

OPERACION DE UN PLASMA FOCUS CON PERFIL CONFORMADO DE DENSIDAD DE GAS NEUTRO

D. Cortázar**, M. Milanese*, R. Moroso***, J. Pouzo*

Departamento de Física (Laboratorio de Fluidodinámica y Plasma), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata, Funes 3350, 7600 Mar del Plata
Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Pinto 399, 7000 Tandil

Se analiza el comportamiento de un equipo plasma focus cuando la atmósfera de la descarga se forma con un pulso de gas por el interior del electrodo central mediante la implantación de una válvula de accionamiento rápido. La descarga se inicia con un retraso controlado respecto de la expansión del gas entre los electrodos. En este trabajo se describe como se determinó el perfil de densidad de la nube gaseosa que se expande desde el espacio interelectrónico y su evolución temporal. Se muestra que, al disparar la descarga del PF para diferentes posiciones de la nube de gas, existe un estrecho entorno de una de ellas para la cual se obtiene un pinch de buenas características. Estas primeras observaciones permiten deducir que por este método puede ser factible un mayor control del pinch final.

INTRODUCCION

En un equipo Plasma Focus (PF), la lámina de corriente (LC) que se genera sobre el aislante que separa los electrodos coaxiales, evoluciona dinámicamente hasta alcanzar el foco de plasma o "pinch final" donde, si la atmósfera que rodea los electrodos es de deuterio gaseoso, se producen reacciones de fusión nuclear cuyo estudio es uno de los principales objetivos de su investigación. La forma en que se desarrolla la evolución dinámica previa al foco de plasma resulta definitiva para las condiciones del pinch final y, por ende, de su rendimiento en la producción de reacciones de fusión nuclear. La dinámica de la LC depende de los parámetros eléctricos del circuito de descarga, de la geometría de los electrodos y, fundamentalmente, de la densidad (ρ) o presión (p) del gas neutro que rodea los electrodos. En efecto, ha sido mostrado que, para un equipo con parámetros eléctricos y geométricos determinados, existe un limitado rango de presiones de deuterio dentro del cual se producen reacciones de fusión nuclear^{1,2,3,4}. Una de las formas de controlar la dinámica de la LC, no explorada hasta el momento, es hacer que la misma no se encuentre en su trayectoria con una densidad uniforme de gas neutro, sino con un perfil conformado de la misma. Esta idea tiene dos aspectos: primero, cómo lograr un perfil conformado de densidad de la LC en cuanto a la mejor formación del pinch final. Esos son, justamente, los objetivos de los estudios aquí presentados.

* Investigador del CONICET.

**Becario del CONICET.

*** Profesional del CONICET.

ARREGLO EXPERIMENTAL

El equipo utilizado es el plasma focus PACO^{1,4} de 2 kJ, 31 kV que, en condiciones de llenado a presión estática de deuterio ($p = 2$ mb) produce $\approx 5 \times 10^8$ neutrones por disparo. En este experimento el gas es inyectado por medio de una válvula rápida al interior del ánodo y emerge al espacio interelectrónico a través de una serie de agujeros distribuidos en forma anular, en la zona media del mismo, tal como se muestra en la figura 1a. La válvula rápida⁵ es accionada electromagnéticamente con la descarga de un banco de capacitores, y tiene un tiempo de apertura total de 50 μ s. Cuando el gas ha ocupado el espacio entre los electrodos coaxiales, emerge de los mismos con una forma de cilindro hueco. Frente a los electrodos se ubica una sonda de densidad, compuesta de dos electrodos polarizados a tensiones que pueden ser variadas entre 600 y 2000 volts, donde se produce un breakdown al llegar la nube de gas. Como se verá en el párrafo siguiente, el disparo de la sonda puede ser utilizado para determinar el perfil de densidad de la nube en función del tiempo, y también para disparar la descarga del PF (mucho más rápida que la velocidad típica de evolución de la nube gaseosa) en el instante en que la nube ha alcanzado una determinada posición.

DETERMINACION DEL PERFIL DE DENSIDAD DE LA NUBE GASEOSA EN FUNCION DEL TIEMPO

Sumando en un osciloscopio la señal correspondiente al disparo de la válvula rápida y la de la son-

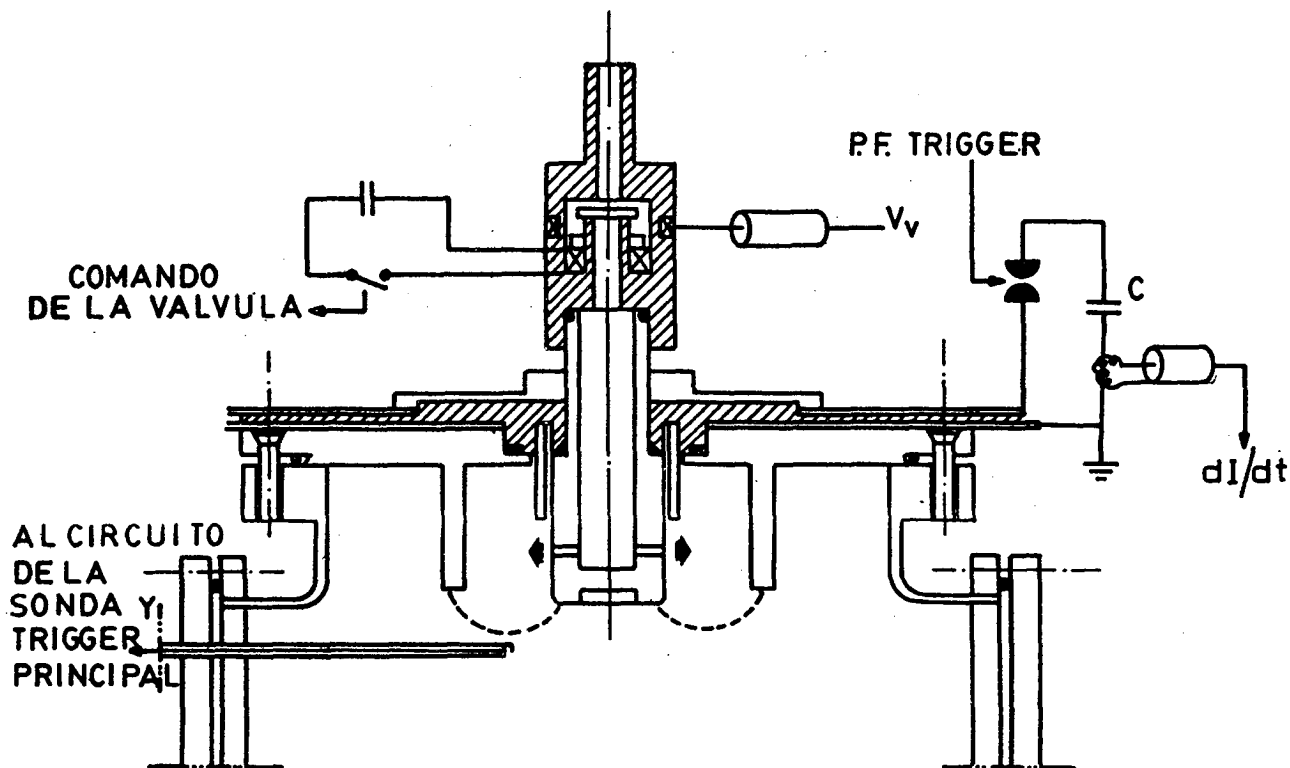


Figura 1: Válvula y cañón del PACO.

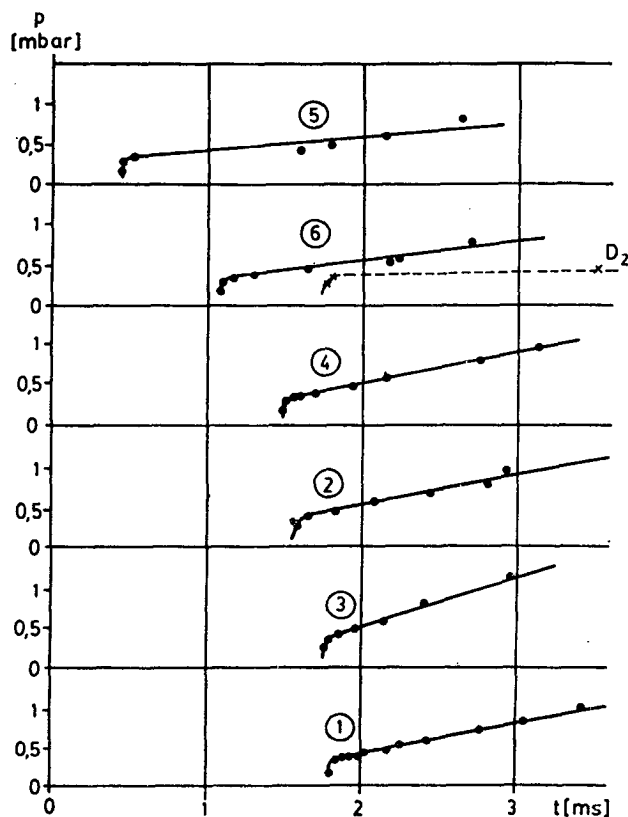


Figura 2: Registro de $P(t)$ en distintos puntos espaciales.

da ubicada en una determinada posición, se puede detectar el arribo de la nube a la sonda respecto de la apertura de la válvula, cuando la sonda está polarizada a la máxima tensión. Cuando la sonda está polarizada a tensiones menores, el break-down se produce a mayor densidad del gas, de acuerdo con la rama de bajas presiones de la curva de Paschen. Como la nube es una onda de presión en que la densidad crece desde cero, conociendo la curva de Paschen de la sonda, si la nube es reproducible de un disparo a otro, es posible, variando la tensión de polarización de la sonda, determinar $\rho(t)$ en un punto fijo del espacio. La curva de la tensión de disparo de la sonda versus p fue determinada para H_2 y D_2 , verificándose que la medición de p se logra con una precisión de un 2%. El tiempo entre la apertura de la válvula y el disparo de la sonda se mide con una precisión del 1%. La sonda fue ubicada en seis diferentes posiciones para las cuales se determinó $\rho(t)$ usando H_2 . En la figura 2 se muestra $p(t)$ para esas posiciones (los números corresponden a las posiciones espaciales de la sonda) y, en la figura 3 se muestra el mapeo de la evolución del frente de la nube, a partir del instante en que emerge de la cavidad interelectródica, tal cual puede deducirse de las mediciones efectuadas. Como puede verse de la figura 2, la nube presenta un perfil de densidad que es prácticamente un escalón. Al emerger de los

electrodos se desliza como un cilindro hueco en paulatina expansión hacia el exterior e interior. Esta forma de la nube fue verificada utilizando fotografía tipo "Shadow" usando como fuente de luz

un alambre explosivo de acuerdo con el esquema experimental mostrado en la figura 1b. Una fotografía Shadow que verifica el perfil obtenido con las sondas se muestra en la figura 4. Debe destacarse aquí que la evolución de la nube es muy reproducible de una descarga a otra. De hecho, cada punto experimental representado en la fig.2 corresponde a series de unas veinte mediciones que presentan una desviación standard del 5%.

La velocidad axial de expansión de la nube es ligeramente creciente con el tiempo y promedia los 100 m/s. La velocidad de expansión radial es unas 10 veces inferior.

EL FUNCIONAMIENTO DEL PLASMA FOCUS CON EL PERFIL CONFORMADO DE GAS NEUTRO ENTRE ELECTRODOS

Una de las formas de medir la efectividad con que se forma el pinch, es observar el pico en la derivada de la corriente de descarga (di/dt) que se produce en el momento del focus. Cuanto más pronunciado es ese pico, mayor temperatura y densidad es esperable en el pinch final⁶. Se efectuaron mediciones de di/dt disparando el PF para distintas posiciones de la nube de gas y fotografiando con un convertidor de imágenes la formación del pinch (tiempo de exposición 5 ns) Usando H_2 se encontró que un pico pronunciado de di/dt se registraba só-

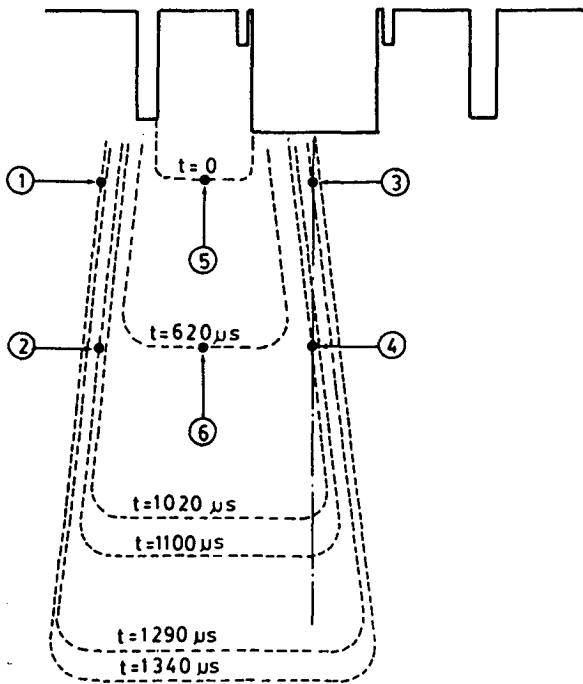


Fig. 3: Mapeo de la evolución del frente gaseoso.

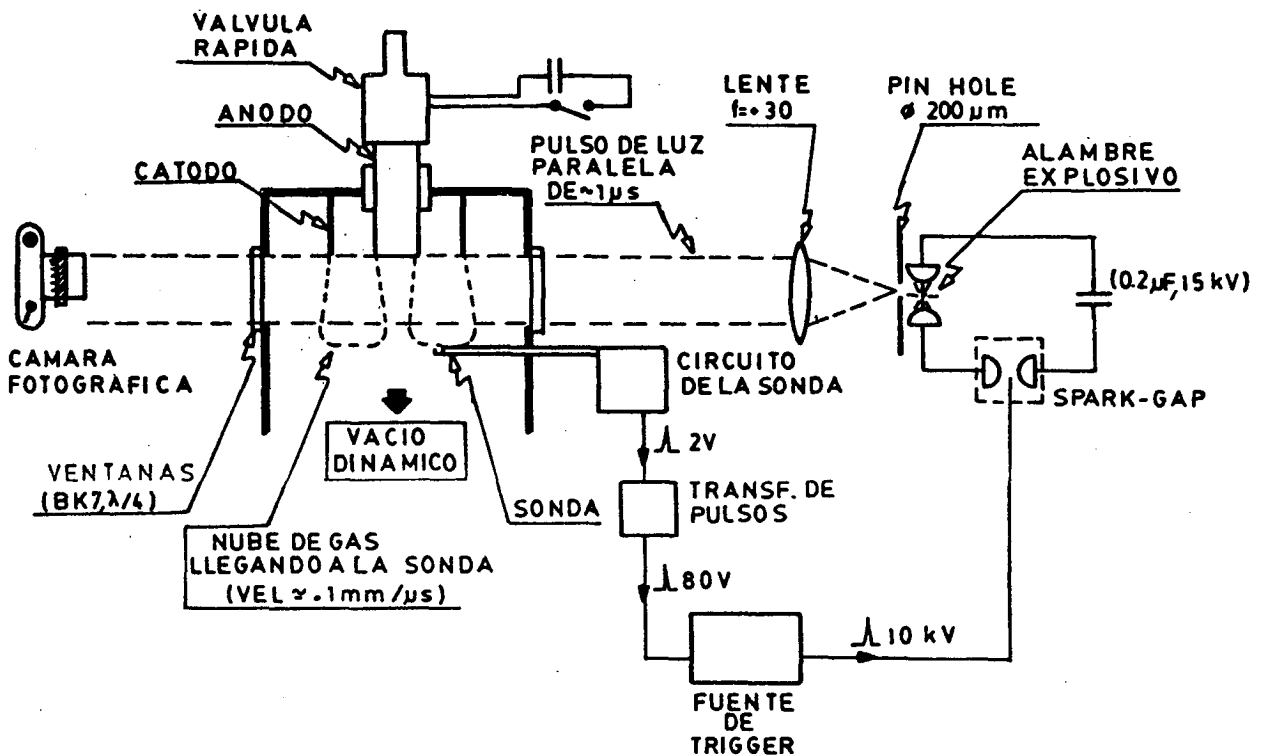


Figura 1b: Montaje experimental para fotografiar la nube.

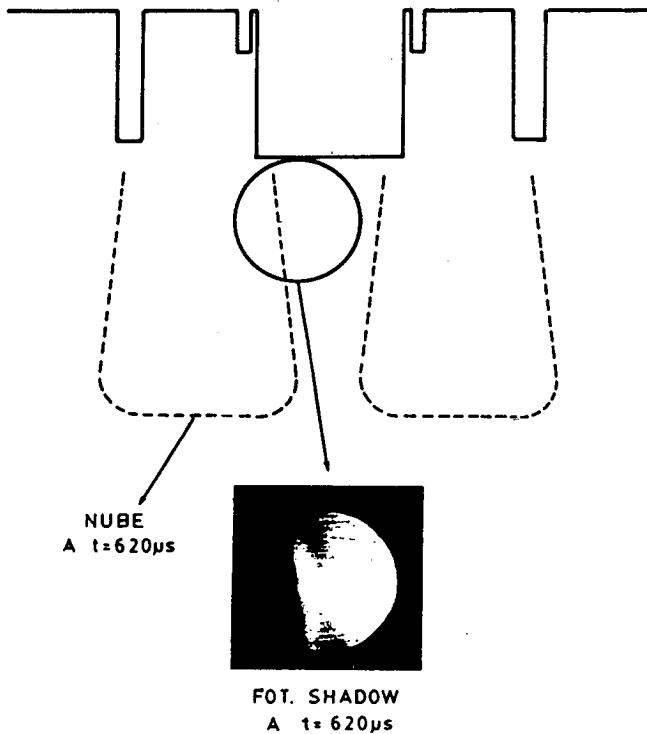


Figura 4: Fotografía Shadow de la nube.

lo en un reducido entorno de un retardo de $1300\mu\text{s}$ entre la salida de la nube del espacio interelectrónico ($t=0$) y la descarga eléctrica, es decir, cuando el frente de la nube se encontraba a pocos milímetros del eje de los electrodos (ver fig. 3). Con variaciones de tan sólo $50\mu\text{s}$ en el retardo de la descarga respecto de ese tiempo, ya no se registran picos de dI/dt . Las fotografías del plasma correspondiente a esta situación se muestran en la figura 5.

Como puede apreciarse, el pinch muestra múltiples inestabilidades, observándose una amplia difusión del plasma en el entorno del mismo. La longitud del pinch final resulta algo mayor que en operación normal.

CONCLUSIONES

En este trabajo se muestra la factibilidad de formar y controlar un perfil de densidad de gas entre los electrodos del PF y con ello modificar la dinámica de la descarga. En la primera configuración de nube estudiada (H_2 , con presión media de 1 mb, evolucionando como muestra la fig. 3), se encuentra que las condiciones óptimas de pinch se dan prácticamente para una sola posición especial de la nube y en tal caso las características del pinch difieren del obtenido en operación normal. Todo esto alienta a pensar que el método utilizado puede facilitar el control del fenómeno y, por lo tanto, su estudio para optimizar las condiciones finales del pinch.

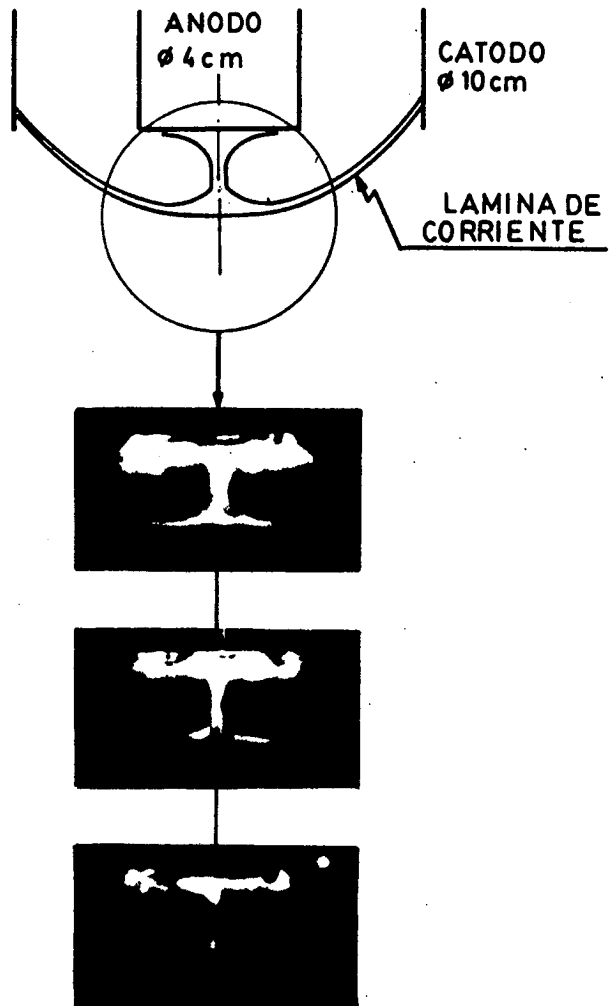


Fig. 5: Fotografías del pinch (tiempo de exp. 5 ns.).

REFERENCIAS

1. M. Milanese, J. Pouzo, Nuclear Fusion 25 7, (1985) p. 840.
2. Y. Yamada, Y. Kitagawa, M. Yokoyama, J. Appl. Phys. 58 1 (1985) p. 188.
3. G. Decker, R. Deutsch, W. Kies, J. Rybach, Plasma Phys. and Contr. Fusion, 27 5 (1985) p. 609.
4. J. Pouzo, D. Cortazar, M. Milanese, R. Moroso, R. Piriz, "Small Plasma Physics Experiments", World Scientific Publishing Co. (1988) p. 80.
5. R. Moroso, J. Pouzo, "Fast valve for gas injection into vacuum", a publicarse.
6. R. Gratton, H. Kelly, M. Milanese, J. Pouzo, Phys. Lett. A 62 (1977), p. 422.