

C. N. E. A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1968

09.68.06

SI-4/5

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION
GERENCIA DE SEGURIDAD E INSPECCION

DOSIMETRIA DE NEUTRONES RAPIDOS A PARTIR
DE MEDICION DE FLUJOS EN PLACAS NUCLEARES

Mario Eugenio García*

* Jefe División - Dosimetría

BUENOS AIRES
1968

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION
GERENCIA DE SEGURIDAD E INSPECCION

DOSIMETRIA DE NEUTRONES RAPIDOS A PARTIR
DE MEDICION DE FLUJOS EN PLACAS NUCLEARES

Mario Eugenio García*

* Jefe División - Dosimetría

BUENOS AIRES
1968

1. Introducción.

El uso de emulsiones nucleares en el estudio de partículas elementales data prácticamente de principios de siglo, habiéndose extendido extraordinariamente su campo de acción a partir del avance en la técnica de su manufactura, que permitió la producción comercial de una amplia variedad de placas. Por ello, y gracias a sus características bien conocidas ¹ constituye actualmente un instrumento clásico en la investigación de partículas elementales, reacciones nucleares, espectro de neutrones, etc.

El presente trabajo describe uno de los métodos existentes ² y su aplicación en dosimetría personal para determinar dosis debidas a neutrones rápidos en un rango de 0,5 a 15 Mev con fines de protección radiológica.

Se trata del basado en la detección de densidad de flujo, y el posterior empleo de los factores de la relación Kerma, ^{flujo} factores usados de acuerdo a las recomendaciones de la CIUR (Comisión Internacional de Unidades Radiológicas y Mediciones).

2. Reseña Teórica

Dado que el fin último de este tipo de trabajos es la protección radiológica, es decir en primera instancia la fijación de límites de seguridad, las fórmulas utilizadas deben simplificarse, dejando de lado elementos teóricos imponderables en la aplicación práctica, como por ej. la direccionalidad de los neutrones incidentes.

Partiendo de la expresión de la sección eficaz para la reacción de colisión elástica n-p, se obtiene la siguiente relación

$$\phi = \frac{P}{N \cdot \bar{V}(E)} \quad [\text{cm}^2] \quad (\text{I})$$

donde:

P: nº de colisiones en la unidad de volumen de emulsión.

N: nº de átomos de H en la unidad de volumen de emulsión.

$\bar{V}(E)$: sección eficaz media para el fenómeno estudiado, que depende de la energía de los neutrones incidentes.

Obviamente, el mayor problema reside en la determinación de $\bar{V}(E)$, en razón de la incidencia espectral de energías.

Esta determinación puede establecerse por tres caminos:

- a) Conociendo con precisión el flujo de neutrones incidentes de la fuente emisora y determinando P por lectura directa al microscopio, para dichos valores de ϕ y P, queda determinado $\bar{V}(E)$ en (I).
- b) Extendiendo (I) a un espectro de energías entre E_0 y E , y llamando $\sum_{(E)}$ al producto $N \cdot \bar{V}(E)$, puede escribirse

$$\phi = \int_{E_0}^E \phi_{(E)} dE \quad (\text{III})$$

$$y P = \int_{E_0}^E \phi_{(E)} \sum_{(E)} dE \quad (\text{IV})$$

por lo que la sección eficaz media resultará:

$$\overline{V}_{(E)} = \frac{\int_{E_0}^E \phi_{(E)} \overline{V}_{(E)} dE}{\int_{E_0}^E \phi_{(E)} dE} \quad (V)$$

c) Dado que entre 1 y 15 Mev, la sección eficaz de colisión n-p cumple aproximadamente la ecuación

$$\overline{V}_{(E)} = 4,8 E^{-0,176} \quad (II) \quad [4]$$

es decir, se trata de una función continua de E, el valor medio de la misma da el valor de $\overline{V}_{(E)}$.

El camino a) exige la calibración absoluta de la fuente.

El camino b) exige el conocimiento del espectro de energías de la fuente emisora. (Luego, como resulta fácil ver, aplicando (II) en (V), bastará multiplicar las ordenadas del espectro por $E^{-0,176}$ manteniendo la coincidencia de abscisas, y realizar el cociente entre el área así resultante y la definida por el espectro).

Como por ahora ninguna de estas condiciones puede ser satisfecha, forzosamente debe tomarse el camino c) para el cálculo de $\overline{V}_{(E)}$.

3. Descripción del Método.

La cuantificación del flujo se basa en el conteo microscópico de trazas provocadas en una emulsión nuclear por protones de retroceso provenientes de su interacción elástica con los neutrones incidentes en ella.

La calibración de las mediciones se llevó a cabo con una fuente (α, n) de Am-Be, y los valores obtenidos se comparan forzosamente con valores teóricos calculados a partir de la referencia

de fábrica de la fuente, por lo que deberán ser revaluados cuando pueda contarse con mejores métodos de detección y sobre todo, con métodos de calibración absoluta de este tipo de fuentes.

Conocida la densidad de flujo, solo restará multiplicar la por el factor $\text{Kerma}'_{\text{flujo}}$ (factor que existe calculado para la fuente de Am-Be [3]), afectado de la correspondiente EBR (Eficiencia Biológica Relativa), para construir la función que relaciona la dosis con el número de trazas contadas por unidad de recorrido.

a) Elementos utilizados

-) Fuente (α, n) de Am-Be (*) con las siguientes características [5] [6] :

Act.: 0,5 Ci

E máxima de los neutrones emergentes: ~ 12 Mev

E media: $\sim 4,4$ Mev

$n/s \cdot 10^6$: 1,25 (**)

-) Placas nucleares Ilford tipo K 2 [7] de 30 x 40 mm y 50 μ de espesor, usadas con una cubierta de cadmio de 0,5 mm.

(*) Con anterioridad se utilizó una fuente de Po-Be. Si bien ambas fuentes tienen características similares para los fines de este trabajo, la utilizada actualmente presenta como ventajas una mayor energía máxima y un semiperíodo (tanto del Am^{241} como de los productos hijas) incomparablemente mayor.

(**) Valor calculado.

-) Para el procesado, revelador D - 19, baño detenedor al 2 % de ácido acético glacial y fijador F - 5.

-) Para la lectura de las placas, microscopio MEOPTA de cte. 1,2 usado con objetivo de inmersión.

b) Verificación

Reemplazando en la fórmula (I) a P por $\frac{p}{V}$, donde V es el volumen observado, expresado a su vez como el producto de sus di mensiones lineales, se tiene:

$$\phi = \frac{p}{N \cdot \bar{V}_{(E)} \cdot e \cdot d \cdot l} \quad \text{cm}^2 \quad (\text{VI})$$

siendo:

p: número de trazas contadas

$$N: = 3,23 \times 10^{22} \frac{\text{at H}}{\text{cm}^3}$$

$$\bar{V}_{(E)} = 1,4 \text{ barn}$$

e: = 50 μm (espesor de la emulsión)

l.d: superficie recorrida en la observación microscópica

$$= K \frac{p/l}{d}$$

donde

K: cte. que depende del fenómeno físico estudiado y de la placa nu clear

l y d: dependen de la técnica de contaje

Sensibilidad: 17 mRem/tr/mm².

Rango de medición: De unos 100 mRem (ver Fig. 2) hasta un límite

superior fijado por la radiación electromagnética, ya que de no existir ésta, la saturación implicaría que todos los núcleos de H interactuaran con los neutrones incidentes.

c) Técnica de conteo de trazas

Fijado el aumento, queda fijado $\underline{d}$, que en general no va ría, por lo que la dosis se representará directamente en función de p/ℓ (mm^{-1}).

Con aumento total 1.000 resulta $\underline{d} = 120 \mu\text{m}$.

Fijada la coordenada X, el movimiento en la dirección Y (sobre la cual se mide $\underline{\ell}$) al mismo tiempo que el desplazamiento en profundidad, se realiza manualmente barriéndose en total una superficie de 12 mm^2 . De tal modo, puede expresarse la dosis di rectamente en función de p/ℓ (mm^{-1}).

Si las trazas a contar son excesivamente numerosas con viene variar $\underline{d}$ (*), modificando el aumento o colocando un retículo calibrado en el ocular.

En estas condiciones, el tiempo neto de lectura de una placa irradiada es de unas $2\frac{1}{2}$ horas, lo que constituye el princi pal inconveniente práctico del método.

Es necesario destacar la importancia de una lectura mi nuciosa de placas no irradiadas, ya que las trazas que ya se en cuentran en ellas inducen la mayoría de los errores de lectura.

(*) Si se hace necesario cambiar $\underline{d}$ (por d') bastará multiplicar la lectura obtenida por $\frac{d'}{d}$ y usar el mismo gráfico.

El problema presentado por la interacción de la radiación electromagnética sobre la emulsión es de suma importancia, ya que generalmente los campos de radiación son mixtos. Ante ello procedemos de dos maneras:

a) Se determina la exposición máxima que permite aún la lectura de la placa (en nuestro caso 10 R) y se evita que la misma permanezca en zonas de mayor exposición.

b) Supuesto sobrepasado por cualquier circunstancia dicho máximo, puede aprovecharse el "fading" en la emulsión, ya que, afectando el mismo a los centros de reducción en general, las trazas siguen siendo detectables, aunque con una lectura más minuciosa. En este caso, el lapso de almacenaje de la placa irradiada no deberá superar los 15 días.

d) Procesado

El procesado de placas nucleares presenta como nuevos problemas en relación a las emulsiones fotográficas comunes, su mayor espesor y el alto contenido de plata [8] .

Entre los reveladores disponibles, se encontró óptimo el D - 19. El mismo, a una temperatura constante entre 18 y 19° C, exige un tiempo que varía entre los 20 y 40 minutos, de acuerdo a la discriminación deseada. Para nuestros fines se trató siempre de revelar durante 33 minutos a 18,4° C.

El baño detenedor consiste en una inmersión de 10 minutos en solución de ácido acético glacial al 2 %, a temperatura del agua de laboratorio.

El tiempo de fijado es un 50 % mayor del necesario para hacer desaparecer la opacidad del haluro de plata, siendo conveniente enfriar el baño a medida que fija, desde unos 20° C hasta 5° C.

El lavado lleva una hora con agua corriendo lentamente. Las placas se dejan luego secar durante unas diez horas.

4. Dosimetría.

Para el cálculo de dosis se tienen en cuenta las hipótesis siguientes:

a) en el rango de energías medido, son fuertemente predominantes las interacciones elásticas con los núcleos de H del tejido acuoso, del 80 a 95 % de la energía transferida [9]

b) dado que el alcance de los protones en tejido acuoso es mucho menor que el camino libre medio de los neutrones, existe "equilibrio de partículas cargadas" a partir de una profundidad igual al alcance del protón más energético producido por neutrones de energías entre 0,5 y 15 Mev. Dicho alcance, para esas energías, es menor de 0,5 cm. (Para $E = 15$ Mev, $R_p = 0,31$ cm)

c) la "dosis de primera colisión" en un punto donde existe "equilibrio de partículas cargadas", es igual a la dosis absorbida en dicho punto [10]

_____ 0 _____

Partiendo de la proporcionalidad entre dosis absorbida y flujo de neutrones, se ha tabulado [5] el factor que los relaciona

a partir del cálculo del Kerma, esto es, de la suma de las energías cinéticas iniciales de todas las partículas cargadas producidas por ionización indirecta en un elemento de masa de tejido acuoso.

Dado que el Kerma es igual a la dosis absorbida en condiciones de "equilibrio de partículas cargadas", conociendo el factor Kerma/flujo correspondiente $\left[3\right]$, para espectros de la fuente Am-Be (*), se construye el gráfico que da la dosis directamente en función de p/q (mm^{-1}). (Fig. 2).

5. Conclusión.

Es fácil ver que el método presentado es solo un primer paso en la dosimetría de neutrones rápidos, y como tal ha sido desarrollado en forma simplificada.

Si bien el espectro de la fuente de calibración será en general distinto al existente en áreas con campos de neutrones, se han tomado factores de seguridad que permiten la utilización del método con absoluta confiabilidad.

Es de esperar que con mejores elementos y mayores posibilidades técnicas se logre más adelante un desarrollo más amplio, un alcance mayor del rango de medición, una mejor y más rápida lectura de placas, etc.

(*) Tomamos, con fines de seguridad, el mayor de los valores calculados: $D_{(E)} = 3,7 \times 10^{-8} \text{ Rem.cm}^2$.

REFERENCIAS

- [1] Beiser, Arthur; Nuclear Emulsion Technique. Review of Modern Physics. V 24; nº 4, 1952.
- [2] Williamson, F.S., Mitacek, P.; Calculations of kerma due to fast neutrons in tissue-like materials. IAEA, neutron Dosimetry, 1966.
- [3] Nachtigall, D.; Flunce-Dose conversion curves and their applications to neutron calibration techniques with (,) sources. IAEA, Neutron Dosimetry, 1966.
- [4] Pérez Ferreyra, El, Waloschek, P. ; Medición de intensidades totales de neutrones rápidos con placas nucleares y su aplicación a la determinación de la distribución angular de los neutrones de la reacción Li (d,n) Be . CNEA, Serie Física Vol. I nº 7, Buenos Aires, 1956.
- [5] ICRU; Physical Aspects of Irradiation. NBS, Handbook nº 85
- [6] Thompson, I.M.G.; Experimental techniques and standards used for evaluating and calibrating neutron survey instruments. IAEA, Neutron Dosimetry 1966.
- [7] ILFORD; TIS/44. 1/A.61
- [8] Powell, C.F., Occhialini G.P.S.; Tracks of charged particles in photographic emulsions.

- [9] NBS; Protection against neutron radiation up to 30 mev.
Handbook n° 63.
- [10] NBS; Measurements of absorbed dose of neutrons, and of mixtures
of neutrons and gamma rays. Handbook n° 75.

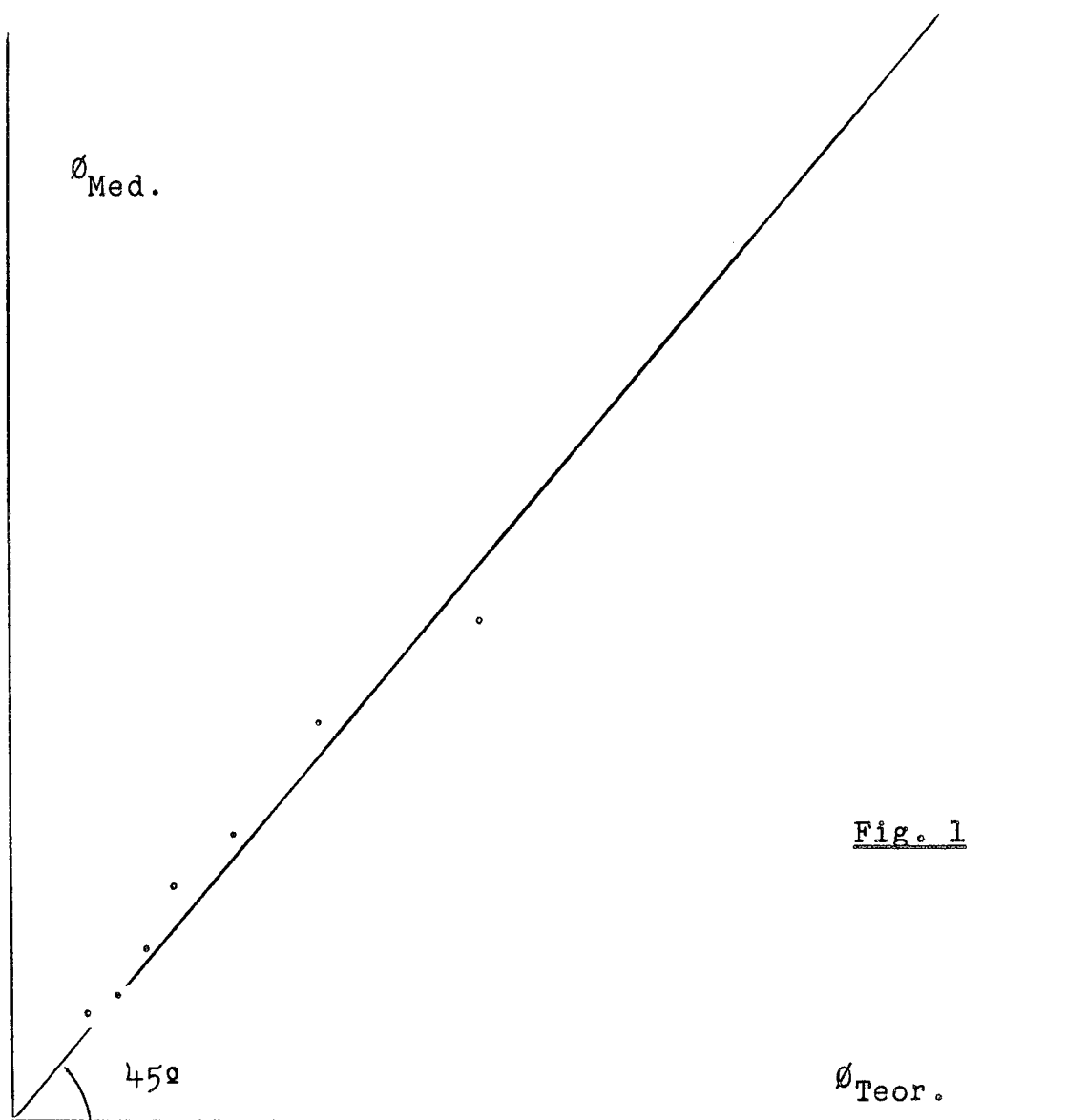


Fig. 1

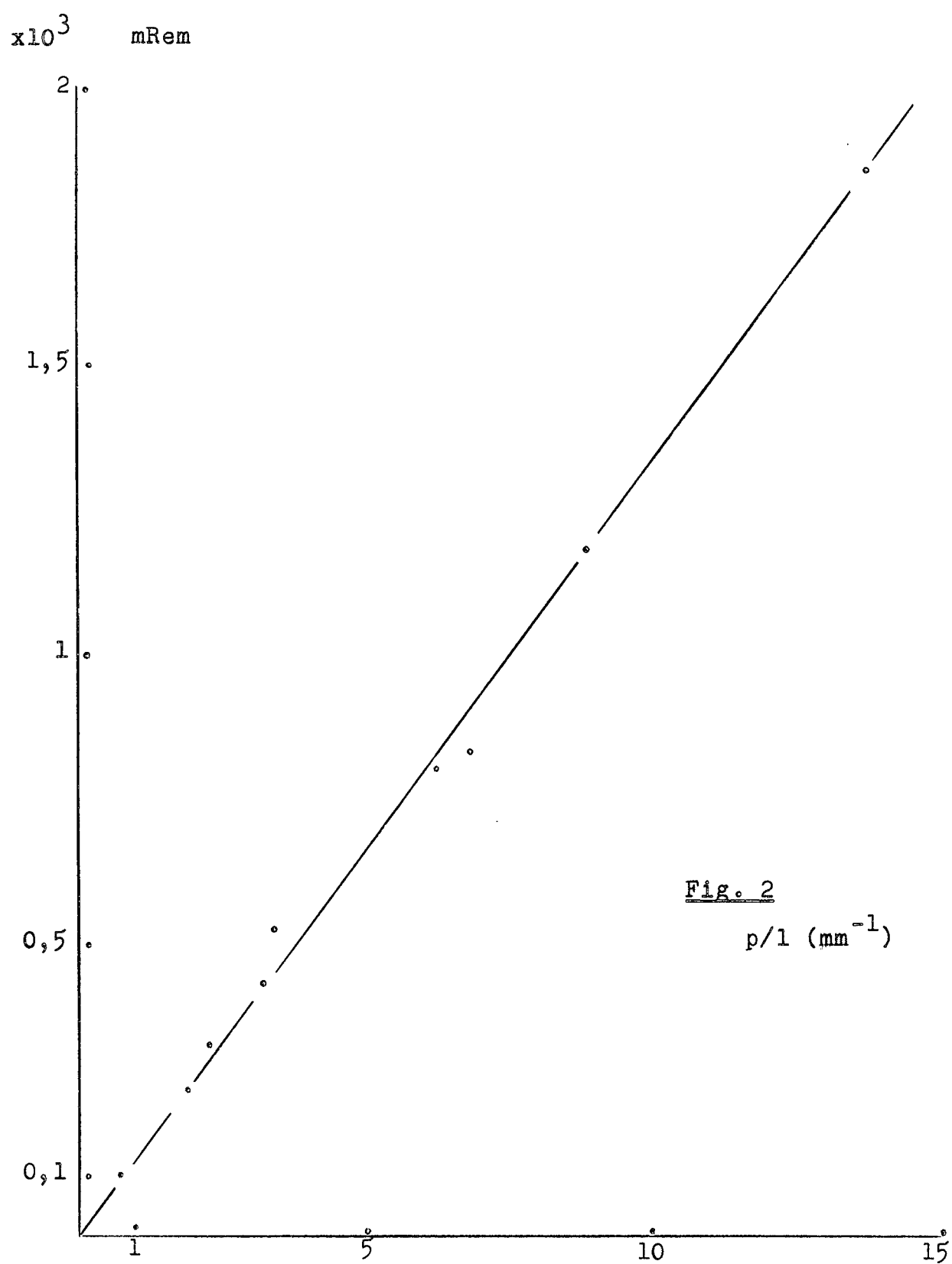


Fig. 2

p/l (mm^{-1})