

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1959

REPUBLICA ARGENTINA

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

CURSO DE APLICACION DE RADIOISOTOPOS

INSTRUMENTOS PARA LA DETECCION DE RADIACIONES

María Cristina Palcos de Enquin y Josefina Rodríguez

INSTRUMENTOS PARA LA DETECCION DE RADIACIONES

Los instrumentos de medición utilizados en el trabajo con radioisótopos se pueden dividir en dos grandes tipos:

- 1º) Instrumentos que detectan la radiación y conservan esta información: instrumentos con memoria.
- 2º) Instrumentos que detectan la radiación pero no la memorizan. Estos instrumentos después de un cierto tiempo se encuentran en las condiciones originales. Este tiempo recibe el nombre de tiempo muerto del instrumento.

Al primer tipo corresponden los que se basan en la excitación y ionización producida por las radiaciones al atravesar la materia.

Podemos distinguir:

- a) los que utilizan las cargas eléctricas producidas por la radiación.
- b) la luz producida por la radiación.

Como ejemplo del primer tipo tenemos el método de las placas nucleares.

Las radiaciones producen un efecto similar al de la luz sobre los halogenuros de plata contenidos en la emulsión fotográfica. Esto fue observado por primera vez en el histórico experimento de Becquerel, quien colocó trozos de uranio sobre placas fotográficas envueltas en papel negro, observando luego la aparición de una silueta de la sustancia sobre las placas. Estas habrían sido impresionadas a pesar de no haber luz.

Cuando las placas son atravesadas por las radiaciones, los cristales de halogenuros de plata se alteran y se forman núcleos de plata reducida, produciéndose el cambio más intensamente en los lugares más expuestos de la placa. Luego se pasa la placa a un revelador, que contiene un agente reductor. Este continúa el efecto producido por la radiación, pero no tiene acción sobre las partes no afectadas. Finalmente en el revelador se eliminan los cristales no alterados, lográndose el fijado de la imagen. La placa se lava y deja secar.

Este método se aplica en la autorradiografía, en la cual se colocan trozos histológicos que presentan incluidos materiales radiactivos. La placa aparecerá impresionada en los lugares que corresponda a la inclusión del material radiactivo.

En el segundo tipo de detectores sin memoria, se encuentran los que reaccionan al actuar sobre ellos una radiación, entregando una información a un equipo auxiliar. Al cabo de un tiempo, llamado tiempo muerto, están en las mismas condiciones que antes de haberse producido el fenómeno.

Aparatos que detectan por medición de las cargas eléctricas producidas por las radiaciones.

Las partículas cargadas, al atravesar la materia, dejan en su camino una serie de átomos o moléculas ionizadas. Las partículas neutras y los rayos gamma no producen ionización directa sino indirecta.

Los instrumentos descriptos a continuación miden la ionización directa o indirecta producida por el pasaje de las radiaciones en la materia.

Cámara de ionización.

Uno de los primeros equipos eléctricos que se utilizó fué la cámara de ionización.

Esquemáticamente, consta de dos electrodos que están aislados entre sí, conectados uno, el ánodo, a una fuente de alta tensión y el otro, el cátodo a tierra, de manera que entre ambos se establece una diferencia de potencial de V voltios.

El espacio interior se llena con un gas, comúnmente argón.

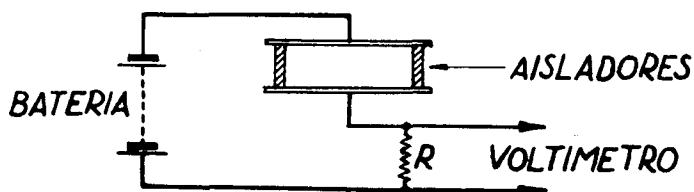


Figura 1.- Cámara de ionización

En las cámaras de ionización puede medirse la llamada corriente de saturación, en cuyo caso se trata de una cámara de corriente de ionización, o pueden medirse los pulsos o las variaciones de voltaje producidas entre los electrodos debido al arribo de iones a los mismos. En este caso se habla de una cámara de pulsos.

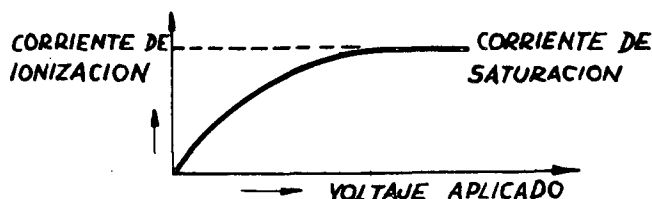


Figura 2.- Corriente de ionización en función del voltaje aplicado.

Cuando entra una partícula alfa o beta se produce la ionización del gas. Si la diferencia de potencial es pequeña, estos iones se moverán lentamente, se recombinarán en su mayor parte y no podrán alcanzar los electrodos. Si seguimos aumentando el voltaje, cada vez llegarán más iones positivos al electrodo conectado a tierra y más electrones negativos al colector conectado a la alta tensión, hasta que el voltaje alcance un valor V_S en el que todos los iones formados llegarán a los electrodos.

Aunque aumentemos la tensión, no podrá aumentar la cantidad de iones que llegan a las placas, porque este valor está limitado por el número de desintegraciones que emite la fuente por unidad de tiempo. Se observará que durante un cierto intervalo de variación del voltaje, no habrá variación en el número de iones que llegan por unidad de tiempo a los electrodos, y como consecuencia, la corriente de descarga del condensador permanecerá constante, es decir se habrá alcanzado la corriente de saturación.

Las cámaras de ionización trabajan en esa zona.

Esas corrientes de ionización, que son generalmente muy pequeñas, del orden de 10^{-13} a 10^{-14} amperios, se miden ya sea por medición del voltaje a través de una gran resistencia ($V = Ri$) o por medición del tiempo necesario para cargar un pequeño condensador.

Otras veces se trata de medir el pulso o la caída de voltaje que se produce entre los electrodos, por llegada de los iones a las placas.

Estos pulsos son muy pequeños, menores de los que puede registrar un escalímetro, por lo tanto es necesario amplificarlos (cerca de 10^5 veces), lo que se logra con un amplificador. Luego se discrimina para eliminar el ruido de válvulas, (fondo) y por fin la señal llega al escalímetro donde es observada.

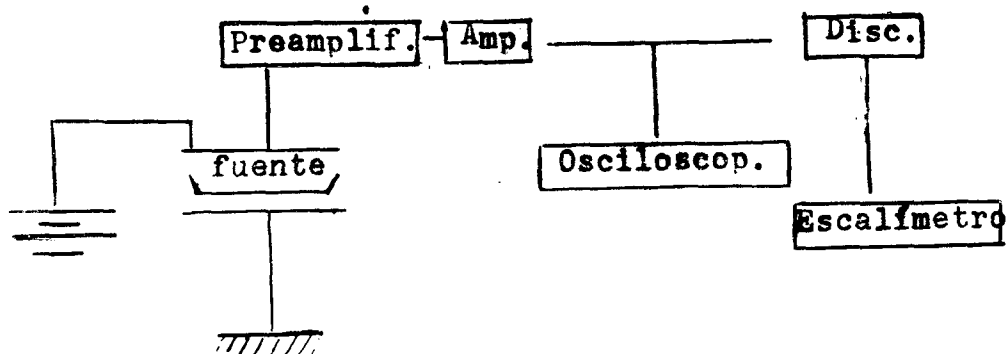


Figura 3.- Equipo con cámara de ionización

Con las cámaras de ionización se pueden medir radiaciones alfa, beta y gamma, inclusive las de muy baja energía.

Las muestras se pueden poner afuera de la cámara, en cuyo caso las radiaciones pasan a través de una ventana de mica.

Otras veces la muestra se coloca adentro, y en esta forma se pueden medir radiaciones muy blandas.

Para gammas se utilizan cámaras de paredes gruesas y a veces llenadas con gas a presión.

Contadores del tipo Geiger.

En este tipo de detector se reemplazan los electrodos planos de la cámara por un electrodo cilíndrico y uno en forma de hilo central.

En el caso de electrodos de planos paralelos, el gradiente de voltaje es el mismo en todo el espacio entre las placas, excepto en los bordes, y está dado por la diferencia de potencial entre las placas sobre la distancia entre las mismas

$$E = \frac{V}{d}$$

En cambio, en el caso de dos electrodos del tipo de ánodo en forma de hilo, y de cátodo en forma de cilindro que rodea a éste, el gradiente de voltaje no es uniforme sino que aumenta muchísimo en el hilo y su vecindad. En el caso de dos electrodos en que la distancia entre el centro del hilo y la pared del cilindro es de 1 cm, el diámetro del hilo 4×10^{-3} cm y la diferencia de voltaje aplicada de 1000 volts, se tiene un gradiente entre pared e hilo es de 180 volts/cm, mientras que el gra-

diente en el hilo y un pequeño espacio que lo rodea es de $4,5 \times 10^4$ volts/cm.

Ese condensador cilíndrico con el hilo central de tungsteno es la base del contador Geiger-Muller. En el cilindro se ha hecho el vacío y se ha llenado con una mezcla de argón y alcohol etílico. La presión total es aproximadamente de 10 cm de mercurio.

El cátodo se pone a tierra y el ánodo a un potencial positivo.

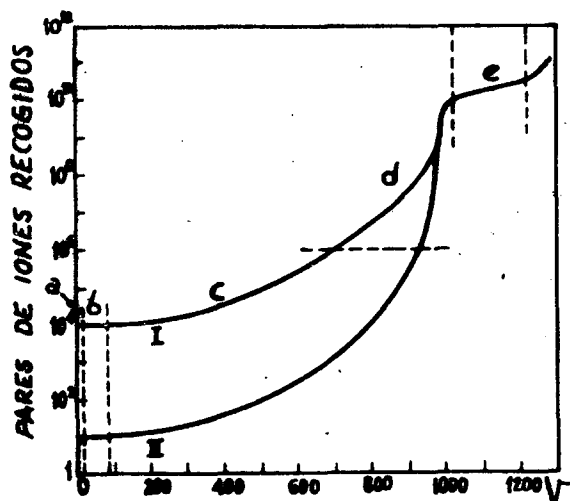


Figura 4.- Número de iones recogidos en función del voltaje

Observando los fenómenos que se producen a medida que aplicamos potenciales crecientes al tubo contador, podremos distinguir varias zonas:

a) a muy bajos potenciales, la mayoría de los electrones se recombinan con los iones positivos. En los electrodos sólo se recoge una carga muy pequeña.

b) región de la cámara de ionización. Cuando todos los iones llegan a los electrodos se tiene la corriente de saturación - el número de iones recogidos se mantiene constante para potenciales comprendidos entre pocos volts y 100 volts.

En la figura 4 el número de pares de iones recogidos para cada partícula ionizante es indicado sobre una escala logarítmica en función del voltaje aplicado. La curva superior representa las condiciones para una partícula alfa y la inferior para una beta.

c) la región proporcional.

Trabajando a potenciales del orden de 100 volts algunos de los electrones que son acelerados por el campo entre los electrodos alcanzan su suficiente energía cerca del hilo central para producir ionización de los átomos del gas con los que chocan. Una colisión produce un nuevo electrón y un ión positivo.

Ambos electrones son ahora acelerados hacia el hilo central, donde son eventualmente recogidos.

Cuando se aplican potenciales más altos, nuevos electrones son capaces de hacer colisiones ionizantes. Los electrones secundarios producidos en estas colisiones también alcanzan suficiente energía para producir nuevas ionizaciones.

Para potenciales aplicados entre 100 y 600 o 700 volts, el número de colisiones ionizantes en un contador dado, depende solamente del potencial aplicado.

Hay así un factor de amplificación correspondiente a cada potencial aplicado, y el número de pares de iones recogidos en los electrodos es proporcional al número original formado por el pasaje de la partícula ionizante.

Esta proporcionalidad se observa en la figura 4 donde la distancia entre las curvas α y β , es constante en la región C. Los contadores que operan en esta región se llaman contadores proporcionales y se usan a menudo para distinguir entre diferentes partículas, ya que la amplitud del pulso resultante es proporcional al número de pares de iones recogidos. Es fácil distinguir entre partículas alfa y partículas beta por las amplitudes de los pulsos que ellas producen en el contador.

Partículas de la misma clase pero de diferentes energías pueden ser discriminadas si se usan equipos convenientes.

d) región de la proporcionalidad limitada.

Las cargas totales de un gran número de electrones e iones positivos son suficientemente grandes para deformar el campo eléctrico dentro del contador.

El número de colisiones ionizantes que se producen a más altos potenciales está limitado por esta causa.

Para potenciales de 600 a 700 volts y 1000 volts, el contador opera en una región de proporcionalidad limitada: para un aumento de voltaje aumenta el tamaño del pulso, pero cada vez menos.

e) La región de Geiger-Müller: alrededor de 1000 voltios, el contador alcanza completa saturación.

Un par de iones originales es suficiente para producir el número total de electrones y iones positivos; cada descarga ahora se distribuye uniformemente a lo largo de todo el hilo central.

El número finalmente recogido es independiente del número inicial de pares de iones formados por la partícula ionizante, siempre que haya al menos uno.,

A más altos potenciales, la carga recogida por los electrodos permanece independiente del número inicial formado, a pesar de que la altura del pulso todavía aumenta un poco con el voltaje aplicado.

Esta zona es llamada la región del Geiger-Müller, y adopta la forma de una meseta. Los contadores Geiger-Müller operan en esta región

f) descarga continua.

La región de Geiger-Müller se limita a altos potenciales por la producción de más de una descarga por cada partícula, o por la descarga continua en el contador.

Contador Geiger-Müller

De acuerdo a su estructura, existen dos tipos: los de pared de vidrio y los de ventana de mica o tipo campana. Los primeros tienen paredes gruesas de 20-30 mg/cm² mientras los campana tienen ventana de 1,8 a 8 mg/cm².

Con los primeros sólo se pueden medir radiaciones de energías mayores que 0,3 MeV. Con los de ventana se pueden detectar betas de energías muy bajas y aún partículas alfa.

En cuanto al gas de llenado, puede ser argón y alcohol o halógeno.

Los del primer tipo son muy comunes, trabajan aproximadamente a 1000 V y tienen una vida limitada ya que las moléculas de alcohol se destruyen después de haber contado del orden de 10⁸ cuentas. Los de halógeno trabajan alrededor de los 500 V, resisten temperaturas muy bajas y son de gran duración.

A todos se les debe exigir una meseta o plateau de más de 100 V de extensión y pendiente menor del 5%.

La eficiencia para los rayos gamma es muy baja: alrededor del 1% para gammas de 1 MeV, debido a la poca ionización específica que producen.

Se puede aumentar la eficiencia aprovechando las partículas cargadas producidas por la radiación primaria en las paredes del contador.

Se construyen contadores con paredes relativamente gruesas de plomo, bismuto o cobre.

Contadores Proporcionales

Son extensamente usados.

Generalmente son metálicos, con una superficie interna muy brillante y un hilo central muy fino.

Trabajan a voltajes más elevados que el Geiger-Müller; con un gas de llenado que circula constantemente (flow-counter) a presión atmosférica. Los gases de llenado usados son metano, argón o gas natural.

CONTADOR PROPORCIONAL

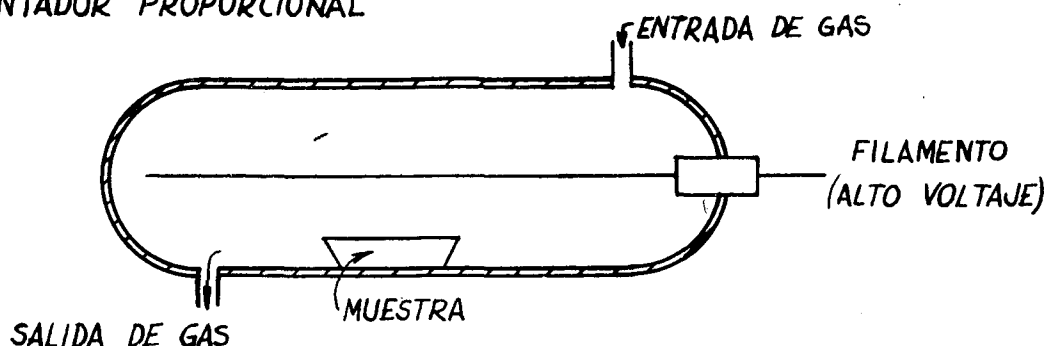


Figura 5.- Esquema del contador proporcional

Las principales ventajas de estos contadores son: mayor estabilidad que el Geiger-Müller a los cambios de temperatura, menor tiempo muerto y posibilidad de distinguir radiación alfa y beta.

Sus desventajas se deben al hecho de que requieren equipos electrónicos más elaborados: fuentes de alta tensión de mayor rango y mejor estabilizadas, y discriminadores que seleccionen pulsos de un tamaño dado.

Pueden adaptarse para mediciones absolutas, construyéndose modelos que permitan lograr geometría 4 π .

También operan en la zona proporcional los contadores para neutrones de fluoruro de boro. Aprovechan la ionización secundaria causada por los productos de la reacción nuclear $B^{10} (n, \alpha) Li^7$. Se produce sobre el B^{10} , que es uno de los isótopos estables del boro natural.

Contadores de centelleo

Sirven para detectar diversos tipos de radiaciones, mediante el cambio de centelleador.

El primero utilizado fué el sulfuro de Zn para detección de partículas alfas. Actualmente se utiliza SZn activado con cobre o plata, o cristales de ICs.

Para la detección de radiación beta se utilizan centelleadores orgánicos del tipo del antraceno.

Por último los más difundidos son los cristales inorgánicos para la detección de rayos gamma o X. Se usan fundamentalmente los cristales de INa o IK, activados con talio.

Se los puede adquirir de diversos tamaños y formas para mejorarla geometría.

Tienen gran eficiencia y bajo tiempo muerto.

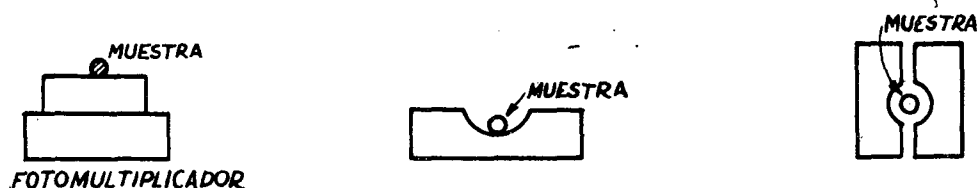


Figura 6,- Cristales

El esquema del dispositivo de medición completo es el siguiente:-

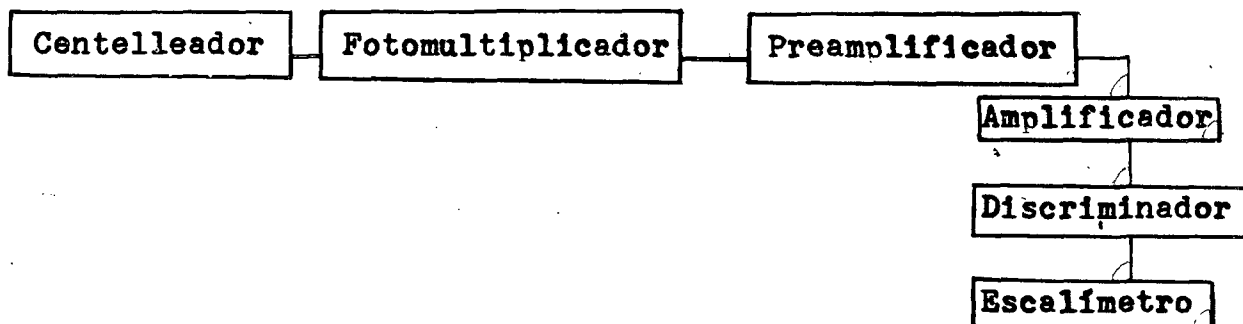


Figura 7.- Esquema

Supongamos que tenemos una partícula ionizante que incide en el centelleador y disipa su energía en la excitación o ionización. Una fracción de ésta energía es convertida en fotones, los que son irradiados en todas direcciones.

Algunos de estos fotones caen sobre el foto-cátodo del tubo multiplicador y emiten un determinado número de foto-electrones. Estos foto-electrones son acelerados por el potencial aplicado entre el cátodo y el primer electrodo del tubo. Al chocar en el primer electrodo cada foto-electrón emite varios nuevos electrones por emisión secundaria.

Este proceso de multiplicación se repite en los siguientes electrodos, cada uno de los cuales está a más alto potencial que el precedente.

Finalmente, después de una multiplicación alrededor de 10^6 a 10^9 la avalancha de electrones llega al plato colector. Se produce un pulso de voltaje a la salida del fotomultiplicador, el cual se aplica a un circuito externo de registro de pulsos.

En esta forma, la energía inicial de una partícula ionizante es transformada en un simple pulso de voltaje, el cual puede ser usado para detectar y medir. El cristal y el tubo fotomultiplicador se encierran en una caja liviana para eliminar otros efectos que los debidos a la radiación incidente.

Cuando la radiación gamma penetra en el centelleador pueden tener lugar tres tipos de fenómenos a saber: absorción fotoeléctrica, efecto Compton y formación de pares.

En los tres casos aparecen electrones a expensas de la radiación gamma primitiva.

La magnitud de cada uno de estos efectos depende del tipo de centelleador y de la energía del gamma.

Si se desea que la energía total de estos electrones secundarios sea totalmente absorbida en el centelleador, es necesario que las dimensiones del mismo sean grandes comparadas con el alcance R de los electrones.

Parte de esta energía es emitida por el centelleador en forma de fotones de frecuencia ν_p , energía E_p y longitud de onda λ_p .

$$\lambda_p = \frac{c}{\nu_p}$$

$$E_p = h \nu_p$$

La energía de estos fotones es propia de cada cristal.

Si el rayo que entra al cristal sufre efecto fotoeléctrico, transferirá toda su energía a un electrón. Este puede disipar parte o toda su energía en el centelleador. Esta energía se transformará en un cierto número de fotones monoenergéticos. Si el electrón entregó toda su energía y el cristal devuelve en forma de luz una energía E_I , el número de fotones emitidos será $P = \frac{E_I}{E_P}$, que podrán incidir en el fotocátodo.

Este número de fotones P pasan al fotocátodo del fotomultiplicador y saldrán P_1 electrones, que se multiplicarán hasta llegar al ánodo, produciendo un pulso proporcional a P_1 , proporcional a P , el que es proporcional a E_I , la que a su vez lo es a la energía del gamma.

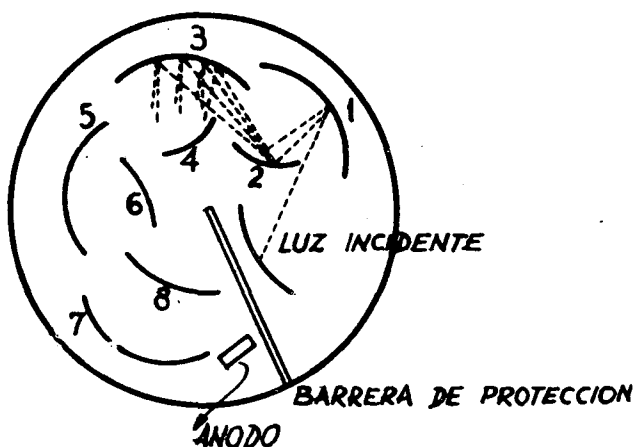


Figura 8.- Fotomultiplicador

Por lo tanto hay una correspondencia entre la energía de la radiación y la amplitud del pulso producido por el fotoelectrón (pico fotoeléctrico).

Esto permite realizar espectros de energías. Efectivamente, si tenemos una sustancia que tiene dos rayos $\gamma = \gamma_1$; 1 MeV y γ_2 ; 0,5 MeV, aparecerá un fotopico correspondiente a 1 MeV, con su primer Compton y su 2° Compton. El primer Compton proviene del efecto Compton dentro del cristal, el 2° depende de la geometría.

Aparecerá otro fotopico correspondiente a 0,5 MeV, con su primer Compton y su segundo Compton. Es necesario que haya respuesta lineal del cristal de centelleo a las distintas energías.

Espectro de un emisor con un solo rayo de energía E.

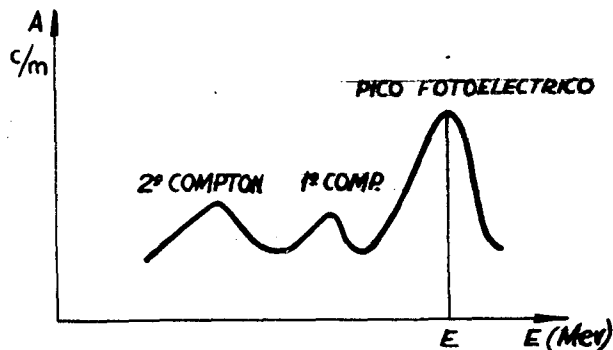


Figura 9.- Espectro

Para contar separadamente las diversas energías debe disponerse de algún tipo de discriminador.

Este puede ser simple o compuesto, llamado canal.

Discriminador simple

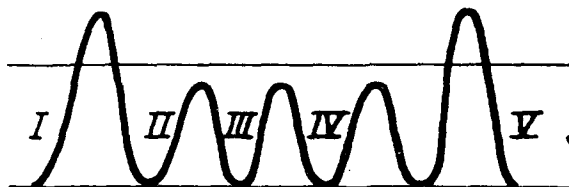


Figura 10.- Calibración en energías

En el discriminador simple se discrimina por la base del pulso.

Se cuentan los pulsos por encima de un cierto valor de la energía.

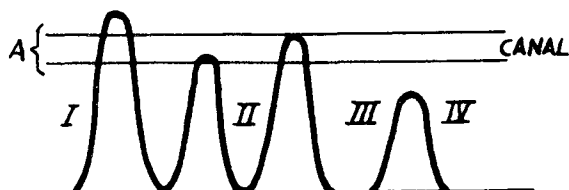
I y V se registran

II, III y IV no se registran

Canal

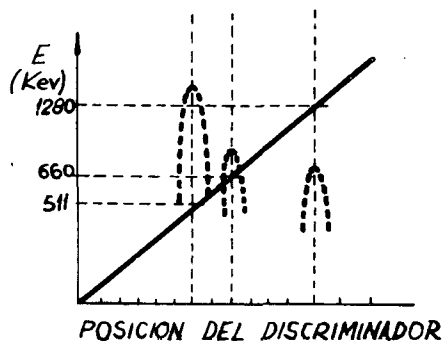
Discrimina por base y altura. Puede desplazarse a zonas de distinta energía. También puede variarse su ancho A para abarcar rayos correspondientes a un intervalo de energía mayor o menor.

I y IV no se registran II y III se registran.



Para obtener mediciones absolutas con estos equipos deben hacerse calibraciones del instrumento. La calibración en energías nos permite saber que energía corresponde a una determinada posición del discriminador.

En esta calibración se utilizan ciertos emisores de energía bien conocida, como el Cs^{137} , 660 MeV y el Na^{22} , 511 y 1280 MeV.



La calibración en rendimiento permite saber la eficiencia con que se detecta una determinada energía. Es necesaria para estudiar esquemas de desintegración.

Equipos electrónicos utilizados:

Los pulsos provenientes de los detectores, Geiger-Müller, contador proporcional o contadores de centelleo, deben ser contados o registrados mediante equipos electrónicos.

Entre estos se encuentran los escalímetros, que cuentan pulso por

pulso mediante un sistema de luces de neón, y un contador mecánico.

En general, tienen un tiempo muerto pequeño. Se construyen modelos automáticos que permiten fijar de antemano el intervalo de medida o el número de cuentas que se detectarán.

Los integradores dan una medición continua; no se observan pulsos individuales. Estos deben ser de igual altura y forma y se acumulan en un condensador. En algunos modelos se mide la corriente de descarga y en otros, el potencial entre las placas del condensador.

La constante de integración T del sistema debe ser grande con respecto a la duración de un pulso. Debido a esto no alcanzan el equilibrio instantáneamente. Por lo tanto habrá que esperar para hacer la lectura un lapso de tiempo de aproximadamente $5 T$. Generalmente estos aparatos permiten elegir entre varias constantes de tiempo.

Los integradores son muy útiles cuando se desea hacer un registro continuo de la actividad de un preparado. La corriente se registra por medio de un mili o microamperímetro de registro gráfico.

Los monitores en general funcionan como integradores. Se usan para mediciones aproximadas con fines de protección o inspección.

Suelen estar calibrados en actividades o en roentgen. Son aparatos portátiles.