

PRACTICA 1: CARACTERIZACIÓN DE UN CONTADOR GEIGER-MÜLLER

1.1. INTRODUCCIÓN

Entre los detectores de radiación nuclear, uno de los más usuales es el detector Geiger-Müller. Consiste en un cilindro en cuyo interior hay una mezcla de gases, normalmente argón y helio, a presión de 1 atm o menos. A lo largo del eje del cilindro se coloca un hilo conductor muy fino. Aplicando una tensión V entre el hilo y la pared del cilindro, ésta se convierte en el cátodo, y el hilo central en el ánodo de un sistema de recogida de carga.

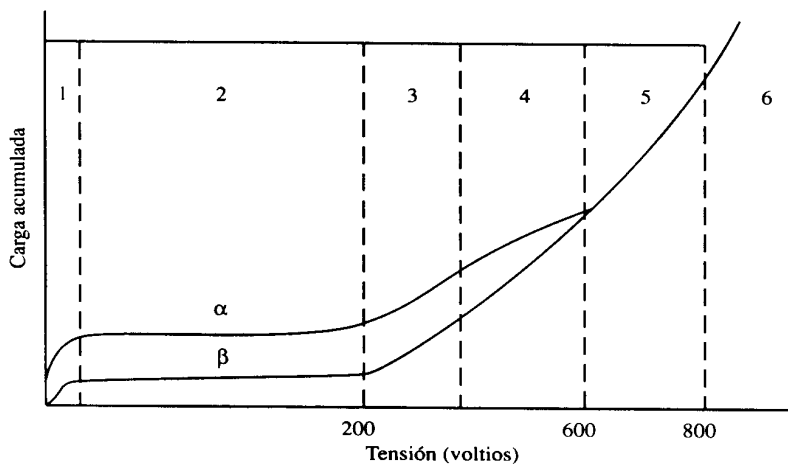


Figura 1.1. Variación de la carga acumulada vs. la tensión aplicada en un detector gaseoso de ionización ideal

En el caso de un detector gaseoso de ionización ideal, cuando una partícula cargada penetra en el interior del detector, crea a su paso pares iónicos, de

forma que al aplicar un campo eléctrico entre cátodo y ánodo, las cargas positivas serán aceleradas hacia el cátodo y las negativas hacia el ánodo. Si el campo eléctrico aplicado es pequeño, algunos de los pares iónicos se recombinan entre sí antes de llegar al electrodo correspondiente, por lo tanto la carga recogida es menor de lo que debería. Es la condición inicial, zona (1) de la fig. 1.1. Al aumentar el campo eléctrico, todos los pares iónicos llegan a los electrodos, es la zona de cámara de ionización, zona (2). Al aumentar la tensión, los iones formados adquieren suficiente energía como para producir a su vez nuevos iones, este fenómeno se conoce como ionización secundaria. La carga recogida es mayor que la inicial, pero proporcional a ella según un factor llamado factor de amplificación. Esta es la zona proporcional, zona (3). Al seguir aumentando la tensión aumenta el factor de amplificación, hasta que llega un momento en que la ionización secundaria es tan grande que crea un campo repulsivo en las proximidades de los electrodos, de forma que la carga acumulada ya no es proporcional a la incidente, es la zona de proporcionalidad limitada, zona (4). Al crecer más el campo la carga recogida aumenta con el voltaje aplicado y la descarga se extiende a todo el volumen del contador, por ello es independiente de la ionización inicial producida por la partícula, y por tanto de su energía. En esta región es donde trabaja el **detector Geiger**, zona (5). Finalmente a un nuevo aumento de la tensión, es tal la avalancha de electrones secundarios producidos, que se llega a una descarga continua, zona (6). Para extinguir esta descarga se suele introducir en el gas trazas de algún halógeno, Cl o Br, de forma que neutralicen parte de los iones.

1.1.1. INSTRUMENTACIÓN

El detector Geiger se aloja dentro de un blindaje de plomo para disminuir la radiación de fondo procedente del exterior. El castillete de blindaje permite colocar la fuente radiactiva, cuya actividad se desee medir, a una altura adecuada. El flujo de partículas incidente penetra en el interior del Geiger a través de una ventana de mica. El campo eléctrico entre los electrodos se aplica mediante una fuente de alta tensión que puede proporcionar hasta 1.000 V. El impulso dado por el Geiger se lleva a una escala de recuento.

1.1.2. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA

1. Determinación de la curva característica con la meseta o “plateau” del contador y de su pendiente. Tensión umbral y tensión de operación.
2. Obtención del tiempo de resolución (Método de la dos fuentes).
3. Determinación de la eficiencia del detector, con muestras calibradas.

1.1.3. CURVA CARACTERÍSTICA

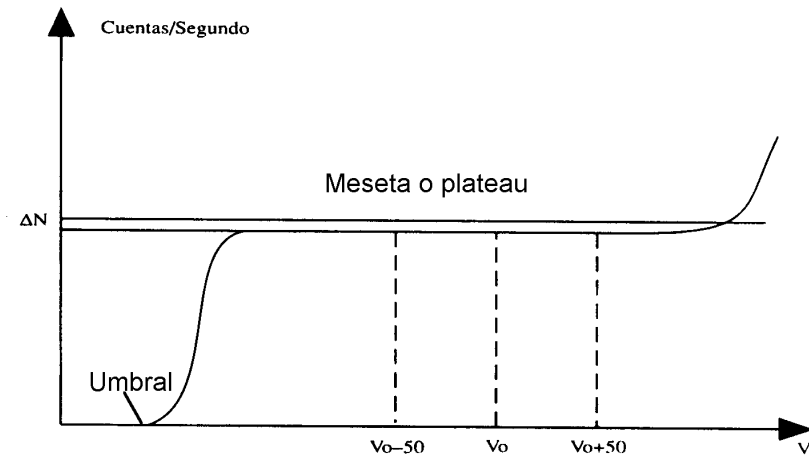


Figura 1.2. Curva característica

La curva característica de un contador Geiger suele tener la forma de la fig. 1.2. Para tensiones bajas el número de impulsos por unidad de tiempo, dados por el sistema como respuesta a un flujo de partículas incidente, aumenta con la tensión hasta que se estaciona a lo largo de unos 200 Voltios. Después vuelve a crecer por la multiplicación secundaria. La tensión de trabajo, lógicamente, debe

estar comprendida dentro de esta zona plana o “plateau” de la curva, puesto que en ella no afectan las pequeñas fluctuaciones de la tensión de alimentación. La pendiente de esta zona es la medida de la bondad del contador, y se define como $\Delta N/N$, en 100 Voltios, siendo N el número de impulsos por unidad de tiempo. Para un buen detector Geiger esta pendiente suele ser de 2-3 % e incluso inferior.

MODO DE OPERAR

- a) Asegurese que el contador tiene el voltímetro puesto al mínimo antes de encenderlo.
- b) Colocar la fuente radiactiva de Co-60 en una de las bandejas inferiores del castillete.
- c) Poner el tiempo de conteo con el reloj, en 90 s ó 2 min para cada medida.
- d) Aumentar el voltaje justo hasta que la escala empieza a registrar cuentas.
- e) Registrar la tensión a la cual la escala empezó a contar.
- f) Aumentar la tensión en pequeños intervalos y tomar medidas del conteo.
- g) Repetir las medidas hasta que se observe un aumento mayor de lo habitual.
No sobrepasar esa tensión para evitar la descarga continua en el detector.

CÁLCULOS

1. Represente en escala lineal las cuentas en ordenadas frente al voltaje en abscisas, obteniendo la curva característica.
2. Determine la tensión umbral. $V_u =$
3. Calcule la longitud de la meseta (en voltios)

$$V_f - V_i =$$

Siendo V_i, V_f la tensión al comienzo y al final de la meseta.

4. Indique la tensión de trabajo.
Conviene elegir el punto medio de la meseta si su longitud es igual o menor que 200 V, y $V_i + 100$ si es superior a 200 V.

$$V \text{ (trabajo)} =$$

5. Calcule la pendiente relativa al punto medio de la meseta expresada en tanto por ciento por 100 voltios, según la ecuación :

$$\text{Pendiente}(\% \text{ por } 100 \text{ V}) = \frac{(R_f - R_i)/[(R_f + R_i)/2]}{(V_f - V_i)/100} \times 100$$

Siendo R_i, R_f los Bq al comienzo y al final de la meseta.

$$P(\% \text{ } 100 \text{ V}) =$$

1.1.4. FONDO

Debido a la radiación externa de rayos cósmicos y a la radiación natural de los elementos de las paredes y de los que están en el ambiente, al ruido electrónico del propio detector, etc., existe un fondo que depende también de la naturaleza del blindaje. Este fondo habrá que medirlo y descontarlo siempre de las medidas que se realicen.

1.1.5. TIEMPO MUERTO Y TIEMPO DE RESOLUCION

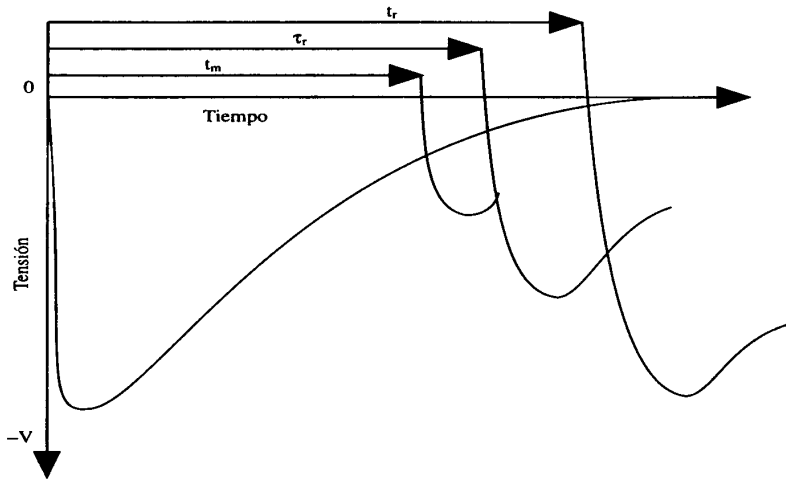


Figura 1.3. Tiempo muerto del detector

Supongamos que en el instante t , el contador ha detectado una partícula. Hasta que no pase un cierto tiempo (del orden de $100 \mu s$), el detector no es capaz de detectar otra debido al campo repulsivo creado por la ionización producida por la primera partícula en torno a los electrodos. Esto es porque los iones positivos, que se mueven muy lentamente, crean una carga espacial alrededor del ánodo. Este tiempo se llama tiempo muerto del detector (t_m), fig. 1.3. La amplitud de este segundo impulso es menor que el primero y puede suceder que no se detecte en la unidad de recuento. Al tiempo τ_r que transcurre hasta dar un impulso de amplitud suficiente se llama tiempo de resolución del sistema. Para una sensibilidad fija del receptor, en la práctica es lo mismo tiempo muerto que tiempo de resolución. Después de un tiempo t_r el impulso dado por el detector tiene una amplitud igual al impulso inicial. Este se llama tiempo de recuperación del contador.

Evidentemente las partículas que lleguen al detector en un tiempo inferior al de resolución del sistema, no serán contadas. Sea N el número real de partículas

emitidas por una fuente en el intervalo de tiempo t . N' el número de impulsos que da el sistema en el mismo intervalo de tiempo como respuesta a N . El tiempo total durante el cual el sistema ha estado parado debido al tiempo de resolución es $N'\tau_r$ y el número de partículas no contadas por este motivo ha sido $\tau_r N'N/t$, con lo que se puede escribir:

$$N - N' = N'\tau_r N/t$$

Dividiendo los dos términos por t y llamando $N/t = A$ y $N'/t = A'$ se tiene:

$$A - A' = A'\tau_r A$$

de donde se deduce:

$$A = \frac{A'}{(1 - A'\tau_r)} \quad (1)$$

que permite obtener el número real de partículas emitidas por unidad de tiempo, en función de la cantidad medida A' .

METODO EXPERIMENTAL

Uno de los métodos para determinar el tiempo de resolución es el conocido como el Método de las dos fuentes: Sean A_1 , A_2 y A_{12} el número real de partículas emitidas por segundo por la primera fuente radiactiva, por la segunda y por las dos juntas, respectivamente. Sea F la radiación de fondo por segundo. Se tiene:

$$A_1 - F + A_2 - F = A_{12} - F$$

o lo que es lo mismo

$$A_1 + A_2 = A_{12} + F$$

Sean A'_1 , A'_2 , A'_{12} y F' el respectivo número de cuentas por segundo dadas por el detector como respuesta a las actividades medidas.

Aplicando la ecuación (1), se tiene:

$$\frac{A'_1}{1 - A'_1\tau_r} + \frac{A'_2}{1 - A'_2\tau_r} = \frac{A'_{12}}{1 - A'_{12}\tau_r} + \frac{F'}{1 - F'\tau_r}$$

Si los denominadores son suficientemente pequeños se pueden aproximar los términos de la ecuación mediante la expresión :

$$\frac{A'}{1 - A'\tau_r} \approx A' + A'^2\tau_r$$

de lo que resulta

$$\frac{1}{\tau_r}(A'_{12} + F' - A'_1 - A'_2) = A'^2_1 + A'^2_2 - F'^2 - A'^2_{12}$$

con que:

$$\tau_r = \frac{A'_{12} + F' - A'_1 - A'_2}{A'^2_1 + A'^2_2 - F'^2 - A'^2_{12}} \quad \text{segundos}$$

MODO DE OPERAR

- a) Se utilizarán dos muestras radiactivas con actividades diferentes para las medidas.
- b) Se pondrá la tensión de trabajo establecida en el punto anterior.
- c) Coloque la muestra 1 en el portamuestras y determine el número total de cuentas y la tasa de recuento (A'_1).
- d) Introduzca la muestra 2, sin variar la posición de la 1, mida el número total de cuentas y la tasa de recuento (A'_{12}).
- e) Retire la muestra 1 y mida con la 2 sin variar su posición. Determine la tasa de recuento (A'_2).
- f) Mida el fondo con el castillete vacío. Determine la tasa de recuento (F').

- g) Repetir las medidas (c), (d), (e) y (f) varias veces con el mismo tiempo de medida.
- h) Utilizando la fórmula (2), determinar el tiempo de resolución.

IMPORTANTE:

La posición de las muestras debe ser la misma cuando se están midiendo juntas que cuando se están midiendo solas.

MEDIDAS

Tiempo de acumulación, $t =$

	A'_1			
Cuentas				
Valor medio-Cuentas				
Bq				

	A'_{12}			
Cuentas				
Valor medio-Cuentas				
Bq				

	A'_2			
Cuentas				
Valor medio-Cuentas				
Bq				

	F'			
Cuentas				
Valor medio-Cuentas				
Bq				

RESULTADOS

Tiempo de resolución, $\tau_r =$

1.1.6. EFICIENCIA DEL DETECTOR

Se puede definir como eficiencia de un detector, ε , como el cociente entre el número de partículas que son detectadas en el sistema de recuento y el número real de partículas que emite la fuente. La eficiencia del Geiger para partículas cargadas

α y β , es muy alta, mientras que para la radiación γ es mucho menor, pues la interacción de esta radiación con las paredes del detector y el gas de llenado es más difícil. Los neutrones no pueden ser detectados por un Geiger, a menos que se recubran sus electrodos con B^{10} .

MODO DE OPERAR

- a) El sistema de medida debe haber alcanzado una buena estabilidad.
- b) Coloque en el castillete una muestra calibrada.
- c) Debe medirse la muestra hasta acumular al menos 1.500 cuentas.
- d) Mida después el fondo, retirando la muestra.
- e) Corrija por fondo el número de cuentas obtenidas de la fuente patrón. Determine la tasa de recuento en Bq.
- f) Actualice la actividad real de la muestra desde su calibración.
- g) Calcule la eficiencia del contador:

$$\varepsilon = A'/A$$

siendo A' el número de cuentas por segundo medidas y A la actividad real de la muestra, medida en becquerelios. Esta actividad debe ser corregida por desintegración en la fecha de medida, teniendo en cuenta que la actividad actual A es:

$$A = A_0 \times e^{-\lambda t}$$

y siendo A_0 la actividad que tenía la muestra en la fecha indicada en la misma.

- h) Repita los puntos anteriores con dos muestras radiactivas diferentes.

RESULTADOS**FUENTE:**

TIPO DE EMISION:

- TIEMPO DE MEDIDA: $t =$
- NUMERO DE CUENTAS: $L =$
- FONDO: $F =$
- TASA DE RECuento NETA: $A' = (L - F)/t =$
- ACTIVIDAD INICIAL DE LA MUESTRA: $A_0 =$
- FECHA:
- PERIODO $T_{1/2} =$
- ACTIVIDAD CORREGIDA: $A =$
- EFICIENCIA $\varepsilon = A'/A =$ $\varepsilon(\%) =$

FUENTE:

TIPO DE EMISION:

- TIEMPO DE MEDIDA: $t =$
- NUMERO DE CUENTAS: $L =$
- FONDO: $F =$
- TASA DE RECuento NETA: $A' = (L - F)/t =$
- ACTIVIDAD INICIAL DE LA MUESTRA: $A_0 =$
- FECHA:
- PERIODO $T_{1/2} =$
- ACTIVIDAD CORREGIDA: $A =$
- EFICIENCIA $\varepsilon = A'/A =$ $\varepsilon(\%) =$

CONCLUSIONES de la PRÁCTICA 1:

1. ¿Qué utilidad tiene la construcción de la curva característica de un detector G-M?
2. Compare las características obtenidas del detector con los criterios de aceptación establecidos.
3. ¿Es el detector G-M de respuesta rápida o lenta?
4. ¿Por qué es importante conservar la posición de las muestras a lo largo del experimento?
5. Comente los resultados obtenidos en la eficiencia del detector para una fuente emisora gamma.
6. Comente los resultados en la eficiencia del detector para una fuente emisora beta.
7. Compare los resultados.
8. Aparte del tipo de emisión, ¿de qué otros factores depende la eficiencia real de un detector para una muestra radiactiva dada?
9. A la vista de los resultados ¿Son las medidas correctas?

PRECAUCIONES

La ventana de mica del detector es muy delicada, y no debe tocarse nunca, ni rozando con los dedos ni al introducir la muestra en el castillete. No deben introducirse muestras que sean muy activas, pues se producirían avalanchas dañando al contador, además el tiempo muerto aumentaría mucho y falsearía la medida.

Antes de apagar el aparato, observe que se ha puesto a cero el voltímetro, pues un cambio brusco en la tensión de alimentación puede dañar al detector.