

PROPIEDADES DE LA EMISION DE NEUTRONES Y DE IONES EN EQUIPOS PLASMA FOCUS

H. Bruzzone*, D. Grondona**, H. Kelly*, A. Márquez**

Laboratorio de Física del Plasma, FCEN UBA, Pabellón I, Ciudad Universitaria, 1428 Buenos Aires

Se presentan las características de la producción neutrónica, de la emisión de rayos X duros y del haz de iones generado por el equipo Plasma Focus II, operado a 20 kV (2,8 kJ). Además, se analizan las consecuencias de los resultados obtenidos concernientes a los mecanismos responsables de la producción neutrónica y de la aceleración de los iones.

INTRODUCCION

Los equipos Plasma Focus son importantes fuentes de radiación X, iones rápidos y neutrones. A través del estudio de las características de la emisión de iones de alta energía y de neutrones es posible obtener información sobre los mecanismos responsables de la aceleración de los iones y de los procesos que conducen a la producción de las reacciones de fusión.

Estos temas han sido investigados en varios laboratorios^{1,2}, sin embargo hasta el momento no se ha logrado establecer un modelo que explique satisfactoriamente los mecanismos antes mencionados; de ahí la importancia de brindar información que ayude a comprender el problema.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Este trabajo fue realizado en un equipo Plasma Focus tipo Mather operado a 20 kV de tensión de carga (2,8 kJ), con un electrodo interno de 19 mm de radio y 130 mm de longitud, y un electrodo externo de 36 mm de radio y 120 mm de longitud. Los electrodos están separados en la base por un aislante de vidrio Pyrex de 45 mm de longitud y 51 mm de diámetro.

Las descargas se realizaron empleando tres configuraciones diferentes del equipo: en dos de ellas la inductancia total (L_0) del equipo resultó ser 26 nH y se utilizaron alternativamente un electrodo externo macizo y otro barrado, en la tercera configuración se trabajó con $L_0 = 70$ nH y sólo con el electrodo barrado. La cámara se llenó con deuterio a presiones que variaron entre 0,5 mbar y 4 mbar en intervalos de 0,5 mbar evacuando la cámara luego de 5 a 10 disparos

La medición del número total de neutrones pro-

ducidos en cada descarga se realizó con un detector de Ag activada³. En la figura 1 se muestra un gráfico de la producción media de neutrones (Y_n) en función de la presión de llenado (P_0) para las distintas configuraciones del equipo. La producción máxima observada en disparos individuales resultó ser $2 \cdot 10^8$ neutrones. Comparando las mediciones de Y_n realizadas con $L_0 = 26$ nH se observa un incremento de la producción media para el caso del electrodo barrado, que resultó no tanto por aumentar Y_n en disparos individuales, sino por una mayor reproducibilidad descarga a descarga. Si bien, el máximo de Y_n se produce en cada caso para distintas P_0 (siempre entre 1 y 2 mbar) una inspección de las dispersiones estadísticas obtenidas muestra que esto no puede asegurarse estrictamente.

La resolución temporal del pulso de neutrones y la emisión de rayos X duros fueron medidos empleando dos detectores consistentes en centelladores acoplados a tubos fotomultiplicadores (4). En la figura 2 se muestran las trazas oscilográficas de una señal típica obtenida en una descarga con dos fototubos ubicados a 350 cm del extremo del electrodo interno, uno en la dirección del eje del electrodo (0°) y otro en la dirección perpendicular (90°). En las dos trazas se observa un pico correspondiente a rayos X duros (energías mayores de 300 keV), seguido de una señal de forma aproximadamente triangular que corresponde a la evolución temporal de la producción de neutrones. La duración del pico de rayos X varía entre 15 y 30 ns (medida a mitad de altura de la señal), no existiendo ninguna correlación evidente con Y_n y P_0 . Sin embargo, se notó una cierta correlación entre Y_n y la intensidad de rayos X duros, dado que prácticamente no se detectan rayos X en disparos de baja producción.

También se observó que el inicio de la producción de rayos X coincidía con el inicio de la producción de neutrones. Para determinar esto se ubicó un fototubo a 90° variando la distancia de detección

* Miembro de la Carrera del Investigador, CONICET
** Becario CONICET

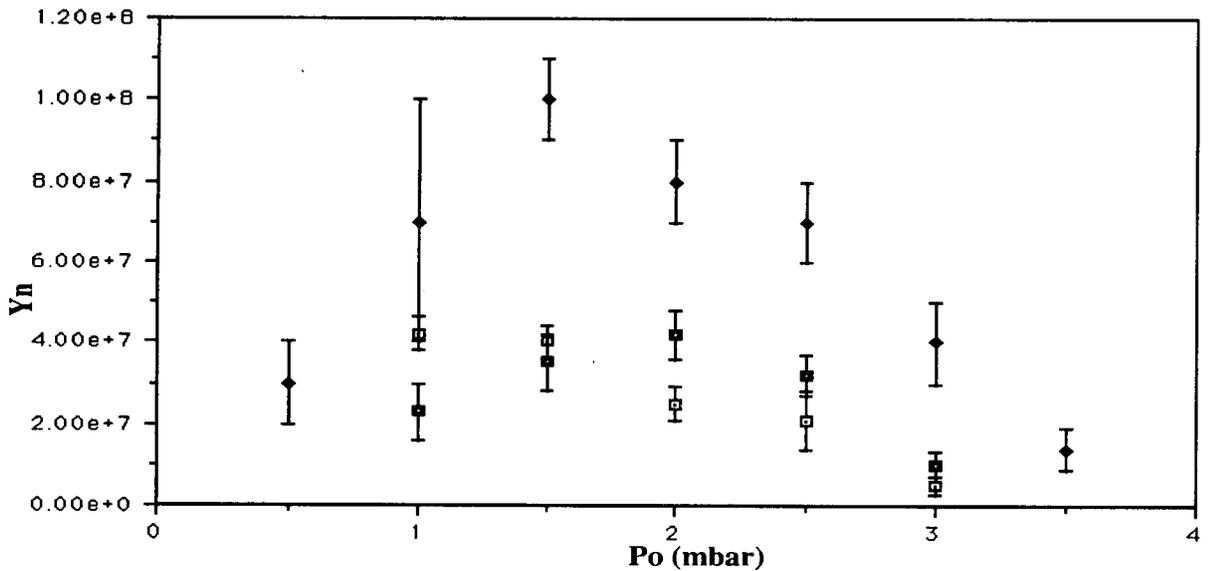


Fig.1: Producción media de neutrones vs. presión de llenado

- electrodo barrado $L_0 = 70$ nH
- ◆ electrodo barrado $L_0 = 26$ nH
- electrodo macizo $L_0 = 26$ nH

respecto del extremo de los electrodos, y se comparó el intervalo temporal entre el inicio de las señales de X y de neutrones con el intervalo calculado por diferencias de tiempo de vuelo considerando que se inician simultáneamente y que los neutrones poseen una energía de 2,45 MeV.

A partir de la medición del cociente de las áreas de las señales registradas con los fototubos se midió la anisotropía del flujo neutrónico respecto de la emisión a 90° para 20° y 50° . Los resultados obtenidos fueron:

$$A(20^\circ) = 2,1 \pm 0,5$$

$$A(50^\circ) = 1,1 \pm 0,5$$

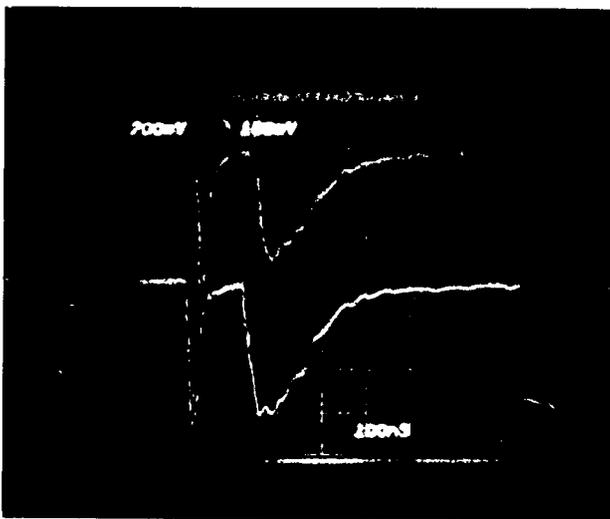


Fig. 2: Trazas oscilográficas típicas de la señal obtenida con los fototubos a) 90° , b) 0°

Por otra parte, para evitar considerar la eventual contribución a las señales de los neutrones dispersados se efectuó una nueva determinación de la anisotropía, teniendo en cuenta sólo los primeros 50 ns de las señales de neutrones la anisotropía obtenida fue:

$$A(20^\circ) = 2,9 \pm 0,7$$

$$A(50^\circ) = 1,4 \pm 0,4$$

En forma simultánea con estas mediciones se llevó a cabo el análisis del haz de iones con un espectrómetro Thomson ubicado con su eje paralelo al eje de los electrodos del equipo. Los iones fueron registrados con un detector sólido de trazas (CR-39). De los resultados de esta diagnóstica surgió que la producción de iones depende de P_0 . Concretamente, el número de trazas registradas fue máximo a $P_0 = 1$ mbar y nulo a $P_0 = 2$ mbar, independientemente de la producción de neutrones. En una descarga se contó el número total de trazas registradas y suponiendo que la apertura del haz era alrededor de 20° (de acuerdo a los datos existentes en la bibliografía^{5,6,7}) se estimó el número total de deuterones emitidos por la fuente en $2 \cdot 10^{11}$. Para este mismo registro se obtuvo la distribución del número de trazas en función de la energía (figura 3), con un máximo en 130 keV y un ancho a mitad de altura dle 60 keV. La energía mínima detectada fue de aproximadamente 30 keV, sin embargo este valor sólo se visualizó en exposiciones con diez o más descargas superpuestas, en aquellas en que el número de descargas fue menor la energía mínima

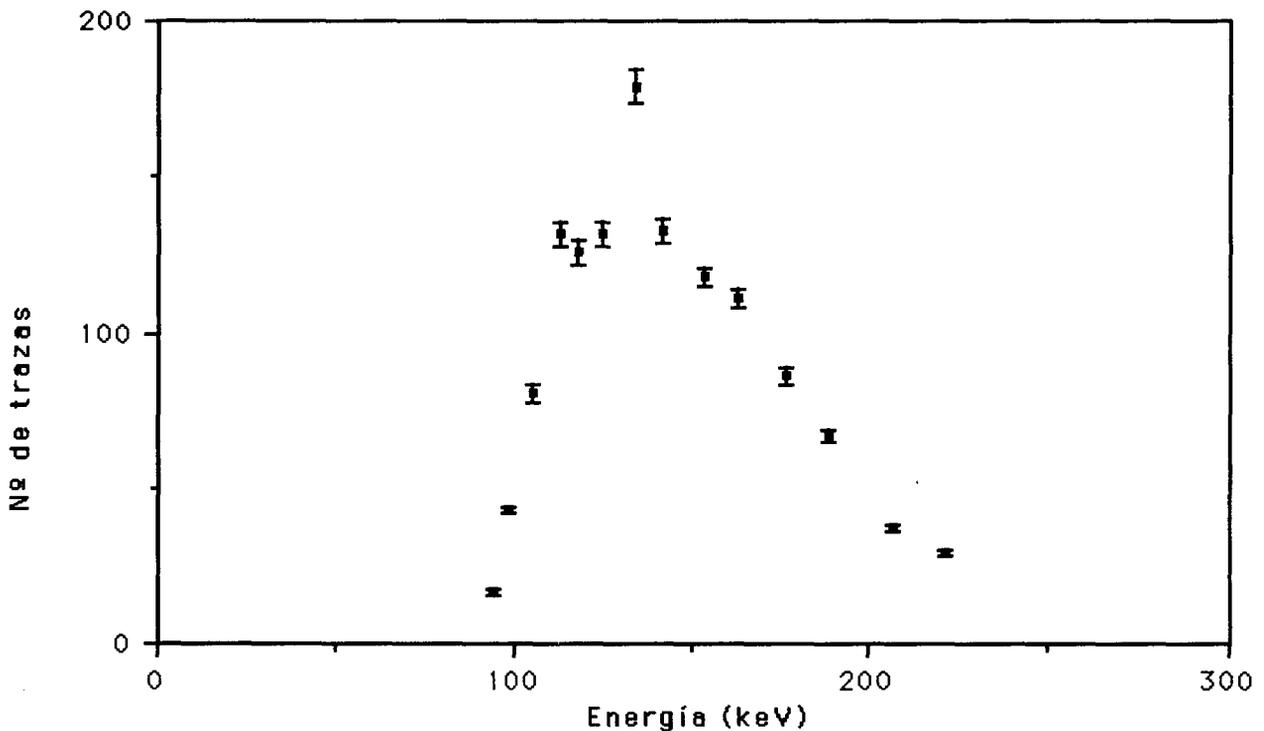


Figura 3: Número de trazas vs. energía para una descarga. $P_0 = 1 \text{ mbar}$ $Y_n = (4.6 \pm 0.8) 10^7$

observada fue alrededor de los 70 keV. Esto indicaría que las amplitudes del espectro del haz de deuterones para energías menores que 70 keV son relativamente pequeñas. Asimismo, los registros muestran una gran cantidad de trazas correspondientes a iones energéticos (con energías superiores a los 500 keV), sobre las cuales no se puede levantar un espectro debido a que el detector no las resuelve. La presencia de estas energías es corroborada por la existencia de los rayos X duros.

Con el fin de estudiar la influencia del haz de deuterones sobre Y_n , se colocó un obstáculo consistente en un disco de aluminio de 7 cm de diámetro y 2 mm de espesor en el plano perpendicular al eje del sistema, a 7,5 y 10 cm del extremo de los electrodos respectivamente. La producción neutrónica para ambas distancias disminuyó aproximadamente un 40%, pero la duración total permaneció inalterada.

COMENTARIOS

Los resultados alcanzados en este trabajo son de naturaleza preliminar, sin embargo se pueden enumerar una serie de aspectos interesantes.

Es importante notar que la presión en la cual se observa mayor emisión de iones ($P_0 = 1 \text{ mbar}$) coincide

aproximadamente con la presión de máxima producción de neutrones, aún cuando a presiones mayores ($P_0 = 2 \text{ mbar}$) se registran neutrones y no iones. Además, las anisotropías medidas (correspondientes a los primeros 50 ns de las señales) pueden ser explicadas pensando en un haz axial con una energía de aproximadamente⁸ 150 keV. Teniendo en cuenta estos resultados se inferiría que una parte importante de la producción de neutrones se debe a un mecanismo del tipo haz-blanco, mientras que otra menos significativa (al menos a bajas presiones) proviene de un mecanismo termonuclear.

Sobre la base de mediciones eléctricas previas realizadas en el Plasma Focus II, puede establecerse⁹ una relación aproximada entre el campo eléctrico axial medio (E) en la columna del plasma con el voltage ($V(t)$) registrado por un divisor de tensión y con la derivada temporal de la corriente de descarga (dI/dt) obtenida por medio de una bobina Rogowski. La misma resulta ser²:

$$l E = V(t) - L dI/dt$$

donde l es la longitud del foco (región donde son aceleradas las partículas) y L es la inductancia del sistema de electrodos más la de la columna de plasma. Sin embargo, los valores estimados para el producto $l E$ oscilan entre 30 y 80 keV, por lo que las com-

ponentes de mayor energía del haz requerirían de un mecanismo de aceleración diferente.

REFERENCIAS

1. A. Márquez, Trabajo de Seminario, FCEN, UBA, (1989)
2. D. Grondona, Trabajo de Seminario, FCEN, UBA, (1989)
3. R. Dellelis, "Construcción de un detector por el método de Ag activada". Laboratorio de Física del Plasma, Digid, FCEN, UBA, Informe Interno 9 (1976)
4. J. B. Birks, "Scintillation Counters", Mc-Graw-Hill Book Co. New York (1953)
5. M. Sadowski, J. Zebrowski, E. Rydygier, J. Kucinski, Plasma Phys. and Contr. Fusion, V.30, N° 6, (1988), 191.
6. V. Nardi, W. Bostick, J. Feugeas, W. Prior, C. Cortese, Proc. of the 7th. Int. Conf. Plasma Phys. and Contr. Nuclear Fusion Res., (1978), IAEA, Vol. II, 143
7. R. Schneider, M. Rhee, R. Gullickson, J. Smith, Proc. of the 4th Int. Workshop on Plasma Focus and Z-Pinch Res. Varsovia, Polonia, (1985)
8. F. Rodriguez Trelles, Currents models of neutron production in the Plasma Focus, Series Impresiones Previas, DFCE - 31, (1971)
9. F. Reif, Am. J. Phys. , V.50, N°11, (1982)