

REPUBLICA ARGENTINA
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
Dependiente de la Presidencia de la Nación

CENTRAL NUCLEAR EN EMBALSE
CURSO INTRODUCTORIO A CENTRALES NUCLEARES
NIVEL TECNICO

DETECTORES DE RADIACION

Rodolfo GROSSONI

Buenos Aires
1982

DETECTORES DE RADIACION

INDICE

- 1 - Principio básico.
- 2 - Interacciones generalmente usadas para detección de partículas.
- 3 - Detectores gaseosos.
- 4 - Características destacadas de los detectores gaseosos.
 - 4.1 - Cámara de ionización
 - 4.2 - Contadores proporcionales
 - 4.3 - Contadores Geiger-Müller
 - 4.4 - Determinación del punto de trabajo "Plateau"
- 5 - Contadores de Centelleo.
- 6 - Detección de neutrones.
- 7 - Equipos asociados a los detectores.
 - 7.1 - Amplificadores de pulsos
 - 7.2 - Discriminadores
 - 7.3 - Unidades de conteo y exhibición de la información
 - 7.4 - Integradores
 - 7.5 - Información de multicanales

DETECTORES DE RADIACION

1 - PRINCIPIO BASICO

El mecanismo fundamental de la detección de la radiación es la cesión, total o parcial, de la energía de la partícula o radiación a un medio adecuado. Es en realidad, la presencia de esta energía la que es detectada, por muy diversos métodos, dependiendo la elección de los mismos de dos factores fundamentales:

- a) El tipo de partícula o radiación de que se trata;
- b) La clase de información que se desea obtener.

Son conocidas en la actualidad una cantidad muy grande de partículas, pero nosotros nos ocuparemos fundamentalmente de las siguientes:

NOMBRE DE LA PARTICULA	SIMBOLO	CARGA	MASA
Neutron	n	0	1.009
Proton	p	1	1.008
Deuteron	d	1	2.014
Alfa	α	2	4.003
Positron	β^+	1	0.0005
Electron	β^-	-1	0.0005
Gamma	γ	0	0

(Nota: La masa esta dada en unidades de masa atómica, que toma la masa del atomo de oxígeno como 16).

2 - INTERACCIONES GENERALMENTE USADAS PARA DETECCION DE PARTICULAS

La cesión de energía desde una partícula o radiación hacia el medio es estudiada como fenómeno de "Interacción con la materia". De todas las interacciones posibles para todas estas radiaciones y sus diversas energías una que es extensamente usada para la detección es la ionización. Aplicada en los contadores gaseosos, se llama ionización a la remoción de uno o varios de los electrones orbitales de un atomo, ocurriendo por lo general en las orbitas mas externas, (capas de valencia), y dando como resultado la aparición de dos cargas eléctricas libres: el electron en sí, con carga negativa, susceptible de ser atraído por un electrodo con tensión positiva; y el resto del átomo, que al haber perdido uno o varios electrones ha adquirido una carga positiva, y podra dirigirse, en un medio adecuado, hacia un electrodo negativo.

Suele decirse que la ionización es provocada por la "colisión" de una partícula con un electron orbital. Esto debe tomarse unicamente en sentido figurado, porque lo que la inmensa mayoría de las veces ocurre es una fuerte interacción entre el campo eléctrico del electrón orbital y el de la partícula que atraviesa las vecindades del electrón. Es por ello que la detección

por ionización es producida únicamente por partículas con carga eléctrica: protones, alfas, electrones, pero solo indirectamente producida por partículas neutras, (neutrones).

Los neutrones suelen detectarse aprovechando su facilidad para incorporarse a un núcleo atómico, anteriormente estable, para formar un "núcleo compuesto", inestable, que vuelve luego a su estado estable mediante la emisión de alguna partícula o radiación. Es esta última la que en realidad se detecta.

Un efecto que en las últimas décadas se viene empleando con mayor frecuencia para el estudio y medición de las radiaciones nucleares es la propiedad que tienen algunas sustancias de emitir "destellos" deluz dentro del rango de la luz visible o muy próximos a él. Son estructuras cristalinas, que ubicadas en las vecindades de un fototubo muy sensible permiten mediciones muy precisas y confiables.

3 - DETECTORES GASEOSOS

Su principio de funcionamiento es la colección de las cargas eléctricas producidas por la radiación en un medio gaseoso.

El sistema consta de una cámara conteniendo gas entre dos electrodos entre los cuales se aplica una cierta tensión continua. La geometría puede ser muy diversa, aunque formas típicas son aquellas donde los electrodos son placas paralelas de metal, o "rejas" paralelas hechas con alambre delgado sobre un marco rígido. También es frecuente la construcción cilíndrica, donde un electrodo es la superficie lateral del cilindro, y el otro un alambre que está ubicado en el eje del cilindro.

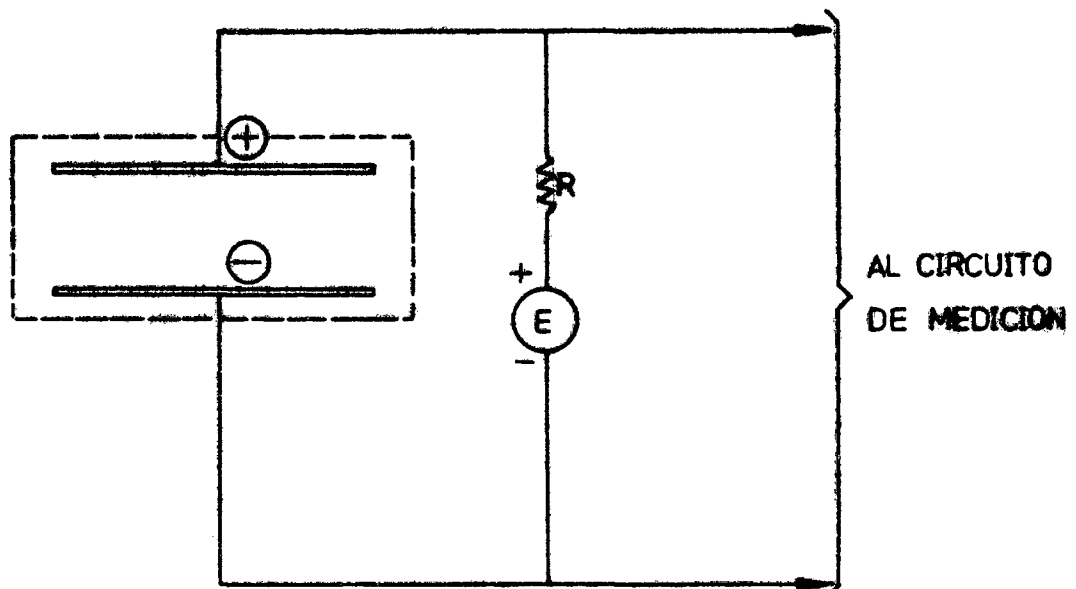


FIG 1

La elección de la geometría adecuada depende de la clase y energía de la radiación que se desea medir. Así, los detectores de electrodos con una superficie muy grande son capaces de medir actividades muy pequeñas, lo cual es innecesario si se sabe que se van a medir solamente altas actividades, en cuyo caso una cámara de reducidas dimensiones será suficiente. Además, debe tenerse presente que para producir ionización la partícula debe poder ingresar al interior de la cámara de detección, lo cual puede ser imposible para partículas alfa, las que, como se sabe, tienen un alcance tan corto que seguramente serán detenidas por el material que forma las paredes del detector. En estos casos se construye en el mismo una "ventana" hecha con un material de espesor muy reducido y de una calidad tal que provea la menor absorción posible a la radiación alfa. Por otra parte, si las sustancias emisoras que se desea medir son gaseosas, siempre se puede acudir al expediente de hacerlas circular por el interior del detector, en contacto íntimo con los electrodos. Esta técnica se la suele usar para medir tritio.

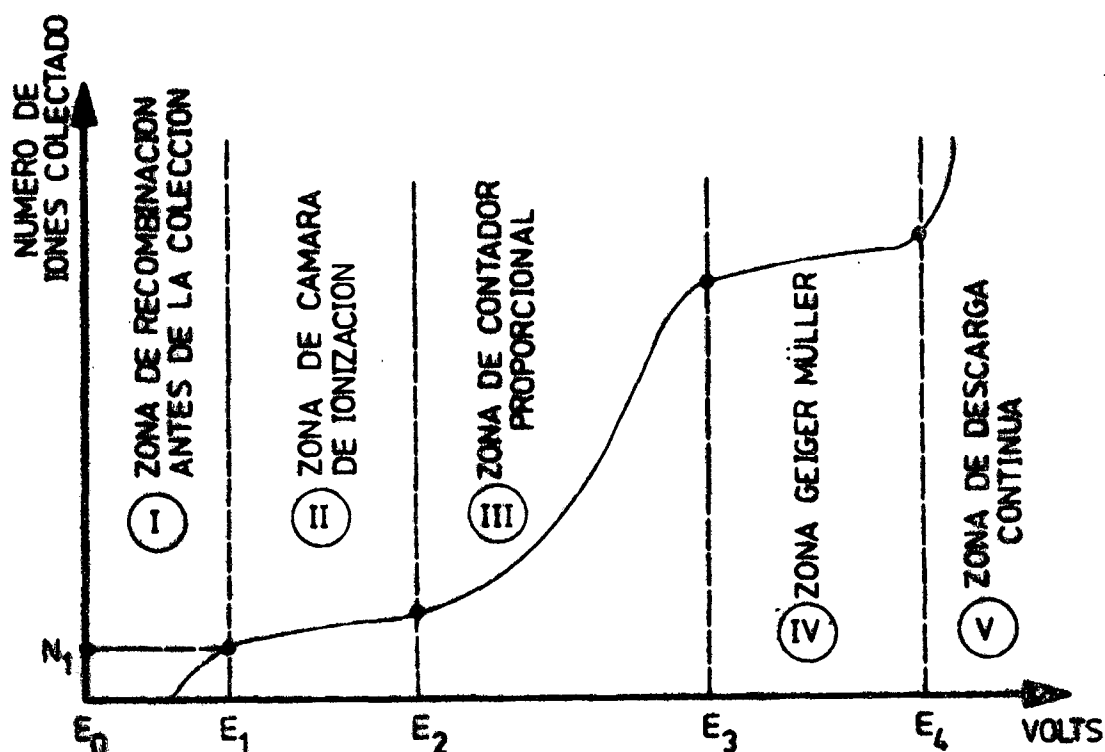


FIG. 2

Supongamos ahora que sometemos una cámara como la de la Figura 1 a un flujo de radiación constante a través del tiempo, y que sabemos que produce inicialmente, en el interior del detector, una cantidad de pares iónicos igual a N_1 . A partir de cero, aumentamos la tensión inter-electródica y registramos el número de iones colectados. Se obtendrá una curva como la de la Figura

2, donde se observan cinco regiones definibles:

ZONA I: El número de iones colectados es nulo o muy inferior a los inicialmente liberados. Esto se debe a que, como la velocidad de desplazamiento de los iones es proporcional a la tensión aplicada, a bajas tensiones la lentitud del desplazamiento permite la recombinación espontánea de los pares iónicos antes de que alcancen los electrodos. Al crecer el campo aumenta la velocidad de arrastre y el tiempo que las cargas disponen para recombinarse disminuye, incrementando la fracción de carga colectada;

ZONA II: En esta región la pérdida por recombinación es despreciable y la carga total, N_1 , producida por la partícula ionizante, es recolectada íntegramente. Esta región se conoce como región de saturación o zona de CÁMARA DE IONIZACIÓN;

ZONA III: Para tensiones mayores que la del límite de la región de saturación, los electrones adquieren energías cinéticas tales que pueden producir ionizaciones secundarias por choques con las moléculas gaseosas. El número de cargas colectadas se incrementa así en un factor dependiente de la tensión aplicada. En otras palabras, manteniendo siempre la misma ionización inicial, aumentando la tensión podemos obtener pulsos proporcionalmente mayores. Existe además, en esta región, otra proporcionalidad que le confiere interesantes características: si la ionización inicial fuera mayor, por tratarse ahora de otra radiación de mayor energía, y mantenemos la tensión constante, la amplitud del pulso de salida dependerá ahora de la energía de la radiación. Si el equipo de medición es capaz de discriminar altura de pulsos, estamos en condiciones de efectuar espectrometría, técnica de análisis que consiste en interpretar un gráfico en el cual se ha vertido, en ordenadas, la actividad de una muestra radioactiva, en desintegraciones por unidad de tiempo, y en abscisas, la energía a la cual corresponden.

ZONA IV: En esta región, la tensión inter-electródica es tan alta que una muy pequeña ionización inicial es capaz, gracias a la ionización secundaria, de producir la ionización de prácticamente la totalidad del gas contenido en el detector. La proporcionalidad respecto a la energía de la radiación se pierde. Subsiste únicamente una pequeña proporcionalidad a la tensión, que suele ser del 5% cada 100 volts, debida parcialmente al aumento del volumen sensible del detector con el aumento de la tensión, y también a la producción de pulsos espureos (o sea que ocurren sin el arribo de una partícula ionizante), que es mayor a tensiones más altas.

ZONA V: Una vez producida una única ionización inicial, ya sea por una partícula o por un pulso espureo, la alta tensión aplicada produce una corriente tan grande que mantiene indefinidamente la ionización, pudiendo llegarse a una rápida destrucción del tubo.

4 - CARACTERÍSTICAS DESTACADAS DE CADA UNO DE LOS DETECTORES GASEOSOS

- 4.1 - CÁMARA DE IONIZACIÓN: En líneas generales, su ventaja consiste en la baja tensión de trabajo, lo que simplifica el diseño de la fuente de alta tensión y puede llegar a hacerla apta para trabajar con baterías, en equipos

portátiles. Es frecuente la aplicación como cámara de nivel medio, donde simplemente se mide la corriente continua pulsante de salida. Esta corriente, sin embargo, puede llegar a ser extremadamente débil, tanto como 10^{-16} Amp, lo cual requiere técnicas muy especiales de medición, así como muy especiales precauciones de aislación. Actualmente, el uso de circuitos MOSFET posibilita la solución del problema. En otras aplicaciones, por ejemplo, medición de altísimas actividades, sencillas cámaras pueden proveer corrientes de salida del orden de 10^{-6} Amp. o aún mayores lo cual permite utilizar técnicas de medición relativamente sencillas.

- 4.2 - CONTADORES PROPORCIONALES: Su principal ventaja consiste, como se ha dicho, en que proporciona pulsos de salida de amplitud proporcional a la energía de la radiación, lo cual lo hace apto para espectrometría. Sin embargo, existiendo además una proporcionalidad entre el factor multiplicativo y la tensión aplicada, se hace necesario que la fuente de alta tensión sea extremadamente estable, lo cual, unido a las altas tensiones que se requieren, hacen que la fuente deba ser de diseño mas delicado y costoso. Son frecuentes las fuentes basadas en un generador de pulsos de amplitud y ancho constantes, pero de frecuencia variable. Si la tensión de salida comenzara a descender, el circuito de regulación aumenta la frecuencia de los pulsos hasta el valor necesario para obtener un correcto valor de tensión.
- 4.3 - CONTADORES GEIGER-MULLER: Si no se requiere discriminación de energía de las partículas, la solución puede ser trabajar en la zona de Geiger-Müller. La ventaja consiste en la elevada amplitud del pulso de salida. Además, la escasa influencia de la tensión sobre el conteo hace menos crítico el diseño de la fuente. Sin embargo, un factor limitativo es, en algunos casos, el "tiempo muerto" del tubo. En efecto, luego de producida una ionización, debe transcurrir un cierto tiempo hasta que el gas este nuevamente en condiciones de ionizarse por la llegada de una nueva partícula. Asimismo, si esta llegada se produce inmediatamente después de transcurrido este tiempo, el nuevo pulso generado no va a alcanzar el mismo valor que los anteriores. Debe transcurrir otro lapso de tiempo conocido como "tiempo de recuperación", para que se puedan obtener pulsos de la amplitud normal, una vez completada la recombinación del total de la masa de gas del detector. En otras palabras, el tubo disminuye su "eficiencia de conteo" a medida que la cantidad de IPM (Impulsos por minuto) aumenta. Se llama "eficiencia de conteo" a la relación entre la cantidad de partículas que realmente atraviesa el detector y la cantidad que son contadas. Esta relación, que es aproximadamente igual a la unidad para pocos IPM, empeora en altos IPM. Como en general existe una directa dependencia entre la eficiencia a altas cuentas y el volumen físico del detector, suele resolverse el problema empleando un tubo de grandes dimensiones para brindar buena sensibilidad a bajas cuentas, en conjunción con un tubo de pequeñas dimensiones que se conecta automáticamente al circuito, desconectando el otro, cuando el número de cuentas por minuto se aproxima a la zona en la que el tubo grande pierde eficiencia.

Los conceptos relacionados con "tiempo muerto" y "tiempo de recuperación" también son aplicables a los contadores proporcionales. Los valores favorecen a estos últimos, vale decir, un mismo tubo, trabajando en la zona de contador proporcional va a tener un tiempo muerto menor al que tiene cuando trabaja como G.M. En principio, cualquier tubo puede trabajar en cualquier zona, pero el diseño se lo optimiza para una zona en particular. Por ejemplo, si a un contador proporcional, destinado a trabajar hasta 4.000 volt, quisieramos llevarlo a la zona de G.M., seguramente le tendríamos que aplicar una tensión tan alta que probablemente destruiría las aislaciones.

4.4 - DETERMINACION DEL PUNTO DE TRABAJO "PLATEAU"

Volviendo a la Fig 1, se observan dos zonas planas o "plateau", (meseta, en frances). Por lo general nos referiremos solamente a la segunda de ellas, la correspondiente a la zona de G.M. Si estamos aumentando la tensión, el plateau comienza cuando vemos que la cantidad de IPM aumenta muy poco con el aumento de la tensión (menos que el 5% cada 100 volts); termina cuando al producir un ligero aumento de la tensión aumenta notablemente el número de IPM. Se acostumbra fijar el punto de trabajo del tubo a mitad de camino entre esos dos puntos.

5 - CONTADORES DE CENTELLEO

La absorción de energía por una sustancia y su re-emisión como radiación visible o cercana a la visible, se denomina "luminiscencia". La excitación inicial puede tener diversos orígenes: luz, tensiones mecánicas, reacciones químicas, etc. El centelleo producido por la radiación nuclear tiene su origen en la excitación producida en la sustancia por esta radiación. Los átomos así excitados vuelven rápidamente al estado estable, emitiendo el exceso de energía que los ha excitado bajo la forma de un destello de luz. En otros casos, los átomos permanecen en estado excitado, o metaestable, durante largos períodos de tiempo. Solamente los centelleadores rápidos, pueden ser usados para detección de radiación. Los centelleadores pueden ser sólidos o líquidos. Si bien el efecto de centelleo era conocido desde hace mucho tiempo, el empleo de los cristales de centelleo era muy restringido por la muy débil cantidad de luz emitida. Se rodeaba a los cristales de película fotográfica de alta sensibilidad y así se registraba el paso de algunas partículas. Actualmente se emplea a los cristales adosados a un tubo fotomultiplicador, el cual consta de un foto-cátodo, formado por un material que tiene la propiedad de emitir electrones al ser expuesto a la luz. Estos electrones liberados del cátodo pueden ser atraídos por cualquier electrodo conectado a un potencial positivo respecto del cátodo.

La facilidad que tiene el fotocátodo para emitir fotoelectrones determina que a menudo presente una considerablemente grande emisión termoiónica, la cual produce a la salida del fotomultiplicador la llamada corriente oscura, esto es, corriente de salida en ausencia de luz. Esta corriente oscura puede reducirse en el orden de 100 veces usando el cátodo a la temperatura del nitrógeno líquido.

Para aumentar la corriente emitida por el fotocátodo hasta valores mas fácilmente medibles, se dispone a continuación del mismo una serie de electrodos conectados a potenciales positivos progresivamente crecientes, llamados dinodos, hechos de materiales que tienen la virtud de producir una cantidad considerable de emisión secundaria. Luego de sucesivos rebotes en la cadena de dinodos, en cada uno de los cuales la emisión inicial ha sido aumentada por la emisión secundaria, la cantidad total de electrones así obtenida es recogida en el ánodo, produciendo así en el circuito exterior un pulso de tensión que puede tener valores de fracciones de volt, siendo por lo tanto fácilmente medible.

APLICACIONES: El hecho de que la amplitud del pulso de luz, y por tanto, de la corriente de salida del conjunto, depende de la energía de la radiación incidente, hace al sistema apto para espectrometría. En tal aplicación, es muy importante la "resolución" del conjunto cristal-fototubo. Se llama resolución, en el gráfico energía vs. impulsos por minuto, a la relación ΔE sobre E , expresada en porcentaje, donde ΔE es el ancho a altura mitad del pico correspondiente a la energía E . Aunque la resolución es en general peor que la de algunos detectores gaseosos, la aplicación de los cristales suele estar aconsejada por un mejor mantenimiento de las características a través del tiempo, y una electrónica en general mas sencilla, lo cual en definitiva redunda en el mejor funcionamiento del conjunto.

6 - DETECCION DE NEUTRONES

Como ya se ha dicho, la ausencia de carga eléctrica del neutrón hace que la probabilidad de provocar ionización sea tan baja, que hace que este método resulte inaplicable. Se procede de una manera indirecta, sometiendo al flujo neutrónico algún material que, excitado por dicho flujo, se transforme en emisor de otro tipo de radiación mas fácilmente detectable. Aunque son muy diversas las reacciones que son o pueden ser aprovechadas para tal fin, es muy frecuente utilizar la reacción (n, α) del B^{10} .

La probabilidad de esta reacción es muy alta para neutrones térmicos. Si debemos contar neutrones rápidos, deberán intercalarse en su recorrido adecuadas cantidades de un material moderador para disminuir la energía de los neutrones hasta valores en los que la probabilidad de producir la reacción adecuada sea mas alta. Este proceso de reducción de la energía hasta el valor de los neutrones térmicos se llama "termalización".

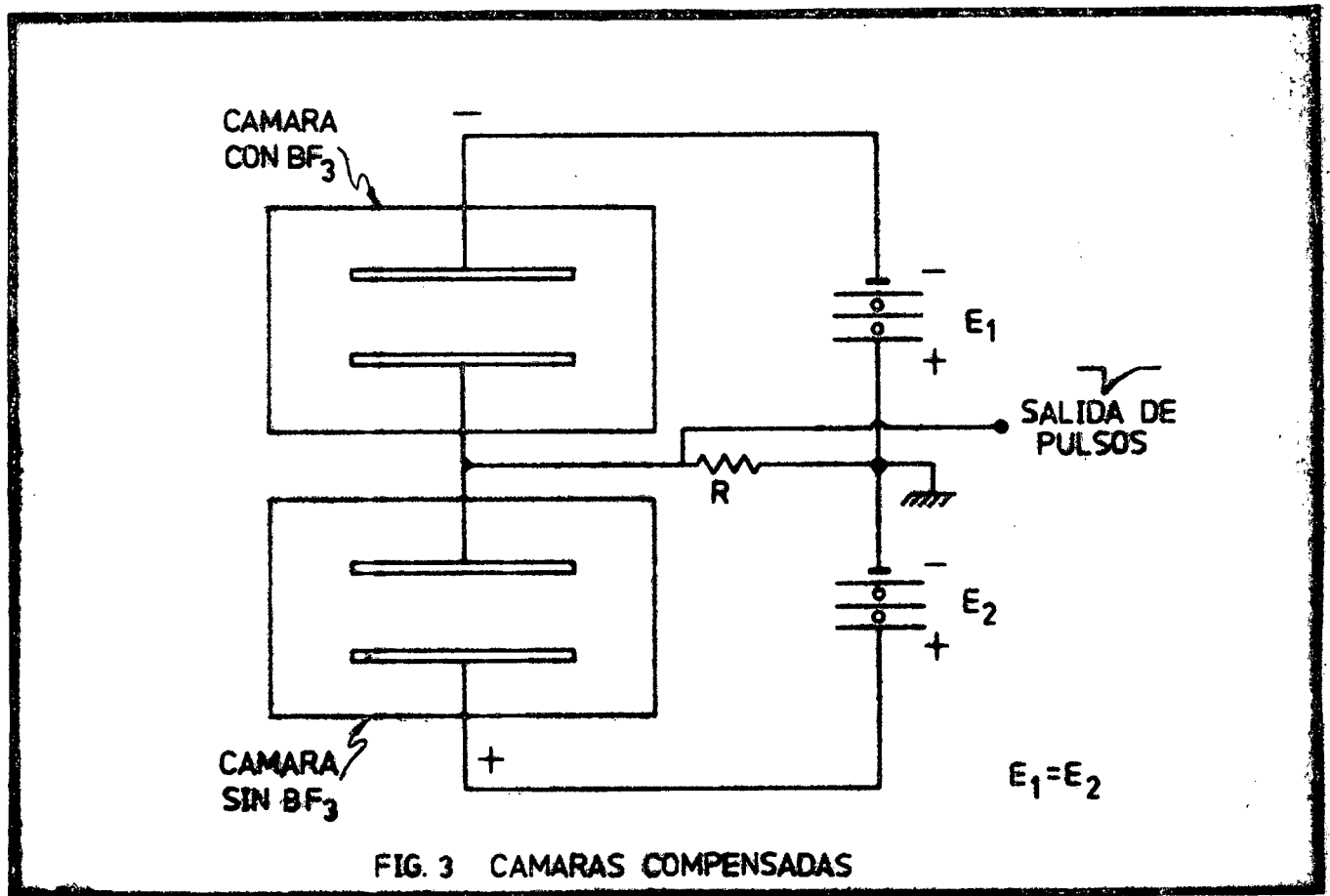


FIG. 3 CAMARAS COMPENSADAS

Si deseamos, entonces, aprovechar la reacción (n, α) del B_{10} , debemos tener en cuenta que el rango de las partículas alfa es muy corto, lo cual significa que, si estamos usando, por ejemplo, un detector gaseoso, el B_{10} deberá estar, de alguna manera, ubicado en el interior del tubo. En la práctica, hay dos soluciones usadas: usar boro en forma de trifluoruro de boro (BF_3) gaseoso, o usar boro en forma de delgada película sólida sobre las paredes del tubo. La primera solución ofrece la ventaja de minimizar las absorciones de alfas, por cuanto el BF_3 se mezcla con el resto de gas ionizable del tubo, y virtualmente todas las alfas son contadas. Si se aplica el boro en forma de película, deberá ponerse especial cuidado en que el espesor de la misma sea lo suficientemente chico como para que las alfas generadas no sean absorbidas dentro de la misma película. ,

Un problema que muy frecuentemente aparece asociado a la detección de neutrones, es producido por el hecho de que casi siempre se necesita medir neutrones en presencia de un fondo de radiación de valores altos, producido por beta o gamma. Es el caso de la medición de flujo neutrónico de reactores nucleares, donde si bien en potencias altas el fondo suele ser proporcional al flujo neutrónico, no ocurre lo mismo en potencias próximas a cero, donde realmente el elevado conteo gamma enmascara totalmente la medición, haciéndola inútil con los procedimientos explicados hasta aquí. Se acude entonces a la técnica de las cámaras dobles o compensadas. Esquemáticamente, se utilizan dos cámaras: una de ellas con BF_3 y la otra sin este compuesto.

Obviamente, la primera suministrará medición de neutrones mas fondo, mientras

que la segunda, insensible a neutrones, solamente medirá el fondo. Se disponen ambas cámaras conectadas a sus respectivas fuentes de alta tensión con las polaridades como ilustra la figura, y la resistencia de carga es común a los dos circuitos. La corriente producida por la ionización en la cámara superior (con BF₃) circulará en la resistencia R de derecha a izquierda, mientras que la corriente debida a la cámara inferior circulará en la misma resistencia en sentido contrario (de izquierda a derecha). Si ambas cámaras se ionizan simultáneamente (lo que ocurrirá solamente al pasaje de la radiación beta o gamma), ambas corrientes se cancelan, con lo que no aparecerá una caída de tensión de la resistencia. Los neutrones, en cambio, solamente producirán ionización en la cámara superior (con BF₃), por lo que su corriente no será cancelada, produciéndose así un pulso de tensión a través de la resistencia R.

7 - EQUIPOS ASOCIADOS A LOS DETECTORES

Como se ha visto, existe una diversidad muy grande de detectores de radiación y de aplicaciones para los mismos, lo cual determina a su vez que los circuitos electrónicos destinados a extraer señales de los detectores, procesarla y entregar información utilizable, sean de muy diversa índole.

Ya se han reseñado, al hablar de detectores, las características fundamentales que deben reunir las fuentes de alta tensión.

En los circuitos de salida de las cámaras de ionización deben acoplarse amplificaciones de corriente continua que amplifiquen corrientes usualmente comprendidas entre 10^{-6} hasta 10^{-16} Amp. Se han mencionado los severos requisitos de aislación para lograr que esas minúsculas corrientes circulen por el interior de los amplificadores en lugar de hacerlo indebidamente por conectores o inadecuados aisladores. Tal vez una de las virtudes mas difíciles de lograr en estos amplificadores sea la de mantener un bajo "drift" y "offset". Se llama offset el corrimiento indebido del cero a la salida del amplificador. Es decir, con cero corriente de entrada la tensión de sa lida debe tambien ser cero. A veces, pequeñas variaciones en los valores de los componentes a través del tiempo, hacen que con cero de entrada ya no se obtiene cero de salida. Similarmente, una cierta corriente de entrada debe producir un cierto valor de tensión de salida, que puede variar a través del tiempo ("drift"). Ambas perturbaciones, drift y offset, reconocen a ve ces similares orígenes, aunque a veces los sentidos de las consecuencias pueden variar. Estos orígenes son, fundamentalmente, variaciones de valores de los componentes con la temperatura. Una solución puede ser termos-tatizar el recinto donde se encuentra el amplificador. Otra causa es el empeoramiento de las altísimas aislaciones requeridas por efectos de la hu medad. Estos equipos deben trabajar en ambientes secos y a temperaturas a las cuales no se pueda producir condensación.

7.1 - AMPLIFICADORES DE PULSOS: Los hallamos en los circuitos asociados a los Geiger-Müller y a los contadores proporcionales. Como es sabido, en el primer caso la amplitud de los pulsos es siempre la misma, en forma in

dependiente de la energía de las partículas y de la tensión aplicada. Por tanto, lo único que se le pide al amplificador es que tenga la ganancia suficiente para excitar a los circuitos de conteo, que tenga una sensibilidad lo suficientemente buena para no perder pulsos del detector, y que sea, en fin, capaz de manejar los brevísimos pulsos nucleares.

Muy diferente es el caso de los amplificadores de pulsos destinados a trabajar con equipos que diferencian energía de partículas. Además de los requisitos ya citados, ahora el valor de la ganancia, cualquiera que esta sea, debe mantenerse cuidadosamente estabilizado, porque si la amplitud de la salida variara por otra causa diferente a la variación de energía de las partículas, se producirían interpretaciones erróneas.

- 7.2 - DISCRIMINADORES: Aunque el término tiene un significado muy general, en estos equipos se refiere a un dispositivo capaz de discernir o "discriminar" pulsos de diferentes amplitudes, rechazando algunos y dejando pasar otros, según se lo condicione. Un discriminador muy sencillo es el que suele encontrarse a la entrada del primer amplificador, donde lo único que interesa es eliminar los pulsos extremadamente bajos producidos a veces por inducción de interferencias en el cableado, o por diminutas ionizaciones espurias en el tubo.

Discriminadores mucho más elaborados son utilizados en los equipos analizadores de energía. Supongamos, a los efectos solamente de esta explicación, que se desea medir la actividad de una fuente de energía conocida, pongamos por caso, 3,2 Mev, y que se sabe, además, que para esa energía el amplificador de pulsos produce una salida con una amplitud de 6,4 volts.

Básicamente, entonces, deberíamos contar con un discriminador que deje pasar solamente los pulsos de 6,4 y rechace todos los demás, tanto de amplitud mayor como menor. Esto es cierto únicamente como concepto, porque en la práctica, como los detectores no tienen una resolución perfecta, tendremos algunos pulsos de valores ligeramente mayores y ligeramente menores que nuestros 6,4 V. Por este motivo, y también por algún eventual pequeño corrimiento del factor de amplificación, en este caso deberíamos dejar pasar pulsos de, digamos, más o menos 0,1 V sobre 6,4 V, vale decir, entre 6,3 y 6,5 V. A la diferencia entre 6,3 y 6,5 se la llama "ventana" del discriminador, (término que no debe ser confundido con ventana en los tubos Geiger). Su valor puede ser manualmente ajustable desde el exterior del equipo mediante una perilla graduada. Al valor menor de los dos, en este caso 6,3 V, a partir de los cuales deseamos contar pulsos, se lo denomina "línea de base" y también debe ser exteriormente ajustable.

A los equipos que trabajan de esta manera, vale decir, que en un instante determinado solamente pueden contar pulsos correspondientes a una energía, se los llama "Monocanales". Existen, en cambio, otros equipos con una cantidad muy grande de discriminadores, capaces en cualquier momento de recibir una partícula de cualquier energía y almacenar la cuenta en la memoria correspondiente a esa energía en particular, pudiendo recibir un instante después otra partícula de otra energía cuyo pulso saldrá por otro discriminador para ser almacenado en la unidad de conteo correspondiente a esta otra energía. Estos equipos reciben el nombre de "Analiza

dores multicanales" y son el instrumento mas rápido y eficaz, si bien el mas costoso, para hacer espectrometría.

- 7.3 - UNIDADES DE CONTEO Y EXHIBICION DE LA INFORMACION: Hasta aquí hemos visto como los amplificadores y circuitos lógicos pueden llegar a proporcionarnos pulsos de energías determinables. Hay varias formas de procesar esos pulsos para obtener información útil. La mas sencilla es trabajar con una unidad de conteo y cronómetro. Este es un método universal aplicable tanto a los G.M. como a los discriminadores de energía. La unidad de conteo tiene un "display" o exhibidor que puede ser mecánico, como el cuenta-kilómetros del auto, o mas usualmente electrónico, con "lamparas de siete segmentos", L.E.D.'s u otro medio. Este display debe indicar inicialmente cero. Cuando encendemos el equipo contador de partículas arrancamos el cronómetro. Cada partícula que ingrese al detector provocará un pulso que, al ingresar a la unidad de conteo, hará que la cantidad exhibida aumente en una unidad. Si deseamos obtener información en la forma usual, por ejemplo "impulsos por minuto", cuando el cronómetro indique exactamente un minuto apagamos el contador de partículas. La cantidad exhibida en el display de la unidad de conteo será la cantidad de partículas que han sido registradas durante un minuto. Para mejorar la precisión, puede contarse durante, digamos, 10 minutos, dividiendo el resultado por 10. Para simplificar la manipulación, puede utilizarse una unidad de control que automáticamente provee la siguiente secuencia: Instante ~~cero~~: arranque del equipo contador de pulsos, habilitación de la unidad de conteo, disparo del cronómetro electrónico, el cual, mediante una perilla externa, se lo habrá prefijado para funcionar durante un tiempo prefijado. En el intervalo entre "Tiempo cero" y "Tiempo prefijado" todo el equipo funciona y la cantidad exhibida en el display de la unidad de conteo progresa. Al llegar a "Tiempo prefijado" se desconecta el equipo de detección de partículas, deteniéndose de esa manera el avance del equipo de conteo. La cantidad exhibida queda disponible para lectura directa, o puede ser enviada, mediante los circuitos adecuados, a una unidad impresora. Todo este proceso puede producirse por única vez, o mediante los controles adecuados, repetirse indefinidamente.
- 7.4 - INTEGRADORES: Existe otra forma de procesar la información contenida en la salida de pulsos de los discriminadores, y consiste en que cada pulso cargue en una cierta medida un condensador, el que acto seguido puede comenzar a descargarse a traves de una resistencia, con una cierta constante RC. En estas condiciones, la tensión sobre el condensador será directamente proporcional a la frecuencia media de la llegada de pulsos. Esta tensión puede usarse para provocar la deflexión de un instrumento de aguja, para ser conectada a un registrador, o en fin, con una amplitud normalizada, como señal de entrada a un equipo de adquisición de datos, una computadora o un sistema de control de procesos. Debe aclararse que el rango de validez de la proporcionalidad entre tensión sobre el condensador y frecuencia media de pulsos, es por lo general reducido a una sola década. Frecuencias mas altas producirán solamente un fondo de escala, y

frecuencias mas bajas ya no se diferencian del cero. Para un contaje efectivo en frecuencias diversas, debe actuarse de alguna manera sobre los controles de rango, que en definitiva varían la carga que cada pulso entrega al capacitor, ya sea variando su amplitud o su duración. Esto plantea un nuevo problema cuando se desea hacer un sistema integramente automatizado. Se construyen, entonces, unidades de cambio automático de rango, que provocan, por ejemplo, un cambio a la escala inmediata superior cuando la medición en la actual escala excede ligeramente un 100%, y un cambio hacia la escala inmediata inferior cuando la medición decrece de algún valor fijado entre el 20% y el 30%.

Otra solución ampliamente difundida para el mismo problema la constituyen los "integradores logarítmicos", que eliminan el cambio de escalas presentando la información en una sola escala que puede llegar a cubrir 5 ó 6 décadas.

- 7.5 - INFORMACION DE MULTICANALES: Equipos sumamente elaborados y costosos, suelen tener discriminadores y unidades de almacenamiento para un número de canales que puede variar entre algunas decenas y varios millares. Un multicanal típico, de, digamos 1024 canales, divide los pulsos que llegan en amplitudes que varían, desde 0,5 Volt hasta 10 Volt, y donde, por consiguiente el ancho de cada canal está dado por $10 - 0,5$, todo ello dividido por 1024. Cada uno de los 1024 discriminadores tiene una ventana muy estrecha, del orden de la decena de milivolts, y los pulsos de salida son procesados por las unidades lógicas, aritméticas y de memoria, en forma tal que cada una de las 1024 direcciones de la memoria actualice constantemente su contenido. En forma muy simplificada y esquemática, esto es lo que ocurre con la llegada de un pulso: identificación por amplitud: de acuerdo a su amplitud, el pulso provocara salida en un solo discriminador, el correspondiente, pongamos por caso, al canal 538. Producido este hecho, se cursa una instrucción a la memoria que dirá: leer contenido de domicilio 538 y borrar. Entonces, la cifra contenida en el domicilio 538 es transferida al "contador único". La memoria, dirección 538, queda vacía, vale decir, registrando cero. El siguiente paso consiste en hacer avanzar en una unidad el contenido del contador único. Si antes registraba, digamos, 127 eventos, al sumársele el nuevo pulso registrará 128. Hecha esta operación, la siguiente instrucción puede ser: "Enviar el contenido del contador único a la dirección 538 de la memoria". Una vez ejecutada esta instrucción, la dirección correspondiente al canal 538 almacenará la nueva cifra, 128. Finalizado este proceso, que ha ocupado solamente microsegundos, el sistema está en condiciones de recibir un nuevo pulso, de una energía cualquiera, y procesarlo en idéntica forma. Si hemos comenzado como es usual, es decir, con todas las direcciones de memoria en cero, una vez transcurrido el tiempo prefijado, digamos un minuto, tendremos las 1024 direcciones de memoria cargadas cada una con la cantidad de pulsos que han sido captados con esa energía en particular. Estas cantidades pueden imprimirse mediante una impresora adecuada, o graficarse en un graficador X-Y. Es frecuente que además, sean exhibidas en la pantalla de un tubo

de rayos catódicos, donde el eje horizontal se grafican energías, y en el vertical, impulsos por minuto. Esta forma de presentación tiene la ventaja de que permite seguir el proceso a medida que va transcurriendo sin esperar al final del mismo. Mediante adecuada manipulación, suele ser posible seleccionar una porción de la imagen que despierte particular interés y mostrarla, amplificada, en toda la pantalla, para mediciones mas precisas.

Las posibilidades de los equipos multicanales son, como ya se habrá sospechado, extremadamente grandes en cuanto a las diversas funciones que pueden desempeñar. Resultan imprescindibles en ciertas actividades de monitoreo o investigación, donde se desconocen usualmente los radio-nucléidos contenidos en una muestra y se desea determinarlos. El uso de equipos monocanales sería muy largo y tedioso, y podría proporcionar datos completamente erróneos cuando los nucleídos involucrados son de vida muy corta comparada con la duración de la medición. Así, la actividad real de la fuente disminuiría entre un paso y otro de la medición.

En estos casos solamente los equipos que exploran simultaneamente todas las energías tienen aplicación.

Un ejemplo de su aplicación en esta CNEA lo tenemos en los "contadores humanos", rápido y eficaz método de obtener el espectrograma de las personas que potencialmente podrían haber incorporado a su organismo radio-nucléidos, desconociéndose cuales pudieron haber sido. Estos equipos tienen varios cristales de grandes dimensiones, lo cual los hace de sensibilidad tan grande que son capaces de detectar las pequeñísimas cantidades de radio-nucléidos existentes normalmente en todos los organismos, aunque jamás se hayan visto expuestos a radiación. Esta alta sensibilidad obliga a rodear el recinto donde estan los detectores y la persona a me-dir, de blindajes adecuados para evitar influencias de cualquier fuente radio-activa de las proximidades.