



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DOCTORADO EN CIENCIAS FÍSICAS

---

# Estudio Experimental de una Descarga Plasma Focus Rápida Operada en el Rango de Decenas de Joules Emitiendo Neutrones

Profesor Guía: Dr. Leopoldo Soto Norambuena

Tesis para ser presentada a la Dirección de Postgrado de la  
Universidad de Concepción como uno de los requisitos para  
optar al grado académico de Doctor en Ciencias Físicas

---

ARIEL ESTEBAN TARIFEÑO SALDIVIA  
CONCEPCIÓN - CHILE  
2011

# Resumen

**E**n esta investigación doctoral se estudió experimentalmente una descarga plasma focus operada a decenas de joules y decenas de kiloamperes. El dispositivo genera una descarga coaxial por medio de un arreglo de electrodos los cuales consisten de un electrodo central, un aislante cilíndrico y un electrodo exterior. La descarga es alimentada por un generador capacitivo y se opera a presiones de algunos milibar. Los parámetros eléctricos típicos del dispositivo, denominado PF-50J, son  $T/4 \sim 150ns$ , 160 nF, 40 nH, 30-100J, 40-70kA. Cuando el equipo se opera en deuterio se producen neutrones a partir de reacciones de fusión. Este dispositivo es uno de los plasma focus más extremos reportados en la literatura que producen neutrones. Los resultados de este trabajo demuestran que la misma dinámica observada en máquinas de mayor envergadura (operadas desde kJ a MJ) está también presente en este dispositivo de muy baja energía. Lo anterior significa que una vez que la descarga se inicia, una lámina de plasma se forma sobre el aislante. Debido a la acción de la fuerza de Lorentz, la lámina de plasma se mueve en sentido axial. Cuando el plasma alcanza el borde superior del electrodo central, comienza una etapa de implosión radial la cual finalmente forma una columna densa de plasma (pinch). La columna de plasma es destruida luego de unos 5-10ns posterior a la formación del pinch. A partir de los experimentos realizados se estimó que la velocidad típica del pistón magnético es del orden de  $10^4 - 10^5 m/s$ . Asimismo, se observaron densidades típicas en el pinch de  $10^{24-25} m^{-3}$ . Un aspecto interesante de este trabajo es la observación de la formación de estructuras axiales tipo jet de plasma, las cuales aparecen casi un centenar de nanosegundos después de la ruptura del pinch. Estas estructuras están compuestas por un plasma metálico el cual es el resultado de la ablación del electrodo central. El mecanismo responsable de la formación de estas estructuras es aún desconocido, no obstante la evidencia sugiere que este proceso no está relacionado con el fenómeno de formación de pinch. Una de las principales motivaciones de esta tesis es el estudio de la optimización para emisión de neutrones en el dispositivo PF-50J. Cuando este plasma focus es operado en deuterio se espera que produzca  $10^3 - 10^4$  neutrones por pulso. Las técnicas de detección estándar, como por ejemplo los detectores por activación, presentan límites de detección mayores que  $10^5$  neutrones por pulso. Por tanto, a fin cumplir con el propósito del estudio de la optimización, fue necesario el desarrollo de un método de medición con detectores más eficientes basados en el uso de contadores proporcionales moderados. A diferencia del régimen continuo en baja tasa de conteo, estos sistemas de detección presentan apilamiento de pulsos cuando son irradiados con neutrones pulsados, lo cual hace imposible el conteo del número de eventos detectados con electrónica nuclear estándar. En esta tesis se presenta un estudio detallado de la estadística de apilamiento de pulsos en contadores proporcionales y una caracterización completa de sistemas de detección basados en tubos de  $^3He$ . Tomando en cuenta que el área neta de la señal de salida del detector es proporcional al número de eventos detectados, se desarrolló un modelo de conteo de eventos, a partir del cual se propuso una metodología para medición de la producción de neutrones. Se puso énfasis en las fluctuaciones que afectan el proceso de medición, a saber: Estadística de conteo, estadística por apilamiento de pulsos y el fondo de ruido eléctrico. Como resultado de este trabajo se cuenta con una metodología que permite la medición de neutrones pulsados producidos por reacciones de fusión D-D con incertezas menores que 30% en el rango de  $Y > 3 \times 10^3 n/shot$ , con lo cual se reduce por casi dos órdenes de magnitud el límite de detección de las técnicas en el estado del arte para neutrones rápidos pulsados. También se presenta un estudio teórico respecto de la frecuencia de detección o reproducibilidad para fuentes pulsadas de neutrones. La comparación con los resultados obtenidos en PF-50J indica que los modelos teóricos para la reproducibilidad representan cotas superiores razonables para los valores experimentales. En la última parte de este trabajo se presenta el estudio de optimización. Las condiciones óptimas para la emisión de neutrones fueron obtenidas experimentalmente. Un hallazgo interesante es la observación de dos regímenes para formación de pinch y emisión de neutrones. El primer régimen está relacionado con formación de pinch en torno al primer máximo de corriente en el primer cuarto de periodo, por su parte en el segundo régimen estos fenómenos se observan a presiones más altas en torno al primer mínimo de corriente en el segundo cuarto de periodo, y aún también se observan en torno al segundo máximo de corriente en el tercer cuarto de periodo. Este comportamiento está relacionado con la formación de múltiples láminas sobre el aislante y con el acoplamiento de energía entre el generador y la

---

carga. En relación con las leyes que gobiernan la optimización para emisión de neutrones en un plasma focus, se proponen valores cota sobre la configuración total de optimización, determinada por la longitud efectiva del ánodo y presión de llenado, respecto del radio del ánodo y corriente de peak. La validez de este esquema se probó en particular para la optimización en el dispositivo PF-50J. También se puso atención en algunos aspectos de ingeniería. Se encontró que la emisión de neutrones se ve afectada fuertemente por impurezas generadas por ablación de los electrodos. En relación a esto, se observó que el ciclo de remoción de gas y la geometría de la cámara de descarga son de extrema importancia para obtener alta reproducibilidad en la emisión de neutrones. Asimismo, se observó que la producción de neutrones se ve reducida dramáticamente cuando el aislante, una vez acondicionado para operación en modo plasma focus, se expone por un largo tiempo a una atmósfera de aire en condiciones normales.

