

Ruptura dieléctrica de mezclas gaseosas en un dispositivo Plasma Focus

Dielectric breakdown of gas admixtures in a Plasma Focus device

Knoblauch P.^{1*}, Di Lorenzo F.¹, Raspa V.¹, Ramelli M.¹, Clausse A.², y Moreno C.¹

¹ Dto. de Física FCEyN, UBA-INFIP-PLADEMA

² Dto. de Computación y Sistemas, FCE UNCPBA, CNEA-CONICET-PLADEMA
e-mail: pablotk@df.uba.ar

Se investigó la ruptura dieléctrica de distintas mezclas de deuterio y argón en una cámara de descargas plasma focus de tipo Mather. Se exploró el rango de presiones totales comprendido entre 0.2 y 8 mbar. Los resultados obtenidos muestran que en este rango y para las dosificaciones investigadas, las tensiones de ruptura medidas para una misma presión, tienden a disminuir conforme se agrega argón a la mezcla.

Palabras claves: plasma focus, tensión de ruptura dieléctrica, mezcla de gases.

The breakdown voltage of different deuterium-argon mixtures was investigated in a Mather type plasma focus discharge chamber. The filling pressure was set in the 0.2 - 8 mbar range. It was found that for each pressure in the studied range, the breakdown voltage decreases for higher argon proportions of the filling gas.

Key Words: plasma focus, breakdown voltage, gas admixtures

I. Introducción

Los equipos plasma focus son sistemas donde se genera y comprime un plasma gaseoso mediante una descarga eléctrica capacitiva de alta potencia. En ellos se producen haces pulsados de iones y electrones de alta energía, radiación de amplio espectro y, si se trabaja en una atmósfera de deuterio, también pueden ser empleados como fuente pulsada de neutrones de fusión (2.45 MeV).

Por su importancia en la evolución de la descarga, la fase de ruptura dieléctrica fue investigada en equipos plasma focus desde 1985¹. En 1989 Feugeas y von Pamel investigaron la ruptura dieléctrica de hidrógeno empleando un conjunto coaxial de electrodos y aislante. Reportan resultados para la distribución de corriente y analizan la influencia de la superficie del aislante en las características de la ruptura dieléctrica del gas^{2,3}. Por otra parte, el inicio de la ruptura dieléctrica fue estudiado también por Bruzzone y Vieytes⁴ en 1993. Resultados de simulaciones numéricas realizadas para esta etapa de la descarga plasma focus, fueron presentados en 2007 por Yordanov *et al*⁵.

La tensión de ruptura de diferentes gases puros y mezclas gaseosas fue investigada extensamente. En particular Meek and Craggs⁶ compendian resultados obtenidos en diversas descargas de baja potencia, empleando electrodos de distintas geometrías y materiales. En contraste, los plasma focus son descargas pulsadas de muy alta potencia. La física aplicable a su etapa de ruptura dieléctrica se discute, entre otras fuentes, en las referencias^{7,8}.

Debido a las fluctuaciones propias de los procesos que determinan la focalización del plasma y la generación de radiaciones, no toda operación del equipo

resulta eficiente en cuanto a la producción de radiaciones de alta energía. En 1988 Koshelev *et al* concluyeron que las características de la focalización en un plasma focus operado con mezclas de deuterio y xenón, dependen fuertemente de la dosificación de xenón⁹. Más aún, en 2003 se ha mostrado que para un equipo plasma focus tipo Mather de 4.7 kJ de energía almacenada, la dosificación de 2.5 % de argón en 4 o 5 mbar de hidrógeno eleva su eficiencia como fuente pulsada de rayos x de alta energía¹⁰. Resultados como estos motivan la investigación de la ruptura dieléctrica en mezclas, como parte de la optimización de los plasma focus aplicados a la generación de radiaciones de alta energía.

En la presente comunicación se muestran resultados experimentales de la tensión de ruptura dieléctrica empleando distintas mezclas de deuterio y argón en un plasma focus tipo Mather de 2.5 kJ de energía almacenada.

II. Montaje y metodología experimental

El plasma focus empleado en las mediciones que dan contenido al presente trabajo, cuenta con una capacidad total de 5.6 μF conformada por 8 capacitores de 0.7 μF cada uno, conectados en paralelo. Si el banco de capacitores se carga a 30 kV, puede entregar a la cámara de descarga una corriente máxima de 350 kA en un cuarto de período de $\sim 1.3 \mu\text{s}$. Los electrodos, de geometría cilíndrica, concéntricos y coaxiales, están separados en su base por un aislante de vidrio Pyrex de 4 mm de espesor y 33.5 mm de longitud libre. El ánodo es hueco y está fabricado en cobre electrolítico de alta conductividad. El cátodo por su parte, es barrado y está construido en bronce. El conjunto se aloja dentro de una cámara de descargas de 1.5 litros de capacidad, fabricada en acero inoxidable de 3 mm de espesor. Detalles más específicos

* Autor a quien debe dirigirse la correspondencia.

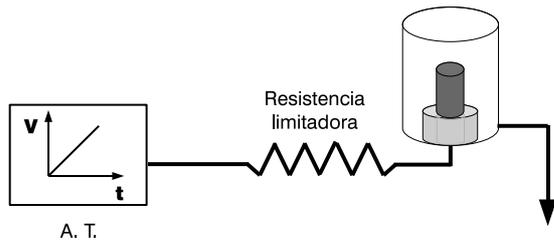


Figura 1. Esquema del montaje experimental.

acerca del plasma focus empleado, pueden consultarse en la referencia¹¹.

La figura 1 muestra el dispositivo experimental montado para las mediciones de tensión de ruptura dieléctrica. En ella se esquematizan la entrada de alta tensión (A. T.), el conjunto electrodos-aislante y una resistencia limitadora cuyo valor fue fijado en $2.2 \text{ M}\Omega$.

La tensión interelectródica fue variada en forma lineal a razón de 3 V/s , empleando una fuente de alta tensión (50-2500 V, 10 mA) controlada por un generador de funciones programable.

La instrumentación empleada tanto para la generación de la rampa de alta tensión como para el registro de señales, se diagrama en la figura 2.

Junto con la salida de alta tensión, la fuente empleada cuenta con una salida adicional de monitoreo, cuya señal voltáica resulta proporcional a la corriente entregada (1 V/mA). Un multímetro digital conectado a una PC permite el registro, en función del tiempo, de dicha corriente. La PC provee la señal de disparo para la polarización de los electrodos y adicionalmente permite registrar la duración del experimento. Esto último, junto con la tasa de variación de la rampa, resulta en una medición de la tensión entregada por la fuente.

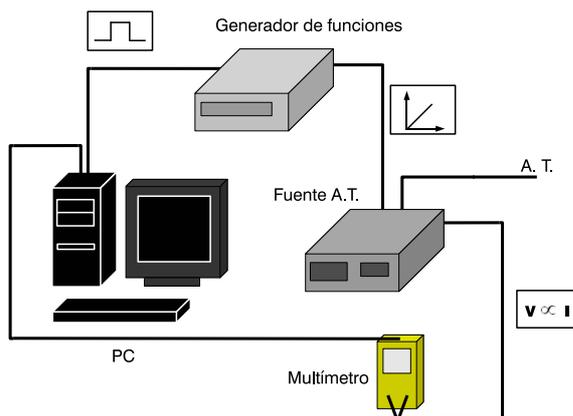


Figura 2. Esquema de la instrumentación empleada para la generación de la rampa de alta tensión y registro de señales.

La ruptura dieléctrica del gas cierra el circuito eléctrico aumentando la corriente entregada por la fuente. La figura 3 ilustra la medición de dicha corriente en función de la tensión de polarización de los electrodos. Se observa que existe un umbral de tensión por debajo del cual la corriente entregada por la fuente es nula. Superado

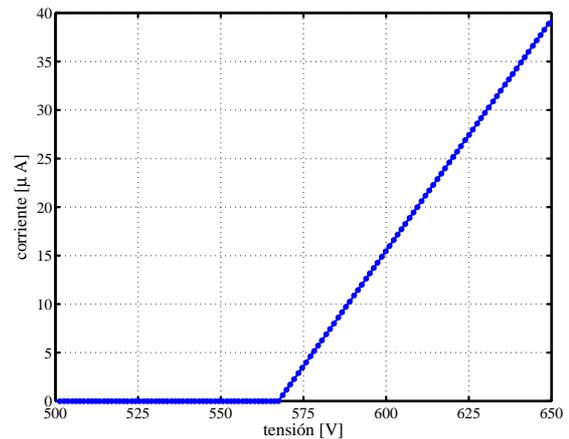


Figura 3. Corriente entregada por la fuente en función de la tensión de polarización de los electrodos.

ese valor, la corriente crece linealmente con pendiente igual a la resistencia de polarización. Experimentalmente, la tensión de ruptura dieléctrica se estima como el voltaje a partir del cual la corriente comienza a circular limitada solamente por la resistencia.

Se investigó, a configuración interelectródica fija, la ruptura dieléctrica de distintas mezclas de deuterio y argón. Se exploró el rango de presiones de llenado comprendido entre 0.2 y 8 mbar.

III. Resultados

En la figura 4 se ilustran los resultados obtenidos en la medición de la tensión de ruptura dieléctrica (V_r) del deuterio, en función de la presión de llenado (Curva de Paschen a distancia interelectródica fija). Cada punto representa el promedio, tomado sobre una serie de 3 mediciones, de la tensión de ruptura dieléctrica a la presión correspondiente. Las barras de error representan la desviación estándar. Para facilitar la visualización, se unieron los puntos con una curva suave.

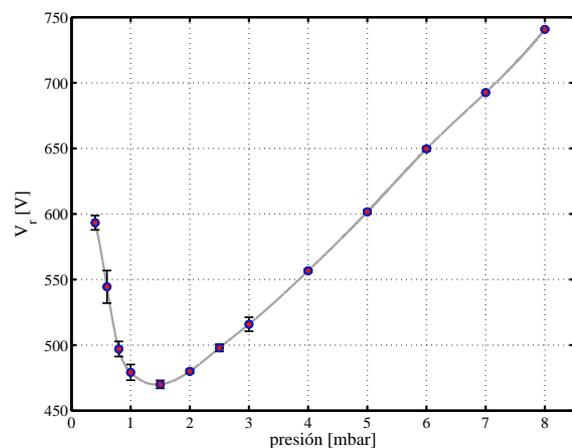


Figura 4. Curva de Paschen medida en la cámara de descargas Plasma Focus. Gas de llenado: deuterio.

La curva presenta un mínimo en el rango estudiado, y posee dos comportamientos distinguibles: para pre-

siones mayores a la del mínimo, el incremento de la tensión de ruptura posee un comportamiento suave; mientras que en el caso complementario, la tensión crece abruptamente para pequeñas variaciones de la presión.

En la figura 5 se muestran las curvas de Paschen obtenidas para distintas concentraciones de argón en deuterio.

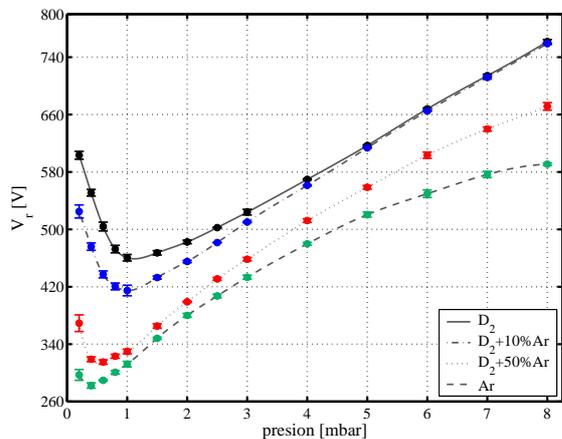


Figura 5. Curvas de Paschen para distintas concentraciones de argón en deuterio.

Puede apreciarse que a medida que aumenta la proporción de argón, las correspondientes curvas de Paschen comienzan a diferenciarse de la obtenida para deuterio puro. En general se observa que dentro del rango de presiones y dosificaciones investigadas, las tensiones de ruptura tienden a disminuir conforme se agrega argón a la mezcla. Sin embargo, cabe notar que para presiones mayores a 4 mbar no se detectan diferencias significativas entre la tensión de ruptura dieléctrica medida para deuterio puro y con una dosificación del 10 % de argón.

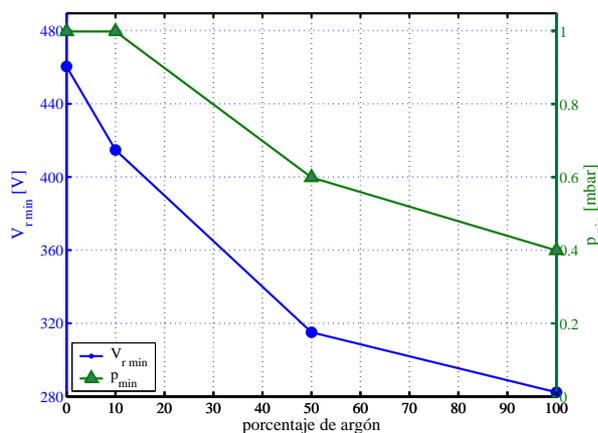


Figura 6. Gráfico de los mínimos de la tensión de ruptura (V_{rmin}) y presión (p_{min}) en función de la concentración de argón en deuterio.

Para facilitar la comparación, la figura 6 muestra el gráfico de los valores de tensión (eje izquierdo) y presión (eje derecho) de los mínimos de las curvas de

Paschen presentadas en la figura 5, en función de la concentración de argón en deuterio. Los resultados muestran que ambas magnitudes disminuyen con el aumento de la concentración de argón en la mezcla.

IV. Comentarios finales

Se investigó la ruptura dieléctrica de distintas mezclas de deuterio y argón en una cámara de descargas plasma focus de configuración electródica fija y presiones típicas de operación en deuterio comprendidas entre 2 y 6 mbar.

Los resultados obtenidos muestran que la longitud libre diseñada para el aislante, asegura que la condición de ruptura dieléctrica ocurra en la rama derecha de la curva de Paschen para todas las presiones de operación típica. Este criterio de diseño contribuye a mejorar el desempeño del equipo dado que los mecanismos de ruptura dieléctrica no se modifican en todo el rango de presiones de interés. Más aún, que las tensiones de ruptura dieléctrica se ubiquen en la rama de variación más suave de la curva de Paschen, aumenta la reproducibilidad en el inicio de la descarga. Ambas observaciones revisten una ventaja importante para equipos destinados a prestar servicios.

Referencias

- 1 - Borowiecki M. and Czekaj S., *Proc. Fourth Int. Workshop on Plasma Focus and Z-Pinch Research*, Warsaw (1985) 86.
- 2 - Feugeas J. N., *Journal of Applied Physics*, **66**, 3467-3471 (1989).
- 3 - Feugeas J. N. and von Pamel O., *Journal of Applied Physics*, **66**, 1080-1083 (1989).
- 4 - Bruzzone H. and Vieytes R., *Plasma Physics and Controlled Fusion*, **35**, 1745-1754 (1993).
- 5 - Yordanov V., Ivanova-Stanik I. and Blagoev, A., *Journal of Physics D: Applied Physics*, **40**, 8, 2522-2525 (2007).
- 6 - Meek J. and Craggs J., *Electrical breakdown of gases*, Oxford, Cap. 2 (1953).
- 7 - Korolev Yu. D. and Mesyats G. A., *Physics of pulsed breakdown in gases*, URO-PRESS, Rusia (1998).
- 8 - Raizer Y., *Gas discharge physics*, Springer-Verlag (1991).
- 9 - Koshelev K. N., Krauz V. I., Reshetniak N. G., Salukvadze R. G., Sidelnikov Yu V., and Khautiev E Yu, *Journal of Physics D: Applied Physics*, **21**, 1827-1829 (1988).
- 10 - Cobelli P., Knoblauch P., Moreno C., *Anales de la Asociación Física Argentina*, Vol. **15**, 160-163 (2003).
- 11 - Di Lorenzo F., Raspa V., Knoblauch P., Lazarte A., Clause A., and Moreno C., *Journal of Applied Physics*, **120**, (3), 033304, Aug (2007).

Agradecimientos

Este trabajo contó con apoyo económico de la UBA, del PLADEMA y de CONICET. Tres de los autores (P.K., F.D.L. y V.R.) son becarios doctorales de CONICET y dos de ellos (C.M. y A.C.) son miembros de CONICET. P. K. agradece el aporte económico del Dto. de Física de la FCEyN - UBA para participar de la 92^a Reunión Anual de la Asociación Física Argentina.