

OPERACIÓN DE UN PLASMA FOCUS DE CÁMARA PEQUEÑA COMO GENERADOR COMPACTO DE NEUTRONES Y RADIACIONES

C. MORENO*, J. MARTÍNEZ, H. BRUZZONE y A. CLAUSSE

Instituto de Física del Plasma-UBA-CONICET.
Red PLADEMA, CNEA-CIC-UNCPBA-UNR-UNMDP-UBA
e-mail: moreno@df.uba.ar

Se presenta un equipo Plasma Focus de cámara pequeña para ser empleado como productor portátil de pulsos de alta fluencia de neutrones y radiaciones. El dispositivo se ha caracterizado midiendo la tensión y corriente entre electrodos, y la producción neutrónica. Durante el foco se obtienen picos de tensión con amplitud superior a 10 veces la tensión inicial interelectrónica, lo que es indicativo de buenas focalizaciones. La producción neutrónica media es de 3×10^8 neutrones de 2.45 MeV por disparo, lo que corresponde una fluencia de 1×10^6 neutrones/cm² en la pared exterior de la cámara. Como ilustración de una posible aplicación de la radiación X emitida por este dispositivo se presenta una radiografía obtenida colocando el objeto y la película por fuera de la pared de la cámara, que es de 3 mm de acero inoxidable.

A small-chamber Plasma Focus device to be used as portable, high fluence, pulsed, neutron and radiations generator is presented. The device performance was characterised by measuring the neutron yield and the applied voltage and flowing current between the electrodes. Voltage spikes of about 10 times the amplitude of the initial interelectrode voltage were obtained at focalisation time, thus indicating good focusing. The mean neutron yield is 3×10^8 neutrons of 2.45 MeV per shot, corresponding to a 1×10^6 neutrons/cm² fluence on the external surface of the chamber. As an illustration of the possible applications of the X rays radiated by this device, a radiography obtained placing the object outside the chamber, which is a 3 mm thick stainless steel wall, is presented.

I. INTRODUCCIÓN

Los equipos Plasma Focus tuvieron gran auge en las décadas de los 70 y los 80 como productores de reacciones de fusión de Deuterio o de Deuterio-Tritio gaseosos con miras al desarrollo de reactores. En la actualidad el interés por estos equipos se ha volcado fuertemente a sus potenciales aplicaciones tecnológicas como productores de neutrones energéticos (2.45 MeV en caso de operar con Deuterio solamente o 14.1 MeV al emplear Deuterio-Tritio); haces de iones y electrones; y radiación X de amplio espectro (1-100 keV). La emisión neutrónica puede emplearse para realizar neutrografías⁽¹⁾ y análisis de sustancias en situaciones inaccesibles a métodos tradicionales debido a su alto poder de penetración⁽²⁾. La intensa emisión de rayos X, por su parte, está siendo aplicada a radiografías no convencionales^(3,4) y a litografía de interés en microelectrónica⁽⁵⁾.

Muchas de las aplicaciones previstas para estas radiaciones requieren disponer de sistemas portátiles y pequeños, en lugar de los voluminosos equipos que resultan más adecuados para la investigación básica. Debido a la energética interacción del plasma con las paredes de la cámara de descargas, la reducción del tamaño de la misma generalmente conlleva una seria degradación de la performance del equipo. Puede citarse por ejemplo, la liberación de impurezas producida cuando el plasma aún caliente interactúa con una superficie cercana. Dichas impurezas contaminan la

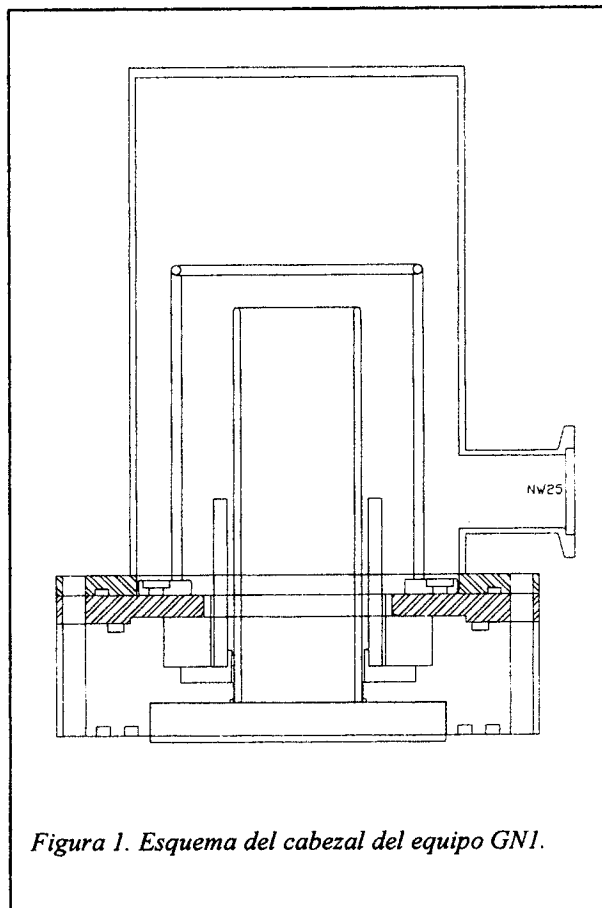


Figura 1. Esquema del cabezal del equipo GN1.

* Autor a quién debe dirigirse la correspondencia.

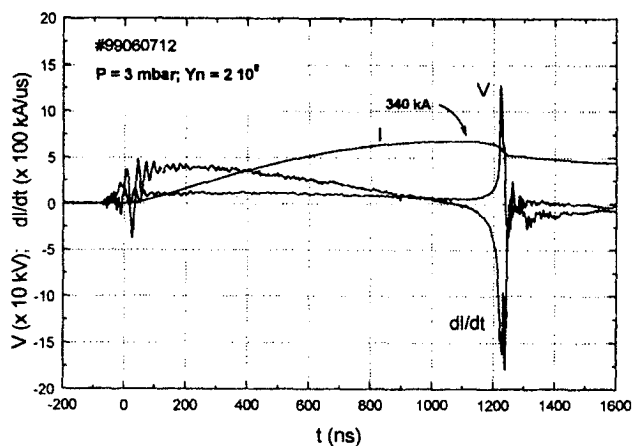


Figura 2: Tensión; derivada temporal de la corriente y corriente entre electrodos

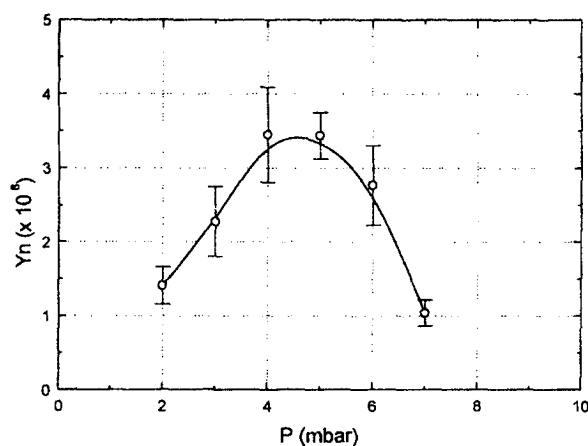


Figura 3: Producción neutrónica en función de la presión de carga

cámara e inducen fuertes fluctuaciones de la producción del equipo a lo largo de sucesivos disparos realizados en igualdad de condiciones externas a la cámara misma. La acumulación de impurezas degrada en forma progresiva la producción neutrónica hasta terminar por impedirla. Las fluctuaciones mencionadas fueron reportadas por diversos autores y estudiadas en forma unificada en términos de procesos de desorción y adsorción de contaminantes por las superficies en contacto con el plasma⁽⁶⁾. La naturaleza intrínsecamente fluctuante de la performance de muchos equipos Plasma Focus conspira severamente contra las aplicaciones tecnológicas previsibles para estos equipos. Adicionalmente, muchas de las posibles aplicaciones que se intentan desarrollar requieren que el equipo sea operado a tasas de repetición del orden del Hz⁽⁷⁾. Esto impone requerimientos de remoción del calor transferido a las paredes de la cámara y a los electrodos en las sucesivas descargas. La necesidad de disparar el equipo a tan altas tasas de repetición agrava además los problemas de mantener la cámara libre de impurezas.

Dada la gran variedad y complejidad de los fenómenos que ocurren en las descargas Plasma Focus, la búsqueda de la solución de los problemas básicos mencionados se realiza semi-empíricamente variando materiales y conceptos de diseño. En esta comunicación describimos un equipo Plasma Focus, denominado GN1, operable a razón de un disparo por minuto, cuya producción neutrónica no se ve significativamente degradada respecto de la obtenida con el mismo tipo de electrodos y el mismo banco de capacitores empleados en una cámara de volumen 500 veces mayor; que presenta una regularidad comparable o mejor que la recopilada en [6] y que se ha empleado para obtener radiografías.

II. EL EQUIPO GN1

Características

En la Fig. 1 puede observarse un esquema de los electrodos y la cámara de vacío del equipo. El electrodo central (ánodo) es de Cobre electrolítico; el cátodo está

formado por 12 barras de bronce de 3 mm de diámetro cada una, mientras que la cámara es de acero inoxidable. Los diámetros de los electrodos y la cámara son de 38 mm; 72 mm y 96 mm; mientras que las longitudes son de 87 mm; 100 mm y 157 mm respectivamente. El aislante es de vidrio Pyrex, tiene 35 mm de longitud libre y 4 mm de pared. El sistema de vacío está compuesto por una bomba mecánica y una difusora de aceite que permite alcanzar una presión de base de 10^{-8} mbar. El banco de capacitores está formado por tres módulos consistentes cada uno en 5 condensadores y un spark-gap. La capacidad total del conjunto es de $10.5 \mu\text{F}$ y la tensión de carga es de 30 kV. Se obtienen corrientes pico de ~ 350 kA con un cuarto de período de $\sim 1.1 \mu\text{s}$. El generador se ha operado con presión estática de Deuterio en el rango 1 a 8 mbar. Luego de cada disparo la presión se incrementa típicamente 0.05 mbar como consecuencia de la interacción del plasma con las superficies expuestas. Para evitar un aumento excesivo de presión a lo largo de sucesivos disparos, la presión se reduce luego de cada descarga mediante bombeo con mecánica. La máxima frecuencia de operación del sistema es de un disparo por minuto, limitada por la potencia de la fuente de alimentación disponible. La temperatura de la pared frontal de la cámara (tapa superior en la Fig 1) se incrementa unos 20°C por sobre la temperatura ambiente luego de unas 30 descargas a la frecuencia mencionada. La refrigeración del cabezal se realiza por conducción térmica entre sus piezas.

Mediciones

En cada disparo se han registrado la evolución temporal de la tensión entre electrodos, V , y la derivada temporal de la corriente de descarga, dI/dt , empleando un divisor de tensión resistivo y una bobina de Rogowski respectivamente. Las señales fueron adquiridas mediante un digitalizador de 500 MHz de ancho de banda analógica y 1 Gs/s. En la Fig. 2 se ilustran dichas magnitudes, obtenidas en una descarga a 3 mbar de Deuterio. Puede observarse que la amplitud del pico de tensión producido durante el foco supera

varias veces la tensión aplicada al cañón en los primeros instantes de la descarga, lo que es indicativo de una buena focalización del plasma. Lo análogo vale para dI/dt . Los intensos picos de tensión que se producen durante la focalización (~ 120 kV en el caso ilustrado en la Fig 2) imponen severas condiciones de diseño sobre el aislante y sus piezas asociadas. En la práctica se ha encontrado por ejemplo, que aislantes de vidrio pyrex con paredes de 2 mm de espesor son perforados por ruptura dieléctrica luego de las primeras descargas.

La producción neutrónica, Y_n , se midió en cada disparo por activación de Plata⁽⁸⁾ ubicando el sensor a 60 cm de la región de focalización y a 90° respecto del eje del cañón. La superficie expuesta por el detector al flujo neutrónico directo es un cuadrado de 30 cm de lado, mientras que la profundidad es de 17 cm. El detector se calibró midiendo la producción neutrónica de un segundo equipo (PFII del INFIP) simultáneamente con TLD's y contrastando resultados de ambos métodos. En la Fig. 3 se observa la producción neutrónica medida en el equipo GN1 en función de la presión de llenado. La mayor producción media se obtiene a ~ 4 mbar y es de $\sim 3 \times 10^8$ neutrones por disparo. Esto corresponde a una fluencia de $\sim 10^6$ neutrones/cm² por disparo, asumiendo que la región de emisión es puntual y está a 5 cm de la pared de la cámara. La anisotropía de la radiación neutrónica del equipo GN1 está en vías de ser medida. El sistema de electrodos y aislante de este equipo tiene geometría y materiales similares a los del equipo PFII, para el que se midió una producción máxima media de 2×10^8 neutrones por disparo en el rango 2-3 mbar⁽⁹⁾ empleando el mismo banco de capacitores y la misma tensión de operación. La cámara de descargas del PFII es un esferoide de 600 l.

Aplicaciones

La investigación que se realiza con el generador GN1 está orientada primordialmente a las posibles aplicaciones de la radiación que emite. Por el momento se ha explorado la obtención de radiografías. En la Fig 4 puede apreciarse la radiografía de un cristal de cuarzo encapsulado en latón colocado en el exterior de la cámara de descargas. Si bien es indudablemente necesario introducir diversas mejoras en el método, la factibilidad de obtener radiografías no convencionales operando en Deuterio queda claramente demostrada. El interés de obtener radiografías empleando Deuterio como gas de trabajo (en lugar de usar otros más favorables para la producción de X, como el Argón; Neón y otros gases de alto número atómico) reside en la eventual posibilidad de obtener radiografías y neutrografías simultáneas.

III. CONCLUSIONES

Se ha presentado un equipo PF de cámara pequeña, operable a razón de un disparo por minuto, que tiene una producción media de 3×10^8 neutrones por disparo y una fluencia de 10^6 neutrones/cm² en la



Figura 4. Radiografía de un cristal de cuarzo encapsulado en latón ubicado fuera de la cámara de descargas.

superficie exterior del cabezal. La producción neutrónica de este equipo es similar a la que el mismo conjunto de capacitores trabajados a la misma tensión permite obtener en una cámara mucho más voluminosa. La radiación X emitida por el generador se puede emplear para obtener radiografías.

Referencias

- 1 - M. Gibbons, W. Richards and K. Shields. Optimization of neutron tomography for rapid H concentration inspection of metal castings, LLNL Rep UCRL-JC-129723, (1998).
- 2 - F. Brooks, A. Buffler, M. Allie, K. Bharuth-Ram, M. Nchodu and B. Simpson. Determination of HCNO concentrations by fast neutron scattering analysis, *Nuclear Instruments And Methods Sect. A* (410) 2 319-328 (1998).
- 3 - F. Castillo-Mejia, M. Milanese, M. Moroso, J. Pouzo and M. Santiago. Research on Dense Plasma Focus Hard X-Ray Emission with Scintillator-Photomultiplier and TLD Measurements, 1998 ICPP and 25 EPS Conf. on Contr. Fusion and Plasma Physics, **22C** 2686 (1998).
- 4 - E. Hussein and E. Waller. Review of one-side approaches to radiographic imaging for detection of explosives and narcotics, *Radiation Measurements*, **29** (6), 581, (1998).
- 5 - S. Lee, V. Kudryashov, P. Lee, G. Zhang, A. Serban, M. Liu, X. Feng, S. Springham, T. Wong and C. Selvam. SXR Lithography Using a High Performance Plasma Focus Source, 1998 ICPP and 25 EPS Conf on Contr. Fusion and Plasma Physics, **22C** 2591 (1998).
- 6 - J. Gratton, M. Alabraba, A. Warmate and G. Giudice. Deterministic dynamics of Plasma Focus discharges. *Chaos, Solitons & Fractals*, **3**, 343 (1993).
- 7 - S. Lee, P. Lee, G. Zhang, X. Feng, V. Gribkov, M. Liu, A. Serban, and T. Wong. High Rep Rate High Performance Plasma Focus as a Powerful Radiation Source. *IEEE Trans on Plasma Sci*, **26**, 1119, Aug (1998).
- 8 - S. Glasstone and R. Lovberg. Controlled Thermonuclear Reactions, Van Nostrand, NY, (1960).
- 9 - H. Kelly and A. Márquez. Ion beam and neutron production in a low-energy plasma focus. *Plasma Phys. Contr. Fusion* **38**, 1931 (1996).