

DETECCIÓN NO INTRUSIVA DE AGUA MEDIANTE DISPERSIÓN DE NEUTRONES DE FUSIÓN NUCLEAR

R. Llovera¹, A. Tartaglione¹, A. Clausse²⁻³, C. Moreno¹⁻²

1 Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires
Pabellón 1, Ciudad Universitaria, 1428, Buenos Aires

2 Red Interinstitucional de Plasmas Densos y Magnetizados, PLADEMA, Argentina

3 PLADEMA-ISISTAN-CONICET, Comisión Nacional de Energía Atómica y Universidad Nacional del Centro,
7000 Tandil, Argentina

e-mail: moreno@df.uba.ar, rllovera1@bigfoot.com, aglione@bigfoot.com, clausse@exa.unicen.edu.ar

Se presenta un método no intrusivo de detección de agua basado en la medición simultánea en dos direcciones de los neutrones de fusión emitidos al colapsar una lámina de plasma denso magnetizado. Como fuente de neutrones se utiliza un plasma focus de 4.7 kJ, tipo Mather, de cámara compacta, operado con deuterio a 4 mbar. Los neutrones son detectados por activación de plata con dos detectores. Uno de ellos es usado como referencia y se ubica a 90° respecto del eje de simetría de los electrodos. El otro detector se emplea para sensar los neutrones dispersados. Los pulsos de los detectores son contados con un escalímetro y luego adquiridos por una PC. La detección del agua se basa en la medición de variaciones del flujo neutrónico debidas a la presencia de agua.

A non intrusive method to detect water using scattered fusion neutrons emitted after the collapse of a dense deuterium plasma layer is presented. The neutrons are generated in a compact, Mather-type, 4.7 kJ Plasma Focus filled with deuterium at 4 mbar. Neutrons are detected by silver-activation method using two detectors. One of them is used as reference, at 90° from the electrodes' symmetry axis. The other one is used to detect scattered neutrons. Detectors pulses are counted and acquired by PC. The water detection is based on variations of the neutron flux due to n-p scattering.

I. INTRODUCCIÓN

La detección de sustancias mediante interrogación neutrónica tiene aplicación en seguridad (detección de explosivos, material nuclear y drogas), agricultura (medición de humedad en suelos y granos), minería (determinación de contenido de agua en petróleo), entre otras. Estos métodos de detección consisten básicamente en iluminar con neutrones la zona donde puede encontrarse la sustancia cuya presencia se desea detectar, y medir la respuesta del medio (scattering, emisión prompt gamma, etc.) [1].

La factibilidad de cualquier aplicación potencial de este método depende críticamente de la naturaleza de la fuente de radiación que se emplee. Si se opta por una fuente isotópica de neutrones, la aplicación se ve dificultada debido a los cuidados que debe tenerse para manipular estas fuentes. Una alternativa viable es emplear un dispositivo plasma focus (PF) operado en deuterio como fuente de radiación de neutrones. Estos equipos emiten pulsos de neutrones de fusión D-D de 2.45 MeV que pueden usarse como radiación de sondeo [2].

En esta comunicación presentamos resultados que demuestran la factibilidad de detectar agua mediante dispersión elástica de neutrones de sondeo emitidos por un PF de mediana energía y cámara compacta.

II. MÉTODO

El método consiste en emitir un pulso de neutrones empleando un PF ubicado en las cercanías de la región que se desea explorar, y emplear dos detectores de neutrones: uno para sensar los neutrones dispersados por la sustancia cuya presencia se desea detectar y otro para tener un registro de la cantidad de neutrones que se

emitieron en dicho pulso. Una vez efectuada la calibración relativa de la sensibilidad de ambos detectores en ausencia de la sustancia a investigar, la comparación entre las lecturas que se obtengan en una situación general desconocida, permite determinar si la sustancia se encuentra presente o no.

La fuente de neutrones

El equipo PF utilizado es el GNI que se compone de una cámara cilíndrica de acero inoxidable y un banco de quince capacitores conectados en paralelo de 0.7 μ F cada uno. La cámara contiene un ánodo de cobre y un cátodo barrado de bronce, ambos cilíndricos y coaxiales, separados en su base por un aislante eléctrico de Pyrex. La conexión entre la cámara y el banco se realiza por medio de tres llaves gaseosas spark-gap dispuestas en paralelo. Se crea dentro de la cámara un ambiente de alto vacío con una presión típica del orden de 10^{-8} Torr y luego se inyecta deuterio hasta llegar a la zona de presiones de trabajo, que es de 4 a 5 mbar. La presión se controla mediante un manómetro capacitivo de 10 mbar de rango y precisión del 0.1%. Detalles del equipo pueden consultarse en [3].

El banco se carga a 30 kV empleando una fuente de alta tensión conectada a través de una resistencia limitadora y luego se produce la descarga del mismo mediante el cierre simultáneo de las llaves. Se produce entonces la ruptura dieléctrica del gas contenido en la cámara, generándose así una lámina de plasma compuesta principalmente por electrones y deuterones por la que circula la corriente de descarga. Esta corriente origina un campo magnético azimutal que impulsa axialmente al plasma imprimiéndole velocidades supersónicas cercanas a los 10 cm/ μ s. En su movimiento, la lámina avanza sobre

el gas neutro que se encuentra en su camino, lo ioniza y lo incorpora parcialmente a su estructura. Al llegar al extremo del cañón, colapsa violentamente sobre el eje de los electrodos, por sobre el ánodo central, creándose un foco de plasma de dimensiones milimétricas en el que tienen lugar reacciones de fusión D-D. Durante la focalización se emiten neutrones producto de la reacción nuclear, rayos X, y haces de iones y electrones. El GN1 operando a presiones comprendidas entre 4 y 5 mbar de deuterio produce pulsos de 10^8 neutrones totales por disparo, con una duración típica de emisión de neutrones de unos 50 ns.

El sistema de detectores

El sistema de detección de neutrones está formado por un detector de referencia y uno dedicado a registrar los neutrones dispersados. El detector de referencia consiste en un paralelepípedo de madera que contiene en su interior la parafina necesaria para termalizar los neutrones. En la parafina son a su vez introducidos cuatro tubos Geiger, cada uno envuelto en una lámina de Ag de 0.3 mm de espesor. Debido a los átomos de Hidrógeno presentes en la parafina, los neutrones se termalizan por dispersión elástica con protones. Esto permite una interacción eficaz de los neutrones con los átomos de Ag que culmina con la emisión de un electrón por parte de la Ag, que eventualmente es detectado por el tubo Geiger envuelto en ella. Por su parte, el detector de neutrones dispersados sólo contiene tres tubos Geiger, cada uno con su lámina de Ag. La termalización de los neutrones es llevada a cabo ahora por los átomos de Hidrógeno presentes en el agua. En la figura 1 se puede ver un esquema que muestra cómo se ubican los tubos Geiger y las láminas de Ag dentro de éste detector.

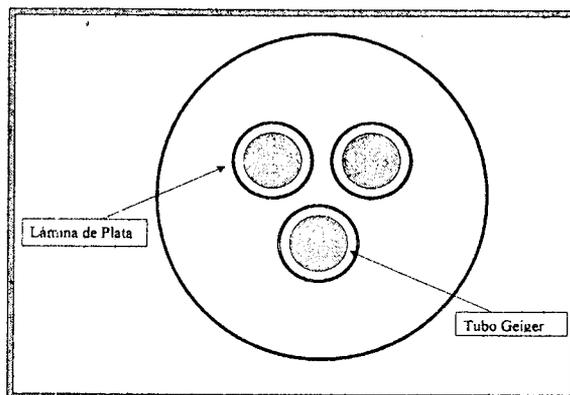


Fig. 1 Corte transversal del detector de neutrones dispersados.

Procedimiento y resultados

La demostración de factibilidad de detección de agua se llevó a cabo para dos configuraciones geométricas distintas en las que se varió la posición relativa del agua respecto de la cámara del PF y de los detectores de neutrones. En la primera de ellas el agua se ubicó frente al conjunto cabezal PF - detector de referencia y a los costados del detector de neutrones dispersados (ver figura 2), mientras que en la otra se colocó frente al cabezal PF y a sendos detectores de neutrones (ver figura 3). En ambos casos se utilizaron 4 bidones de agua de 20 litros cada uno. La distancia característica entre el cabezal PF y los bidones es de 1 m, mientras que entre el cabezal y el detector de referencia es 60 cm. Para cada configuración se realizaron dos series de mediciones (con y sin agua presente, respectivamente) de entre diez y quince descargas cada una. En cada descarga, a su vez, se registró el número de neutrones sentidos por cada uno de los detectores. Luego se graficó el número de cuentas obtenido por el detector de neutrones dispersados en función del número de cuentas arrojado por el detector de referencia. Para cada una de las series de puntos obtenidos, se realizó una regresión lineal (ver figuras 2 y 3). La diferencia entre las pendientes de la figura 2, por ejemplo, demuestra que es posible distinguir claramente si

los 80 litros de agua están presentes o no. En el caso de la figura 3 la distinción no resulta tan clara. Ello es debido a que durante este experimento, y a raíz de una falla técnica, la producción neutrónica del GN1 resultó ser significativamente inferior a lo normal (comparar las cuentas del detector de referencia), pero aún así los resultados de la detección son igualmente alentadores.

También se verificó que los resultados son consistentes entre series de mediciones realizadas en condiciones similares. En el caso de la configuración de la figura 2, por ejemplo, se hicieron primero diez descargas en presencia de agua, luego se retiró el agua y se hicieron diez descargas más. Se colocó nuevamente el agua en posición, y al hacer cinco nuevas descargas se observó que los puntos experimentales se fueron ubicando sobre la recta obtenida con los diez datos de la primera serie con agua. Esto comprueba la repetitividad del método.

III. CONCLUSIONES

Los resultados presentados en la sección previa demuestran que con la técnica desarrollada es posible detectar agua por dispersión elástica de neutrones de fusión generados por un equipo PF.

Cabe destacar que el método utilizado es no contaminante, ya que la radiación es emitida en forma de pulsos breves controlados por el operador. Esto constituye una diferencia importante respecto de las aplicaciones en las que se utilizan fuentes isotópicas de emisión continua que son más riesgosas. Como la técnica se basa en la dispersión elástica de los neutrones, se abre la posibilidad de investigar la detección de otras sustancias que contengan elementos de bajo Z (por ej., Be, B, Li).

La detección se caracteriza, además, por ser no intrusiva. Esto se puede apreciar tanto en la configuración que se muestra en la figura 2, donde el agua no se interpone en la línea de vista PF-detector, como en la configuración de la figura 3, donde ni siquiera rodea al detector de neutrones dispersados. Esto en principio implica abaratar los costos en términos de tiempo y dinero que serían necesarios para exploraciones acuíferas de corto alcance. Por ejemplo, si se quisiera saber si existen conductos con agua dentro de un muro, esta técnica permitiría saberlo sin necesidad de romper el mismo.

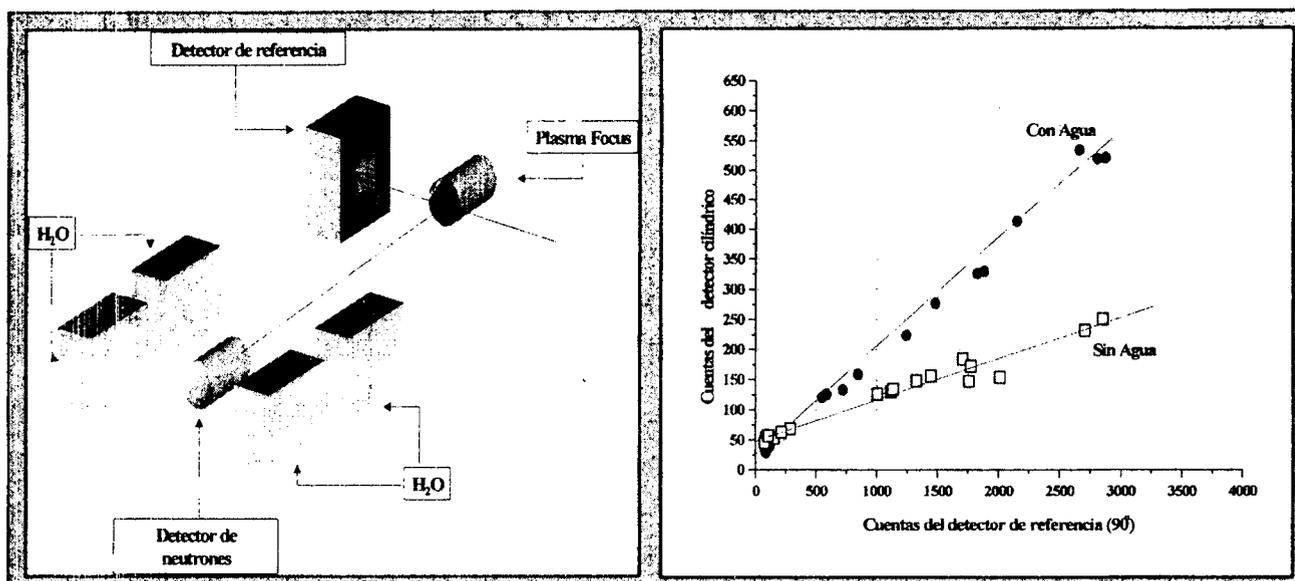


Fig. 2 Se muestra una de las configuraciones de detección exploradas junto con los datos experimentales obtenidos y su regresión lineal.

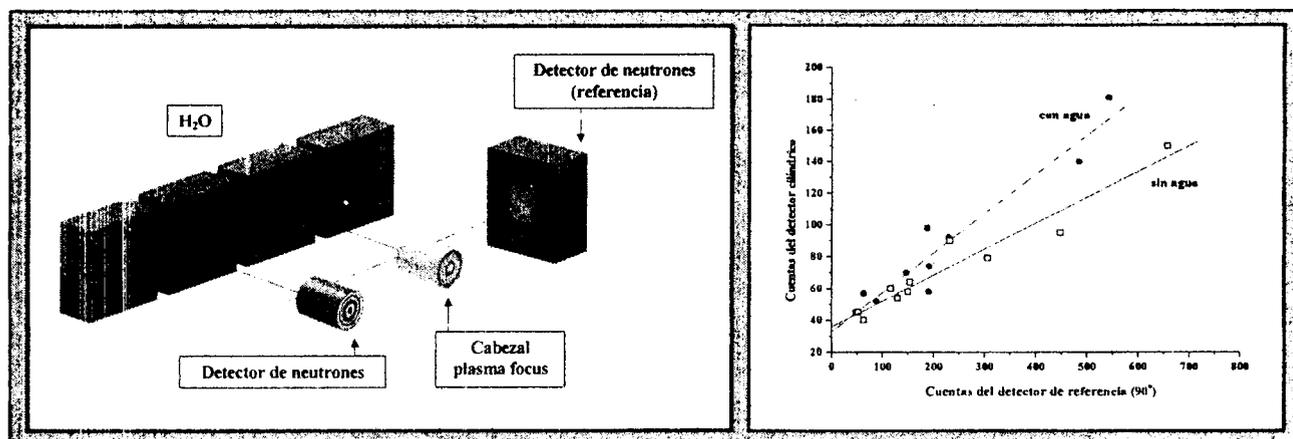


Fig. 3 Se muestra aquí la otra configuración explorada. La característica principal de la misma, es que el sistema de emisión y detección de neutrones se encuentra frente al agua. Las regresiones lineales muestran que el método es apto para detectar el agua en estas condiciones.

La etapa siguiente en el desarrollo de esta técnica es el estudio sistemático de la sensibilidad, para determinar cuál es la mínima cantidad de agua que es posible detectar en función de la distancia a la que se encuentra del sistema emisor-detector. También se debe procurar hacer más compacto el sistema de detección de neutrones. Esto haría posible su aplicación en espacios reducidos o de difícil acceso. Una variante del trabajo sería estudiar cómo se modifican las pendientes de las rectas al usar como objetivo mezclas de sustancias de bajo Z en distintos porcentajes. Esto permitiría por ejemplo saber porcentajes de agua contenidos en otras sustancias también dispersoras de neutrones.

Por último, esta técnica puede ser complementada con cálculos computacionales de Montecarlo, lo cual potenciaría la capacidad de interpretación de las mediciones.

Agradecimientos: Este trabajo recibió el apoyo de: Fundación Antorchas (A-13838/1), PLADEMA-CNEA, UBA (IX64/99) y CONICET (PIP 4523/96).

Referencias

- [1] 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).
- [2] H. Acuña, M. Milanese, R. Moroso, J. Pouzo. Sonda de radiación para diagnóstico de suelos, 85 Reunión Nacional de Física, Bs As 18-22 Set (2000).
- [3] C. Moreno, J. Martínez, H. Bruzzone y A. Clause. Operación de un plasma focus de cámara pequeña como generador compacto de neutrones y radiaciones, Anales AFA, 11, pp. 142-144, (1999).