

MODULO 3 DETECTORES DE RADIACION GAMMA

CONCEPTOS BASICOS SOBRE CENTELLADORES

Cuando una partícula indirectamente ionizante incide en un material, puede interactuar de acuerdo al mecanismo que corresponda, a su energía y al material de que se trate, produciendo partículas secundarias cargadas que se mueven en su interior. En ciertos materiales, denominados **centelladores**, pequeña fracción de la energía cinética de esas partículas secundarias es convertida en energía luminosa; el resto se transfiere al medio como calor o como vibraciones de su red cristalina. La fracción de la energía que se convierte en luz (definida como eficiencia de centelleo) depende, para un dado centellador, de la naturaleza de la partícula y de su energía.

Un material centellador ideal presenta las siguientes propiedades:

- Convierte la energía cinética de las partículas cargadas en energía luminosa con alta eficiencia de centelleo.
- Tal conversión es lineal; la energía luminosa es proporcional a la energía impartida al centellador en un amplio rango de energías.
- Es “transparente” a la longitud de onda que él mismo emite por desexcitación.
- El tiempo de decaimiento de los impulsos luminosos es corto, de manera que las señales generadas con rápidas.
- Posibilita construir detectores de dimensiones adecuadas a la aplicación prevista.
- Su índice de refracción es muy parecido al del vidrio, lo que permite un acoplamiento óptico eficiente con el dispositivo transductor, cuya función es transformar a su vez los impulsos luminosos en señales eléctricas.

Ningún material cumple todas las propiedades enunciadas, por lo que la elección de un centellador en particular resulta una solución de compromiso según la aplicación de que se trate.

Centelladores inorgánicos

Los centelladores inorgánicos son cristales que poseen, en general, mejor rendimiento luminoso y linealidad, pero tienen menor velocidad de respuesta. El mecanismo de centelleo en estos materiales depende de los estados de energía determinados por su red cristalina.

En los materiales aisladores o semiconductores, los electrones sólo pueden ocupar un número discreto de niveles de energía agrupados en “bandas” (ver figura 1).

La banda de valencia está ocupada por electrones firmemente ubicados en sus niveles energéticos, mientras que la banda de conducción está constituida por niveles de energía ocupados por electrones que poseen suficiente energía como para migrar libremente por el cristal. Existe una banda de energía intermedia, la llamada banda prohibida, que en los cristales puros no puede estar ocupada por niveles energéticos correspondientes a electrones.

La absorción de energía en un cristal puede resultar en la “elevación” de un electrón desde su estado de energía original, en la banda de valencia, hasta una posición en la banda de

conducción, atravesando la banda prohibida y dejando una vacante o “hueco” (ion positivo) en la banda de valencia.

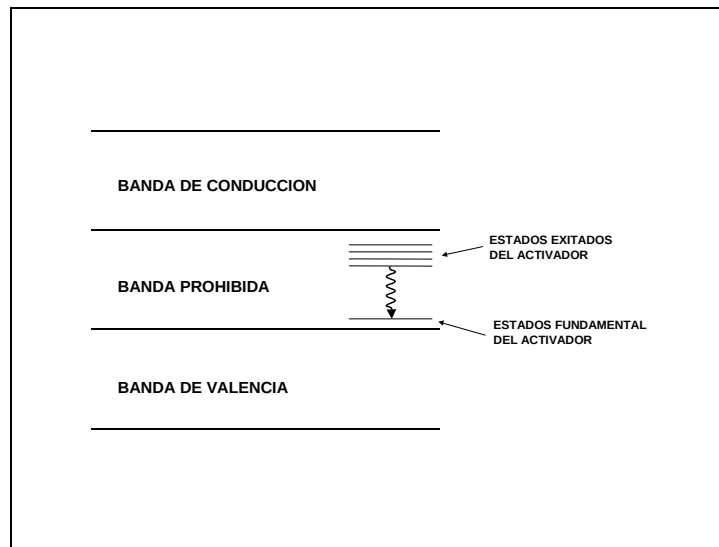


Figura 1

Al regresar el electrón a su posición original durante la desexcitación, el átomo emite energía en forma de radiación electromagnética. Este proceso en un cristal puro es muy poco eficiente a los fines requeridos debido a la excesiva “altura energética” de la banda prohibida (4 ó 5 eV) por lo que la frecuencia del fotón es superior a la correspondiente al rango de luz visible.

Para mejorar la probabilidad de emisión de un fotón luminoso en el proceso de desexcitación, a los centelladores inorgánicos se les agrega pequeñas cantidades de impurezas denominadas **activadores**, que llevan a la aparición de niveles energéticos intermedios dentro de la banda prohibida. Como resultado de ello, los electrones que por excitación externa arriben a esos niveles, provocan, al regresar a su nivel energético original, la emisión de fotones de frecuencias comprendidas en el rango de luz visible (pues su energía es menor que la correspondiente a la banda prohibida).

Una partícula cargada que interactúa con el centellador creará un gran número de pares electrón-hueco por la elevación de electrones desde la banda de valencia. Un hueco puede migrar hasta la posición de una impureza activadora e ionizarla, debido a que la energía de ionización de la impureza es menor, mientras que el electrón libre podrá desplazarse por la red cristalina hasta encontrar un hueco a “llenar” en el activador. Ese nuevo átomo neutro de impureza se halla excitado y en su transición al estado estable, es altamente probable que emita el exceso de energía en forma de un fotón luminoso.

Los tiempos de vida media típicos para estos estados excitados son del orden de 10^{-7} segundos.

Entre los centelladores inorgánicos más frecuentemente empleados se pueden citar el **ioduro de sodio activado con talio - INa (TI)**

La característica más notable reside en la alta eficiencia de centelleo. La respuesta a radiación gamma y beta es prácticamente lineal para un rango amplio de energías y se los emplea usualmente en espectrometría gamma. Se pueden construir en diversos tamaños, por lo general en forma cilíndrica.

Sus desventajas son: fragilidad (son fácilmente deteriorables por efectos mecánicos o térmicos); altamente higroscópicos (se opacan al hidratarse, deben encapsularse de manera estanca); y el tiempo de decaimiento del impulso luminoso resulta alto frente a tasas elevadas de conteo.

FOTOMULTIPLICADORES

La utilización de los centelladores en la detección y espectrometría de las radiaciones sería imposible si no se dispusiera de dispositivos capaces de convertir los impulsos luminosos sumamente débiles, provenientes de los centelladores, en impulsos eléctricos. Tales dispositivos se denominan **tubos fotomultiplicadores**. Consisten en una válvula electrónica multielectródica que transforma la energía luminosa en eléctrica. De esta manera, los impulsos eléctricos, proporcionales a los luminosos (constituidos por no más de algunos cientos de fotones) pueden ser procesables por circuitos electrónicos relativamente simples. La función del tubo fotomultiplicador es, entonces, actuar como transductor optoelectrónico. Comercialmente se dispone de tubos fotomultiplicadores sensibles a energías radiantes de diversas frecuencias, que van desde el ultravioleta hasta valores próximos al infrarrojo.

Un tubo fotomultiplicador está constituido fundamentalmente por un **fotocátodo** (que emite electrones bajo la acción de la luz), una serie de electrodos llamados **dinodos** (que multiplican los electrones emitidos por el fotocátodo, que chocan contra dichos electrodos después de haber sido acelerados por el campo eléctrico producido por una diferencia de potencial aplicada entre ellos), y un **ánodo**.

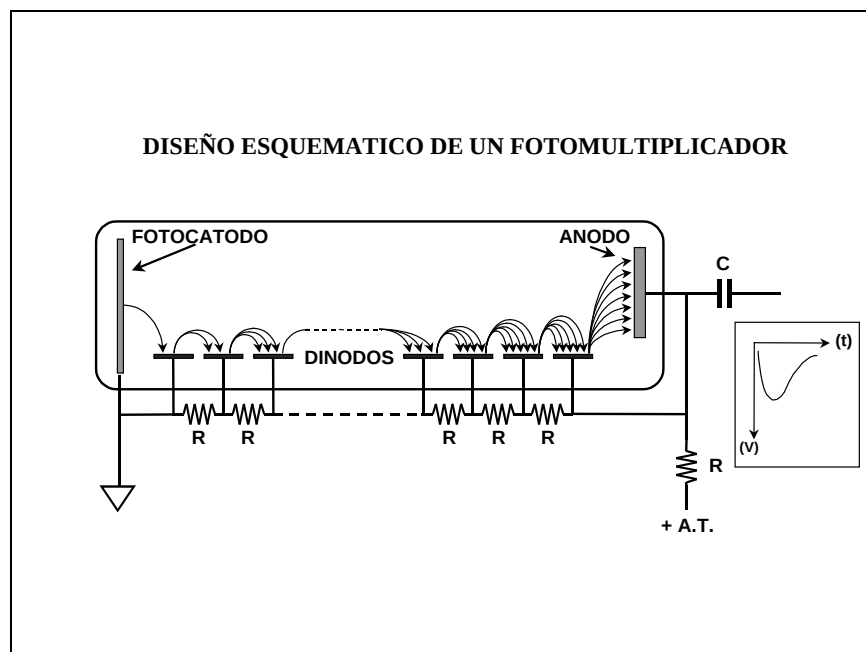


Figura 2

Cada electrón que choca con un dinodo “arranca” de él electrones secundarios (p.e., 3 ó 4), los cuales son también acelerados y van a chocar contra el dinodo siguiente. Se forma así una avalancha de electrones que, después de chocar y multiplicarse en el último dinodo, inciden sobre el ánodo donde se origina el impulso eléctrico correspondiente.

El número total de dinodos suele ser próximo a diez, variando de acuerdo a los requerimientos de multiplicación (usualmente comprendida entre 10^5 y 10^6) del número de electrones.

El correspondiente circuito eléctrico se indica en la figura 2. Consiste en un divisor resistivo que tiene por función polarizar los dinodos con valores escalonados de potencial, a partir de una única fuente de alimentación conectada entre el punto AT y tierra. El capacitor C bloquea la corriente continua y permite que sólo se transmitan los impulsos de señal.

DETECTORES DE CENTELLEO

Un detector de centelleo está constituido por el conjunto centellador-tubo fotomultiplicador, ópticamente acoplados entre sí. Dicho acoplamiento debe asegurar una eficiente transmisión de la radiación luminosa desde el centellador hacia el fotomultiplicador, a la vez que se debe asegurar que no ingrese luz proveniente del exterior (ver figura 3).

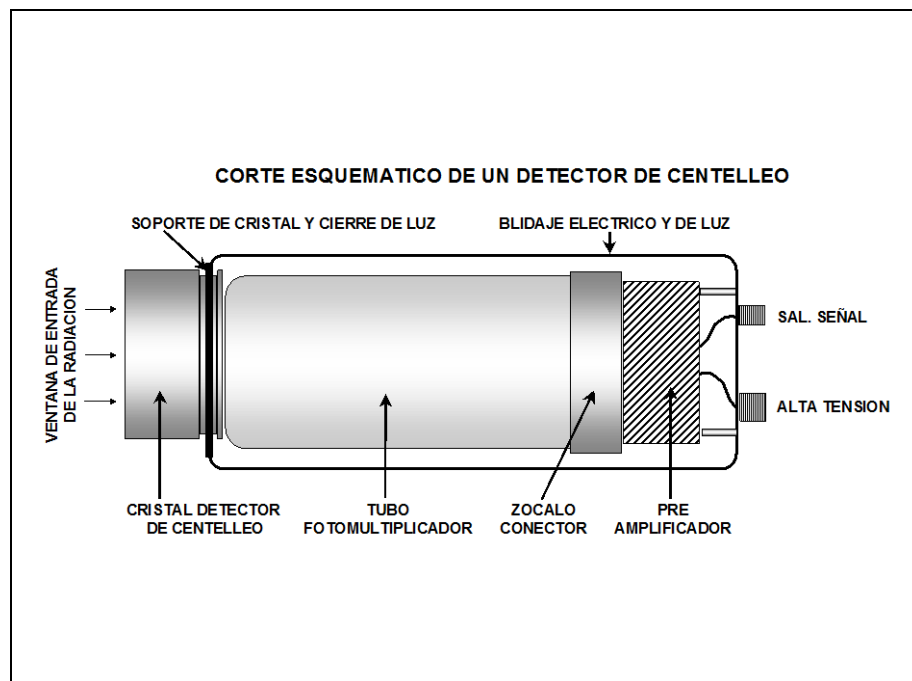


Figura 3

Diversos centelladores son altamente higroscópicos, por lo que se los encapsula herméticamente. En este caso, una de las caras del encapsulado está constituida por una placa de vidrio plano y transparente, que se acopla ópticamente a la cara de vidrio plana del fotomultiplicador. Para impedir la existencia de una capa de aire entre ambas placas de vidrio que forme una sistema óptico en el que la luz pasa de un medio más denso (vidrio) a uno menos denso (aire) y ocasione fenómenos de reflexión total sobre la cara del fotomultiplicador, se suele aplicar una delgada capa de aceite de siliconas de alta densidad y transparencia, con un índice de refracción muy similar al del vidrio.

A efectos de que no ingrese luz del exterior al conjunto centellador-fotomultiplicador, éste suele disponerse en el interior de un recinto metálico, generalmente construido de aluminio, de dimensiones adecuadas, que a su vez cumple la función de aumentar la robustez mecánica del conjunto.

Con el objeto de evitar posibles daños debidos al contacto directo entre el metal que constituye la envuelta y el centellador, se prevén juntas elásticas opacas que amortiguan los esfuerzos mecánicos y contribuyen a impedir el ingreso de luz.

Eficiencia Geométrica de Detección

Si se supone una fuente radiactiva de pequeñas dimensiones (un orden de magnitud más pequeña que la distancia que la separa del detector) como un emisor isotrópico, la fracción del número total de partículas emitidas por la fuente que llegan al detector se define como eficiencia geométrica de la configuración:

$$E = \frac{S}{4 \pi d^2}$$

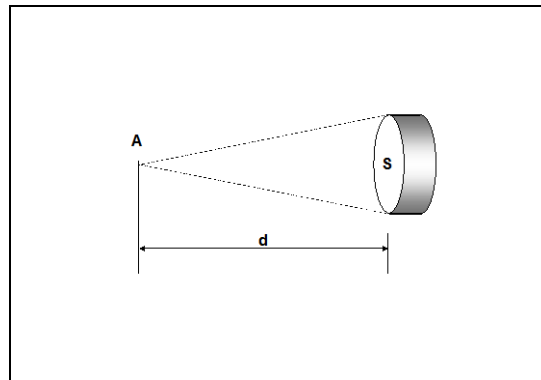


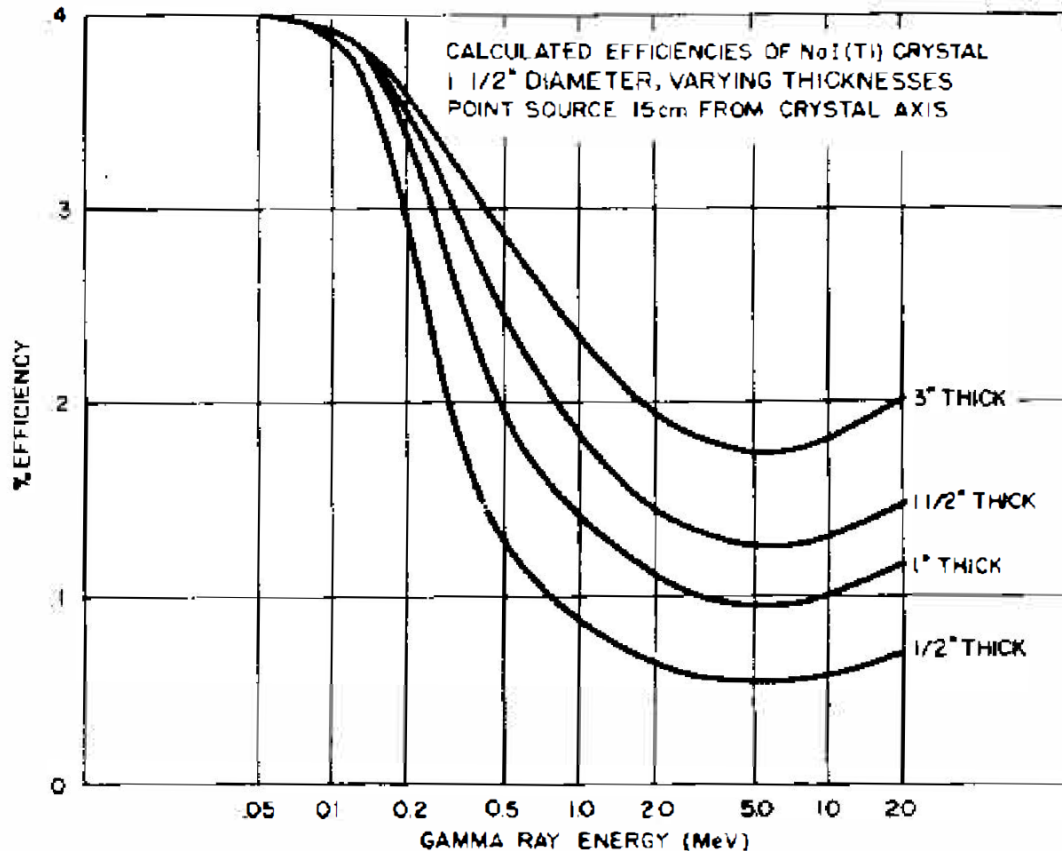
Figura 4

Eficiencia Intrínseca de Detección

La **eficiencia intrínseca** de un detector de centelleo para radiación fotónica de una cierta energía está dada por la fracción del número de fotones de dicha energía que interactúan con el centellador. Depende, por lo tanto, del coeficiente de absorción total μ del material para la radiación considerada (suponiendo que los efectos fotoeléctrico, Compton y formación de pares, dan lugar a impulsos de salida de amplitud suficiente). Si la energía de los fotones incidentes varía, también variará la eficiencia, ya que el coeficiente de absorción disminuye con la energía.

Eficiencia Total de Detección

Esta eficiencia se define como $N / N_0 \times 100\%$ donde N_0 es el número total de rayos gamma por segundo emitidos isotrópicamente por la fuente y N representa el número de interacciones dentro del cristal. La eficiencia depende tanto de la probabilidad de absorción dentro del detector como de la fracción de todas esas interacciones que es contada por la electrónica (se supone que la electrónica en este caso tiene un 100% de eficiencia de recuento). La Figura 4 ilustra curvas de eficiencia para distintos espesores del cristal, con la fuente a 15 cm de distancia de la cara cristalina. El paso de los rayos gamma en este caso es casi perpendicular al cristal y el aumento es aproximadamente exponencial con el espesor del mismo.



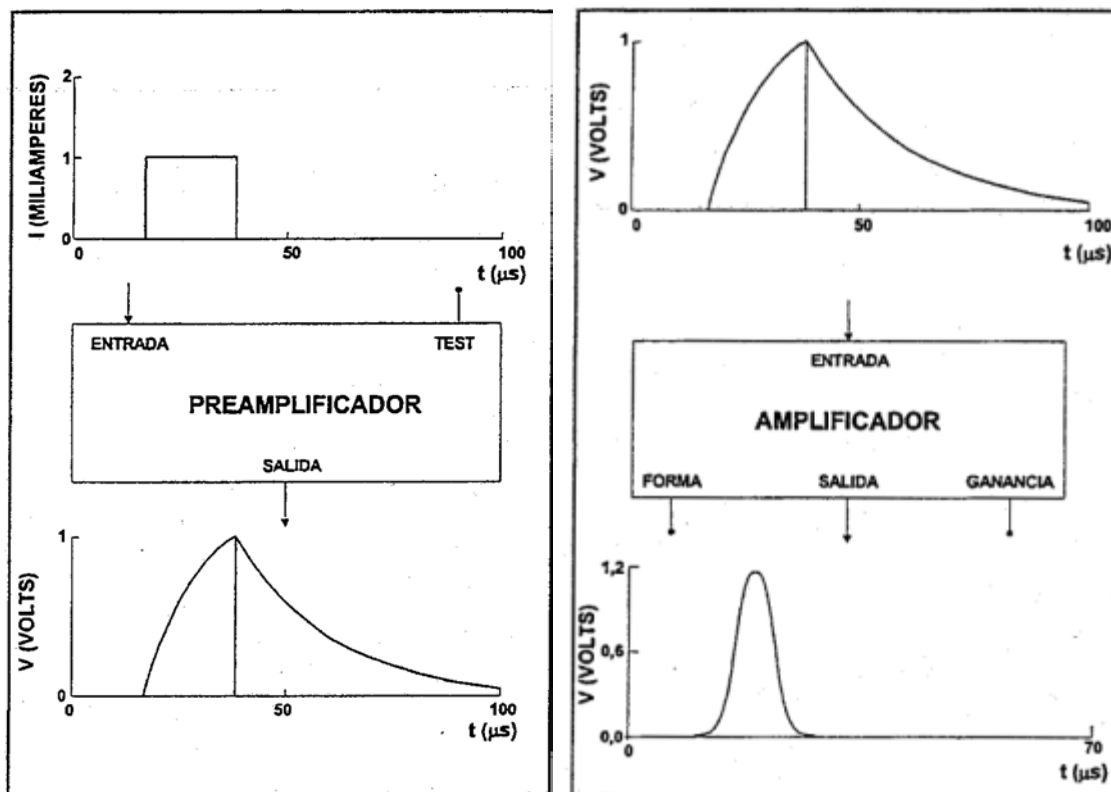
AMPLIFICACION

La amplitud de los pulsos entregados por los detectores es, por lo general, de valor inferior al mínimo que necesitan los sistemas de instrumentación asociados (tales como analizador monocanal y multicanal). Se impone entonces transformar los pulsos de corriente a tensión, amplificarlos linealmente y darles la forma necesaria para el conteo en los analizadores.

PREAMPLIFICADOR

En la espectrometría de energía los preamplificadores sensibles a la tensión no son empleados pues su ganancia depende de la capacidad del detector, la que puede no ser constante. Esto se soluciona empleando preamplificadores sensibles a la carga eléctrica contenida en cada pulso, la que es proporcional a la energía de la radiación incidente. En las figuras se visualiza el bloque preamplificador y las señales típicas de entrada-salida. La señal de entrada es un pulso de corriente idealizado y la salida, una señal de tensión con crecimiento y decaimiento exponencial, característico de los pulsos nucleares.

En los detectores de buena resolución el preamplificador está incorporado al mismo detector para minimizar el ruido, evitando enviar señales pequeñas por los conductores.



AMPLIFICADOR

Su función es modificar la forma de los pulsos de tensión entregados por el preamplificador y elevar el nivel de señal al valor adecuado para ser procesado por el sistema analizador. En la figura se visualiza el diagrama en bloques de un amplificador y la forma de las señales de entrada y salida. La conformación de pulsos se realiza a fin de mejorar la relación señal-ruido; además, se realiza un filtrado de la señal con el fin de reducir el tiempo de respuesta haciendo que los pulsos retornen rápidamente a cero.

Existen muchos controles en los amplificadores modernos. Los más importantes son: ganancia y forma. La forma define el ancho del pulso de salida, generalmente casi gaussiano, que debe ser ajustado de acuerdo con el detector y analizador empleado. Se puede recordar que para detectores centelladores la forma se ajusta generalmente en $0,25 \mu\text{s}$ a $0,5 \mu\text{s}$.

La ganancia, definida como la tensión de salida sobre la tensión de entrada, definirá qué tensión le asignamos a la entrada del analizador de espectro, a una cierta energía que interactúe con el detector (posición del fotopico en el analizador).

CALIBRACIÓN CANAL-ENERGÍA

Utilizando fuentes de calibración gamma certificadas se identifican los fotopicos de cada fuente en los canales correspondientes de un Analizador Multicanal (MCA). A estos canales se les asigna la energía gamma correspondiente basándose en los datos de los esquemas de decaimiento de cada radioisotopo. De esta manera se puede construir una recta de calibración Canal vs. Energía mediante una regresión lineal. Se debe recordar que definida la ganancia del amplificador y realizada la calibración en energías ésta no se debe modificar para que siga siendo válida la relación canal-energía.