facultad Regional Venado Tuerto sobre la caracterización de descargas eléctricas de baja corriente (menor o del orden de 100 mA) a presión atmosférica. Se describe el experimento y se muestran los resultados de diagnósticas eléctricas junto a la estructura espacial de emisión en el visible de la descarga.

Palabras Claves: Descargas eléctricas; Plasmas atmosféricos; Glow; Arco

1. Introducción y Objetivos

1.1. Consideraciones Generales

El interés tecnológico y científico de los plasmas generados con descargas de baja potencia a presión atmosférica es muy grande, tanto por sus vastas aplicaciones tecnológicas (control de flujo en capas límite de objetos en vuelo, purificación de gases contaminados, esterilización de heridas e instrumental médico, etc.) [Park et al. (2012), Samukawa et al. (2012)] como por su interés académico, debido a que aparecen complejos fenómenos hidrodinámicos acoplados a procesos de creación y destrucción de partículas y de transferencia de energía entre las distintas especies del plasma y las paredes del recinto de descarga (conducción y convección térmica, mezclado plasma-gas neutro por turbulencia, interacciones elásticas e inelásticas entre las partículas del plasma y las neutras, etc.), que son muy interesantes para un estudio de la física básica de plasmas, ver por ej. [Xian et al. (2012)].

En las descargas de alta presión (atmosférica) se requiere usar tensiones elevadas (del orden de la decena de kV) para producir la ruptura dieléctrica del gas. Empleando una potencia baja (es decir, limitando la corriente de descarga) se genera un plasma frío, donde la mayor parte de la energía eléctrica se emplea en la generación de electrones energéticos; mientras que el gas en el cual se realiza la descarga prácticamente no se calienta debido a que el grado de ionización es muy bajo, y los escasos electrones no transfieren su energía a

los iones y partículas pesadas debido a la enorme diferencia de masa. Se tiene así un sistema con dos temperaturas: electrones muy calientes ($\sim 10000 \div 30000$ K) y neutros e iones fríos ($\sim 300 \div 1000$ K) que se denomina plasma no-térmico.

Uno de los tipos más interesantes dentro de este tipo de descarga de baja potencia es la llamada micro-jet. Esta descarga se produce entre dos electrodos enfrentados (aplicando tensión constante, tensión alterna de baja frecuencia, o tensión de radiofrecuencia) pero limitando la corriente de descarga hasta valores inferiores a 1 A. A su vez, se aplica transversalmente a la dirección de la descarga un elevado flujo de gas neutro que arrastra los productos de la descarga fuera de la región inter-electródica, en la misma forma que se hace en los jets de plasma de alta corriente. En particular la física básica de las descargas tipo micro-jet no se conoce completamente y constituye un foco donde se ha concentrado el trabajo científico del área en el último tiempo [ver por ej. Samukawa et al. (2012)].

Este trabajo reporta los primeros resultados obtenidos en el Grupo de Descargas Eléctricas de la Facultad Regional Venado Tuerto sobre la caracterización de descargas eléctricas de baja corriente (menor o del orden de 100 mA) a presión atmosférica. En particular los estudios se han enfocado hacia las descargas cuasi-estacionarias que se emplean comúnmente en la generación de los micro-jets.

2. Metodología

2.1. Arreglo experimental

El arreglo experimental utilizado consiste en un sistema de dos electrodos planos de cobre con la posibilidad de regular la distancia o gap inter-electródico en el rango $d = 0.1\text{--}20\text{mm}$, a través del empleo de un tornillo micrométrico de precisión (Fig. 1). La descarga se inicia y sostiene en aire libre con un transformador de alto voltaje (15000 V) y alta impedancia de dispersión (del orden de 50 k Ω) que puede ser regulada a través de un shunt magnético. El transformador fue alimentado con un auto-transformador variable. Para definir la polaridad de los electrodos se utilizó un puente rectificador de onda completa en la salida del transformador. La tensión de la descarga (V) fue medida usando una punta de alta tensión (1000X), mientras que la corriente (I) fue medida a través de la caída de voltaje en una resistencia de lectura de 100 Ω . Las señales de voltaje y corriente fueron registradas simultáneamente empleado un osciloscopio digital.

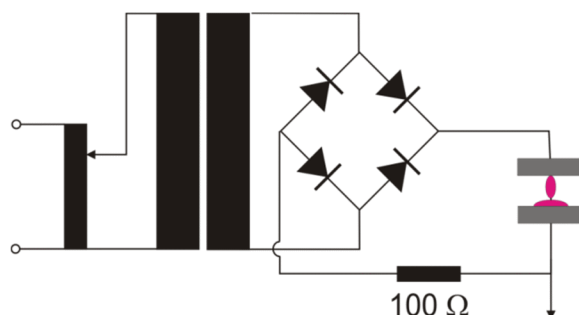


Figura 1. Arreglo experimental utilizado mostrando el circuito de alimentación. Se observa que el electrodo inferior es el cátodo de la descarga (conectado a tierra).

La estructura en el espectro visible de la descarga fue obtenida usando un sensor CCD monocromo de alta definición. La imagen de la descarga fue enfocada directamente en el plano del sensor usando un sistema de lentes. El tiempo de exposición fue del orden de $1/1000$ s.

3. Resultados y Discusión

3.1 Resultados experimentales

Los oscilogramas del voltaje de la descarga y de la caída de voltaje en la resistencia de lectura (100Ω) de la corriente se muestra en la Fig. 2 (para $d = 10$ mm y una corriente de 100 mA). La elevada impedancia de dispersión del transformador (comparada con la resistencia del plasma) domina el valor de la corriente de la descarga I . Por el contrario, el voltaje V depende de las propiedades del plasma. Se observa un pico de V cuando la corriente se anula y la tensión del transformador se recupera. Además se observa un descenso en el valor del voltaje de la descarga para un aumento de la corriente. Esta característica no fue apreciable para gaps $d < 1$ mm.

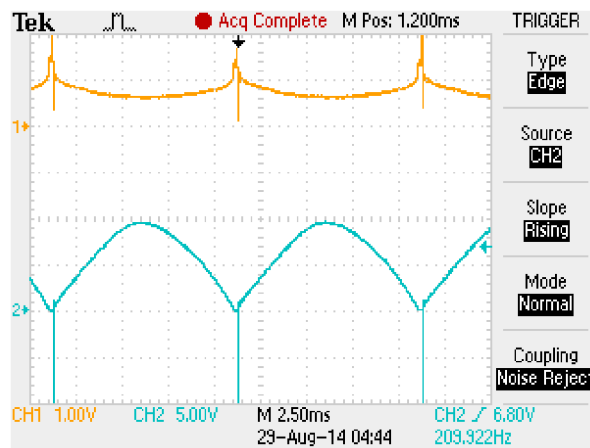


Figura 2. Oscilogramas del voltaje de la descarga (canal 1) y de la caída de voltaje en la resistencia de lectura (canal 2).

Imágenes fotográficas ($1/1000$ s) de la descarga para $I = 100$ mA se muestran en la Fig. 3.

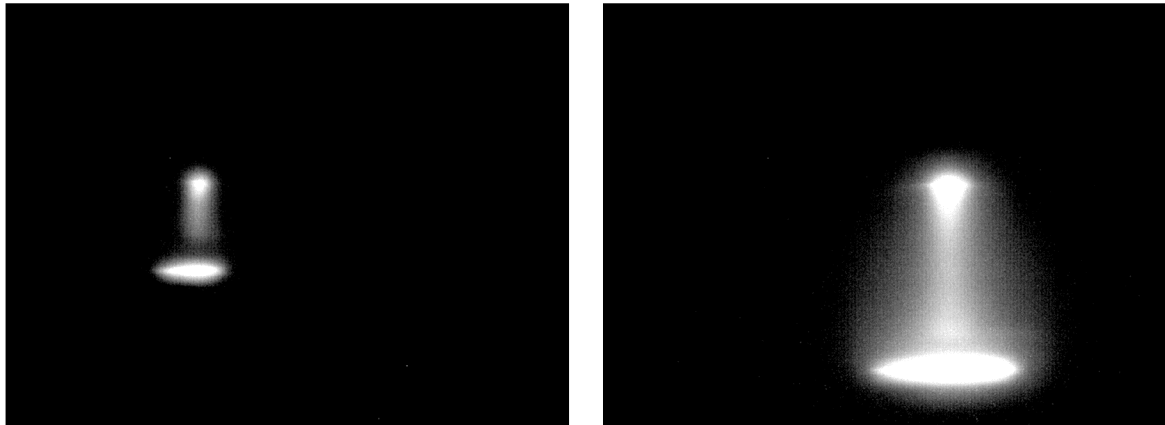


Figura 3. Fotografías de la descarga: izquierda $d = 1$ mm, derecha $d = 2$ mm. El electrodo inferior es el cátodo.

Como se observa en la Figura 3, la estructura visible de la descarga recuerda la de una descarga tipo glow de baja presión [Raizer (1991)].

3.2 Interpretación de resultados

La curva característica (V - I) de la descarga en el rango de corrientes 30–200 mA para dos diferentes distancias entre electrodos ($d = 0.4$ y 5 mm) se muestra en la Fig. 4.

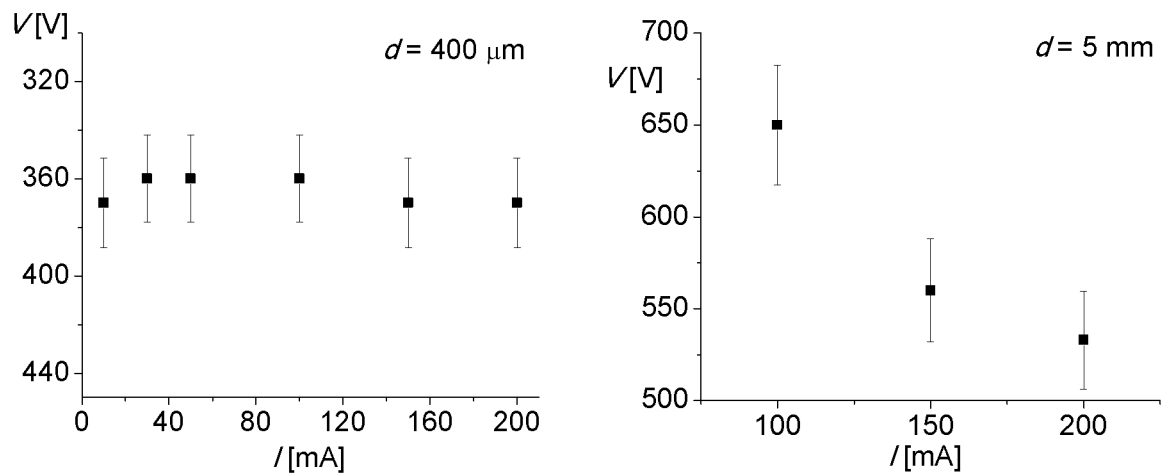


Figura 4. Curva V - I de la descarga para diferentes distancias d .

Para $d = 0.4$ mm la curva característica es plana en el amplio rango de corrientes probado, mientras que es decreciente (negativa) para la distancia más larga. Esta última característica es típica de las descargas tipo arco [Raizer (1991)], pero podría explicarse a través del calentamiento del gas en una descarga tipo glow de alta presión [Staack et al. (2008)]. La Fig. 5 muestra el voltaje V de la descarga para varias corrientes en función de la distancia d en el rango 0.1–11 mm.

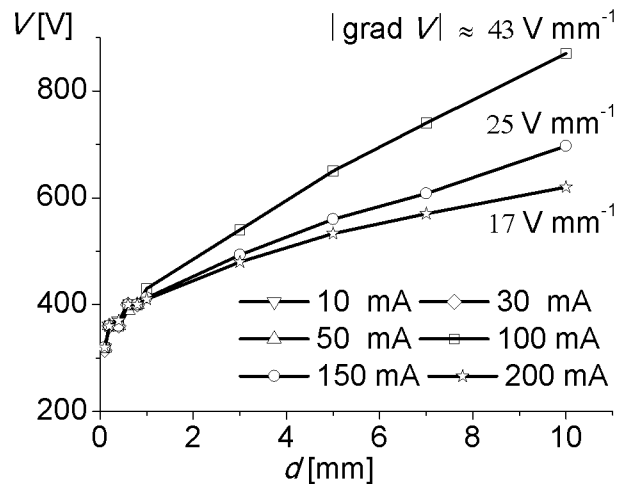


Figura 5. Voltaje de la descarga en función de la distancia entre electrodos.

Para $d > 1$ mm la Fig. 5 muestra un crecimiento aproximadamente lineal del voltaje de la descarga con la distancia d , evidencia de un campo eléctrico axial uniforme. El valor del campo eléctrico inferido de la pendiente de las curvas en la zona lineal resulta elevado ($\sim 43 \text{ kV/m}$ para $I = 100 \text{ mA}$) y decrece con el crecimiento de la corriente. El voltaje para $d = 0$ mm resultó de unos 300 V y puede interpretarse como la caída de voltaje a través de la lámina catódica. Este valor se encuentra en buen acuerdo con la caída de voltaje catódica en un glow de aire a baja presión. Por otra parte, esta interpretación puede explicar la forma plana de la curva $V-I$ para distancias $d < 1$ mm.

De la observación de la superficie del cátodo se encontraron regiones circulares definidas por aros oscuros en cuyo interior el metal estaba limpio. El diámetro medio de estas improntas fue asociado con el tamaño del spot catódico. La Fig. 6 muestra la densidad de corriente en el spot catódico (J_c) inferida a través de la medición del diámetro de las improntas. Dentro de la incertidumbre experimental la densidad de corriente catódica permanece constante ($J_c \sim 10 \text{ A/cm}^2$) en el amplio rango de corriente estudiado. Este resultado apoya la idea de que la descarga sea un glow (normal) a presión atmosférica.

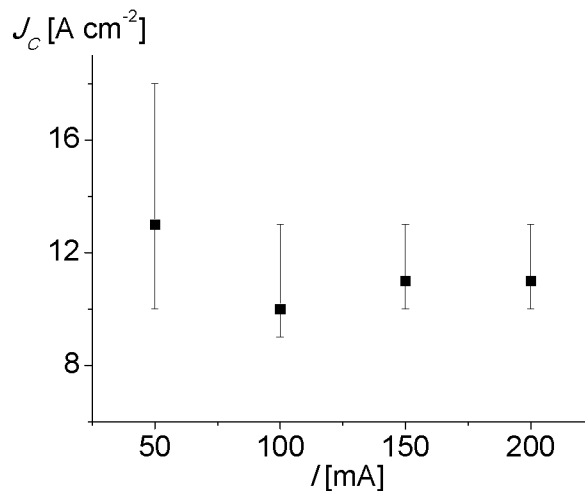


Figura 6. Densidad de corriente en el cátodo en función de la corriente.

4. Conclusiones

El trabajo reporta los primeros resultados experimentales obtenidos en el Grupo de Descargas Eléctricas de la Facultad Regional Venado Tuerto sobre la caracterización de descargas eléctricas de baja corriente a presión atmosférica. Los resultados indicaron que la descarga estudiada posee ciertas características típicas de una descarga tipo glow a presión atmosférica, pero más trabajo resulta necesario para apoyar o refutar esta hipótesis.

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado gracias al apoyo de la Universidad Tecnológica Nacional a través del PID-UTN 2264 y del CONICET a través del PIP 11220120100453.

Bibliografía

- Park G Y, Park S J, Choi M Y, Koo I G, Byun J H, Hong J W, Sim J Y, Collins G J, Lee J K. (2012). Atmospheric-pressure plasma sources for biomedical applications. *Plasma Sources Sci. Technol.*, 21, 043001.
- Raizer, Y. P. (1991). *Gas discharge physics*. Berlin: Springer.
- Samukawa Seiji, Hori Masaru, Rauf Shahid, Tachibana Kunihide, Bruggeman Peter, Kroesen Gerrit, Whitehead Christopher J, Murphy Anthony B, Gutsol Alexander F, Starikovskaia Svetlana, Kortshagen Uwe, Boeuf Jean-Pierre, Sommerer Timothy J, Kushner Mark J, Czarnetzki Uwe, Mason Nigel. (2012) The 2012 Plasma Roadmap. *Journal Phys. D: Appl. Phys.*, 45, 253001.
- Staack David, Farouk Bakhtier, Gutsol Alexander, Fridman Alexander. (2008). *Plasma Sources Sci. Technol.*, 17, 025013.
- YuBin Xian, XinPei Lu, ShuQun Wu, Paul K. Chu, Yuan Pan. (2012). Are all atmospheric pressure cold plasma jets electrically driven? *Applied Phys. Lett.*, 100, 123702.