

# Espectroscopía de rayos gamma: Caracterización del Centellador Nal(Tl) de Harshaw

Gonzalo Uribarri y Federico Barone

Laboratorio 5, Departamento de física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Bs As.

(Fecha: 12 de Abril de 2011)

En el presente trabajo se caracterizó el detector de fotones Nal(Tl) de Harshaw complementado con un amplificador 2022<sup>1</sup> Canberra cuya salida era monitoreada a través del programa Nucleus (1990). En primera instancia se determinó la configuración óptima del amplificador y la alimentación del detector en concordancia con la placa de adquisición del ordenador. Luego se calibró el detector en un rango de energías desde los 350KeV hasta los 1300KeV y se determinó el valor de 8123981KeV para un pico de emisión del Bismuto 207, el cuál se verificó con un valor ya tabulado. En última instancia se caracterizó la relación entre el voltaje de alimentación del detector y los niveles de energía de los fotones incidentes.

## I. INTRODUCCION

La radiactividad es el proceso asociado a la liberación de energía de un átomo cuando pasa de un estado de energía elevado a uno fundamental (o de menor energía). Ocurre naturalmente en isótopos inestables de diferentes elementos como el uranio, el cesio, el sodio, etc.

La liberación de energía puede ocurrir de diversas formas; variando la configuración de sus electrones (rayos X), variando la energía de su núcleo (rayos gamma) o liberando partículas pesadas, sea electrones, protones, neutrones, etc.

Las siguientes categorías agrupan los tipos de radiación más comunes:

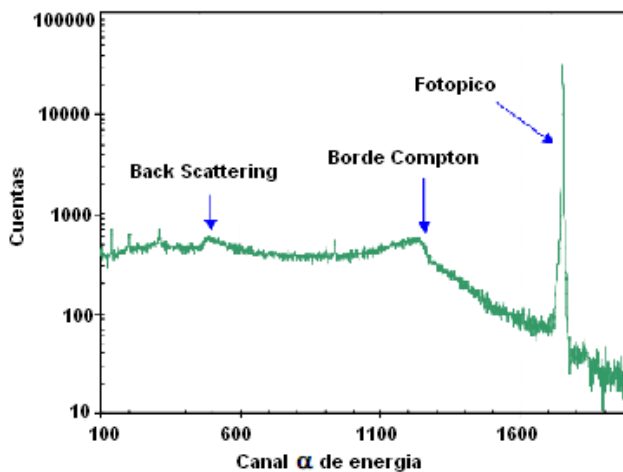
**Alpha:** 2 protones y 2 neutrones.

**Beta:** Electrón y antineutrino o positrón y neutrino.

**Gamma:** Fotones de alta frecuencia.

Esta última es el tipo de radiación que se estudiará. Su importancia radica,

entre otros factores, en que la frecuencia del fotón emitido depende tanto de la diferencia de energías entre el estado inicial y final del nucleón como del elemento al cual pertenece el átomo. Es decir, se puede determinar los elementos de una muestra midiendo el patrón que produce la radiación gamma a lo largo del tiempo. La técnica se conoce como espectroscopia de radiación gamma.



**Figura 1** -Espectro de radiación ilustrativo de una fuente mono energética.

<sup>1</sup> El data sheet del amplificador se encuentra disponible en: <http://www.canberra.com/products/645.asp>

La *figura 1* muestra un espectro de radiación típico. El eje horizontal representa el nivel de energía y el vertical la cantidad de fotones registrados. El espectro es muy amplio debido a que no siempre se puede medir el total de la energía del fotón incidente. Esto se debe a los distintos procesos que se suceden en el detector. El mismo está compuesto por un material centellador y un fotomultiplicador.

El material centellador utilizado en el detector es yoduro de sodio dopado con talio  $\text{NaI(Tl)}$ . En este la energía de los fotones incidentes se invierte en producir cierta cantidad de fotones ópticos, cuyo número es proporcional a la energía del fotón incidente. Luego estos fotones ópticos inciden en el fotomultiplicador, el cual a la salida nos entrega una señal de tensión medible en función de la energía del fotón captado por el centellador.

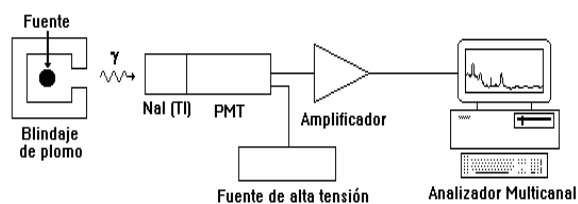
Las diferentes formas en que los fotones pueden interactuar con los electrones a la entrada del fotomultiplicador, da lugar a que le transfieran diferentes cantidades de energía cinética. Esto es conocido como efecto Compton y es una de las causas por la cual el espectro no está reducido solo a los alrededores del valor de energía en el que emite la muestra. Existe también la posibilidad de que un mismo fotón impacte primero con un electrón y luego, al quedarle menos energía, con otro. Así como también podría suceder que dos fotones incidiendo en el centellador con muy poco tiempo de diferencia no lleguen a resolverse como fenómenos separados y se consideren como un fotón de mayor nivel energético. Serían estas dos situaciones casos en que nuevamente se

detectarían energías en los fotones diferentes a las de emisión de la muestra.

De todas formas el dato más relevante en el espectro de radiación de una muestra es el valor del fotopico que sucede cuando toda la energía del fotón es capturada por el detector. Es a partir de este valor, comparándolo con valores ya tabulados, que uno puede comprobar la naturaleza de la fuente radiactiva.

## II. DESARROLLO EXPERIMENTAL

En la *figura 2* puede observarse el montaje experimental utilizado. Las muestras radioactivas fueron colocadas en una cavidad cuyas paredes estaban constituidas por bloques de plomo, con el objetivo de bloquear la radiación hacia lugares no deseados. La misma poseía una ventana sin blindaje en la cual estaba posicionado el detector  $\text{NaI(Tl)}$ . A este se lo alimentaba desde una fuente de tensión exterior. La salida de la señal estaba conectada a un amplificador de tensión (modelo 2022 de Canberra), el cual a su vez conectaba su salida hacia la placa de adquisición de datos de la PC. Para adquirir los datos desde la computadora se utilizó el programa Nucleus.

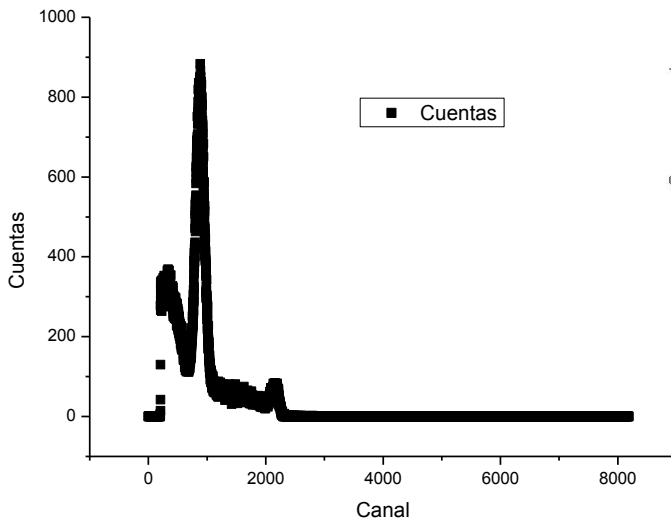


**Figura 2** –Esquema del dispositivo experimental utilizado.

En principio se determinó cual era la configuración de parámetros óptima en el amplificador para la experiencia. Al realizar los primeros muestreos

cualitativos se pudo observar que los valores energéticos de interés obtenidos ocupaban solo una pequeña región del espectro en el cual adquiriría la placa. Al no poder modificar el rango de adquisición de voltaje de la placa, para poder trabajar con la mejor resolución posible se decidió amplificar al máximo la señal recibida.

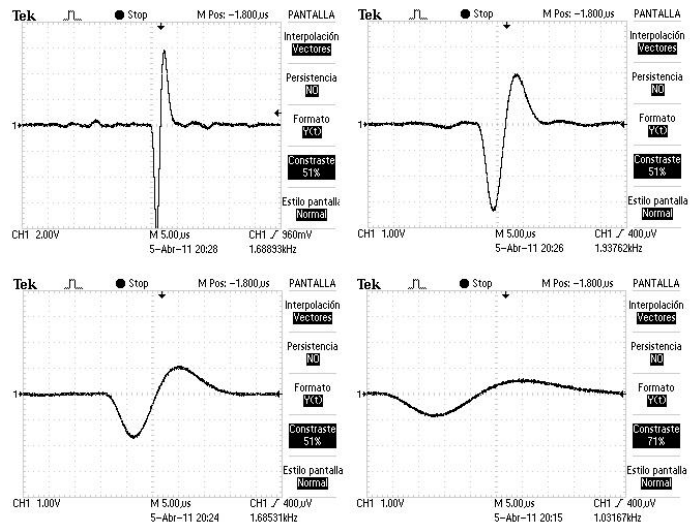
Debido a esta misma causa se seleccionó en la fuente de alimentación del fotomultiplicador el valor de 1445V, un valor alto guardando una distancia razonable al máximo de trabajo del instrumento (1500V). En la *figura 3* se puede apreciar el espectro de una muestra de Na 22, el cual fue el material con la emisión energética más grande utilizada en el laboratorio. Nótese que a pesar de las dos elecciones de valores tanto de la fuente como del amplificador, sigue sin aprovecharse todo el rango de trabajo de la placa.



**Figura 3** -Espectro de radiación del Na22 dentro del rango de toda la placa.

Otro de los parámetros a determinar en el amplificador es el valor

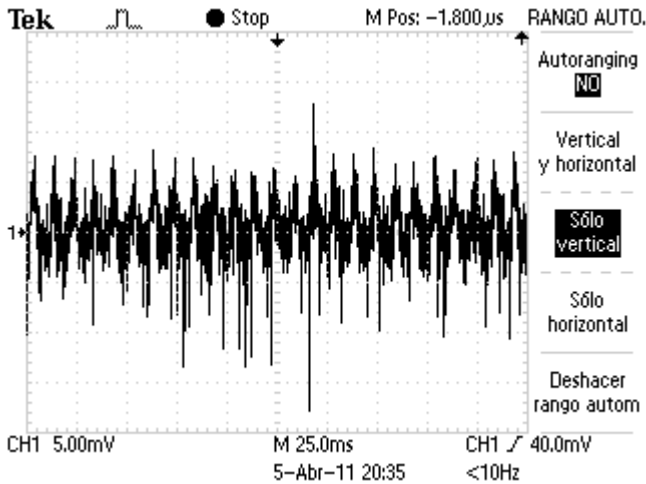
en microsegundos que tendrá el shaping. El mismo produce que los picos de tensión recibidos reduzcan su valor, pero a la vez prolonguen su duración temporal como se observa en la *figura 4*, donde se disponen fotos tomadas con un osciloscopio de pulsos de una misma muestra de Bi 207 amplificadas con diferentes shapings. En la *figura 5* se muestran los pulsos de tensión emitidos por el fotomultiplicador para la misma muestra de Bi 207 pero esta vez sin amplificar, donde se observa que son muy cortos temporalmente, de baja tensión y no son periódicos ya que la fuente misma no emite periódicamente.



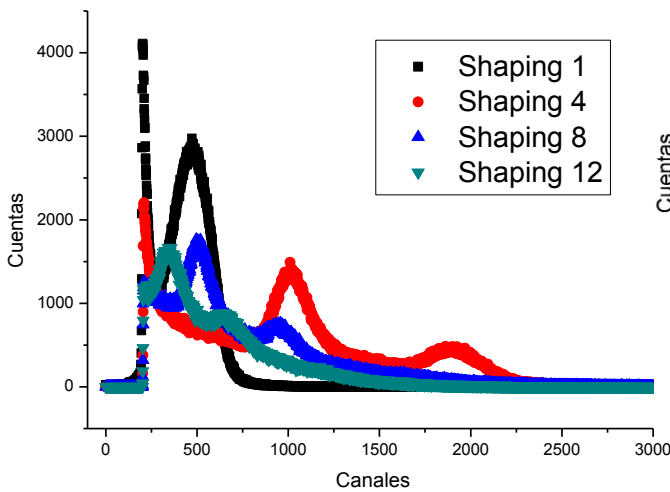
**Figura 4** -Pulsos amplificadas con shaping de 0.5, 2, 4 y 8 microsegundos respectivamente.

Para decidir el shaping a utilizar se graficó para una misma muestra de Bi 207 el espectro de radiación para diferentes valores de shaping y se seleccionó aquel en el cual el espectro distribuido lo mejor posible en el rango de trabajo de la placa, véase la *figura 6*. El motivo por el cual el valor de tensión y la cantidad de cuentas cambian en función del shaping utilizado puede ser el hecho de que la placa no

llegue a resolver algunos pulsos de corta duración temporal, o que por contrario cuando un pulso sea extendido en el tiempo sea detectado más de una vez. Sin entrar en el detalle de estos eventos, se utilizó el criterio previamente expuesto para seleccionar el shaping de 4 microsegundos.



**Figura 5** -Pulsos sin amplificar.

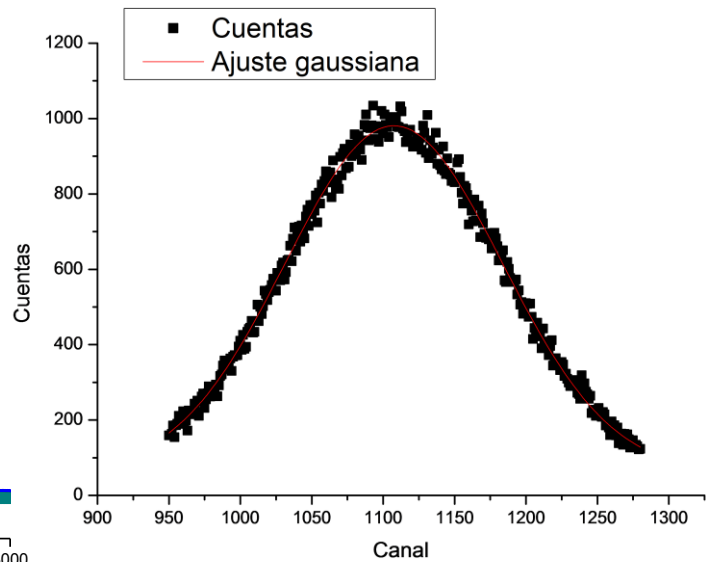


**Figura 6** -Distintos shapings graficados para el espectro de una misma muestra.

Se detectó sistemáticamente en todas las muestras un conteo nulo para los niveles de energía por debajo del canal 180

y un conteo regular por encima del canal 209. Dentro de ese rango se detectaba en las muestras un comportamiento que no continuaba la tendencia del gráfico. Solo podemos adjudicar este hecho a que la placa de adquisición no adquiera correctamente los valores bajos de tensión. Nótese que al variar el shaping del amplificador se cambia el nivel de energía de salida del mismo, pero no cambia el canal a partir de la cual aparece esta región de corte, si fuese un problema debido al detector esta región de corte debería correrse proporcionalmente con el nivel de voltaje de la señal.

Luego se realizó la calibración del dispositivo, es decir, se estableció la relación entre el número de canal y el valor de energía del fotón incidente para el montaje y la configuración de amplificador previamente detallados.



**Figura 7** -Ajuste del máximo de emisión de una muestra de cesio 137.

Utilizando muestras de diferentes elementos radioactivos presentes en el laboratorio, se midió el espectro de

radiación de los mismos y se identificó cada uno de los máximos encontrados con un determinado valor de emisión del material, los cuales se encontraban tabulados en el laboratorio. Para determinar con precisión la posición de los máximos de emisión, se les realizó a cada uno un ajuste no lineal de una gaussiana mediante el programa Orogin 8, se muestra un ejemplo de esto en la *figura 7*.

Sobre los datos obtenidos se realizó una regresión lineal utilizando nuevamente el programa Origin 8. Los mismos se presentan en Resultados y discusiones.

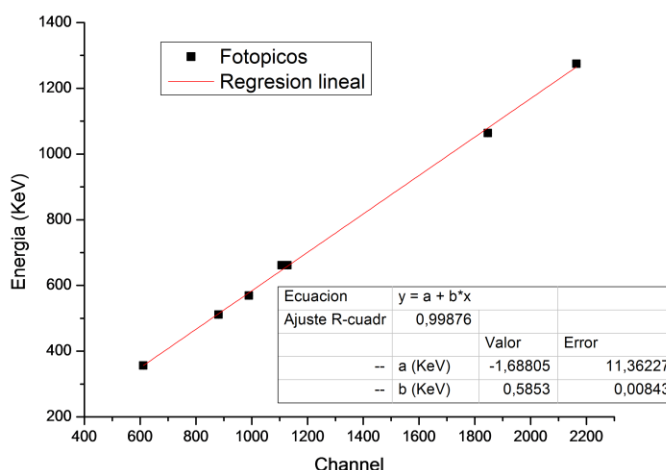
Por último se decidió analizar la relación entre el valor de tensión de la fuente de alimentación del fotomultiplicador y el valor del pulso de tensión saliente del mismo, es decir, el número de canal donde caerá este pulso. El objetivo es determinar en qué proporción puede afectar a la experiencia una variación en el valor de la fuente de tensión utilizada. En el caso de la fuente utilizada en el laboratorio, la misma oscilaba en más menos un voltio del valor deseado (1445V).

Para calcular esta relación se utilizó una muestra de Bi 207. Manteniendo todos los otros parámetros fijos, se fue registrando la ubicación de un mismo máximo de este material a medida que se fue variando el voltaje de alimentación en la fuente de tensión. De la misma manera que en las experiencias anteriores, para determinar con certeza la ubicación de los máximos se realizaron ajustes a gaussianas de los picos.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Elemento	Energía del fotón emitido		
	Valor Teórico (KeV)	Máximo en Canal	Error
Bario 133	356,01	611,23	0,47
Bismuto 207	569,15	989,94	0,23
	1063,63	1846,91	0,56
Sodio 22	511	881,16	0,3
	1274,5	2164,53	2,73
Cesio 137	661,66	1107,47	0,23
Cesio 137 (2)	661,66	1128,28	0,52

**Tabla 1** - Energía del fotón emitido y canal donde aparece el máximo.



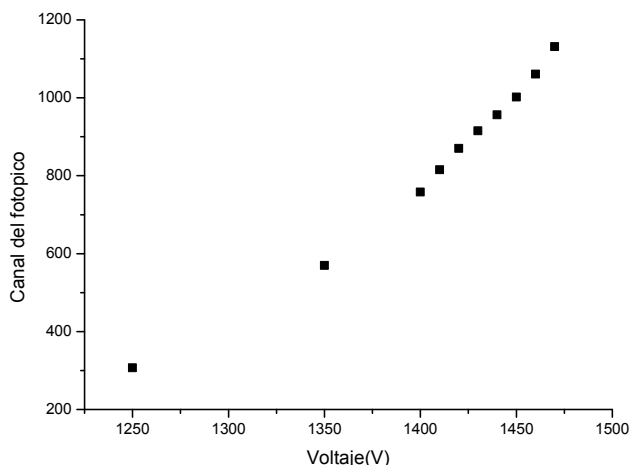
**Figura 8** - Regresión lineal del valor energético del fotón en función del canal.

En la *Tabla 1* se disponen los valores de canal obtenidos mediante el ajuste y los de energía del fotón incidente tabulado en el laboratorio. La *figura 8* presenta la regresión lineal. Nótese que fue acertado suponer la relación entre el número del canal y el valor de energía de los fotones lineal, ya que el valor de R cuadrado nos indica que es una buena aproximación.

Por lo tanto para las futuras mediciones queda definida la relación entre estos dos valores como en la ecuación (1). Donde C es el número del canal y E es el valor de energía del fotón incidente en KeV.

$$(1) E(C) = -1 \times KeV + C \times 0,585 KeV$$

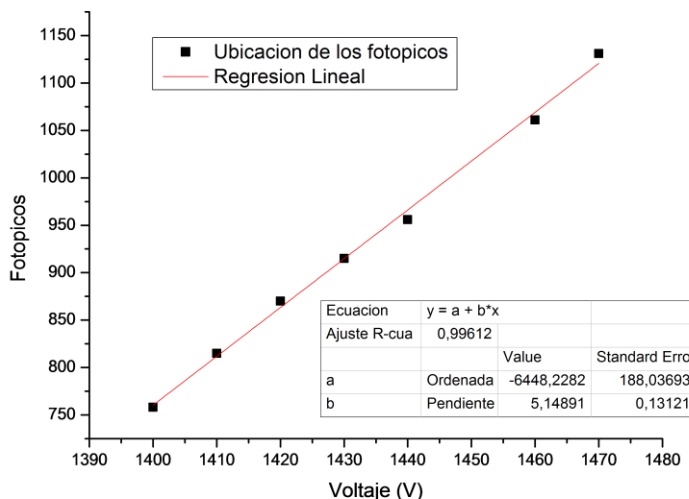
Como se puede apreciar en la tabla de la *figura 8* el error de la ordenada al origen es alto en proporción a su valor. Esto se debe a que al trabajar valores altos y alejados al origen en ambos ejes una pequeña variación en la pendiente de la recta representa una gran variación en el corte con el eje.



**Figura 9** - Relación de la ubicación de los fotopicos y la tensión de la fuente.

Los resultados de la última experiencia son dispuestos en la *figura 9*, donde se graficaron los valores de la fuente de tensión contra el número de los canales donde se ubicaban los picos. Se puede observar que si nos acotamos a una región alrededor de la cual se trabajó (1445V) el carácter de esta relación es lineal. Por lo tanto se redujo el análisis solo a esos valores y se realizó

nuevamente una regresión lineal con el programa Origin 8.



**Figura 10** - Regresión lineal de la zona de interés.

Finalmente se puede observar este ajuste en la *figura 10*. Si tenemos en cuenta la oscilación en la tensión de la fuente de 1V que se detectó, mirando la pendiente de la recta se traduciría a un error de 5,15 en los canales. Esto quiere decir que el error en la fuente de tensión debe ser tenido en cuenta ya que aporta significativamente al error total de la medición. Esta tensión puede variar por distintos motivos, uno de ellos tal vez el más importante es la temperatura de la misma, la cual se eleva varía por el mismo funcionamiento de la fuente.

#### IV. CONCLUSIONES

Se determinó la configuración óptima del montaje para un mejor aprovechamiento del rango de trabajo de la placa. En primer lugar se debe utilizar la fuente de tensión del fotomultiplicador en un valor cercano a su límite de trabajo,

como por ejemplo 1445V. También se recomienda elegir el shape del amplificador en 4 microsegundos y seleccionar la máxima amplificación posible.

Como posible mejora al montaje, se propone utilizar otro amplificador igual al utilizado como preamplificador, de esta manera se conseguiría una señal de mayor nivel a la salida, ya que la poca amplificación no se debe a un límite del instrumento sino a una baja señal de entrada. Tal vez de esta manera sea posible resolver la región de baja energía donde es visible el efecto Compton.

Por último se calibró el dispositivo para la configuración utilizada, determinando el valor energético del fotón incidente según el canal al cual lo adjudique el software. Se advirtió además el cuál es el valor del error que puede introducir una variación de la tensión en la fuente de alimentación a esta calibración.