

# ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL PLASMA FOCUS MICROSTAR CUANDO SE VARÍAN LAS DIMENSIONES DEL ÁNODO Y DEL AISLANTE

## STUDY OF PLASMA FOCUS MICROSTAR WHEN THE ANODE AND INSULATOR DIMENSIONS ARE MODIFIED

M. Barbaglia<sup>1,2\*</sup>, H. Bruzzone<sup>1,3</sup>, H. Acuña<sup>3</sup>, F. Di Lorenzo<sup>4</sup>, P. Knoblauch<sup>4</sup>, L. Soto<sup>5</sup>, C. Pavez<sup>5</sup> y A. Clause<sup>1,2,6</sup>

<sup>1</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) - Argentina

<sup>2</sup> Universidad Nacional del Centro de la provincia de Buenos Aires (UNCPBA), 7000, Tandil, Argentina

<sup>3</sup> Universidad Nacional de Mar del Plata, 7600, Mar del Plata, Argentina

<sup>4</sup> Universidad de Buenos Aires, 1000, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

<sup>5</sup> Comisión Chilena de Energía Nuclear - Santiago de Chile - Chile

<sup>6</sup> Comisión Nacional de Energía Atómica - Argentina

Email: [barbagli@exa.unicen.edu.ar](mailto:barbagli@exa.unicen.edu.ar)

Se estudió experimentalmente la influencia de las dimensiones del aislante y del ánodo en el comportamiento de las descargas de un Plasma Focus tipo Mather de 0.8  $\mu\text{F}$ . Se observó una sostenida tendencia de las descargas a generar focalizaciones múltiples, cuyas características fueron correlacionadas con parámetros de diseño y operación.

Palabras Claves: Plasma Focus, focalización, neutrones, descargas eléctricas

The influence of the anode and insulator lengths on the behavior of a 0.8  $\mu\text{F}$  Mather type Plasma Focus was experimentally studied. Multiple pinches were observed in several configurations, which were correlated with design and operation parameters.

Key Words: Plasma Focus, pinch, neutron, electrical discharges

### I. INTRODUCCIÓN

Los Plasma Focus (PF) son dispositivos de descarga eléctrica largamente estudiados<sup>(1,2,3,4,5)</sup> que permiten emitir pulsos de rayos x<sup>(6,7,8,9,10,11,12,13,14)</sup> y neutrones si el gas usado en la cámara es Deuterio<sup>(15,16)</sup>. Básicamente un PF es un sistema cilíndrico coaxial con un cátodo exterior conectado a tierra y un ánodo interior al cual se le descarga un banco de capacitores a través de una llave gaseosa (spark-gap). El ánodo está separado del cátodo por un aislante y al iniciar la descarga se produce una lámina de corriente sobre el mismo la cual avanza por la fuerza de Lorentz hasta el otro extremo del ánodo en donde se produce un desborde y posterior focalización. En su recorrido la lámina de corriente va colectando moléculas del gas presente en la cámara y al desbordar se produce una alta compresión de las partículas en una pequeña región del espacio (llamado pinch) tal que el calentamiento es suficiente para producir reacciones de fusión.

Actualmente quedan muchos interrogantes abiertos sobre la ingeniería de los PF, entre los que se menciona la influencia del aislante y la forma de los electrodos<sup>(17)</sup> y como éstos influyen en la producción de neutrones y de rayos x. Varios modelos matemáticos han sido

desarrollados pero, en general, es reconocida la escasez de datos para poder validar totalmente los mismos<sup>(18,19)</sup>.

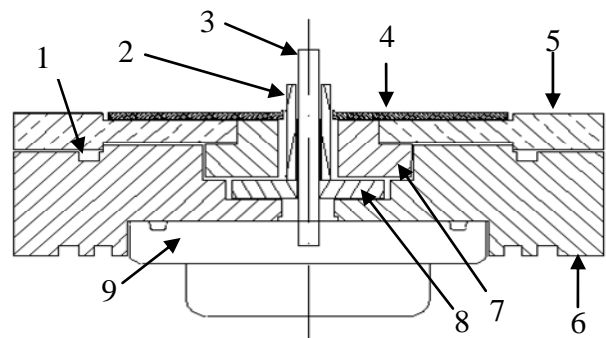


Figura 1: Diagrama de la cámara de descarga. 1) resco para un o-ring 2) aislante 3) ánodo 4) intensificador de campo 5) cátodo 6) plástico que sirve de aislante eléctrico y de estructura del sistema 7) plástico que sujeta al aislante por fuera 8) plástico que sujeta al aislante por dentro 9) pieza de bronce en donde se suelda el ánodo

En este trabajo se exploró el comportamiento de un PF pequeño de 0.8  $\mu\text{F}$  (Microstar) instalado en el Laboratorio de Plasmas Densos Aplicados

\* Autor a quién debe dirigirse la correspondencia.

(PLADEMA) ante variaciones de la longitud del ánodo y del aislante, para diferentes condiciones de operación (voltaje de carga y presión del gas en la cámara).

## II. MÉTODO

El PF Microstar está compuesto por 8 capacitores de 0.1  $\mu\text{F}$  dispuestos circularmente y cada terminal positivo se conectada en paralelo por medio de placas de aluminio al spark-gap. Los terminales negativos se conectan al cátodo mediante cables. Si se conecta el terminal de salida del spark-gap a los cables negativos, la inductancia de esta parte del circuito es 65 nHy.

La Figura 1 muestra un diagrama de la cámara que se conecta al otro extremo del spark-gap. Las partes plásticas están construidas en material Delrin. El ánodo y la pieza que lo sujeta son de bronce, mientras que el cátodo es de acero inoxidable y el aislante de Pyrex. Los plásticos están pegados con material Epoxi. El cuarto de período del sistema al cortocircuitar el ánodo y el cátodo es de 420ns. Como cátodo se usó una placa de bronce con la forma adecuada para que trabaje de intensificador de campo (Figura 1 y 2). La cámara está conectada a una bomba de vacío mecánica por medio de tubos de acero inoxidable y cobre mientras que la tapa de la cámara, se sujeta al cátodo mediante tornillos y está construida en Pyrex con partes de aluminio. Para todas las configuraciones se midió la derivada de la corriente por medio de una bobina de Rogowski ubicada entre el spark-gap y la cámara de descargas descrita en la Figura 1 mientras que la tensión en la base del ánodo fue medida por medio de un divisor resistivo rápido. Se dispone de una fuente de alimentación construida en el laboratorio que permite obtener tensiones en los capacitores entre 0 y 35 KV.

## III. RESULTADOS

### Variación de la longitud del aislante

Hay poca información publicada sobre el diseño óptimo del aislante entre los electrodos de un PF. Por tal motivo se propuso estudiar la operación del Microstar con distintas longitudes del aislante. Para no tener que reemplazar el aislante (lo cual aumentaría las diferencias de la condición de la superficie) la longitud se varió elevando el intensificador de campo de modo de acortar la distancia entre el cátodo y el extremo abierto del aislante. La Figura 2 muestra una fotografía del cañón de descarga. El intensificador de campo está conectado al cátodo por medio de seis tornillos pasantes. La longitud efectiva del aislante se gradúa mediante suplementos metálicos entre el cátodo y el intensificador de campo. Las longitudes del aislante que se usaron fueron 10.7, 6.4 y 2.3 mm, medidas entre el fin del aislante y el intensificador de campo. El método seguido para modificar la longitud del aislante tiene como inconveniente que se aumenta la inductancia del sistema externo.

En la Tabla 1 se muestran las dimensiones de la configuración ensayada. Todos los disparos se hicieron con un voltaje inicial de 18 KV. Se tomaron series de

20 disparos consecutivos por longitud y por presión. En cada disparo se midió la derivada de la corriente, el voltaje en la base del ánodo y la radiación emitida. El gas empleado en las descargas fue  $\text{D}_2$ .

Como la etapa inicial de cada descarga de un PF siempre está enmascarada con un cierto nivel de ruido y fluctuación, todos los parámetros temporales se determinaron tomando como origen del tiempo el primer cero de la señal de derivada de corriente, lo cual permite comparar diversos disparos en forma sistemática. La Figura 3 muestra las tres señales monitoreadas. En las gráficas se pueden observar tres focalizaciones (a 0.95, 1.75 y 2.66  $\mu\text{s}$ ) tanto en la señal de derivada de corriente como en la señal de voltaje. Estas señales, aquí mostradas, son directamente de la salida del osciloscopio en donde, todavía, no se aplicó el factor de escala correspondiente.



Figura 2. Fotografía del cañón de descarga

La Figura 4 muestra la influencia de la presión de carga de la cámara respecto del tiempo que tarda en producirse el pinch (medido respecto al primer cero de la señal de derivada de corriente). Puede observarse que los pinches se presentan agrupados alrededor de cuatro niveles, con valores promedios de 3.2, 2.4, 1.3 y 0.5  $\mu\text{s}$ . Estos niveles corresponden a cada ciclo de la oscilación de la descarga.

Dentro de cada periodo no se observaron variaciones significativas del tiempo al pinch. Las descargas con aislantes de 6.4 mm produjeron pinches en casi todos los períodos. Con un aislante de 2.3 mm los pinches aparecieron sólo a presiones de carga mayores a 5 mbar, y mayoritariamente en los primeros dos ciclos de las descargas.

Tabla 1. Parámetros geométricos del cañón

Elemento	mm
Radio del ánodo	3.25
Longitud del ánodo a partir del aislante	9.10
Radio exterior del aislante	6.25
Radio interior del aislante	3.85

La Figura 5 muestra la tensión medida entre electrodos en el momento del pinch en función de la

presión de trabajo. La mayor tensión se alcanzó con el aislante de 2.3 mm a 18 mbar.

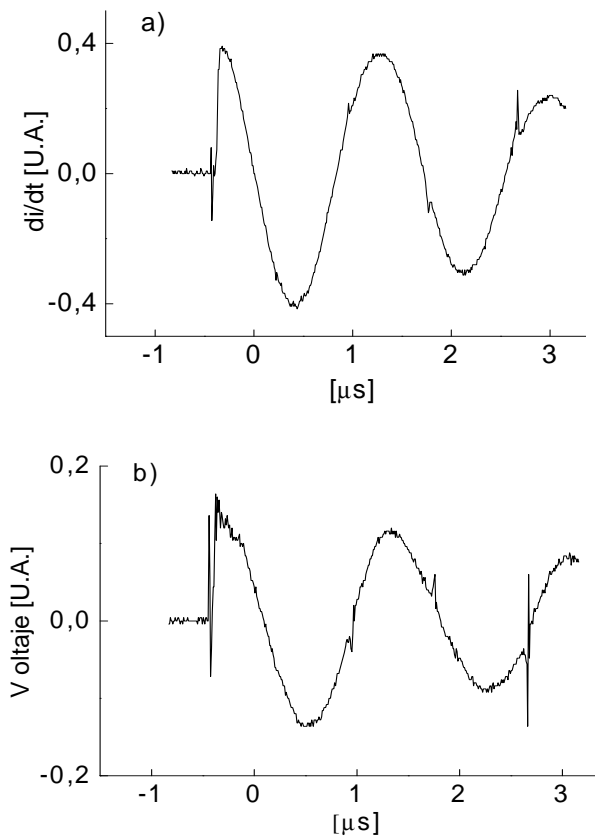


Figura 3: a) señal de la derivada de corriente, b) señal de voltaje en la base del ánodo

### Variación de la longitud del ánodo y la tensión de carga

En otra serie de descargas se estudió la influencia de la longitud del ánodo a partir del aislante vs la tensión de carga de los capacitores. En estos experimentos se mantuvo la longitud del aislante en 10.10 mm y la presión de carga en 1.8 mbar de D<sub>2</sub>. En la Tabla 2 se detallan los parámetros geométricos usados en esta serie experimental.

La Figura 6 muestra la influencia de la tensión de carga en el tiempo al pinch. Puede observarse que, como en la serie experimental anterior, se producen pinches en varios ciclos de las descargas. La dispersión de los tiempos al pinch es mayor a bajas tensiones. Para tensiones superiores a los 24 KV, todos los pinches se producen en el primer período de la descarga.

Tabla 2: Parámetros geométricos del cañón

Elemento	mm
Radio del ánodo	3.10
Radio exterior del aislante	5.30
Radio interior del aislante	3.15
Longitud del aislante	10.10

En la Figura 7 se muestra la tensión entre electrodos al momento del pinch en función del voltaje en los

capacitores. Para todos los ánodos se observa una tendencia creciente de la tensión al pinch con la carga inicial. A medida que aumenta la longitud del ánodo hay una tendencia a aumentar la tensión en el pinch.

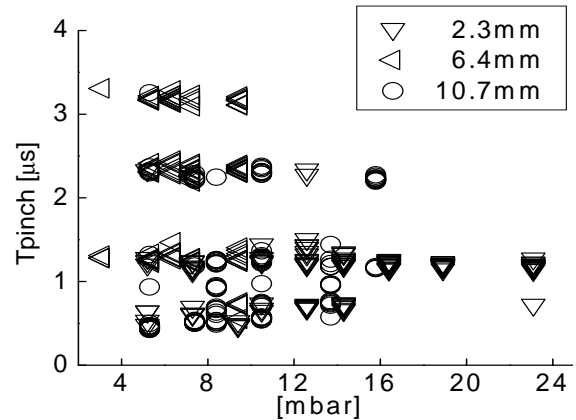


Figura 4: Tiempo al pinch en función de la presión, para diferentes longitudes de aislante.

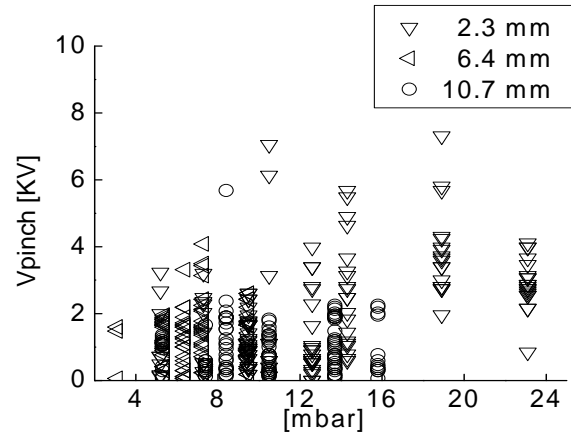


Figura 5: Tensión en el momento del pinch en función de la presión de carga, para diferentes longitudes de aislante.

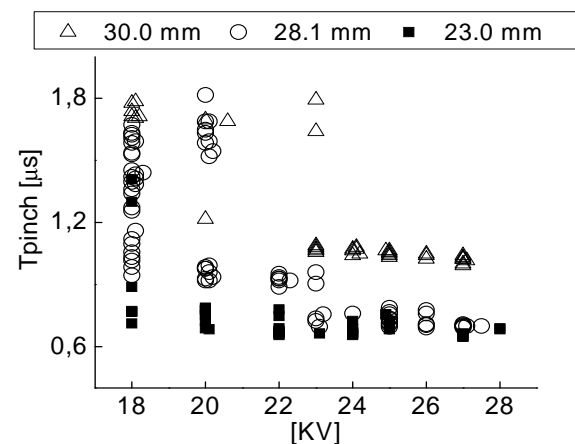


Figura 6: Tiempo al pinch en función de la tensión de carga para diferentes longitudes de ánodo

#### IV. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se pueden concluir las siguientes tendencias. A mayor presión en la cámara se debe usar un aislante más corto lo cual dará las más altas tensiones en el momento del pinch, además a presiones elevadas sólo se observan focalizaciones durante el primer ciclo de la descarga.

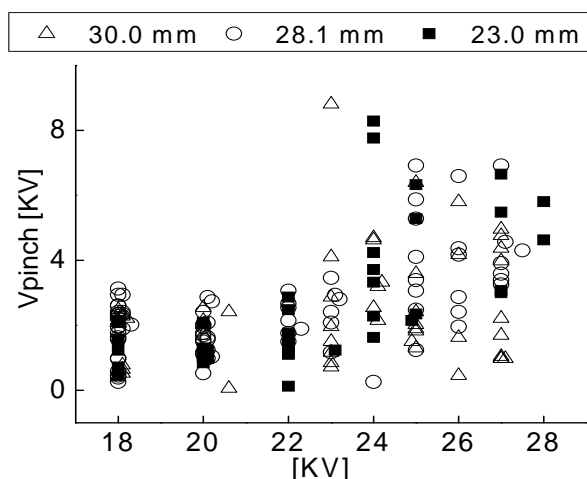


Figura 7: Voltaje alcanzado en el momento del pinch vs la tensión de carga de los capacitores.

Por otro lado, al mantener la longitud del aislante fijo pero realizando variaciones en la longitud del ánodo y en la energía de carga, como era de esperar, a mayor tensión de carga mayor es la tensión en el momento del pinch. Esto tiene importancia dado que la producción de rayos X duros que son los que aquí se midieron, están asociados a un modelo de columna de plasma que forma un pequeño acelerador lineal, disparando los electrones contra el fondo del ánodo. Estos, debido a la brusca frenada son los encargados de la producción de rayos-x duros (por Bremsstrahlung), de aquí que a mayor tensión en el pinch, los electrones adquieren mayor energía permitiendo la producción de radiación más energética. Se observó que cada longitud de ánodo ensayado tiene una energía óptima en donde se obtiene la mayor tensión en el pinch. Si bien se mostró que es posible obtener pinches para valores bajos de tensión, éstos se producen en tiempos posteriores y son más erráticos que los producidos a mayores tensiones de carga.

El hecho de que se produzcan varios pinches en períodos sucesivos de la misma descarga no es fácil de entender a la luz de los modelos usuales de estos dispositivos y no tiene casi antecedentes en la literatura, por lo que deberá ser estudiado con más detalle.

#### V. AGRADECIMIENTOS

M. Barbaglia agradece el financiamiento de la Comisión Nacional de Energía Atómica, del Consejo de

Investigaciones Científicas de la prov. de Buenos Aires, de la Universidad Nacional del Centro de la provincia de Buenos Aires y del CONICET. L. Soto agradece el financiamiento del proyecto ACT-26 del Programa PBCT-CONICYT de Chile.

#### Referencias

- 1 - Mather J. W., Methods of Experimental Physics 9B, 187-249, ed. H Lovberg and H R Griem, New York Acad. Press (1971).
- 2 - Bruzzone H., Moreno C. y Kelly H., Meas. Sci. Technol. 2 1195-200 (1991).
- 3 - Bruzzone H. y Martínez J., Plasma Sources Sci. Technol. 10 471-7 (2001).
- 4 - Bruzzone H., Acuña H., Barbaglia M., Clausse A., Plasma Phys. and Control. Fusion, 48, 609-620 (2006).
- 5 - Silva P., Soto L., Kies W. y Moreno J., Plasma Sources Sci. Technol. 13 329-332 (2004).
- 6 - Hussain S., Zakaullah M., Ali S., Bhatti S.H., Waheed A., Physics Letters A 319 181-187 (2003).
- 7 - Hussain S., Ahmad S., Khan M. Z., Zakaullah M., y Waheed A., Journal of Fusion Energy 22, 195-200 (2004).
- 8 - Di Lorenzo F., Raspa V., Knoblauch P., Lazarte A., Clausse A., y Moreno C., Journal of Applied Physics, 102, (3), 033304, (2007).
- 9 - Moreno C., Raspa V., Di Lorenzo F., Lazarte A., Knoblauch P. y Clausse A., 16th IAEA Technical Meeting on Research using Small Fusion Devices; XI Latin American Workshop on Plasma Physics Mexico City (Mexico), 30 November-3 December and 5-9 December 2005. AIP Conference Proceedings 875, ISBN: 978-0-7354-0375-8, J. Julio E. Herrera Velázquez Ed., 438-441, 4 Dec (2006)
- 10 - Moreno C., Venere M., Barbuzza R., Del Fresno G., Ramos C., Bruzzone H., Florido P., González J., Clausse A., Brazilian Journal of Physics, 32, 20-25 (2002).
- 11 - Moreno C., Clausse A., Martínez J. F., Llovera R. y Tartaglione A., Nukleonika 46 (Suppl. 1) S33-4 (2001).
- 12 - Venere M., Moreno C., Clausse A., Barbuzza R., Del Fresno G., Nukleonika 46, 93-94 (2001).
- 13 - Hussain S., Shafiq M., Ahmad R., Waheed A. y Zakaullah M., Plasma Sources Sci. Technol. 14 61-69 (2005).
- 14 - Lee S., Lee P., Zhang G., Feng X., Gribkov V., Liu M., Serban A. y Wong T. K. S., IEEE Trans. Plasma Sci. 26 1119-26 (1998).
- 15 - Silva P., Moreno J., Soto L., Birstein L., Mayer R. y Kies W., Appl. Phys. Lett. 83 3269 (2003).
- 16 - Tartaglione C., Ramos C., Clausse A., Moreno C., Brazilian Journal of Physics, 34, 1756-1758 (2004).
- 17 - Bruzzone H. y Vieytes R., Plasma Phys. Control. Fusion 35, 1745-54 (1993).
- 18 - Moreno C., Casanova F., Correa G. y Clausse A., Plasma Phys. Control. Fusion 45 1989-99 (2003).
- 19 - Moreno C., Bruzzone H., Martínez J., Clausse A., IEEE Trans. on Plasma Sci. 28, 1735 (2000).