

Sm 142 72 m K β ⁺ 1,03	Sm 143 340 d K β ⁺ 2,3 α < 2	Sm 145 5-10 ⁷ a K 0,66 kein β ⁺ γ 0,06... e ⁻	Sm 146 14,97 1,2-10 ¹¹ a α 2,23 α 87	Sm 148 11,24	Sm 149 13,83 α 40800	Sm 150 7,44	Sm 151 ~ 93 a β ⁺ 0,076 γ 0,02 α* 12400	Sm 152 26,72 α 140	Sm 153 47 h β ⁺ 0,70, 0,64, 0,80, α 0,10, 0,07...	Sm 154 22,7	
Pm 141 ~ 20 m β ⁺ ~ 2,6 γ	Pm 142 34 s β ⁺ 3,78;... γ	Pm 143 265 d K β ⁺ 0,74	Pm 144 ~ 400 d K kein β ⁺ γ 0,62, 0,70, 0,48...	Pm 145 18 a K 0,14 γ 0,072, 0,067	Pm 146 710 d K β ⁺ 0,78 γ 0,75-0,45	Pm 147 2,65 a β ⁺ 0,23... α 60	Pm 148 42 d 5,3 d β ⁺ 0,13 β ⁻ 2,52 α 33 0,77... α 0,55 α 1,47 α 0,33 0,73 α 0,55 0,71	Pm 149 53 h β ⁻ 1,05, 0,78... γ 0,29...	Pm 150 2,7 h β ⁻ 2,3, 3,16... γ 0,33...	Pm 151 28,4 h β ⁻ 1,1 γ 0,34, 0,17...	Pm 152 6 m β ⁻ 2,2 γ 0,12, 0,24; ~ 1
Nd 140 3,3 d K γ 0,11-0,5	Nd 141 64 s 2,5 h K β ⁺ 0,76 β ⁻ 0,78 γ 0,04; 0,42; 1,14	Nd 142 27,11 α 18	Nd 143 12,17 α 240	Nd 144 23,85 2,4-10 ¹⁵ a α 1,83 α 50	Nd 145 8,30 α 60	Nd 146 17,22 α 1,8	Nd 147 11,1 d β ⁻ 0,81, 0,37... γ 0,09, 0,53... e ⁻	Nd 148 5,73 α 3,7	Nd 149 1,8 h β ⁻ 1,1, 1,5, 0,95 γ 0,03, 0,65	Nd 150 5,62 α 1,5	Nd 151 12 m β ⁻ 2,06; 1,19; 1,82, 1,65 γ 0,09-2,17
Pr 139 4,5 h K β ⁺ 1,0 γ 1,3; 1,6...	Pr 140 3,4 m K β ⁺ 2,37... γ 1,60, 0,90...	Pr 141 100 α 10,8	Pr 142 19,1 h β ⁻ 2,15; 0,58 γ 1,57 α 18	Pr 143 13,7 d β ⁻ 0,93 kein γ α 89	Pr 144 17,3 m β ⁻ 2,98, 2,29... γ 0,69...	Pr 145 5,9 h β ⁻ 1,80... γ 0,07-1,15	Pr 146 25 m β ⁻ 3,7, 2,3 γ 0,46; 1,49; 0,75	Pr 147 12 m β ⁻ 0,32-1,7	Pr 148 2 m β ⁻ 0,30	7	0,4
Ce 138 9,2 ms 0,250 Jy 0,30 0,80 1,04 α 0,007 0,6	Ce 139 60 s 140 d Jy 0,75 K kein β ⁺ α 0,17	Ce 140 88,48 α 0,31	Ce 141 32,5 d β ⁻ 0,44, 0,58 γ 0,15	Ce 142 11,07 α 0,94	Ce 143 33,4 h β ⁻ 1,09; 1,38; 0,50... γ 0,06; 0,29; 0,67... α 6,0	Ce 144 284 d β ⁻ 0,32, 0,19, 0,24 γ 0,13, 0,08...	Ce 145 3,0 m β ⁻ 2,0... γ...	Ce 146 14 m β ⁻ 0,70 γ 0,32; 0,22; 0,14...	Ce 147 1,2 m β ⁻	Ce 148 0,7 m β ⁻	0,7
La 137 6-10 ⁴ a K kein γ	La 138 0,089 1,1-10 ¹¹ a K kein β ⁺ α 0,21 γ 1,43, 0,81	La 139 99,911 α 8,2	La 140 40,2 h β ⁻ 1,38, 1,10; 0,83... γ 1,60, 0,49; 0,37; 0,82...	La 141 3,9 h β ⁻ 2,43; 0,91 γ 1,37	La 142 92 m β ⁻ ~ 4,0... γ 0,63; 2,40; 0,90; 2,08...	La 143 14,0 m β ⁻ 3,30... γ 0,63; 1,17; 0,80; 1,98...	La 144 kurz β ⁻	07.65.02			
Ba 136 7,81 α 0,016 + ?	Ba 137 2,6 m 11,32 Jy 0,66 α 5,1	Ba 138 71,66 α 0,5	Ba 139 85 m β ⁻ 2,30, 2,14; 1,40... γ 0,17; 0,78... α 4	Ba 140 12,8 d β ⁻ 1,01, 0,48; 0,6; 0,9 γ 0,54, 0,03; 0,44, 0,16...	Ba 141 18 m β ⁻ 2,8... γ 0,19; 0,29; 0,46...	Ba 142 11 m β ⁻ ~ 4... γ 0,26; 0,89; 1,20...	Ba 143 13 s β ⁻	Ba 144 kurz β ⁻			1,7
Cs 135 2,0-10 ⁶ a β ⁻ 0,21 kein γ α 8,7	Cs 136 13 d β ⁻ 0,34, 0,66 γ 0,83; 1,07; 0,34...	Cs 137 30 a β ⁻ 0,51, 1,18 α ~ 2	Cs 138 32 m β ⁻ 3,40... γ 1,43; 1,01; 0,46; 2,21...	Cs 139 9,5 m β ⁻ 4,3... γ	Cs 140 66 s β ⁻ 0,59	Cs 141 kurz β ⁻	Cs 142 ~ 1 m β ⁻	Cs 143 kurz β ⁻	Cs 144 kurz β ⁻		2,6
Xe 134 10,44 α ~ 0,2	Xe 135 15,7 m 9,2 h Jy 0,53 α 0,91... γ 0,25... α 2,7-10 ⁵	Xe 136 8,87 α 0,15	Xe 137 3,9 m β ⁻ 3,5 γ 0,27, 0,45	Xe 138 17 m β ⁻ 2,4 γ 0,42; 0,51; 1,78; 2,0	Xe 139 41 s β ⁻ 0,90-0,52	Xe 140 16 s β ⁻	Xe 141 1,7 s β ⁻	Xe 142 ~ 1,5 s β ⁻	Xe 143 1 s β ⁻	Xe 144 ~ 1 s β ⁻	3,1
I 133 21 h β ⁻ 1,23, 0,59... γ 0,53; 0,87...	I 134 53 m β ⁻ 2,41; 1,25; 1,49... γ 0,85; 0,89; 0,61, 1,07...	I 135 6,7 h β ⁻ 1,0, 0,47, 1,4 γ 1,14, 1,28; 1,72...	I 136 83 s β ⁻ 4,2; 7,0; 5,6; 2,7 γ 1,32; 0,40; 0,27...	I 137 24 s β ⁻ n	I 138 6 s β ⁻ n	I 139 2,7 s β ⁻ n			5,9	5,9	5,6
Te 132 78 h β ⁻ 0,22... γ 0,05; 0,23 e ⁻	Te 133 50 m ~ 2 m Jy 1,3, 2,4 β ⁻ ~ 2,4 α 0,75; 0,91 α 0,43... Jy 0,33	Te 134 42 m β ⁻ 0,20, 0,26; 0,17...							5,8	5,8	4,0
Sb 131 23 m β ⁻	Sb 132 2,1 m β ⁻	Sb 133 4,1 m β ⁻	Sb 134 0,8 m β ⁻						5,8	6,4	6,4
									86	88	
									6,0		

C.N.E.A. Biblioteca
ARCHIVO PUBLICACIONES
Nº 1
AÑO 1965

Manual del

Curso de Metodología y

Aplicación de Radioisótopos

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

BUENOS AIRES — REPUBLICA ARGENTINA



2.0.0 INSTRUMENTACION PARA DOSIMETRIA

Los instrumentos empleados en dosimetría tienen por finalidad determinar la energía absorbida por unidad de masa (es decir, la dosis) en el elemento irradiado que se está analizando.

En la práctica se utilizan con mayor frecuencia detectores gaseosos (especialmente cámaras de ionización) pero también puede efectuarse la dosimetría con indicadores químicos, con métodos calorimétrico, con filmes fotográficos, o con dosímetros sólidos (por cambio de color, por cambio de conductividad eléctrica, por fotoluminiscencia o por termoluminiscencia).

2.1.0 DETECTORES GASEOSOS DE RADIACIONES IONIZANTES

Cuando un haz de radiaciones atraviesa un medio cualquiera, interacciona con el mismo y se producen ionizaciones ya sea por acción directa o indirecta.

Si entre dos electrodos, entre los cuales se aplica una diferencia de potencial V , existe un gas que es atravesado por radiaciones, los iones formados en el mismo, tienden a dirigirse hacia los electrodos de signo contrario. (figura 1).

Sea q' la carga eléctrica de los iones de cada signo producidos inicialmente por una cierta radiación en la masa del gas considerado. Si la tensión que se aplica es muy pequeña, los iones se desplazan lentamente hacia los electrodos y pueden en su mayor parte recombinarse antes de alcanzarlos.

Por lo tanto, la carga colectada será menor que q' (figura 2, curva 1) hasta que la tensión alcanza un valor V_i necesario para que todos los iones formados inicialmente sean colectados.

Desde V_i hasta un cierto valor V_c la carga colectada se mantiene aproximadamente constante, y ésta es la zona en la cual trabaja la cámara de ionización.

Cuando la tensión es mayor que V_c los iones formados inicialmente adquieren suficiente energía como para producir a su vez ionizaciones que aumentan el valor de la carga colectada. En esa zona se emplea el contador proporcional.

Si la diferencia de potencial entre los electrodos se aumenta aún más, se llegará a un valor de tensión V_g a partir del cual la ionización secundaria es tal que todo el gas queda ionizado y la carga colectada es independiente de la ionización inicial. El contador Geiger-Muller trabaja en esta zona de tensiones.

Si la carga producida por ionización inicial es mayor que q' , la curva correspondiente (II) estará por encima de la I en la zona de cámara de ionización y de contador proporcional pero en la zona Geiger Muller, ambas curvas coinciden.

2.1.1 Cámara de ionización

Los detectores gaseosos constan en general de un electrodo exterior cilíndrico y un electrodo interior consistente en una varilla metálica colocada en correspondencia con el eje del cilindro (figura 3).

Cuando un detector trabaja en la zona de cámara de ionización, puede coleccionar prácticamente todas las cargas producidas en la ionización inicial y la corriente que puede detectarse mide en cierta escala la energía que el haz de radiaciones cede al gas en la unidad de tiempo.

Esta cámara no es adecuada para medir el número de partículas o fotones que llegan a la misma.

2.1.2 Contador proporcional

Si una radiación ionizante atraviesa un detector que trabaje en la zona de contador proporcional, el número de iones coleccionados será, para una tensión dada, proporcional al número de iones producidos inicialmente y por lo tanto proporcional a la energía cedida al gas encerrado en el detector.

Debido a esto es posible medir la energía entregada al contador por cada partícula, ya que se registra un pulso de tensión proporcional a la carga coleccionada.

Al mismo tiempo, contando el número de pulsos, es posible conocer el número de partículas que interaccionan con el detector.

Para que la medición realizada sea correcta, es necesario que las partículas interaccionen con una separación en el tiempo tal que los pulsos de tensión no se superpongan.

El equipo electrónico asociado al contador posee un discriminador que impide el registro de pulsos de altura inferior a un valor dado con el fin de eliminar los pulsos de ruido.

Dado que en los contadores proporcionales, la carga coleccionada es mucho mayor que la producida inicialmente, se logran pulsos de tensión suficientemente grandes como para ser detectados a pesar del discriminador. Esto no sería posible con una cámara de ionización.

2.1.3 Contador Geiger Muller

Cuando un detector trabaja en la zona Geiger Muller, no es posible analizar la energía cedida por las radiaciones ionizantes pues como se ha visto la carga colectada es independiente de la ionización inicial.

Este detector se lo emplea para conocer el número de radiaciones que interaccionan con el mismo pues es suficiente una ionización inicial para que se detecte un pulso de tensión.

2.2.0 INSTRUMENTOS PARA LA MEDIDA DE LA EXPOSICION

2.2.1 Cámara de aire libre o cámara "standard"

Estas cámaras se usan como patrones primarios para la medición de exposiciones. En estas cámaras el volumen es mucho mayor que la zona donde ocurre ionización primaria, de modo de recoger todos los iones provenientes de la ionización secundaria causada por los electrones puestos en movimiento por la radiación.

Consisten en una cámara blindada con un colimador de entrada (figura 4). La fuente de radiación debe ser suficientemente lejana como para permitir un haz prácticamente paralelo dentro de la cámara.

Los electrodos están a una distancia del haz mayor que el alcance de los electrones secundarios más energéticos.

El campo eléctrico debe ser paralelo y esto se consigue con electrodos suplementarios, de los cuales no se saca corriente de ionización a medir.

De esta manera, el volumen (V) donde ocurre la interacción primaria de la radiación γ ó X que origina la ionización que se mide, está dado por:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot l$$

donde r es el radio de la entrada del colimador y l es la longitud del electrodo colector. En ese volumen se transfiere energía de la radiación a electrones, los que luego la disipan en un volumen mayor, definido por la distancia entre los electrodos.

Si i es la corriente de ionización obtenida, la exposición en la unidad de tiempo en roentgen/seg, resulta, en condiciones normales de temperatura y presión:

$$\dot{X} = \frac{i \text{ (Amp)}}{\pi \cdot r^2 \cdot l \text{ (cm}^3\text{)}} \cdot \left(3 \times 10^9 \frac{\text{uesq}}{\text{seg} \cdot \text{Amp.}} \right) \cdot \left(1 \frac{\text{Roentgen}}{\text{uesq/cm}^3} \right)$$

Las dimensiones lineales de la cámara pueden ser reducidas aumentando la presión de gas, de modo de disminuir el alcance de los electrones. Estas cámaras son demasiado pesadas y voluminosas para mediciones de rutina y son sólo usadas como patrones primarios de calibración.

2.2.2 Cámara dedal

Consiste en una pequeña cámara de ionización que contiene aire y cuya pared es de un material equivalente al aire, de un espesor por lo menos igual al alcance máximo de los electrones más energéticos que se ponen en movimiento por interacción de la radiación con la pared de la cámara. (figura 5).

El fundamento que permite emplear esta cámara como un instrumento para medir la exposición en un campo de radiaciones es el siguiente: Considérese un pequeño volumen (Δv) de aire rodeado de aire atravesado por un haz de fotones (figura 6). Si ese volumen se encuentra en una zona de equilibrio, la energía que ceden al medio (incluido Δv) los electrones y positrones en movimiento en ese volumen, será igual a la parte de la energía que ceden en ese volumen los electrones y positrones puestos en movimiento en todo el medio (incluido Δv).

Por lo tanto el número de pares de iones que forman en el medio (incluido Δv) los electrones y positrones puestos en movimiento en ese volumen, es igual al número de pares de iones que se producen dentro de ese volumen.

En ese caso, si se puede recoger la carga eléctrica de cada signo (ΔQ) de los iones formados en ese elemento de volumen y se conoce la masa Δm de dicho volumen, se puede calcular la exposición en ese lugar, dividiendo esas magnitudes. Si se expresa ΔQ en u.e.s. y Δm en g. para obtener la exposición en roentgen se hará $\frac{\Delta Q}{\Delta m} \times 1,293 \times 10^{-3}$. En condiciones normales de temperatura y presión se verifica que la exposición en roentgen se obtiene directamente dividiendo ΔQ por Δv .

Si el aire que rodea al elemento de volumen analizado, se condensa en una pared que rodee a dicho volumen, se obtiene prácticamente, el mismo resultado.

Para lograr el equilibrio electrónico, es necesario que el espesor de esa pared sea por lo menos igual al alcance máximo de los electrones puestos en movimiento (figura 7). Por otra parte conviene que esa pared sea lo más delgada posible a fin de que la absorción en la misma no altere sensiblemente el valor de la exposición.

Cuando la energía de los fotones incidentes es superior a 3 MeV es imposible lograr el equilibrio electrónico. Esta es una de las razones por la cual no se recomienda la medida de la exposición para energías por encima de ese valor.

En la práctica se utilizan como materiales para la construcción de la pared, aquellos que se comportan en forma equivalente al aire (por ejemplo la baquelita) y se recubre el interior de la pared con una delgada capa de un material conductor, que hará de electrodo (por ejemplo aluminio o grafito).

La carga ΔQ puede medirse de dos maneras. Si se hace circular por un circuito exterior es posible medir la intensidad de corriente y en consecuencia calcular la exposición en la unidad de tiempo.

Si en cambio se aplica una diferencia de potencial conocida entre los electrodos, sin conectar la cámara a un circuito exterior, al irradiarla durante un cierto tiempo la caída de potencial será proporcional a la carga colectada. Conociendo la capacidad de la cámara podrá calcularse ΔQ y de esa manera determinar la exposición durante el tiempo de irradiación.

A pesar de que, como se ha visto, es posible determinar directamente la exposición con una cámara dedal, calculando $\Delta Q/\Delta v$, en la práctica se calibra esta cámara contra un equipo patrón.

Uno de los motivos por el cual conviene efectuar tal calibración es la imposibilidad de conseguir una pared para la cámara que se comporte exactamente igual que el aire para cualquier energía del haz de fotones incidentes.

Pequeñas diferencias en el número atómico efectivo de la pared con respecto al número atómico efectivo del aire hacen que la respuesta de la cámara varíe con la energía, especialmente cuando predomina el efecto fotoeléctrico, es decir a bajas energías.

Por lo tanto, cuando se emplea una cámara dedal para medir exposiciones, es necesario disponer de una curva de calibración en función de la energía que permita corregir las lecturas realizadas.

Esta curva está dada para determinadas condiciones de temperatura y presión (T_c y p_c). Habitualmente p_c vale 760 mm de Hg y $T_c = 295^\circ \text{ K}$ (22° C). Cuando la cámara no es estanca y al efectuar una medición la temperatura y/o presión son distintas de T_c y p_c debe efectuarse una corrección multiplicando por el factor siguiente:

$$F(T, p) = \frac{p_c}{p} \cdot \frac{T}{T_c}$$
 donde T y p son la temperatura y la presión en el momento de la medición. Las temperaturas T y T_c deben expresarse en grados Kelvin.

En resumen, cuando se realiza una medición con una cámara dedal, y se ha obtenido una lectura L , el valor de la exposición se obtiene aplicando la fórmula:

$$\dot{X} = L \times F_{\lambda} \times F(T, p)$$

donde F_{λ} es el factor que se obtiene de la curva de calibración de la cámara en función de la energía efectiva del haz de radiaciones.

2.2.3 Filmes monitores

Este tipo de dosimetría es usado ampliamente para el monitoreo del personal expuesto profesionalmente a radiaciones.

Los filmes constan de cristales de bromuro de plata suspendidos uniformemente en gelatina. Cuando la radiación atraviesa al emulsión se liberan electrones y algunos átomos de plata se neutralizan (se reducen), formándose una "imagen latente". Si se añade un agente reductor débil, los cristales que tienen "núcleos reducidos" completan su reducción. Este proceso es el revelado del film. Mediante algunos ácidos débiles, tales como el ácido acético, se detiene el proceso de revelado y subsiguientemente se eliminan los cristales no desarrollados con soluciones de tiosulfato. Este proceso se denomina fijado del film.

El velado del film está relacionado con la exposición a la cual estuvo sometido. Este velado suele expresarse cuantitativamente por la densidad óptica del film revelado (D) definida por:

$$D = \log \frac{I_0}{I}$$

siendo I_0 la intensidad de un haz luminoso cualquiera incidente sobre el film e I la intensidad del haz emergente.

Las densidades ópticas son medidas con densitómetros, que consisten en una fuente luminosa, una fotocélula y un circuito medidor de corriente.

Para bajas exposiciones, la densidad óptica es prácticamente proporcional a la exposición; a valores altos la relación se aparta de la linealidad. El tipo de curva es relativamente independiente de la energía de la radiación; no obstante, los valores absolutos dependen mucho de esa energía. Por este motivo, para determinar las dosis recibidas durante el trabajo con radiaciones, se debe tener información sobre las energías involucradas. Esto resulta normalmente difícil de obtener y por lo tanto debe incluirse en el sistema dosimétrico alguna manera de estimar la energía de la radiación.

Habitualmente los filmes son cubiertos parcialmente por diversos absorbentes. La energía aparente de la radiación puede determinarse por la relación entre las densidades de zonas blindadas y descubiertas.

Para calibrar el sistema fotográfico de monitoraje se exponen filmes a exposiciones conocidas, producidas por radiaciones de energía diversa. De esta manera se obtienen varias curvas de densidad contra exposición (figura 8).

Con los filmes cuya exposición se quiere determinar se sigue el siguiente procedimiento: a) se estima la energía aparente de la radiación según lo mencionado anteriormente; b) entrando en la curva de energía correspondiente se obtiene la exposición.

El revelado de los filmes de calibración y de los usados como monitores debe hacerse simultáneamente. Las condiciones de temperatura del baño, agitación y tiempo de revelado influyen fuertemente sobre la relación densidad-exposición y deben ser mantenidos bajo estricto control.

2.3.0 CALCULO DE LA DOSIS CUANDO SE CONOCE LA EXPOSICION

De acuerdo con lo expresado en el punto 8 del capítulo "Dosimetría de radiaciones ionizantes", puede calcularse el valor de la dosis (o de la dosis en la unidad de tiempo) en un punto, en un medio dado, conociendo la exposición (o la exposición en la unidad de tiempo) en dicho punto.

La fórmula que vincula esas magnitudes es:

$$D \text{ (rad)} \approx X \text{ (roentgen)} \times f$$

y es válida sólo cuando existe equilibrio electrónico. En realidad, al introducir la cámara en un punto de un medio cuya dosis se desea averiguar, se produce un desplazamiento del medio y la exposición medida no corresponde exactamente al valor buscado. Sin embargo, el error que se comete es menor que el 1% para energías menores que 2 MeV.

BIBLIOGRAFIA

Johns H., The Physics of Radiology.

Hine G.J. y Brownell G.L., Radiation Dosimetry.

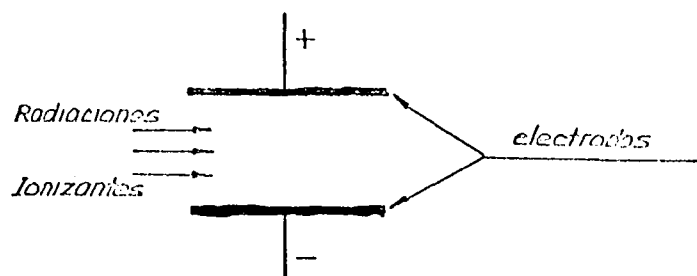


Figura 1

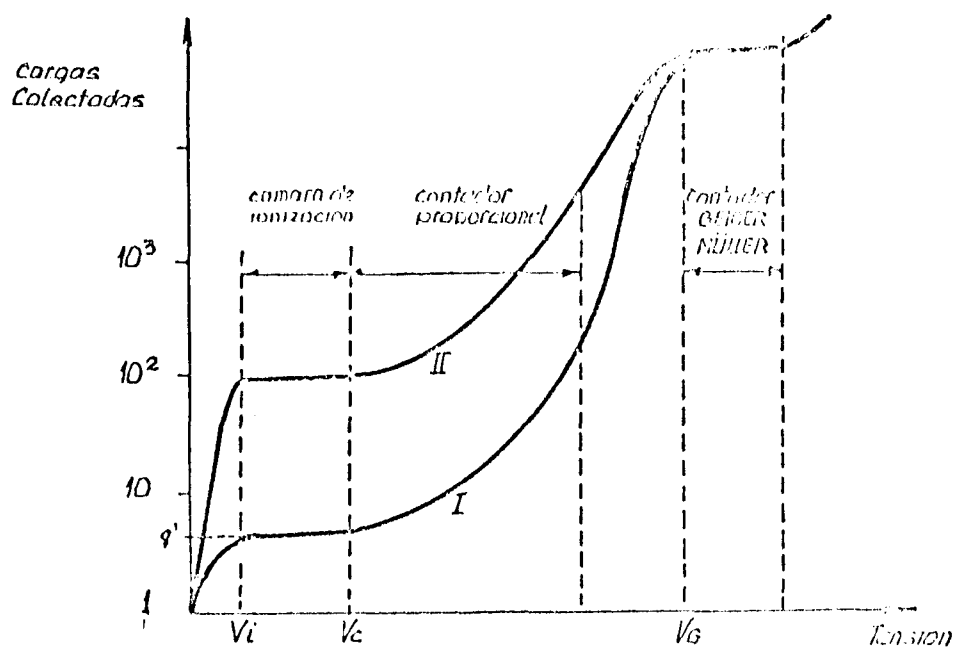


Figura 2

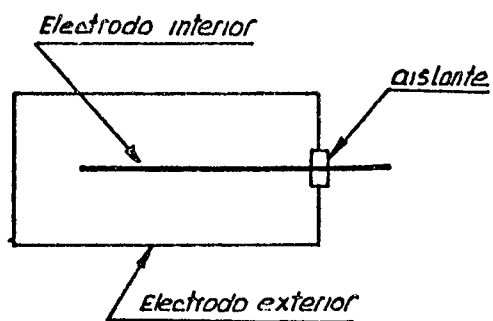


Figura 3

Camara de aire libre

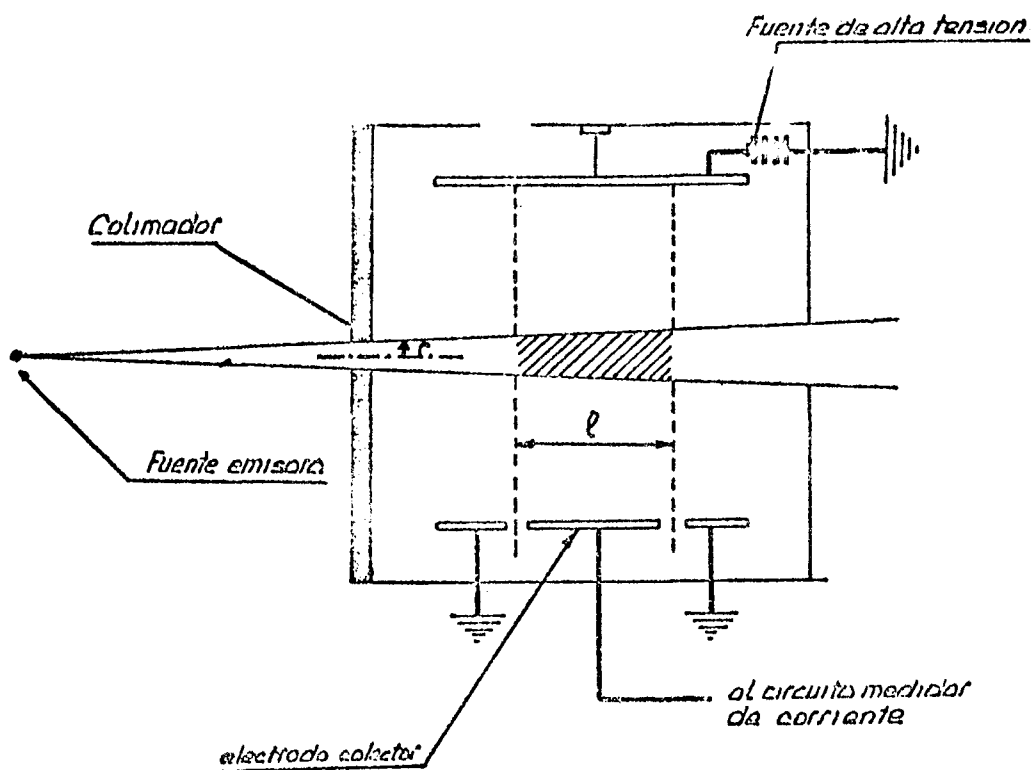


Figura 4

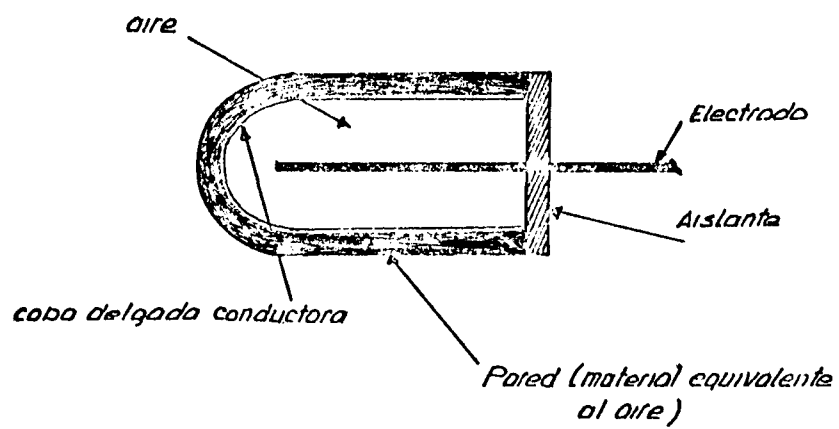


Figura 5

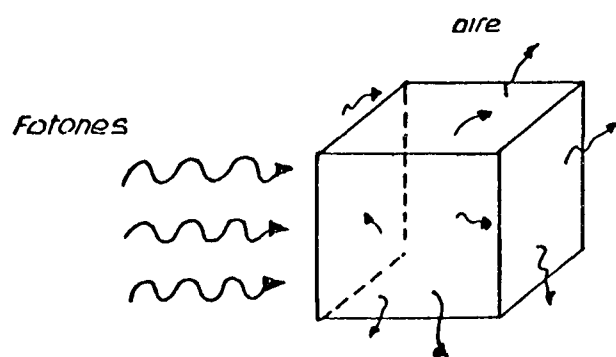


Figura 6

ALCANCE DE LOS ELECTRONES EN DIVERSOS MEDIOS

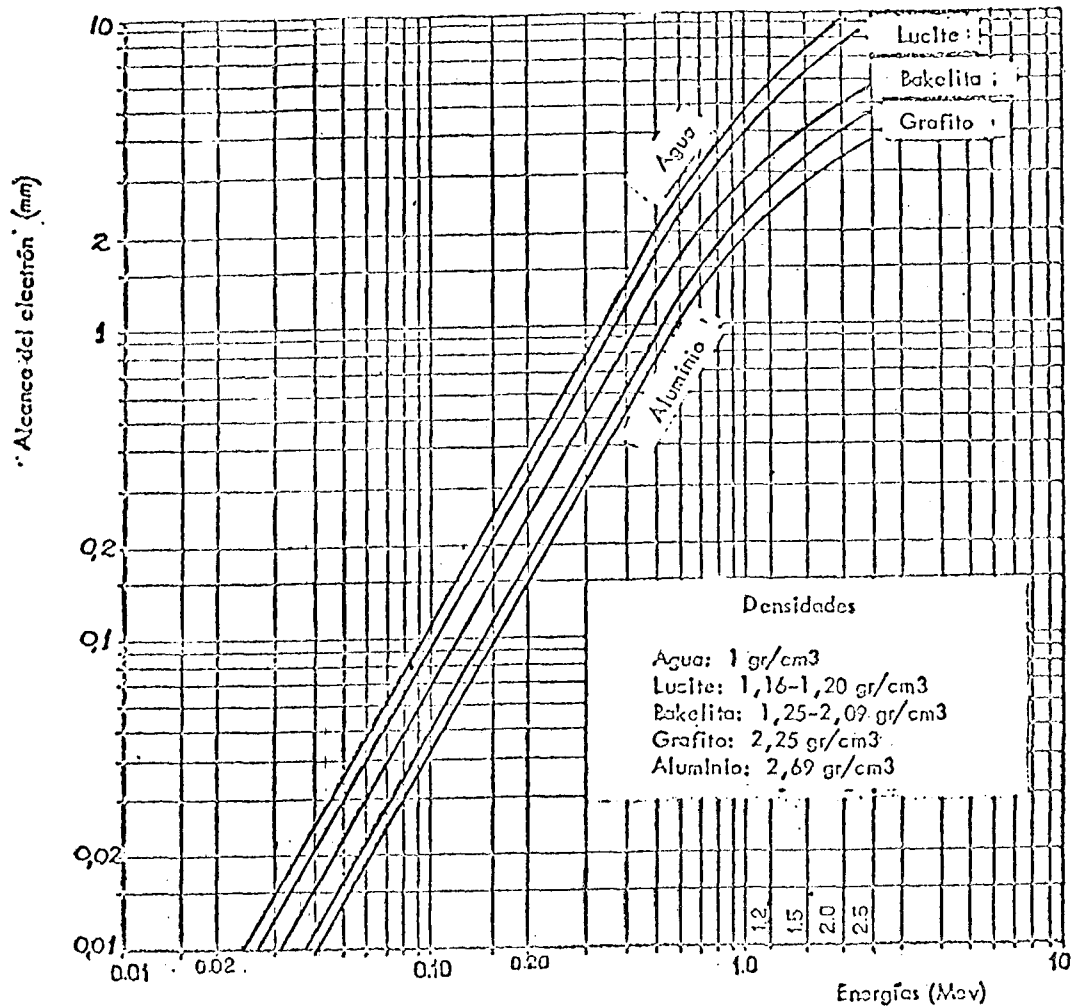


Figura 7

METODO DE CALIBRACION DE FILM - DOSIMETROS

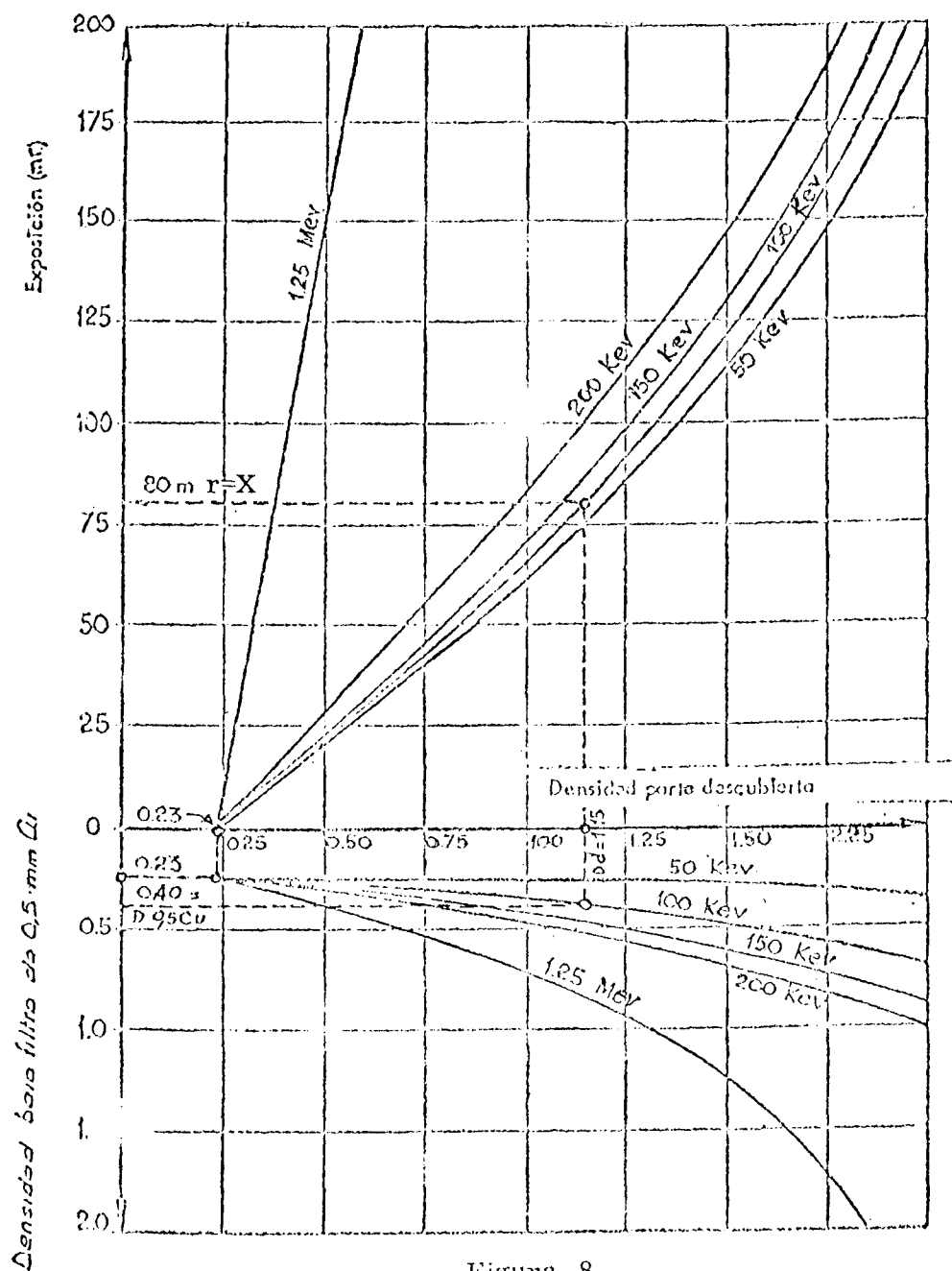


Figura 8