

MÉTODO DE DETECCIÓN DE SUBSTANCIAS HIDROGENADAS POR ECOGRAFÍA NEUTRÓNICA

A. Tartaglione¹, R. Ramos², A. García Rosselli¹, F. Monticelli¹, A. Clause³ y C. Moreno¹

1 - Departamento de Física FCEyN-UBA, INFIP-CONICET y PLADEMA.

2 - Instituto Balseiro. CAB-CNEA y PLADEMA.

3 - PLADEMA-CNEA-CONICET y UNCPBA.

* moreno@df.uba.ar

Se presenta un método experimental que permite detectar la presencia de sustancias ricas en hidrógeno por dispersión de neutrones de fusión nuclear de deuterio. La fuente neutrónica es un Plasma Focus que produce 10^8 neutrones en pulsos de 50 ns de duración. La detección se realiza por activación de plata empleando dos detectores: uno permite registrar la cantidad de neutrones producidos en cada pulso y el otro se destina a sensar neutrones termalizados y reflejados en la sustancia cuya presencia se desea detectar. Un apantallamiento parcial realizado con bórax, le confiere a este segundo sensor direccionalidad en la detección de neutrones reflejados. Como aplicación práctica, el método se emplea para la detección de agua en las cercanías del Plasma Focus.

An experimental method for detecting the presence of hydrogenated substances by scattering of neutrons produced by fusion of deuterium is presented. The neutronic source is a Plasma Focus which a yield of 10^8 neutrons per shot, being 50 ns the duration of the emission pulse. The detection is achieved by silver activation using two detectors: one registers the neutronic yield in each pulse, and the other one registers the neutrons thermalized and reflected in the substance whose presence is being detected. A partial shielding made with borax, gives directionality to this second detector. As a practical application, the method is used for detection of water in the Plasma Focus surroundings.

I. INTRODUCCIÓN

Los neutrones producidos por fusión de deuterio pueden emplearse como radiación de sondeo para detectar la presencia de sustancias mediante dispersión neutrónica^[1-4]. Conceptualmente, el mecanismo de la detección es similar al de una ecografía: un pulso de neutrones energéticos (2.45 MeV) se envía hacia la región de interés, y mediante un detector adecuado se registra la respuesta del medio, que consiste en la dispersión (y termalización) de los neutrones incidentes. Dada la alta sección eficaz que presenta el hidrógeno para la dispersión de neutrones, comparada con la correspondiente a los restantes elementos, el análisis experimental de lo que le ocurre a un flujo neutrónico empleado como radiación de sondeo, brinda información valiosa para poner de manifiesto la presencia de sustancias ricas en hidrógeno. Como ejemplos de aplicación pueden citarse: estudios de humedad en suelos^[1,2], contenido de agua en petróleo o detección de sustancias peligrosas ocultas.

En un artículo anterior^[3] se demostró la factibilidad de detectar pequeñas proporciones de agua en volumen empleando un Plasma Focus como fuente pulsada de neutrones y dos detectores por activación de plata: uno destinado a registrar la producción neutrónica en cada disparo del equipo, y otro dedicado a sensar los eventuales neutrones dispersados. En la figura 1 se esquematiza la disposición experimental y se indican distancias típicas consideradas. La comparación entre las lecturas de ambos detectores, permite determinar si el agua se encuentra presente o no.

En esta comunicación se propone el diseño de un detector de neutrones dispersados, denominado LINA 4, mejorado respecto del anterior con el propósito de dotarlo de direccionalidad en la detección, y se verifica experimentalmente su desempeño, estudiándose además

la sensibilidad del método de detección ante diferentes cantidades de agua.

II. METODO EXPERIMENTAL

Como fuente de neutrones se empleó el Plasma Focus denominado GN1 ya descrito en una comunicación anterior^[5]. Resumidamente puede mencionarse que está constituido por un conjunto de 18 capacitores Maxwell modelo 31161, agrupados en tres módulos de 6 unidades cada uno, conformando una capacidad total de 12.6 μ F. La tensión de carga es de 30 kV. La cámara de descargas es de acero inoxidable y en su interior contiene dos electrodos cilíndricos y coaxiales separados en su base por un aislante de vidrio Pyrex. Para generar los neutrones, la cámara se opera con deuterio gaseoso, a presiones comprendidas entre 3 y 4 mbar. Mediante tres llaves spark gap (una por cada módulo) la energía almacenada en los capacitores se descarga sobre los electrodos generando una lámina de plasma entre ellos.

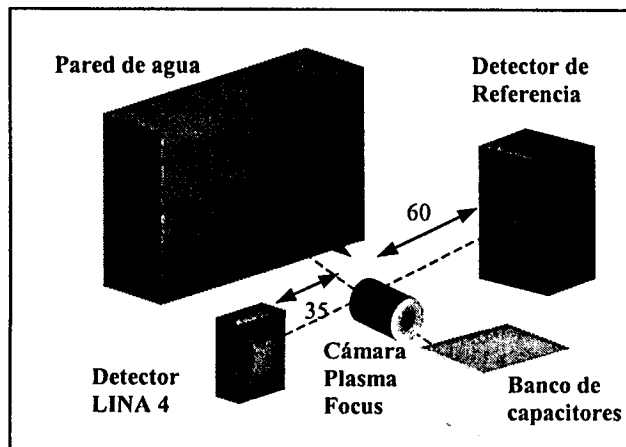


Figura 1. Disposición experimental básica. Dimensiones en cm.

Como consecuencia de la evolución y posterior autocompresión de la misma sobre el extremo libre de los electrodos, se producen pulsos de $\sim 10^8$ neutrones por disparo, que se emiten en todas direcciones. Mediciones de la anisotropía de esta fuente arrojan como resultado que se emite un 40 % más de neutrones en la dirección del eje de los electrodos, en el sentido de avance axial del plasma, que en direcciones perpendiculares a esta.

Respecto del funcionamiento de los detectores de neutrones, debe decirse que se basan en el método de plata activada^[6]. Ambos contienen en su interior 4 tubos Geiger Victoreen 1B85, polarizados a 800 V, cada uno rodeado por una lámina de plata de 0.3 mm de espesor. La plata tiene un pico de resonancia para la captura neutrónica, con emisión de un electrón, en 5.1 eV. El detector utilizado para registrar los neutrones emitidos en cada pulso, denominado detector de referencia, es una caja de madera de 28 x 34 x 14 cm³ que contiene los 4 tubos Geiger y parafina en su interior para termalizar los neutrones de 2.45 MeV que provienen del Plasma Focus. El detector de neutrones dispersados no contiene parafina, para que sea sensible a los neutrones termalizados por la substancia que se desea detectar, y a la vez, relativamente poco sensible a los neutrones rápidos. El detector de referencia registra un fondo, acumulado durante un período de 20 segundos, de 66 ± 8 cuentas mientras que el LINA 4 acusa 60 ± 8 cuentas en las mismas condiciones.

El detector LINA 4

Para lograr direccionalidad en la detección de neutrones dispersados, es necesario bloquear los neutrones termalizados por el entorno del Plasma Focus, excepto los provenientes de la dirección donde eventualmente se encuentre la substancia cuya presencia se desea detectar. Por ejemplo, el piso, las paredes y el techo del laboratorio, además del banco de capacitores, son, por sus componentes, una fuente de neutrones dispersados que no se desean detectar. El ^{10}B tiene una alta sección eficaz de absorción para los neutrones en la banda de energías térmicas. Por lo tanto una substancia que contenga abundante boro y que esté dispuesta a modo de blindaje en torno de los tubos Geiger, reduce el flujo de neutrones térmicos provenientes de las direcciones apantalladas. Una substancia fácilmente accesible y que contiene una considerable cantidad de boro, es el tetraborato de sodio ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$), comercialmente denominado bórax. En la figura 2 se muestra un esquema del detector LINA 4 que utiliza bórax en polvo como blindaje. La caja contenedora está fabricada en chapa de hierro galvanizado de 1 mm de espesor, con tapas de aluminio. El recipiente es un paralelepípedo en el que los 4 detectores Geiger están apoyados sobre una de las caras mayores, y se encuentran rodeados por ~ 5 cm de bórax, excepto en la cara sobre la que se apoyan, quedando definida así una ventana apta para recibir neutrones termalizados. El espesor de bórax empleado equivale a 5 veces el camino libre medio de neutrones de 5 eV en esta substancia.

Detector de Neutrones LINA 4

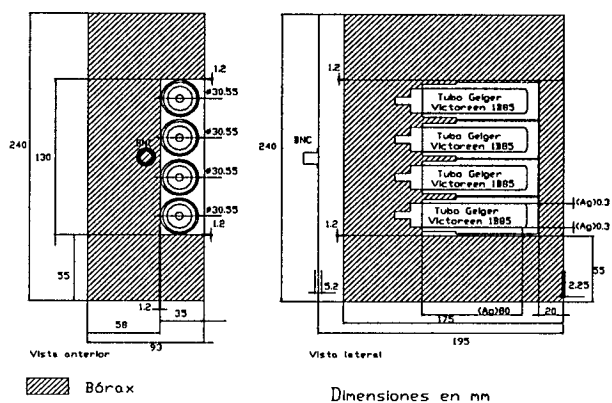


Figura 2. Esquema del detector de neutrones dispersados. Las paredes de bórax le confieren direccionalidad en la detección.

Para verificar experimentalmente la direccionalidad del detector, se empleó una pared de agua en calidad de substancia dispersora, dispuesta como se ilustra en la figura 1. El detector LINA 4 se ubicó a 35 cm de la cámara y a 8.5 cm de una pared de 33.6 litros de agua. Fue puesto a prueba en dos orientaciones extremas: una, denominada A, con su ventana orientada hacia la pared de agua, y la otra, B, con la ventana orientada en el sentido opuesto (ver figura 3, derecha). Debe aclararse, que cuando el detector se coloca en la orientación B, su ventana sensora puede captar neutrones termalizados principalmente por el banco de capacitores, cuyo centro se encuentra 80 cm por detrás del cabezal Plasma Focus (ver la figura 1). El banco consiste en una estructura de madera que soporta los capacitores, encapsulados en plástico, que en calidad de dieléctrico contienen cartón embebido en aceite.

Para cada una de las orientaciones consideradas, se registraron las cuentas de sendos detectores en presencia de la pared de agua, y sin ella. La medición en cada caso se llevó a cabo realizando una serie de 10 a 15 disparos.

Los resultados obtenidos se exponen en el gráfico de la figura 3 donde se representan las cuentas del detector LINA 4 en función de las cuentas registradas por el detector de referencia. Las incertezas graficadas corresponden a la raíz cuadrada del correspondiente número de cuentas. De acuerdo con su calibración, 1000 cuentas en el detector de referencia, corresponden a un total de 10^8 neutrones emitidos por el Plasma Focus.

En primer lugar, se distinguen los casos A-1 y A-0 (correspondientes a la orientación A, con y sin agua respectivamente) entre los que se observa una amplia diferencia de pendientes (0.348 ± 0.013 y 0.0856 ± 0.0078). Las incertezas consignadas corresponden a intervalos de confianza del 95 %. Las pendientes y sus respectivas incertezas, fueron calculadas siguiendo el método de la referencia^[7], dado que los datos involucrados presentan incertezas comparables en ambas coordenadas.

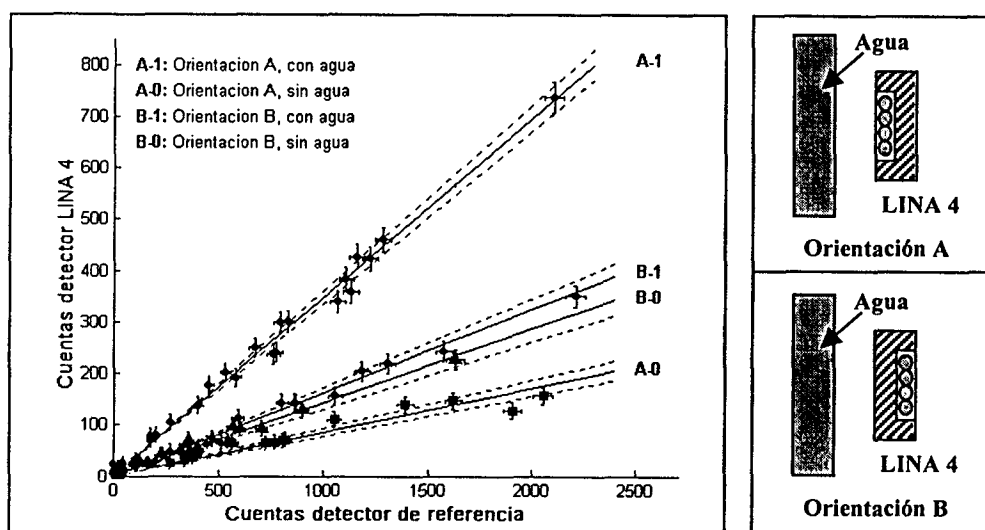


Figura 3. En la figura se comparan los resultados experimentales de neutrones dispersados en función de neutrones emitidos para los casos sin agua para las posiciones A y B del detector que se muestran a la derecha de la figura. Con líneas a rayas se indican las bandas de confianza del 95 %.

En segundo lugar, se destaca que para la orientación B, la presencia del agua no produce diferencias significativas en la respuesta del detector LINA 4 (las pendientes resultan ser 0.162 ± 0.010 y 0.143 ± 0.013 para los casos con y sin agua respectivamente). Esto ilustra, tal como se requería, la baja sensibilidad del detector LINA 4 a neutrones térmicos que no ingresen a través de su ventana. Por otra parte, dado que las pendientes de los casos B son significativamente superiores al caso A-0, se concluye que el banco de capacitores tiene una influencia apreciable sobre el campo de neutrones térmicos en las cercanías del cabezal Plasma Focus. Por este motivo, el apantallamiento conferido al detector LINA 4, contribuye significativamente a que no se degrade la sensibilidad en la detección.

III. APLICACIÓN Y SENSIBILIDAD

Como ejemplo de aplicación sobre la detección de la presencia de agua, y para ilustrar la sensibilidad del método respecto de la cantidad de sustancia dispersora, se empleó una disposición análoga a la representada en la figura 1, donde la pared de agua se implementó utilizando 56 botellas plásticas de 600 cm^3 , y 7 cm de diámetro (ver figura 4). Llenando todas o algunas de ellas se obtienen diferentes concentraciones de agua en volumen. Se armaron cuatro arreglos espaciales distintos, uno con todas las botellas vacías y los otros tres llenando 56, 32 y 16 de ellas (ver el esquema de la figura 5). El detector LINA 4 se ubicó en la orientación A. Los resultados obtenidos se presentan en el gráfico de la figura 5.

Puede observarse que el método permite diferenciar las distintas configuraciones, puesto que las pendientes de los correspondientes ajustes lineales son distinguibles entre sí (0.348 ± 0.013 , 0.2838 ± 0.0092 , 0.208 ± 0.011 y 0.162 ± 0.011). De acuerdo a estos resultados, la cantidad mínima detectable de agua resulta ser de ~ 16 botellas llenas, esto es, ~ 9.6 litros, para la disposición geométrica presentada en la figura 5. Dado que la distribución de agua en volumen considerada es discreta, no se espera que exista una relación sencilla entre, por ejemplo, la cantidad de agua involucrada y la correspondiente pendiente. Sin embargo, siempre es posible realizar una calibración que permita distinguir en un caso práctico, entre diferentes situaciones.

IV. CONCLUSIÓN

En el marco del problema de la detección de sustancias por dispersión neutrónica, se ha propuesto el diseño de un detector de neutrones termalizados que emplea bórax para apantallar aquellos provenientes de direcciones no deseadas, y se ha comprobado experimentalmente su funcionamiento y direccionalidad.

De los resultados obtenidos se concluye que $\sim 1 \times 10^8$ (~ 1000 cuentas en el detector de referencia) es en términos prácticos, la cantidad mínima de neutrones por pulso que se requieren para detectar, siguiendo el método propuesto, cantidades y distribuciones de agua como las consideradas en este trabajo. Si la fuente produjese menos neutrones por pulso, la capacidad de detección se vería muy limitada, a menos que se emplee otro tipo de detectores.

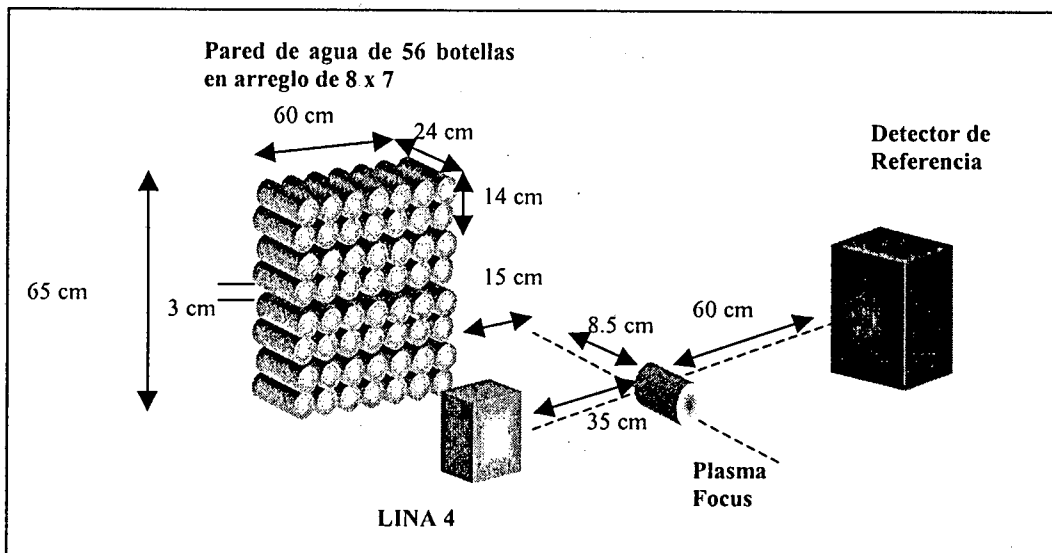


Figura 4. Arreglo experimental para estudiar la sensibilidad del método a distintas configuraciones espaciales de sustancia dispersora.

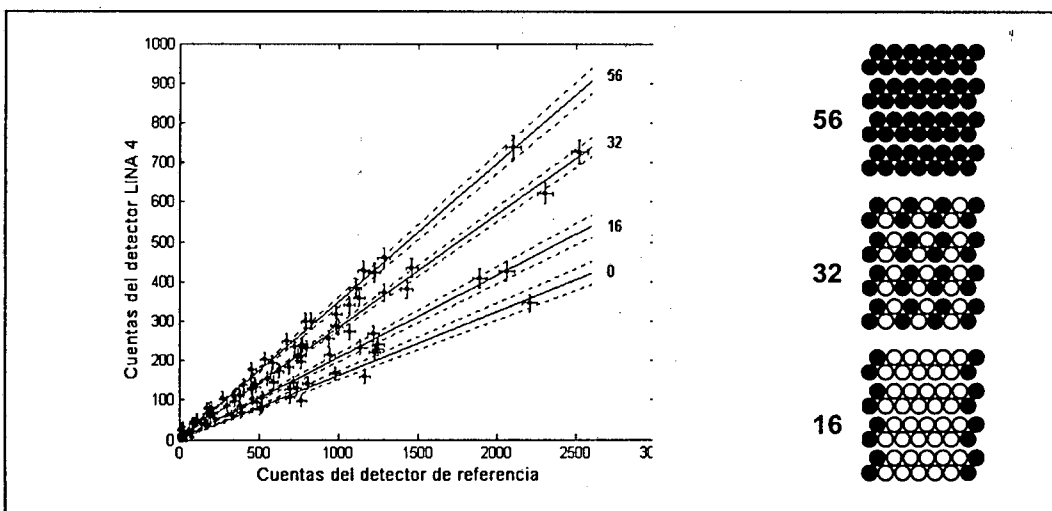


Figura 5. A la izquierda se pueden ver los resultados experimentales de neutrones dispersados en función de los emitidos para las distintas configuraciones espaciales consideradas, que se pueden ver en la figura de la derecha, comparados entre si y con el caso sin agua.

Agradecimientos: Agradecemos al Dr. Roberto Vieytes por la lectura crítica del manuscrito y valiosas sugerencias. El presente trabajo contó con el apoyo económico de la Fundación Antorchas (Proyecto 14068-24), de la IAEA (TC Proj. ARG1026-11099L), del PLADEMA-CNEA y de la UBA (X074).

Referencias:

[1] Pouzo J, Milanese M, and Moroso R. *AIP Conf. Proc.*, 669 (1), 277-280, June 11, 2003.
 [2] Acuña H, Milanese M, Moroso R y Pouzo J. 85 Reunión Nacional de Física, Bs As, 18-22 Sep (2000).

[3] Llovera R, Tartaglione A, Clausse A y Moreno C. *Anales AFA*, 12, 111-113, (2000).
 [4] Ramos R, Moreno C, González, Clausse A and Florido P. American Nuclear Society, Nuclear Odyssey 2001, CD Proceedings Nuclear Odyssey 2001, Next Generation Technologies I, 23-27, Texas, March 28 - April 4, (2001).
 [5] Moreno C, Martínez J, Bruzzone H y Clausse A. *Anales AFA*, 11, 142-144, (1999).
 [6] Gentilini A, Rager J, Steinmetz K, Tacchi M, Antonini D, Arcipiani B, Moiola P, Pedretti E and Scafe R. *Nuclear Instrum. and Meth.* 172 (3), 541—552, (1980).
 [7] Moreno C. *Meas. Sci. Technol.*, 7, 137-141, (1996), and 8, 951, (1997).