

EXPERIMENTO 5: ABSORCIÓN DE RADIACIONES BETA Y GAMMA

Estudiantes: Vicente Lacroix - Marcelo Ojeda - Ana María Salas
Fecha laboratorio: 25 de Mayo. Entrega: 05 de Junio - 2023

Resumen

Para este experimento se buscó estudiar dos tipos de radiación ionizante, la beta y la gamma. Para esto se utilizó un contador Geiger-Müller y tres fuentes radiactivas, siendo estas el Cs-137, Sr-90 y Co-60. El experimento se dividió en 4 partes. Primero se contaron las cuentas por minuto emitidas por el Co-60 para obtener la curva característica del contador, entregando 650 V como el voltaje óptimo para la realización de las demás partes. Luego se calculó el tiempo muerto del contador utilizando dos fuentes de Cs-137 ($132.12500 \pm 0.00025 \mu s$) y el *background* del ambiente (44 ± 2 cuentas por minuto) para corregir los datos y disminuir errores. A continuación se colocaron láminas de plomo y aluminio de distintos grosores entre el contador y la fuente, identificando así que el Sr-90 emitía radiación beta y el Co-60 gamma. Finalmente, mediante análisis gráfico, se estimó el coeficiente y la distancia de absorción del aluminio y el “*mass absorption coefficient*” del plomo, siendo estos de $6.54 \pm 0.98 \text{ cm}^{-1}$, $0.0600 \pm 0.0035 \text{ cm}$ y $(1.7 \pm 0.6) \cdot 10^{-4} \text{ cm/gr}$ respectivamente.

1. Introducción

1.1. Objetivos

El objetivo general de este laboratorio fue el de investigar la absorción de radiación beta y gamma. Para ello se propuso un montaje cuya base sea un contador GM, analizar la curva característica de este, calcular su tiempo muerto utilizando una fuente de Cs-137 y corregir los datos logrados con este. Posteriormente, investigar la radiación beta y gamma emitida por los elementos Sr-90 y Co-60 y la absorción de estas midiendo el coeficiente de absorción lineal de radiación beta del Sr-90 en aluminio y “*mass absorption coefficient*” de la radiación gamma del Co-90 en plomo.

1.2. Contexto

La radiación se define como energía que viaja en forma de ondas o partículas de alta velocidad y se dividen en dos tipos: no ionizante e ionizante. La primera se caracteriza por su baja energía, la cual no es suficiente para destruir los electrones de los átomos (proceso llamado ionización). Por el contrario, la segunda si posee la suficiente energía, por lo que la exposición a ésta puede llegar a ser peligroso para la salud de los seres vivos, ya que puede dañar los

tejidos y el ADN. Henri Becquerel (1852-1908), físico francés, descubrió que ciertas sales de uranio emiten radiación espontáneamente capaz de atravesar sustancias opacas a la luz ordinaria. Posteriormente, los científicos Pierre y Marie Curie se encargarían de estudiar a fondo este fenómeno, logrando importantes descubrimientos como la descripción de dos nuevos elementos, el radio y el polonio, en 1898. Este fenómeno, en donde núcleos de átomos inestables se desintegran espontáneamente emitiendo radiación ionizante fue denominado radiactividad por la científica. Un año después, Ernest Rutherford descubriría la radiación beta, electrones con que poseen grandes velocidades y energías. Al siguiente, Paul Ulrich daría con la existencia de la radiación gamma, un tipo de onda electromagnética de alta energía. Estos hallazgos han sido muy importantes para el desarrollo tecnológico de nuestra sociedad, por sus usos en diversos ámbitos como en procesos industriales y en la medicina. La partículas beta, por ejemplo, son utilizadas para medir espesores de películas de materiales y revestimientos, así como en terapias de eliminación de células cancerosas. Por otro lado, los rayos gamma se emplea en esterilización de materiales de uso médico y quirúrgico y medicamentos y para desbacterizar alimentos.

1.3. Marco Teórico

El contador Geiger Müller es un dispositivo que permite detectar radiaciones ionizantes. Esta conformado por un tubo con una mezcla de gases en su interior de manera que no conducen electricidad normalmente, sometido a una diferencia de potencial entre la pared del tubo y un filamento conductor ubicado en su interior. Esta mezcla se ioniza producto de estas radiaciones, lo que genera un pulso corriente que baja la tensión dentro del tubo y cesa su funcionamiento por un corto periodo de tiempo mientras que la tensión recupera recupera nuevamente su valor inicial. A este intervalo de tiempo se le llama tiempo muerto y se puede medir comparando el número de cuentas detectadas por segundo de dos fuentes juntas ($R_{(a+b)}$) con el de ambas fuentes por separado (R_a y R_b) de la siguiente forma:

$$T_m = \frac{R_a + R_b - R_{(a+b)}}{2R_a R_b} \quad (1)$$

Para corregir las pérdidas producidas por el tiempo muerto, se define el tiempo útil como

$$\text{Tiempo útil} = 1 - n \cdot T_m \quad (2)$$

en donde n es el número de cuentas por segundo y $n \cdot t$ el tiempo perdido por segundo. El conteo observado y el número real de partículas que atravesaron el contador (N) debe seguir la misma razón que el tiempo útil y el tiempo total:

$$\frac{N}{n} = \frac{1}{1 - n \cdot t} \quad (3)$$

Otro punto importante es la relación entre la intensidad de radiación después de atravesar un material (I) con la intensidad original (I_0)

$$I = I_0 e^{-\mu x} = I_0 e^{-(\mu/\rho)\rho x} \quad (4)$$

en donde x es el espesor del material, μ es el coeficiente de absorción lineal y ρ es la densidad del material. La distancia de absorción se define como $1/\mu$ y μ/ρ se denomina “*mass absorption coefficient*”. Como la intensidad es proporcional al número de cuentas por minuto (N) podemos escribir lo anterior como:

$$\ln\left(\frac{N_0}{N}\right) = \mu x = \frac{\mu}{\rho} \rho x \quad (5)$$

Por otro lado, la radiación gamma cumple la ley inversa del cuadrado, debido a ser una onda electromagnética:

$$I \propto N \propto \frac{1}{r^2} \quad (6)$$

siendo r la distancia a la que se encuentra la fuente radiactiva del detector. Por último, es importante

mencionar que la emisión de radiación es un proceso aleatorio que sigue las estadísticas de Poisson, en donde el error de las cuentas en un tiempo está dado por

$$\delta x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\bar{x}}{n}} \quad (7)$$

en el cual σ es la desviación estándar, \bar{x} es el promedio y n son el número de mediciones en el tiempo.

2. Montaje y procedimiento

El montaje se dividió en 4 partes. Todas tienen en común la conexión de un tubo de Geiger Müller a un contador o detector para estudiar la radiación beta y gamma de las fuentes Sr-90, Cs-137 y Co-60.

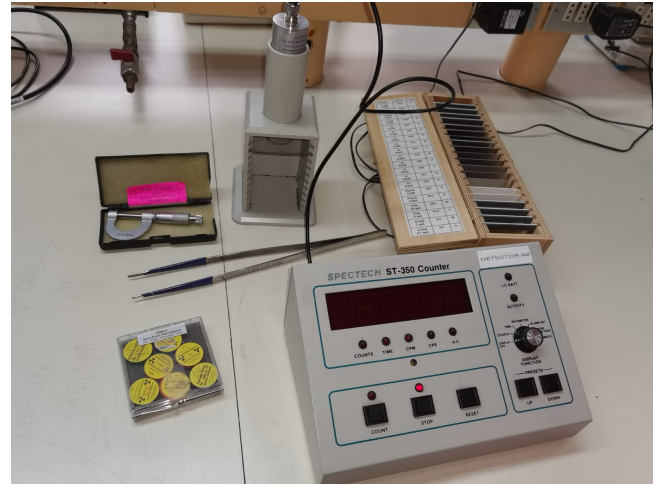


Figura 1: Instrumentos y elementos utilizados en el montaje experimental.

Para la primera parte, se fue aumentando el voltaje en el contador, con una fuente de Co-60 dispuesta a una distancia de 3.5 cm, para buscar un valor mínimo donde se detectaban cuentas, se anotó dicho valor y desde allí comenzaron las posteriores mediciones.

Luego, el procedimiento fue anotar el número de cuentas por un minuto aumentando el valor del potencial aplicado de 50 en 50 voltios, datos que permitieron realizar la curva característica del tubo y determinar un voltaje de funcionamiento óptimo.

Para una segunda parte, se ubicaron dos fuentes de Cs-137, se aplicó el voltaje de 650 V de la parte anterior y se midió el número de cuentas de: R_a y R_b , fuentes separadas y R_{a+b} ambas fuentes juntas. Con esto fue posible determinar el tiempo muerto dado por la ecuación N° 1.

Para la tercera parte, se midió el *background*, es decir, detecciones sin fuente. Para continuar, se midió la relación entre distancia e intensidad de radiación, a partir de la detección de cuentas de la fuente de Co-60, ubicando esta “pastilla” a diferentes distancias del tubo con ayuda de pinzas y un soporte. Se realizaron mediciones por 1 minuto para cada distancia utilizada.

Finalmente para la cuarta parte, se utilizaron las fuentes de Sr-90 y Co-60, para estudiar cualitativamente el tipo de radiación de cada una a partir de láminas de aluminio interpuestas entre la fuente y el tubo, utilizando diferentes espesores. Luego, para hacer un análisis cuantitativo, se utilizó la fuente Sr-90, tomando mediciones de espesor de placa utilizada y número de cuentas por minuto. Lo mismo se realizó con la fuente de Co-60, pero ahora con placas de plomo y considerando, aparte del espesor, la densidad de las láminas.

3. Análisis y resultados

El estudio de las radiaciones beta y gamma se divide en 4 partes, las que se describen a continuación:

3.1. Parte I: Curva característica de un Tubo Geiger Müller

Se estudió el número de cuentas según el voltaje (potencial) aplicado entre los electrodos de manera gráfica -ver 2-. Primero, se buscó un voltaje inicial en el que el contador de Geiger Müller detectara la radiación incidente de la fuente de Co-60; este valor fue de 450 V, por lo que las mediciones se realizaron a partir de ahí.

El método gráfico permite encontrar la zona denominada “Geiger Region” [1], que es aquella donde el tubo opera óptimamente para la detección de las partículas radiactivas. Se puede reconocer en la figura 2 dónde el número de cuentas detectadas es más o menos constante.

Se observa que hay un rango entre los valores de potencial de 500 hasta 800 Voltios donde el número de cuentas por segundo se mantiene más o menos constante (entre 17 y 20 cuentas), por lo que esta zona fue reconocida como “Geiger Region”. Para seleccionar el voltaje a aplicar en las partes posteriores, se utilizó la mediana de dicha región, es decir, 650 V.

En general, la curva tiene diferentes regiones que se relacionan con el funcionamiento y modo de

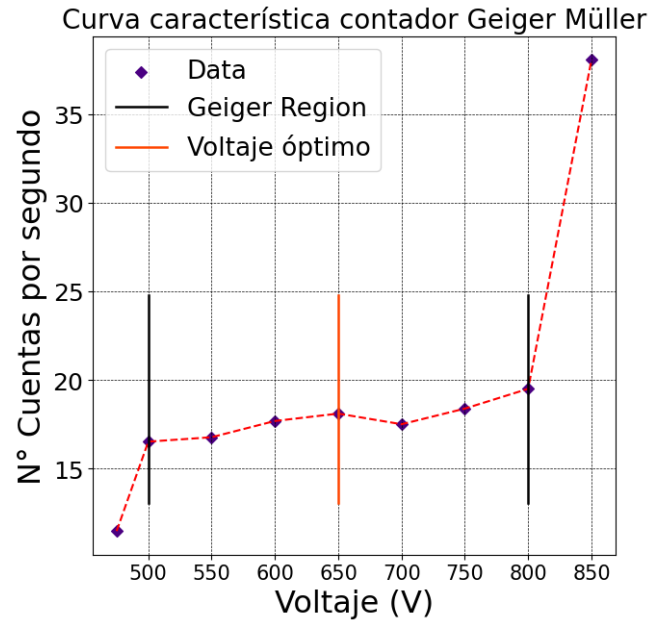


Figura 2: Gráfica de curva característica que relaciona n° cuentas por segundo y el voltaje aplicado. Se observa la “Geiger Region”, o Plateau, para determinar voltaje óptimo de funcionamiento del tubo.

operación del tubo Geiger Müller. En una curva común, primero hay una región donde aumentan las cuentas según el voltaje, hasta llegar a una zona denominada cámara de iones, primera parte donde las cuentas se mantienen más o menos constantes independiente del voltaje. Luego, se entra a una zona de proporcionalidad entre diferencia de potencial aplicada y el número de cuentas, que en la gráfica se alcanza a observar antes de los 500 voltios. Luego se eso, se entra a la zona llamada Plateau, o “Geiger Region”. Aquí, nuevamente el número de detecciones no varía significativamente, en un rango de voltajes de óptimo funcionamiento para el contador. Después de eso, la curva nuevamente comienza a aumentar a medida que aumenta el potencial aplicado, en particular, comienza la zona de descarga y superando ese límite por lo general, los detectores dejan de funcionar.

3.2. Parte II: Tiempo Muerto del Contador Geiger Müller

A partir de las dos fuentes de Cs-137 y con la ecuación N° 1 Se pudo determinar el tiempo muerto del contador, es decir, tiempo en el que se recupera la tensión inicial y se es capaz de detectar nuevamente las partículas radiactivas que interactúan en el tubo. Para ello en la tabla 1 se muestra el número de cuentas obtenidas por minuto de ambas fuentes, separadas y juntas.

El tiempo muerto (T_m) obtenido a partir del núme-

R_a	R_b	R_{a+b}
9156	3943	12940

Tabla 1: Cuentas por minuto, ambas correspondientes a fuentes de cesio ($5.0 \mu\text{Ci Cs-137}$) a una distancia de 9.5 cm del tubo.

ro de cuentas expuestos es de $\approx 132,125 \pm 0,00025 \mu\text{s}$, que está dentro de la magnitud esperada (centenares de microsegundos). Así, mediante la ecuación N° 2 se puede encontrar un tiempo útil de funcionamiento del detector y finalmente corregir el número de cuentas por tiempo muerto mediante la relación de proporción establecida por la ecuación N° 3.

3.3. Parte III: Relación entre Intensidad de Radiación y Distancia al Punto Origen de ella

Para esta parte primero se midió el *background*, es decir, el número de cuentas detectadas sin utilizar una fuente radiactiva. Se obtuvo un valor de 44 ± 2 cuentas por minuto, donde el error fue determinado a través de la distribución de Poisson dada por la ecuación N° 7. A partir de aquí, las cuentas son corregidas tanto por tiempo muerto, como por *background*.

Luego, se observa la tendencia entre las variables de distancia y cuentas por segundo que se representa gráficamente en la figura 3. La forma de decaimiento es del tipo x^n , con x distancia de la fuente y n un exponente que establece la relación entre distancia y número de cuentas. Así, se visualiza que mientras mayor es la distancia al tubo, menor es el número de cuentas por segundo detectadas.

Dada la forma de decaimiento del número de cuentas, se trabaja con los datos realizando una regresión lineal del tipo log-log, obteniendo en la pendiente un valor experimental del factor n que se ajustaría a los datos obtenidos siguiendo la ecuación 6. Esto se muestra en la figura 4.

Comparando el valor de la pendiente de $\approx -1,35 \pm 0,10$ con un valor teórico de -2 entregado por la ecuación N° 6, se obtiene un error relativo porcentual de aproximadamente 32.67%. Se determinó además el coeficiente de Pearson, que con un -0.98 indica anti-correlación lineal de las variables trabajadas en logaritmo, lo que es justamente lo observado en la figura 4.

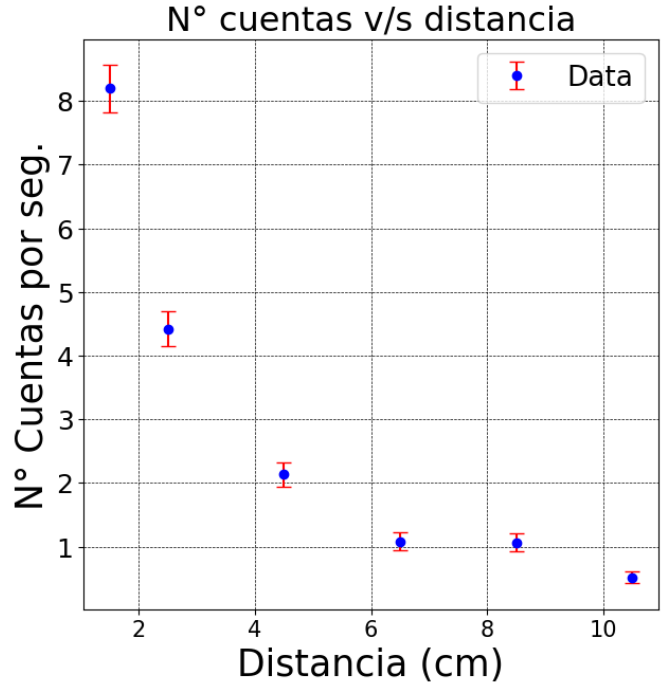


Figura 3: Gráfica que muestra el decaimiento de cuentas según la distancia.

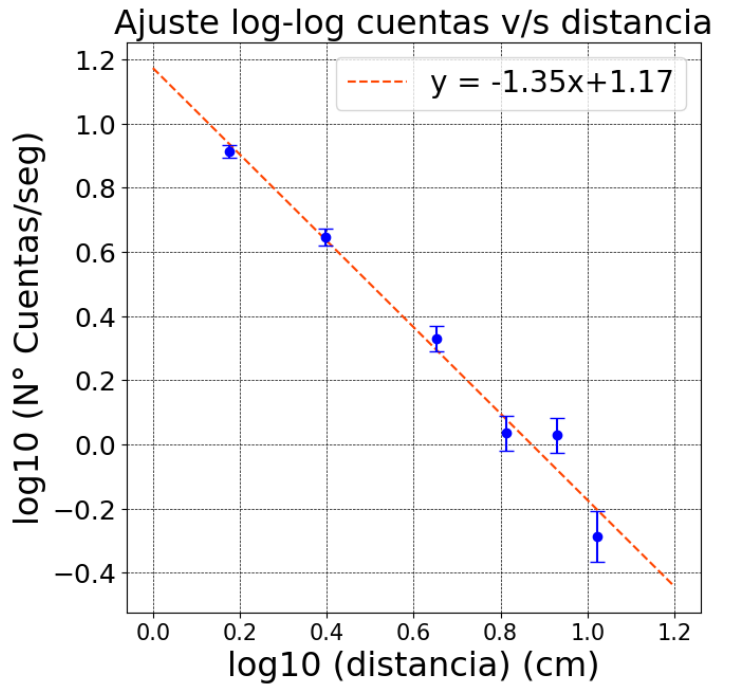


Figura 4: Ajuste de tipo Log-Log. La pendiente representa el valor experimental de n buscado.

3.4. Parte IV: Absorción de radiaciones Beta y Gamma

Se estudió el comportamiento radioactivo de la fuente Sr-90 (2) y de la fuente Co-60 (3), ambas a 3.5 cm del tubo. Se obtuvieron las siguientes tablas:

En 2 se puede observar que el número de partículas detectadas está por sobre el valor del *background* medido, al menos para el caso sin placa y utilizando una barrera de aluminio de 4.5 mg/cm^2 . Sin embar-

Placa Aluminio	Cuentas/minuto ± 2
sin placa	5277
$\sigma = 4.5 \text{ mg/cm}^2$	5176
$\sigma = 849 \text{ mg/cm}^2$	11

Tabla 2: Sr-90 a 3.5 cm del tubo. Disminución de detecciones por minutos cuando aumenta densidad de la placa.

go, cuando se utilizó una lámina de mayor densidad, en particular, 849 mg/cm^2 , el conteo de partículas fue bajo el fondo medido de 44 ± 2 cuentas por minuto, lo que significa que para esta densidad de placa de aluminio, las partículas radiactivas de la fuente Sr-90 no traspasan la placa.

Por lo anterior, se puede concluir que el tipo de partículas radiactivas emitidas por la fuente Sr-90 corresponde a partículas beta, es decir, electrones acelerados, cuya energía si bien puede traspasar placas de aluminio de baja densidad, cuando se aumentó considerablemente esta variable, la radiación fue detenida. Ante una lámina de plomo, se esperaría que el conteo sea como máximo el valor del *background* medido, lo que corroboraría el hecho de que se trata de radiación beta.

Placa Aluminio	Cuentas/minuto ± 2
sin placa	196
$\sigma = 849 \text{ mg/cm}^2$	128

Tabla 3: Co-60 a 3.5 cm del tubo. Cuentas por minuto, sin placa y con placa de aluminio de alta densidad.

Para la fuente de Co-60, se estudió un caso sin placa y uno con placa de aluminio de densidad alta, en particular, 849 mg/cm^2 . Se observó en la tabla 3 que el número de cuentas si bien disminuyó, está por sobre el *background*. Se concluye entonces que esta fuente corresponde a una radiación más energética que no es detenida por láminas de aluminio, en particular, rayos gamma, es decir, fotones con longitud de onda corta, que podrían ser detenidos por el plomo.

Finalmente, se determinó a partir de la fuente de Sr-90 el coeficiente de absorción del aluminio a partir de un ajuste lineal dada por la ecuación N° 5, donde la pendiente corresponde al coeficiente μ buscado (ver 5). Se obtiene entonces μ aproximado de $16.54 \pm 0.98 \text{ cm}^{-1}$, lo que resulta entonces en una distancia de absorción ($1/\mu$) de $0.060 \pm 0.0035 \text{ cm}$, cuyos errores son esperados y determinados mediante propagación de los mismos, corregidos además por el tiempo muerto y *background*, que

inciden en la obtención de resultados.

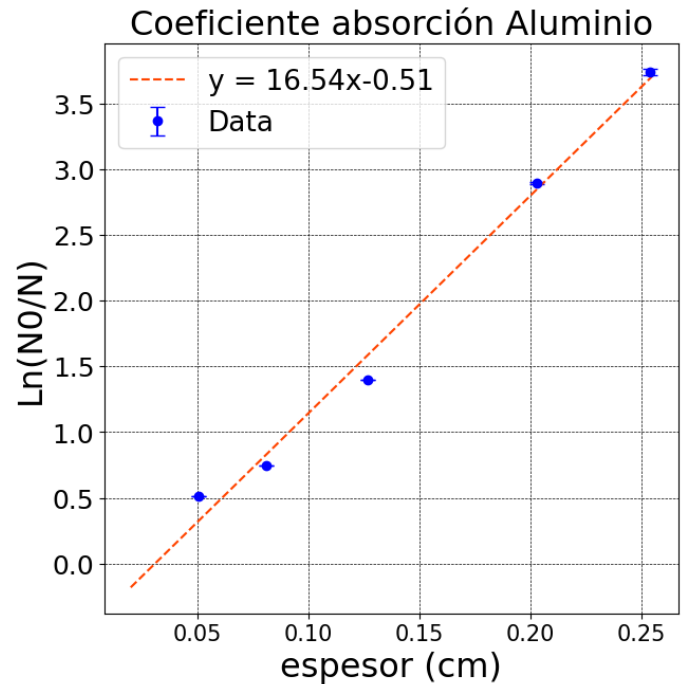


Figura 5: Ajuste para fuente de Sr-90. N_0 corresponde al número de cuentas sin placa para la fuente, mientras que N es el número de cuentas corregido por las variables ya mencionadas.

Se realizó algo similar con la fuente de Co-60, pero ahora para determinar el “*mass absorption coefficient*” (μ/ρ) del plomo a partir de las partículas gamma emitidas. Se realizó nuevamente un ajuste lineal determinado por la relación establecida en la ecuación 4, pero ahora en el eje de las abscisas se trabajó también con la densidad de las placas, correspondiendo así la pendiente al valor en cuestión buscado.

Se obtuvo un coeficiente de absorción de masa experimental para el plomo de $(1.7 \pm 0.6) \cdot 10^{-4} \text{ cm/gr}$. En la figura 6 la linealidad de los datos cambia, en particular, el coeficiente de Pearson con un valor de aproximadamente 0.89, es un poco menor a 1, aunque a pesar de esto, sigue representando una correlación en las medidas trabajadas.

Los errores asociados a la experiencia son principalmente debido al acercamiento de las demás fuentes de radiación mientras se realizaban mediciones, a pesar de haber determinado con anticipación el *background*, que además podía presentar variaciones, aunque solo se tomó su valor en una oportunidad. En general, la corrección por tiempo muerto representó parte importante en mejorar el conteo de las partículas radiactivas, lo que se refleja en los errores obtenidos en la mayoría de los resultados, que fueron acorde a lo esperado.

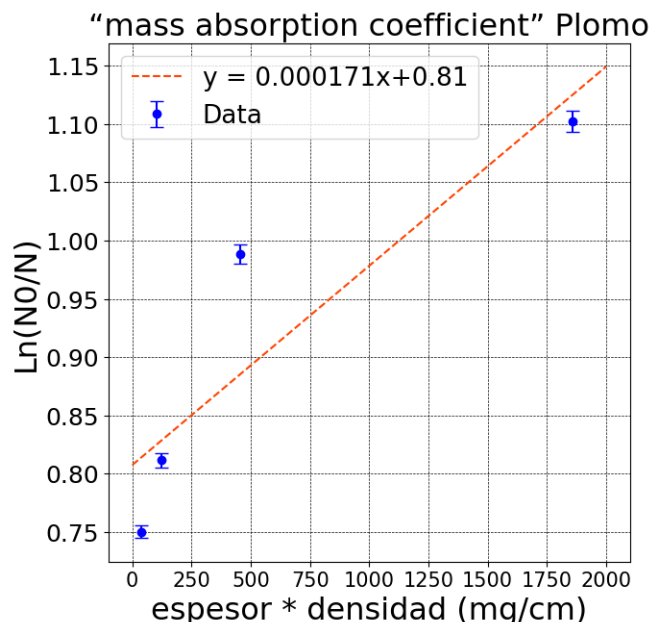


Figura 6: "mass absorption coefficient" para el plomo a partir de un ajuste con logaritmo natural que relaciona número de cuentas, y el espesor y densidad de la placa. N_0 : n° cuentas sin placa y N , número de cuentas corregidas.

4. Conclusiones

Gracias a esta gran experiencia, se pudo estudiar de buena manera el concepto de radiación y 2 tipos de ésta, la beta y la gamma, además de aprender sobre como medirla apropiadamente. En primer lugar, se logró una curva característica del contador GM que coincide con la literatura, lo que nos permitió conocer que el valor óptimo de voltaje a usar en las demás partes del experimento era de 650 V. A continuación, utilizando las fuentes de Cs-137, se pudo determinar exitosamente el tiempo muerto del contador, $132.12500 \pm 0.00025 \mu\text{s}$, pues este debe de ser del orden de $10^3 \mu\text{s}$. Posteriormente, se midió el *background* del ambiente, dando un valor de 44 ± 2 cuentas por minuto. Con esto y los datos corregidos por tiempo muerto y *background*, fue posible realizar un gráfico de número de cuentas v/s distancia, notando una correlación del tipo exponencial, como avala la teoría. Se generó un nuevo gráfico, esta vez de los logaritmos de las cuentas y distancias, mostrando una anti-correlación lineal, cuyo coeficiente de Pearson fue de -0.98 y cuya pendiente resultó de -1.35 ± 0.10 , con un error del 32.67% respecto al valor teórico de -2 . Finalmente, se asoció correctamente la emisión de partículas beta a la fuente Sr-90 y la radiación gamma a la de Co-60, respectivamente. Para la primera, se estimó de manera consistente el coeficiente de absorción y la distancia de absorción del aluminio, siendo estas de $16.54 \pm 0.98 \text{ cm}^{-1}$ y $0.0600 \pm 0.0035 \text{ cm}$, que está dentro de lo esperado. Para la segunda se dió con un valor de $(1.7 \pm$

$0.6) \cdot 10^{-4} \text{ cm/gr}$ para el "mass absorption coefficient". El experimento no estuvo exento de errores aleatorios e influencia de las demás fuentes de radiación con las que se estaban trabajando, pero, gracias a las correcciones aplicadas, se lograron mediciones de manera correcta y con bajo error en general. Para conocer y estudiar más a fondo este tipo de radiación se proponen como experimentos futuros ver la interacción de campos magnéticos en las partículas beta y en la radiación gamma para comprender por qué se dedujo que unas eran partículas de carga negativa mientras que la otras eran ondas electromagnéticas.

Referencias

- [1] Master.us.es. Recuperado el 4 de junio de 2023, de https://master.us.es/fisicanuclear/images/stories/pdf/MasterFN2016_Boletin_GeigerMuller.pdf
- [2] Reick. (s. f.). INSTRUMENTACION Y EQUIPOS EN MEDICINA NUCLEAR Y RADIOTERAPIA. <http://mdnuclear.blogspot.com/2016/03/principios-dedeteccion-de-la-radiacion.html>
- [3] Pierre y Marie Curie. La radiactividad. (s. f.). <https://www.biografiasyvidas.com/monografia/curie/radiactividad.htm>
- [4] De Investigaciones Nucleares, I. N. (s. f.). Las ventajas de la Radiación Gamma. gob.mx. <https://www.gob.mx/inin/es/articulos/las-ventajas-de-la-radiacion-gamma#:~:text=La%20radiaci%C3%B3n%20gamma%20se%20aprovecha,medicamentos%20y%20cosm%C3%A9ticos%2C%20entre%20otros.>
- [5] Información básica sobre la radiación — US EPA. (2023, 10 mayo). US EPA. <https://espanol.epa.gov/espanol/informacion-basica-sobre-la-radiacion>.