

Espectroscopía gamma con centellador de NaI

Cocco, Feole, Malfatti, Pontello

20 de Abril de 2013

Se midió la radiación gamma proveniente del decaimiento de diversas fuentes radiactivas. Para ello se utilizó un detector centellador de NaI conectado a un fototubo, que funcionaba como transductor de los fotones incidentes en señales eléctricas. Luego, mediante una electrónica adecuada, los datos eran procesados en la computadora. Se utilizaron los datos de decaimiento del ^{137}Cs para calibrar el detector. Luego se obtuvieron los espectros de la energía depositada por los gammas emitidos de las otras fuentes radiactivas.

1. Introducción

1.1. Interacción de la radiación con la materia

Al hacer incidir un haz de fotones sobre un material se pueden producir distintos fenómenos de interacción según una cierta probabilidad, éstos son el *efecto fotoeléctrico*, el *efecto Compton* y la *creación de pares*. El primero se produce cuando la energía del fotón incidente es totalmente absorbida por un electrón, excitando el mismo a un estado del continuo, con energía

$$E_e = E_\gamma - \phi \simeq E_\gamma, \quad (1.1)$$

donde E_e es la energía del electrón excitado, E_γ la energía del fotón incidente (en este caso trabajamos con rayos gamma) y ϕ es la *función trabajo* del electrón, que no fue tomada en cuenta en este caso por ser despreciable frente a la energía del gamma.

En el efecto Compton el fotón incidente es dispersado al colisionar con un electrón, y pierde parte de su energía que es utilizada para excitar al electrón. Por último, la creación de pares se produce cuando un fotón interactúa con un campo nuclear, y crea en el proceso un par electrón-positrón. Eventualmente, éste positrón se aniquilará con otro electrón, creando dos fotones adicionales con la energía de la masa del electrón.

Luego, cada electrón que fue excitado al continuo podrá interactuar con una gran cantidad de otros electrones (N_e), excitándolos a un nivel mayor. Eventualmente, estos electrones se desexcitarán emitiendo fotones de la energía del gap entre niveles (E_{gap}), que puede ser calculada como

$$E_\gamma = E_{gap}N_e. \quad (1.2)$$

Por último, estos N_e fotones de energía E_{gap} se detectan por un fotodiodo (como será explicado en la sección *Experimento*), a partir de los cuales podremos recuperar el valor de la energía del fotón incidente (E_γ), en el caso en el que se produzca efecto fotoeléctrico. Un perfil teórico para la distribución de cantidad de cuentas (fotones absorbidos) en función de la energía del fotón incidente puede verse en la figura 1.

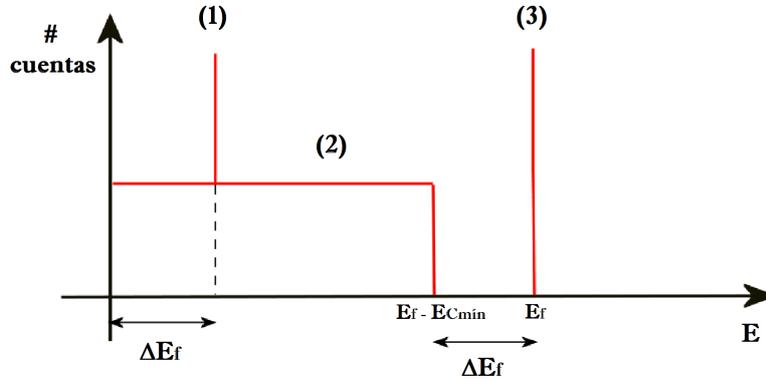


Figura 1: Perfil teórico de la energía depositada por los fotones incidentes sobre el detector.

El pico indicado con (3) (de energía E_f) es el correspondiente al valor de energía de los fotones incidentes que interactúan produciendo efecto fotoeléctrico. Esto se deduce de que este pico es el correspondiente a la máxima energía que puede detectarse (cuando el fotón incidente entrega toda su energía). Luego, el escalón indicado con (2) es el correspondiente al efecto Compton, ya que corresponde a un espectro de energías y no a una energía definida, y este espectro es de energías menores a la energía del efecto fotoeléctrico (3), consistente con que el fotón entrega parte de su energía al electrón, desde cero hasta $E_f - E_{Cmin}$, donde E_{Cmin} es la energía mínima del fotón dispersado al producirse efecto Compton. Por último, el pico indicado con el número (1) representa una posible colisión anterior de un fotón incidente con un objeto externo: si (con una cierta probabilidad) este fotón es retrodispersado produciendo efecto Compton (esto ocurre únicamente cuando la energía del fotón dispersado es E_{Cmin}), y luego interactúa mediante efecto fotoeléctrico con el material, se detectará un pico de energía en $E = E_{Cmin}$, lo que concuerda con que los dos valores de ΔE_f sean los mismos.

2. Experimento

El experimento consistió en colocar distintas fuentes radioactivas en cercanías de un detector y medir el espectro de la energía depositada por la radiación gamma. El sistema de medición estaba conformado por un centellador de NaI, un fototubo, una electrónica utilizada para la amplificación de las señales del fototubo y una computadora (figura ??). La radiación gamma proveniente de las fuentes incide en el centellador, excitando los electrones del mismo mediante Efecto Compton y Efecto Fotoeléctrico. Las desexcitaciones de los electrones emiten fotones que llegan al fotocátodo del fototubo y son detectados. Luego la electrónica mide el pulso eléctrico generado por el fototubo y computa una cuenta en un canal. Cada canal corresponde a un rango de energía distinto, es decir, que la resolución en energía corresponde al ancho de cada canal. Se utilizó una muestra de ^{137}Cs para la calibración y se realizaron mediciones sin fuentes radiactivas

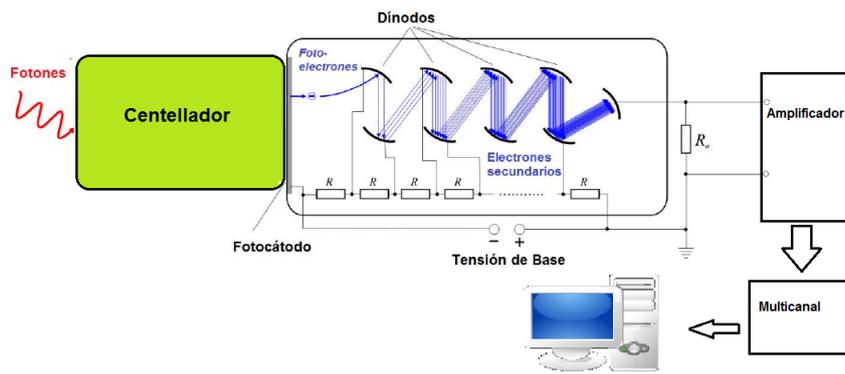


Figura 2: Arreglo experimental utilizado.

para obtener el espectro de radiación de fondo. Luego se midieron los espectros para las otras fuentes radiactivas.

Fuente
Sal dietética (66 % KCl 33 % NaCl)
^{22}Na
^{54}Mn
^{203}Hg
^{88}Y
^{137}Cs
^{133}Ba

3. Resultados

En la figura 3 se muestra el espectro del ^{137}Cs y el mismo habiéndole restado el correspondiente al fondo de radiación. El espectro del fondo de radiación se muestra en la figura 4.

De dicho espectro se utilizaron dos puntos para calibración: el primer pico pico de 352 canales correspondiente a la energía máxima de radiación del ^{137}Cs de 661,7 keV; el segundo pico 123 canales correspondiente al de efecto fotoeléctrico de fotones que realizaron compton antes de llegar al centellador, de energía de 184.3 keV. Con estos datos, e incluyendo el punto (0, 0) se realizó un ajuste lineal que se muestra en la figura 5.

Los resultados arrojados por el ajuste corresponden a la ecuación de calibración:

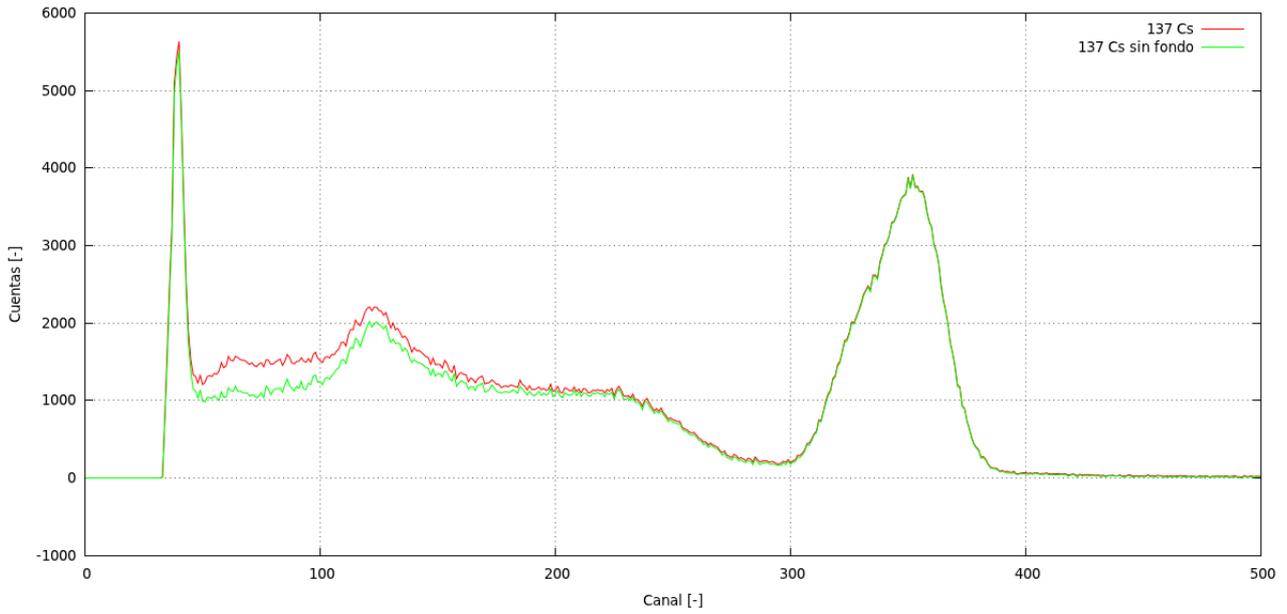


Figura 3: espectro de emisión del ^{137}Cs , junto con el mismo espectro, restado del fondo de radiación.

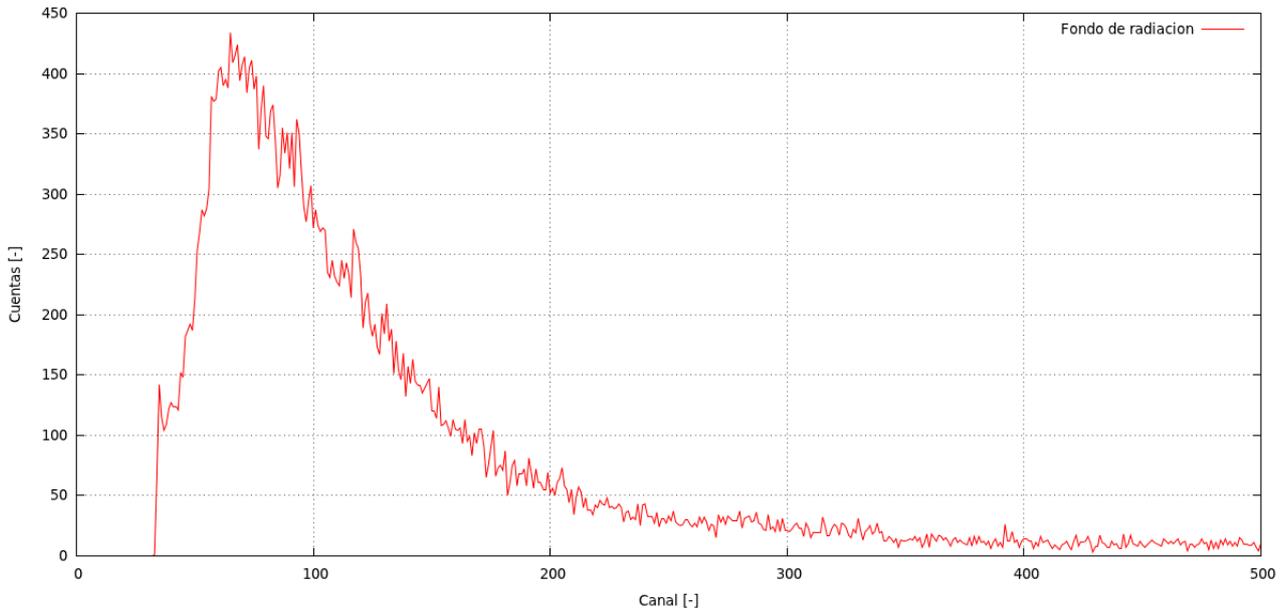


Figura 4: fondo de radiación

$$Energía [\text{keV}] = (1,87 \pm 0,06) \left[\frac{\text{keV}}{\text{canal}} \right] * X[\text{canal}] \text{ keV}. \quad (3.1)$$

Por otro lado, se analizó el espectro del ^{133}Ba , el cual se muestra en un mismo gráfico con el ^{137}Cs , en escalas de energía vs cuentas, en la figura 6.

Utilizando los datos de tabla de la energía de emisión del ^{133}Ba , y realizando los cálculos correspondientes para obtener el pico de emisión de efecto fotoeléctrico de fotones que realizaron Compton antes de llegar al centellador, se obtuvieron los datos experimentales de la emisión del ^{133}Ba . En la tabla 3 se muestra la comparación entre los datos obtenidos de tabla, y los datos

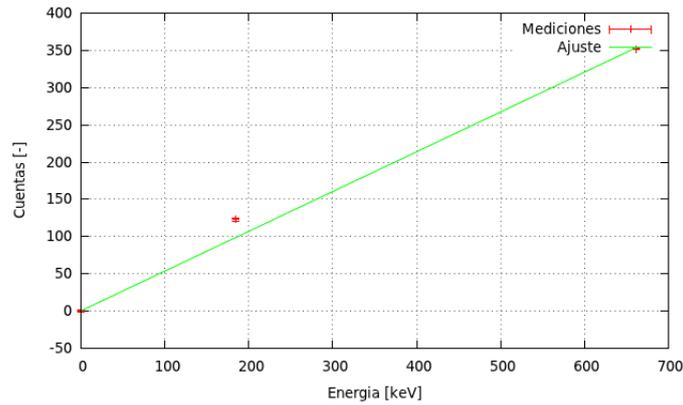


Figura 5: Ajuste lineal realizado con los picos del ^{137}Cs , para la calibración de Energía vs canales

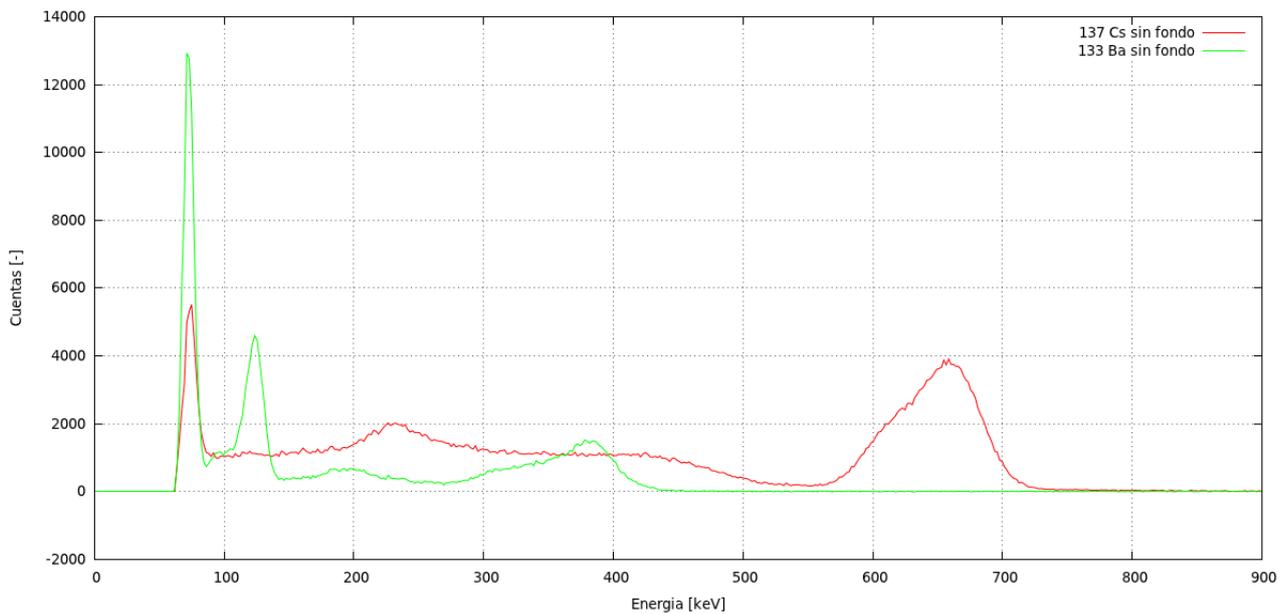


Figura 6: Espectros del ^{137}Cs y ^{133}Ba en energía vs cuentas, con el fondo de radiación restado.

medidos, utilizando la calibración antes explicada.

-	Valor de medido [keV]	Valor de tabla[keV]
Primer pico	383.33 ± 0.06	356.017
Segundo pico	124.09 ± 0.06	149

Por otro lado, en la figura 7 se muestra que para el resto de los elementos medidos, el espectro de radiación coincide con el espectro del fondo, por lo cual se concluyó que las muestras tenían poca actividad.

Resultó notable interpretar que entre los espectros graficados, se encuentra el espectro de emisión de una muestra de sal de cocina light, el cual coincide en orden de magnitud con los espectros de los elementos de baja actividad, y del fondo de radiación.

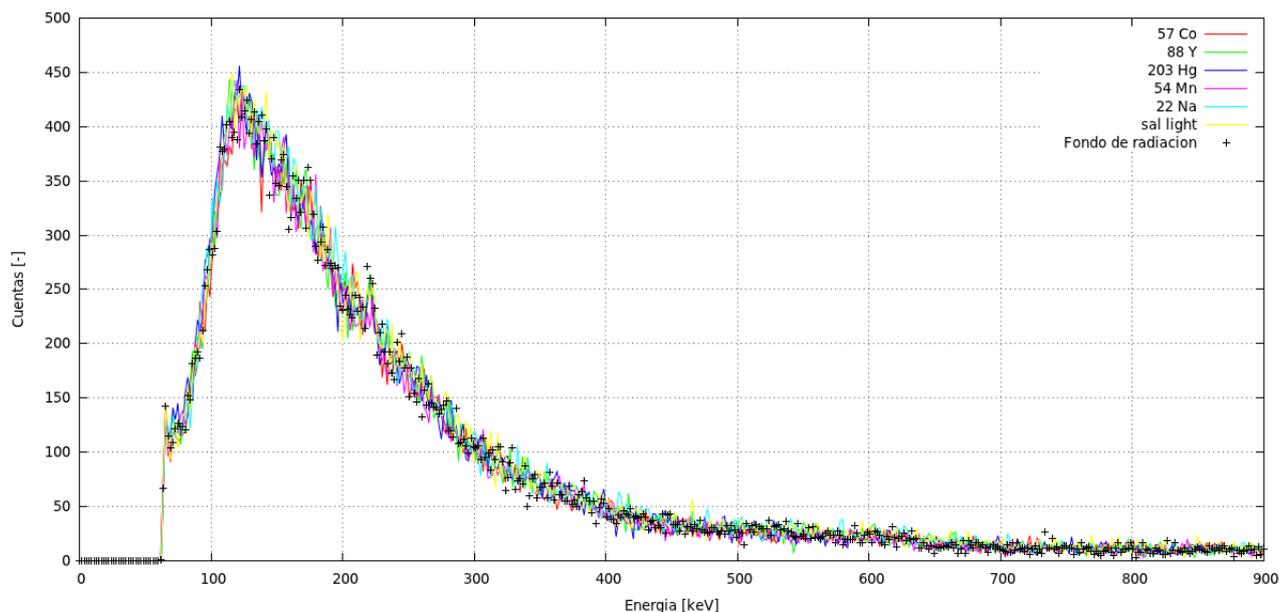


Figura 7: Fondo de radiación superpuesto con los espectros medidos de distintos elementos.

4. Conclusión

Se calibró el detector gamma empleado utilizando los datos para el decaimiento gamma del ^{137}Cs , obteniéndose una relación de Energía vs canal de: $Energía [keV] = (1,87 \pm 0,06) \left[\frac{keV}{canal} \right] * X[canal]$ keV.

Luego, con la calibración obtenida se mostraron los espectros de la energía depositada por los fotones emitidos por las demás fuentes radiactivas. Se observó una pequeña discrepancia entre los resultados experimentales con los resultados ya conocidos para la fuente del ^{133}Ba . Para las demás fuentes radiactivas se observó que sus espectros obtenidos eran muy similares al fondo de radiación, por lo que se concluyó que dichas fuentes utilizadas presentaban muy baja actividad.

Referencias