

# PLASMA FOCUS DE MÍNIMA ENERGÍA

## PLASMA FOCUS OF MINIMUM ENERGY

Soto L.<sup>1</sup>, Pavez C.<sup>1,2</sup>, Moreno J.<sup>1</sup>, Clausse A.<sup>3</sup>, y Barbaglia M. O.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Comisión Chilena de Energía Nuclear, Casilla 188-D Santiago, Chile

<sup>2</sup>Universidad de Concepción, Chile

<sup>3</sup>CNEA-CONICET y Universidad Nacional del Centro, 7000 Tandil, Argentina  
e-mail: [barbagli@exa.unicen.edu.ar](mailto:barbagli@exa.unicen.edu.ar)

Hasta el momento, los equipos de radiación de plasma pulsante (Plasma Focus) han sido estudiados en un rango mayor a las decenas de Joules. En este trabajo se presenta un diseño de un pulsor cuya energía de trabajo es inferior al Joule. Los parámetros del sistema son 5nF, 5-10kV, 5-10kA, 60-250 mJ, 16 ns de tiempo a la máxima corriente. Se muestra evidencia de la producción de pinch en hidrógeno con 100mJ. La dinámica de la lámina ha sido estudiada usando un sistema de fotografía ultrarrápido (4ns de exposición).

Palabras Claves: plasma focus, pinch, descargas en gases.

To the present, Plasma Focus devices were studied operating over the range of tens of Joules. In this article, a Plasma Focus device designed for operations below 1 Joule is presented. The main parameters of the device are: 5nF, 5-10kV, 5-10kA, 60-250 mJ, 16 ns first wave quarter. Evidence of a 100 mJ pinch production in Hydrogen is presented. The dynamics was studied using a ultra-fast photographic system (4ns exposition time)

Key Word: plasma focus, pinch, discharges in gases.

### I. INTRODUCCIÓN

Un equipo plasma focus (PF) es un cañón coaxial de descarga en gases a baja presión, emisor de pulsos de radiación proveniente de la autocompresión final ultrarápida del plasma. Básicamente, se descarga la carga de un banco de capacitores a alta tensión sobre un par de conductores coaxiales (ánodo interior y cátodo exterior) inmersos en un gas a baja presión. La presencia de un aislante entre el ánodo y cátodo propicia la formación de una lámina de corriente que avanza en sentido axial debido a la fuerza de Lorentz y a su paso va colectando las partículas del gas. Se produce una alta compresión del gas cuando la lámina llega al extremo del ánodo libre y se cierra sobre éste generando un plasma denso muy caliente (*pinch*)<sup>(1)(2)(3)(4)(5)</sup>.

La radiación generada depende fuertemente de la energía puesta en juego, del gas de llenado y de las dimensiones del sistema. Hasta el momento, se han estudiado profusamente equipos PF con energías desde 50 J hasta 1 MJ.

En el presente trabajo se reporta las investigaciones realizadas sobre un PF de energía menor al Joule. Se estudia la física involucrada y si son validan las reglas de diseño usadas para sistemas de mayor energía. A su vez, se estudia la factibilidad de construir un pulsor de neutrones seguro, portátil y de bajo costo con vista a sus potenciales aplicaciones.

### II. MÉTODOS

Se construyó un dispositivo con un condensador de placas paralelas circulares de bronce. Una de las

placas está conectada directamente al ánodo del plasma focus y la otra se conecta al potencial de referencia. Como dieléctrico se usó polyvinylidene fluoride (PVDF). El ánodo se construyó en cobre con un radio de 0.8 mm y se usó un tubo de alúmina como aislante. Debido a la corta duración de la descarga no fue necesario incluir un cátodo coaxial al ánodo. Las dimensiones totales del dispositivo es de 20cm × 20cm × 5cm<sup>(7)(8)</sup>.

Los diagnósticos eléctricos usados fueron una bobina de Rogowski como monitor de la derivada de corriente y un divisor resistivo como monitor de voltaje. El divisor resistivo no tiene una respuesta temporal suficientemente rápida como para detectar cambios en tiempos inferiores a 5-10ns y por tanto se usa para determinar el voltaje de carga del condensador. La dinámica de la lámina se obtiene usando una cámara intensificadora de luz en la región visible con 4ns de exposición.

S. Lee and A. Serban<sup>(6)</sup> a partir de un modelo sencillo demostraron que el radio y largo final del *pinch* son proporcionales al radio del ánodo,  $a$ . Este dato nos permite estimar que el volumen del pinch,  $V_p$ , es proporcional a  $a^3$ . Este resultado permite plantear relaciones para comparar descargas de diferentes energías. Para ello se pueden usar las siguientes relaciones de diseño:

$$E/N_p = 28E/a^3 \quad (1)$$

$$I_o / (p^{1/2} a) \quad (2)$$

donde:  $I_o$  = corriente máxima,  $p$  = la presión del gas en la cámara de descarga,  $a$  = radio del ánodo,  $E$  = energía del sistema y  $Vp$  = volumen del pinch

$E/Vp=28E/a^3$  es del orden de  $(1-10) 10^{10} \text{ J/m}^3$  para dispositivos plasma focus que funcionan con energías entre 1MJ a 50J.  $I_o / (p^{1/2} a)$  es  $77 \pm 7 \text{ kA/mbar}^{1/2}\text{cm}$  para dispositivos plasma focus que funcionan con energías entre 1MJ a 3kJ <sup>(6)</sup>.

El dispositivo presentado en este trabajo tiene los siguientes parámetros:

- Radio del ánodo = 0.8 mm
- Largo del ánodo = 0.8 mm
- Capacidad = 4.9nF
- Inductancia = 4.8nHy
- Tensión de trabajo = 5-10kV
- Corriente máxima = 5-10kA
- Energía de trabajo = 60-250 mJ
- Tiempo a la máxima corriente = 16 ns.

Con lo cual resultan los siguientes valores:

$$E/Vp = 28E/a^3 \sim 5 \times 10^9 \text{ J/m}^3$$

$$I_o / (p^{1/2} a) \sim 32 \text{ kA/mbar}^{1/2}\text{cm} \text{ (considerando descargas de 4.5 kA en hidrógeno a 3 mbar.)}$$

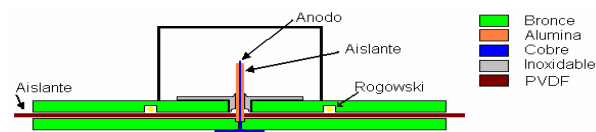


Figura 1. Esquema del sistema. No se muestra la fuente de alimentación.

### III. RESULTADOS

La Fig. 2 muestra las señales eléctricas para una descarga a alta presión (20 mbar) en hidrógeno. Para un voltaje de carga de 1.8kV se obtuvo una corriente máxima de 1.82 kA después de 16ns de iniciada la descarga. La misma figura muestra una fotografía ultrarrápida con 4ns de exposición tomada 77ns después del inicio de la descarga). Se puede observar que el plasma se mantiene junto al aislante de alúmina, lo que es consistente con el comportamiento de un plasma focus a alta presión. Esta descarga se puede considerar prácticamente como un circuito LC cortocircuitado y a partir de la señales eléctricas se obtiene los parámetros eléctricos del circuito. Habiendo medido una capacidad  $C = 4.9\text{nF}$  y un período  $T = 30\text{ns}$  se obtiene una inductancia  $L = 4.8\text{nH}$ .

La Fig. 3 muestra las señales eléctricas para una descarga a 3mbar en hidrógeno, para un voltaje de carga de 6.5kV (100mJ de energía). Se obtiene una corriente

máxima de 4.5kA. La misma figura muestra una secuencia de fotografías con la evolución del plasma. La dinámica que se observa es consistente con a) la formación de una lámina de plasma en torno a la superficie del aislante, b) el plasma llega sobre el ánodo, c) compresión radial del plasma sobre el ánodo, y d) finalmente el plasma se separa del ánodo en dirección axial. El tiempo total desde a) hasta d) es de ~30 ns.

La aparición de un “dip” en la señal de la derivada de corriente  $dI/dt$  y consistentemente una caída en la señal de corriente conjuntamente con un pico en la señal de voltaje es una manifestación de que se ha producido una alta compresión en una descarga PF.

Este comportamiento no se observa en la señal de  $dI/dt$  en la descarga a 20mbar (Fig. 2) lo que es consistente con la fotografía que muestra que el plasma se mantiene junto al aislante. Por otro lado en las señales de las descargas a 3mbar (Fig. 3) se observa un cambio de frecuencia en la señal de  $dI/dt$  que corresponde al “dip” asociado a una fuerte compresión del plasma, ya que se puede ver como decae la corriente en ese momento (integral de  $dI/dt$ ). Lamentablemente la respuesta temporal del monitor de voltaje no fue lo suficientemente rápida como para ver con claridad el aumento de voltaje asociado a la alta compresión del plasma. Sin embargo las señales de  $dI/dt$  y su integral son evidencia del pinch.

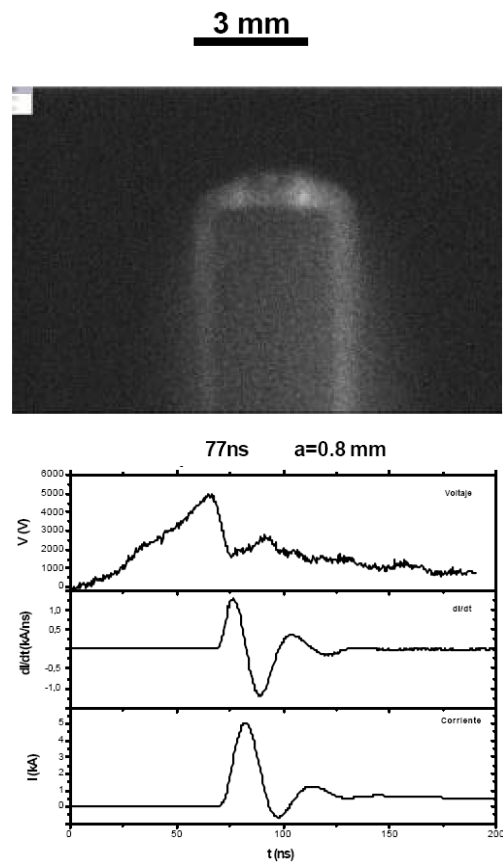


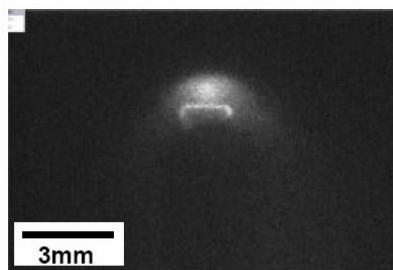
Figura 2. Datos de una descarga a 20 mbar en Hidrógeno. Superior: Fotografía del ánodo cuyo radio es 0,8 mm y del aislante en el momento del disparo. Inferior: Señales eléctricas del sistema.



-13ns



5ns



17ns

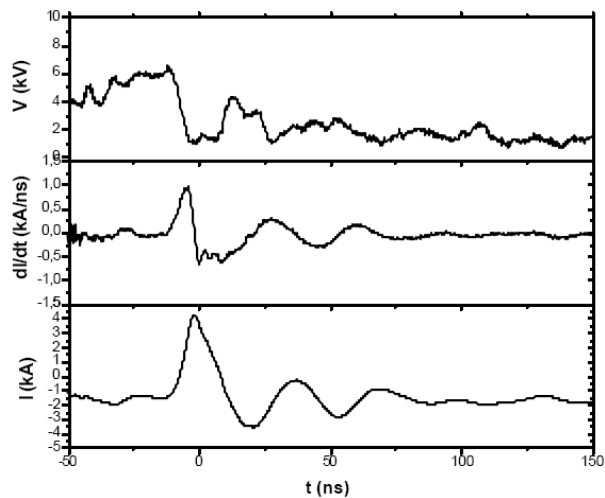


Figura 3. Datos de una descarga a 3 mbar en Hidrógeno. Las tres fotos superiores indican la evolución de la descarga. Inferior: Señales eléctricas del sistema.

#### IV. CONCLUSIONES

Se ha diseñado construido y ensayado un sistema plasma focus con energía de operación inferior a 1J. Su tamaño es muy inferior a los plasma focus actuales, con lo cual tiene altas posibilidades para el desarrollo de dispositivos portátiles. Los resultados muestran que las reglas de diseño usadas en los PF de mayor energía no son completamente válidas debajo del Joule, en donde no se cumplen la relación  $E/Vp=28E/a^3$  y el valor común de  $I_0/(p^{1/2} a)$ .

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el convenio bilateral CCHEN-CNEA y por el proyecto FONDECYT 1030062 Chile.

#### Referencias

- 1- L. Soto, P. Silva, J. Moreno, G. Sylvester, M. Zambra, C. Pavez, L. Altamirano, H. Bruzzone, M. Barbaglia, Yu. Sidelnikov and W. Kies. "Research on plasma focus devices from hundred of kilojoules to tens of joules". Brazilian Journal of Physics (Special Issue, X LAWPP), 2004.
- 2- L. Soto, A. Esaulov, J. Moreno, P. Silva, G. Sylvester, M. Zambra, A. Nazarenko and A. Clausse. Physics of Plasma 8, 2572 (2001).
- 3- P. Silva, L. Soto, J. Moreno, G. Sylvester, M. Zambra, L. Altamirano, H. Bruzzone, A. Clausse, and C. Moreno, Rev. Sci. Instrum. 73, 2583 (2002).
- 4- P. Silva, J. Moreno, L. Soto, L. Birstein, R. E. Mayer, and W. Kies, App. Phys. Lett. 16, 3269 (2003).
- 5- P. Silva, L. Soto, W. Kies, and J. Moreno, Plasma Sources Sci. and Technol. 13, 329 (2004).
- 6- S. Lee and A. Serban, IEEE Trans. on Plasma Science 24, 1101 (1996).
- 7- "An ultra miniature pinch focus device, nanofocus", ICPP 2004 (Niza, Francia, Octubre 2004).
- 8- L. Soto, C. Pavez, J. Moreno, A. Clausse y M. Barbaglia, "Escalando un Plasma Focus a Energías Menores que 1 Joule. Nanofocus.", XIV Simposio Chileno de Física, Antofagasta (Chile), Noviembre de 2004