

APLICACIONES DOSIMÉTRICAS DE DETECTORES POR TRAZAS NUCLEARES
PROCESADOS POR ATAQUE ELECTROQUÍMICO

Gustavo E. Massera

Gerencia de Protección Radiológica y Seguridad
Comisión Nacional de Energía Atómica

El método de ataque electroquímico en la ampliación de trazas nucleares en polycarbonato, Makrofol E de 300 μ m de espesor, es analizado para la detección de neutrones y partículas alfa, aplicándose a dispositivos para el control radiológico ocupacional.

Se propone un dosímetro personal de neutrones con capacidad para efectuar determinaciones en energías térmicas, intermedias y rápidos. Mediante la detección de partículas alfa provenientes de un convertidor ($n \propto$) se abarca el espectro de bajas energías, mientras que la detección de neutrones rápidos es por interacción directa en el Makrofol.

El diseño aprovecha el campo de neutrones de baja energía retrodispersados por el cuerpo del portador del dosímetro lográndose un considerable incremento en la respuesta.

Se estudiaron las características dosimétricas con flujos de neutrones térmicos, filtrados de 2 KeV y 24 KeV y espectros de fuentes de Cf 252 y Am-Be.

La respuesta a neutrones de Am-Be de la componente albedo es de 3,6 trazas/cm² mrem, lo que equivale a un límite inferior de detección de 5 mrem con un fondo de 30 t/cm².

Se describe el procesamiento electroquímico simultáneo de trazas de neutrones rápidos y partículas alfa, combinado con la remoción de un espesor conveniente de la superficie del detector a efectos de disminuir el fondo.

Esta técnica de remoción de capas se aplicó al estudio de la respuesta a partículas alfa, relacionándose la energía residual de la partícula incidente con el espesor removido.

Estos resultados se aplicaron al diseño de un monitor pasivo de radón que permite determinar una concentración promedio de 0,3 pCi/l en intervalos de 3 meses.

1. INTRODUCCION

En dosimetría de campos mixtos de radiación para el control radiológico ocupacional, es de sumo interés disponer de un detector que responda solo a la componente neutrónica del campo, para evitar la superposición en la respuesta de la contribución en la dosis por radiación electromagnética. Los detectores por trazas en materiales sólidos dieléctricos permiten lograr esta condición, que motiva un creciente interés en su aplicación, evidenciado por el creciente número de trabajos desarrollados sobre este tema. Con todo no han tenido aún una aplicación práctica significativa, debido por un lado a la falta de conocimientos experimentales que completen la información para su uso y por otro a que las técnicas de ampliación de trazas solo permitían desarrollar estas hasta dimensiones de varios micrones, haciendo dificultoso su conteo. Un método que permite llevar el tamaño de la traza hasta dimensiones visibles a simple vista mediante ataque electroquímico (1,2,3) en policarbonatos, ofrece un singular avance ya que se logra una rápida y fácil evaluación, siendo necesario sistemas ópticos de ampliación con bajos aumentos abarcando campos mayores que 1 cm^2 . Este método consiste en la aplicación de un campo eléctrico variable de alta tensión y frecuencia mientras se produce el ataque químico para la formación de la cavidad en la zona de la traza. El efecto de punta que provoca el extremo de la cavidad, de dimensiones microscópicas, genera una ampliación del campo aplicado de tal magnitud que vence la resistencia dieléctrica del material detector, provocando rupturas que se encadenan en forma ramificada a partir del extremo de la traza original, llegando a abarcar diámetros de hasta $200\text{ }\mu\text{m}$ conforme al procesamiento empleado.

El propósito inicial de este trabajo es el estudio de un prototipo de dosímetro personal de neutrones, utilizando policarbonato como material dieléctrico sensible, aplicando la técnica de ataque electroquímico para la ampliación de trazas, que permita abarcar un amplio rango de energías y dosis. La necesidad de utilizar convertidores (n, α) para extender el intervalo de energías a neutrones térmicos y epitermicos, dió lugar al estudio de la respuesta del policarbonato a partículas alfa, logrando un método que permite su discriminación en energías. Estos resultados mostraron la posibilidad de extender esta técnica a la determinación de bajas concentraciones de radón y sus descendientes de vida media corta, para lo cual se diseñó y provó un dispositivo para el monitoraje de estos radionucleidos emisores alfa.

2, MATERIALES, EQUIPOS y TECNICAS

En el desarrollo de este trabajo se utilizó como material sensible policarbonato tipo Makrofol E (Bayer) de $300\text{ }\mu\text{m}$ de espesor, siendo los convertidores (n, α) tetraborato de litio finamente depositado sobre un soporte de nitrocelulosa, denominado CA - 8015 (Kodak).

El dispositivo de ataque electroquímico está compuesto por, como se observa en la Fig.1, una fuente de alta tensión sinusoidal y celdas compuestas por recipientes estancos separados por la hojuela detectora. En la celda correspondiente a la superficie en que se deben ampliar las trazas se introduce la solución de ataque compuesta por HOK 6N solo o en mezcla con alcohol etílico. En la otra celda se introduce una solución conductiva, usualmente ClH diluido. Mediante sendos electrodos se aplica el campo eléctrico que se controla en amplitud y frecuencia por medio de un osciloscopio conectado a los electrodos. Las trazas ampliadas se recuentan utilizando una lectora de microfichas, sobre cuya pantalla se puede abarcar una superficie de 1 cm^2 en la hojuela, mediante una ampliación de solo 20 aumentos, con lo que se pueden observar las trazas mayores con diámetros de hasta 4 mm. Por este medio el recuento de trazas se puede efectuar hasta una densidad de aproximadamente 4000 trazas por cm^2 .

Por efecto de la inhibición del campo eléctrico entre trazas vecinas, no se produce solapamiento, si bien el tamaño de estas se reduce considerablemente para altas densidades, lo que imposibilita el contaje directo. Un método alternativo es utilizar densitometría óptica, relacionando el grado de atenuación a la transmisión de luz con la fluencia de partículas.

3. APLICACIONES

3.1. Dosímetro Personal de Neutrones

a) Fundamentos y Características

En policarbonatos, se registran mediante trazas neutrones rápidos con energías superiores a 1 MeV por interacción directa con núcleos del compuesto. A efectos de expandir el espectro de detección a bajas energías, se puede aprovechar la excelente respuesta a partículas alfa del policarbonato y recurrir a convertidores (n, α) para neutrones térmicos y hepitérmicos, puestos en contacto con la hojuela detectora. Este método permite además aprovechar el campo de neutrones de bajas energías presente en la superficie del cuerpo del portador del dosímetro, al actuar este como moderador y retrodispersor de neutrones rápidos e intermedios, con lo que se logra una mejor determinación de la dosis equivalente recibida en particular para bajos niveles.

El dosímetro ensayado se muestra en la Fig 2, donde se los describe en forma esquemática. Está compuesto por cuatro hojuelas de Makrofol E, dos de ellas en contacto con convertidores (n, α) y separadas por una lámina de cadmio de espesor suficiente como para absorber neutrones con energías de hasta 0,5 eV. Con estas se determinan el campo de neutrones de bajas energías proveniente del cuerpo denominados albedo y el de térmicos incidentes respectivamente. Otras dos hojuelas se utilizan para determinar la fluencia de neutrones rápidos.

b) Procesamiento

Se estudió la respuesta con diferentes mezclas de HOK 6N y

alcohol etílico, encontrándose que con un porcentaje del 20% en volumen de alcohol se logra la mejor sensibilidad y tamaño de trazas con intervalos de 3 horas de ataque electroquímico a temperatura ambiente. Los parámetros eléctricos se fijaron en 2 kHz para frecuencia con una tensión de 800 V eficaces. La respuesta en función de la tensión aplicada mostró que esta crece en forma lineal hasta aproximadamente 700 V eficaces, por encima del cual la respuesta es plana.

A efectos de reducir el fondo de trazas que afecta en particular a la detección de neutrones rápidos por su baja sensibilidad, se procedió a efectuar previo a la aplicación de la tensión, un ataque químico con la misma solución para remover un espesor suficiente que permita reducir las trazas debidas a radiación ambiente(4), principalmente emisores alfa y eliminar las raspaduras superficiales sobre las que se generan trazas que interfieren considerablemente la evaluación. La remoción de un espesor de 0,5 μm de espesor se encontró conveniente para disminuir el fondo de trazas a la vez que no afecta la sensibilidad a partículas alfa provenientes del convertidor, cuyas trazas se encuentran distribuidas en los primeros micrones de espesor, disminuyendo en 10% la densidad relativa de estas trazas.

c) Características Dosimétricas

i) Respuesta a Dosis: la respuesta en densidad de trazas de los tres componentes del dosímetro se estudió en función de la dosis equivalente para un espectro de neutrones generado por una fuente de AmBe, calculándose la dosis equivalente a partir de la fluencia de la fuente en la posición del dosímetro sobre el fantoma. Las curvas de respuesta son lineales determinando las siguientes sensibilidades: neutrones albedo 23500 t/cm^2 , térmicos incidentes 930 t/cm^2 y rápidos 190 t/cm^2 con errores estadísticos inferiores al 7%.

Los niveles inferiores de detección se establecieron a 3σ del fondo de $(34 \pm 9,5) \text{ t/cm}^2$, con lo que la dosis equivalente mínima estimada para esta fuente es de $(8 \pm 3) \text{ t/cm}^2$ por detección de neutrones albedo. Por detección de neutrones rápidos este nivel inferior llega a $(150 \pm 50) \text{ t/cm}^2$.

ii) Dependencia con la Energía: se determinó la respuesta frente a campos de radiación de neutrones térmicos, de 2 keV y 24 keV filtrados, de Cf 252 y AmBe. Los resultados se tabulan en la Tabla 1. Se observa de ella que para neutrones de bajas energías incidente la respuesta con el convertidor se comporta de forma $1/v$ por los constituyentes de este en base a boro y litio.

iii) Dependencia Direccional: el estudio de la respuesta de la componente albedo en función del ángulo de incidencia de la radiación, se efectuó utilizando fuentes de AmBe y Cf 252. Se encontró que para esta última varía en un 80% la respuesta cuando se hace incidir la radiación en la superficie opuesta del fantoma a la que se encuentra ubicado el dosímetro. Para el caso de neutrones provenientes de una fuente de AmBe la variación encontrada es del 60%.

TABLA 1

Energía	Respuesta en trazas/cm ² .mrem		
	Componente		
	Albedo	Térmicos	Rápidos
Termicos	1.62×10^2	1.32×10^3	--
2 keV	56,0	8,0	--
24 keV	29,0	0,9	--
²⁵² Cf	5,23	1,10	0,15
AmBe	3,60	0,94	0,20

3.2. Discriminación en energías de partículas alfa

3.2.1. Fundamentos

El grado de reactividad química que presente la zona de daño estructural causado por el pasaje de la partícula cargada, está relacionado con la densidad lineal de ionización que se vincula con la transferencia lineal media de energía dE/dx . De esta forma existe un valor umbral por encima del cual se logra observar la traza para una dada condición de ataque químico. Será necesario entonces en determinadas condiciones llegar a la profundidad en el material detector que corresponda con valores de dE/dx superiores al umbral.

3.2.2. Técnica de remoción de capas superficiales.

El tratamiento para la remoción de capas de distintos espesores permite lograr la condición antes mencionada, esta consiste en atacar químicamente la superficie con mezclas de HOK 6N y alcohol etílico, el porcentaje de mezcla determina la velocidad de remoción a temperatura ambiente, que varía desde 23 $\mu\text{m}/\text{hora}$ hasta valores casi nulos para porcentajes en volumen de mezcla del 20% al 100% de HOK 6N respectivamente.

3.2.3 Experiencias y Resultados

Hojuelas de Makrofol E se irradiaron con partículas alfa monoenergéticas utilizando una fuente de Am 241, donde la energía de las partículas se varió cambiando la distancia fuente detector, en aire en condiciones ambiente de presión y temperatura. El conjunto de detectores irradiados con dada energía se sometieron a procesos de remoción de espesores diferentes y posterior ataque electroquímico. De esta forma observando el espesor necesario para lograr el máximo tamaño de traza, se obtuvo una fórmula empírica que permite conocer el espesor L a remover para observar una traza correspondiente a una partícula alfa con alcance R en Makrofol.

$$L = 0,018 R^2 + 0,35 R$$

Esta expresión es válida para un intervalo de 2 a 5 MeV aproximadamente.

Las condiciones de ataque electroquímico fueron similares a las encontradas óptimas para el estudio del dosímetro de neutrones.

3.3. Monitor Pasivo de ^{222}Rn .

3.3.1. Dispositivo

En base a los resultados obtenidos del estudio de respuesta a partículas alfa, se diseñó un dispositivo que registra las emisiones alfa del Rn 222 y sus descendientes de vida media corta. Este está compuesto por una cámara en la que se encuentra alojada la hojuela detectora, separada del exterior por un filtro que solo permite el paso del gas radón al interior de la cámara y no de sus descendientes que generalmente se hallan unidos a partículas en suspensión en aire(5). En la Fig 4 se muestra un corte del dispositivo monitor en la que se observa además la incorporación de una cubierta protectora que evita daños en el filtro durante su utilización.

3.3.2. Experiencias y Resultados

Se estudió la variación en la densidad de trazas para remoción de espesores de hasta 3,5 μm de donde se optó por remover un espesor de 1,2 μm con lo que se obtiene la mejor relación entre respuesta y fondo.

Las exposiciones se llevaron a cabo en atmosferas con elevada concentración de radón utilizando mineral de uranio y en condiciones de concentración en aire de 4,04 nCi/l.

El límite inferior de detección considerando un intervalo 3 σ del fondo de trazas es equivalente a 5,6 WLh que corresponde a una dosis media en pulmón de 130 mrem. Este dispositivo permite efectuar estas determinaciones límite en intervalos de integración no menores a 3 meses, lo que a su vez corresponde a un nivel promedio de concentración de radón en aire de 0,3 pCi/l.

4. Referencias

- (1) L. Tommasino, Sith ERDA Workshop on Personnel Neutron Dosimetry - July 1977 Oak Ridge Report PNL-2449. UC-48
- (2) G.M. Hassib, J.W. Tuyn, J. Dutrannois, Nucl. Inst. Methods 147 (1977) 163.
- (3) G. Somogyi, Radiation Effects 34 (1977) 51.
- (4) G.M. Hassib, Nucl. Track Detec. 3 (1979) 45.
- (5) A.L. Frank, E.V. Benton, Nucl. Track Detec. 3 (1977) 149.

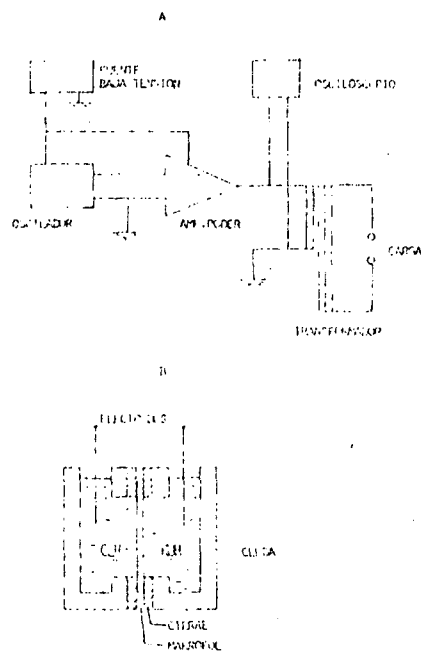


FIG. 1- DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL DISPOSITIVO DE ATAQUE ELECTROSTATICO
A) FUENTE ALTA TENSION SINUSOIDAL. B) CELULA DE ATAQUE.

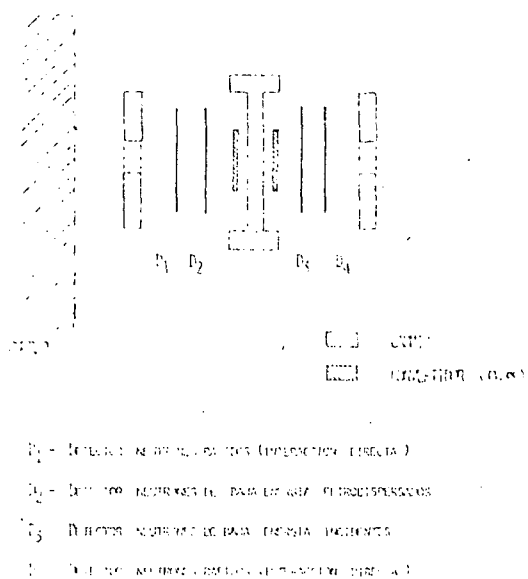


Fig. 2 - Diagrama esquemático del dosímetro de neutrones.

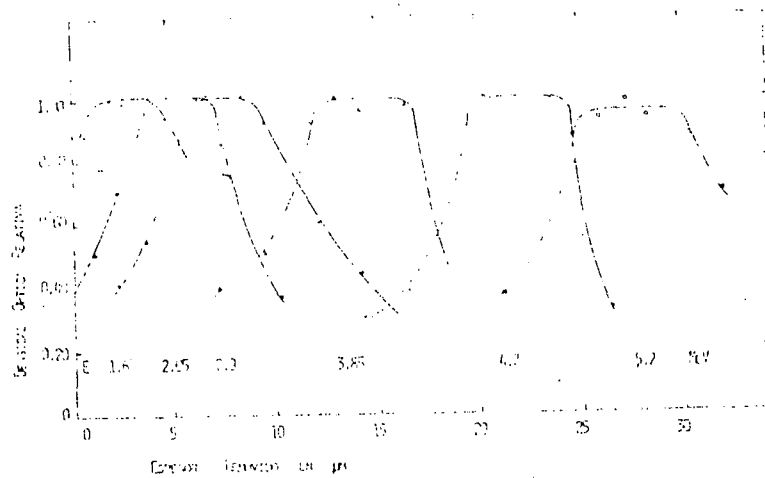
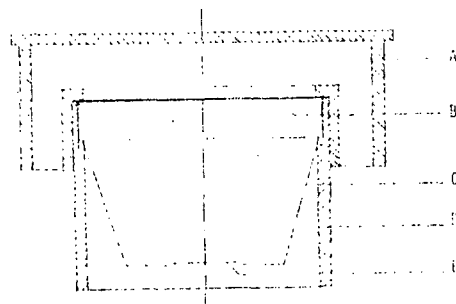


Fig. 3 - Curvas de respuesta a partículas alfa con distintas energías en función del espesor removido.



ESCALA 1:1

- A - CÁMERA FOTOGRÁFICA Y AMPLIFICADOR DE GANCHO
- B - FILTRO
- C - ALFA
- D - CÁMERA FOTOGRÁFICA
- E - CÁMERA FOTOGRÁFICA

Fig. 4 - Corte del dispositivo para el monitoreo en forma pasiva de $Rn\ 222$ y descendientes de vida media corta.