

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº	AÑO
/	1983

DETECCION GAMMA: Una aplicación no usual para detectores de barrera superficial.

Silvana FICHTENBAUM * - Emilio MATATAGUI *

INTRODUCCION

En la medición de campos de irradiación gamma se utilizan dos tipos de técnicas, según la conveniencia o necesidad.

- a) *Técnicas espectrométricas*: Se mide el número de fotones gamma N_γ de energía E_γ que inciden sobre el detector. Una aplicación típica es el análisis cuantitativo de radioisótopos, mediante el estudio de la emisión gamma característica. El equipamiento necesario, complejo y voluminoso, es utilizado generalmente en condiciones de laboratorio.
- b) *Técnicas dosimétricas*: El parámetro a medir es la energía transferida por el campo de radiación a la materia, por unidad de masa, en el punto de interés (dosis absorbida). La tasa de exposición (ionización en aire, medida por ejemplo en Roentgen por hora) es a menudo suficiente para definir el campo de radiación. Una idea de la composición espec-

* Comisión Nacional de Energía Atómica. Dirección de Investigación y Desarrollo - Gerencia de Desarrollo - Departamento de Instrumentación y Control.

tral de la radiación (isótopos que la producen, capa hemireductora, etc.) es conveniente como información adicional. Aplicaciones médicas, industriales y de protección radiológica hacen uso de este tipo de técnicas.

Es en el campo de la protección radiológica donde se considera que el detector de barrera superficial (DBS) puede cumplir una función importante como sensor de una serie de instrumentos (por ejemplo, monitores de área, portátiles, ambientales, etc.) medidores de tasa de exposición o dosis. Se considera que, en muchas aplicaciones, los DBS reemplazarán, con ventaja, a otros detectores actualmente utilizados (Geiger-Muller, cámaras de ionización, centelleadores).

DETECTOR DE BARRERA SUPERFICIAL

El DBS es un detector semiconductor, muy utilizado en la detección y espectroscopía de partículas ionizantes pesadas (partículas alfa, por ejemplo).

Los DBS están constituidos, básicamente, por una juntura p-n, a la que se aplica una tensión inversa de algunas decenas de voltios. Se forma así, en las cercanías de la juntura, una zona deplecionada de cargas o zona sensible, que actúa como cámara de ionización de estado sólido. Los pares e-h, creados por la radiación en la zona sensible, son colectados por el campo eléctrico existente. La amplitud del pulso de carga así generado es proporcional a la energía dejada por la partícula ionizante en esa zona sensible.

Constructivamente están fabricados con una oblea de silicio n, de fracción de milímetro de espesor, sobre la que se construye una capa de inversión p, de espesor despreciable. La radiación puede entrar en la zona sensible del DBS prácticamente sin absorción de energía.

La Tabla 1 da, en forma resumida, las características funcionales típicas de los DBS y algunas referidas, específicamente, al DBS usado que fue provisto por INVAP S.E. °.

Si bien el DBS es ideal para espectrometría alfa, no es un dispositivo adecuado para espectrometría gamma. En efecto, su pequeño volumen sensible y bajo número atómico del silicio, hacen poco probable la interacción gamma-detector, por lo que no es posible observar picos de conversión fotoeléctrica. Sin embargo, es posible que, con todo, el DBS constituya un buen detector gamma, en aplicaciones de dosimetría.

DETECCION GAMMA CON DBS

La detección de radiación gamma es posible mediante dos mecanismos sucesivos:

a) Por interacción gamma materia se generan

electrones energéticos.

b) Estos electrones podrán producir ionización en el volumen sensible del detector y ser así registrado su efecto.

En dosimetría, el sensor fundamental es la cámara de ionización de cavidad. La dosis absorbida en material equivalente se deduce de la medición de la ionización en el gas de la cavidad. Esta ionización es producida por los electrones generados por la radiación que pierden energía en la cavidad.

Con el DBS, podemos construir un sistema detector de cavidad. Para ello, en un bloque de material de número atómico conveniente, se inserta el DBS. La radiación gamma crea en este sistema, mediante los mecanismos de interacción usuales, electrones energéticos. Estos, en su interacción con la materia, degradan su energía en forma casi continua. Se establece así una distribución electrónica estacionaria, con espectro energético característico, que es determinado por el campo de radiación gamma y todas las interacciones involucradas.

Este espectro es sentido por el DBS, que está ubicado, como cavidad, dentro del sistema detector.

El número atómico del radiador es un parámetro importante. Radiadores de bajo Z permiten que predomine la conversión Compton a bajas energías, aproximando la respuesta del sistema a la del aire o sistemas biológicos. Hay que destacar que una parte de la interacción gamma ocurre en el silicio del DBS, lo que es observado en la forma de los espectros medidos.

En el sistema con DBS, los eventos ionizantes son contados individualmente. Ello es posible por la baja energía de creación de pares e-h y por la alta densidad de materia del DBS. Una consecuencia importante, es la alta sensibilidad del sistema detector con DBS.

EXPERIMENTOS

Se utilizaron radiadores de aluminio con número atómico aproximado al silicio (27 vs. 28) y de acrílico, como material de bajo Z. Dado el pequeño rango de los electrones primarios producidos por la radiación, el radiador debe enfrentar la barrera del DBS, con un mínimo de espacio de aire. La ausencia de espesor de ventana en el DBS es importante para esta aplicación.

La figura 1 muestra, en forma esquemática, un DBS y la electrónica asociada. Esta electrónica es típica de espectrometría: Detector, preamplificador de carga, amplificador conformador, discriminador, escalímetro. En nuestros experimentos utilizamos un analizador multicanal de 1024 canales, que cumplía las funciones de analizador de espectros y de conjunto discriminador escalímetro.

Como fuentes gamma se utilizaron una serie de fuentes radioactivas calibradas de Amersham-Searle, con aproximadamente 10 uCi de actividad

* Los DBS son fabricados en Argentina por INVAP S.E. en San Carlos de Bariloche - Provincia de Río Negro.

de origen, y que se colocan a algunos centímetros del DBS. Las energías E_γ y porcentajes por desintegración, así como los valores relativos de exposición que se producen, están indicados en la Tabla II. Dado que energías menores de 60 KeV están enmascaradas por el ruido, sólo se consideraron las contribuciones a la exposición que tienen en cuenta sólo los $E_\gamma > 60 \text{ KeV}$.

Con esas fuentes radioactivas, y la correspondiente electrónica, se deducen un conjunto de curvas espectrales $n(E)$, obtenidas directamente del analizador multicanal y dan la distribución diferencial de la energía dejada por los electrones en el volumen sensible del DBS. Las curvas integrales resultan de contar el número de eventos $N(d)$ que superan cierto nivel de discriminación d , en función de d .

La relación entre $n(E)$ y $N(d)$ es:

$$N(d) = \int_d^\infty n(E) dE$$

En las curvas espectrales se observan, predominantemente, pulsos de pequeña amplitud, lo que es de esperar dado el pequeño espesor de la zona sensible. Al aumentar este espesor, lo que se logra aumentando el potencial aplicado al DBS, el espectro tiende a aplanarse. Por supuesto, no se registran picos que definen energías, salvo para los 60 KeV del Am-241, casi sobre el flanco del ruido (la conversión fotoeléctrica es importante para estas energías).

Sin embargo, y dependiendo del nucleido en consideración, los espectros tienen diferente extensión en energías. Ello sugiere la posibilidad de poder realizar una espectrometría gamma muy grosera y estimar la energía E de la fuente emisora. Se puede lograr así, cierta información sobre la calidad de la radiación.

Las curvas espectrales $n(E)$ dan idea sobre la física del sistema. Están en progreso estudios teóricos, para tratar de establecer correlaciones con los resultados experimentales. Se considera que el estudio detallado de las curvas espectrales será útil para tratar ciertos aspectos de transporte de radiación, condiciones de equilibrio electrónico, teoría de cavidad, etc.

Como veremos a continuación, las curvas integrales son importantes para el diseño de instrumentos prácticos que usen el DBS como sensor ya que $N(d)$ será proporcional, bajo ciertas condiciones, a la dosis absorbida.

En efecto, una irradiación gamma de energía E_γ , producirá una dosis D . El detector, sujeto a esa irradiación, registrará un número de cuentas integral $N(d)$. Siempre que la electrónica no sature, valdrá la relación:

$$D = K_D(d, E_\gamma) N(d)$$

donde $K_D(d, E_\gamma)$ es una cantidad determinada experimentalmente.

Un requerimiento importante en los instrumen-

tos de dosimetría es que tenga una respuesta independiente de la energía E_γ . Vale decir, deberemos determinar las condiciones (posibles valores de discriminación d , rango de energía E_γ , materiales radiadores, etc.) para la que es válida la relación:

$$D = K_D(d) N(d)$$

para la cual, la cantidad $K_D(d)$ es independiente de E_γ .

Los resultados que se muestran a continuación dan idea del funcionamiento del sistema propuesto. El caso especial en que el material irradiado es aire, la dosis absorbida $D(\text{aire})$ está relacionada directamente con la cantidad llamada Exposición (X) medida, por ejemplo, en Roentgen.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

El aluminio constituye, con el silicio, un sistema prácticamente homogéneo. Con el acrílico como radiador, el conjunto es inhomogéneo, pero su respuesta se aproximaría a la del aire y tejidos biológicos.

Con la tensión de polarización se puede variar el espesor de la zona sensible del DBS, lo que produce modificaciones espectrales. Como es de esperar, los pulsos aumentan en amplitud con el aumento de esa zona sensible. Como ilustración, la figura 2 muestra espectros de Co^{60} y Ba^{133} con 20 y 80 volts de polarización.

La figura 3 muestra la posibilidad de hacer una espectrometría grosera. La extensión de los espectros en altura de pulsos depende de la energía E_γ del radioisótopo emisor.

La figura 4 muestra un ejemplo (Cs^{137}) de la influencia de los radiadores usados sobre la distribución espectral e integral. Aunque las curvas son cualitativamente semejantes, hay diferencias cuantitativas. Por supuesto, los pulsos de mayor amplitud corresponderían a absorción gamma en el silicio, con ionización importante en la zona sensible del DBS.

La figura 5 muestra en forma conjunta, las curvas integrales para los diferentes isótopos. Es muy interesante notar que, para energía E altas, las curvas son prácticamente coincidentes (se utiliza un factor de escala para su coincidencia en $d = 80 \text{ KeV}$). Ello sugiere la disponibilidad de amplio margen para la selección del nivel de discriminación d . A bajas energías, donde la conversión fotoeléctrica es importante, la selección de d es más compleja. Evidentemente, el mínimo nivel posible para d estará relacionado con la mínima energía E_γ a medir.

Desde el punto de vista instrumental, es especialmente notable ver que la respuesta del sistema es prácticamente plana. En efecto, en la figura 6 se dan las respuestas relativas del sistema detector. En estos gráficos se representa la relación Respuesta R vs. Energía Efectiva E_γ o E .

La respuesta R está definida, para cada radioisótopo, como:

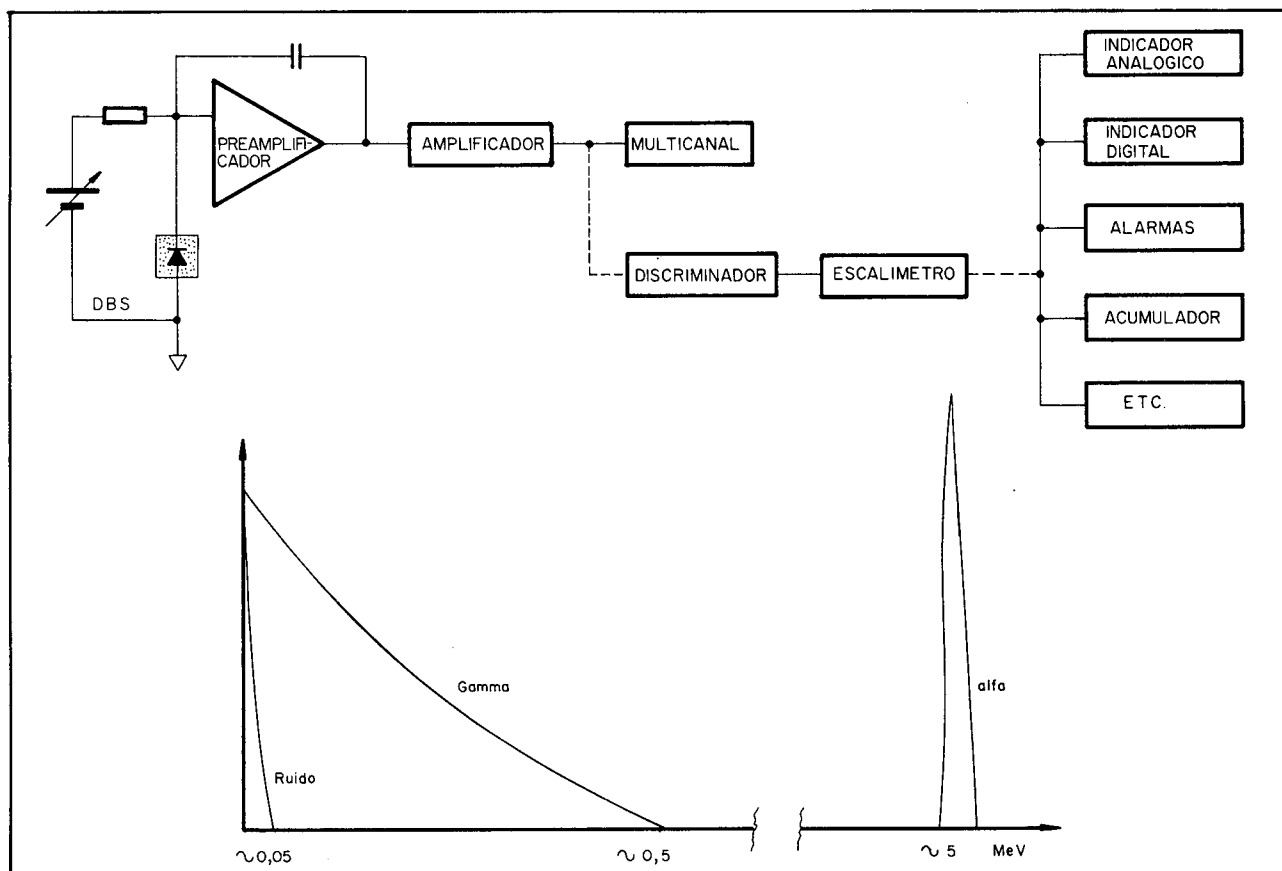


Figura 1: Esquema eléctrico de conexión para el DBS y electrónica asociada. Espectros que corresponderían al ruido electrónico, a radiación gamma monoenergética y a radiación alfa monoenergética, incidentes sobre el DBS.

$$R = \frac{N(d)}{D}$$

donde D es la dosis absorbida en aluminio (en aire), que valdrían cuando se usa el convertidor de aluminio (acrílico) con el DBS. Estos cálculos se han hecho para cada isótopo, y a ese efecto se han considerado tan solo la contribución de las energías $E_\gamma > 60$ KeV. Para normalizar los resultados se han supuesto arbitrariamente que $R(\text{Co}^{60}) = 1$.

La energía efectiva está definida como:

$$E_\gamma D = \sum P_\gamma E_\gamma \sum P_\gamma \text{ o bien } E_\gamma \alpha = \frac{\sum \alpha_\gamma P_\gamma E_\gamma}{\sum \alpha_\gamma P_\gamma}$$

donde P_γ es el porcentaje de emisión con energía E_γ y α_γ es el coeficiente de absorción para la energía E_γ en aluminio o en aire, según sea el material convertidor. También aquí, se ha considerado tan solo la contribución de $E_\gamma > 60$ KeV.

La figura 7 da la sensibilidad de nuestro sistema en cuentas/uR en función del nivel de discriminación d . Esta sensibilidad, que es de 30 C/uR para $d = 70$ KeV, baja a 20 C/uR para $d = 100$ KeV.

Una característica importante del DBS es el

corto tiempo de colección de los portadores generados por la radiación del orden del nanosegundo. Ello se debe tanto a la corta distancia que debe recorrer portadores de carga (micrones) como a los altos campos eléctricos existentes en la zona sensible del DBS, con los que se logra, prácticamente, la velocidad de saturación ($\approx 10^7$ cm/seg) de los electrones y huecos en silicio.

La electrónica utilizada es lenta ($\tau = 0.5$ u seg) por lo que la velocidad de respuesta del detector supera, en órdenes de magnitud, a la electrónica. El alcance de 100 R/H, es estimado a partir del tiempo de respuesta del detector.

CONCLUSIONES

Del conjunto de experimentos realizados, se deduce que el DBS, usado como detector de cavidad, constituye un excelente sensor de radiación gamma.

Sus características físicas y funcionales sugieren que los DBS pueden competir, en condiciones favorables, con otros detectores actualmente en uso (Geiger-Muller, cámaras de ionización, centelleadores) en instrumentos fijos y portátiles. Características de interés son:

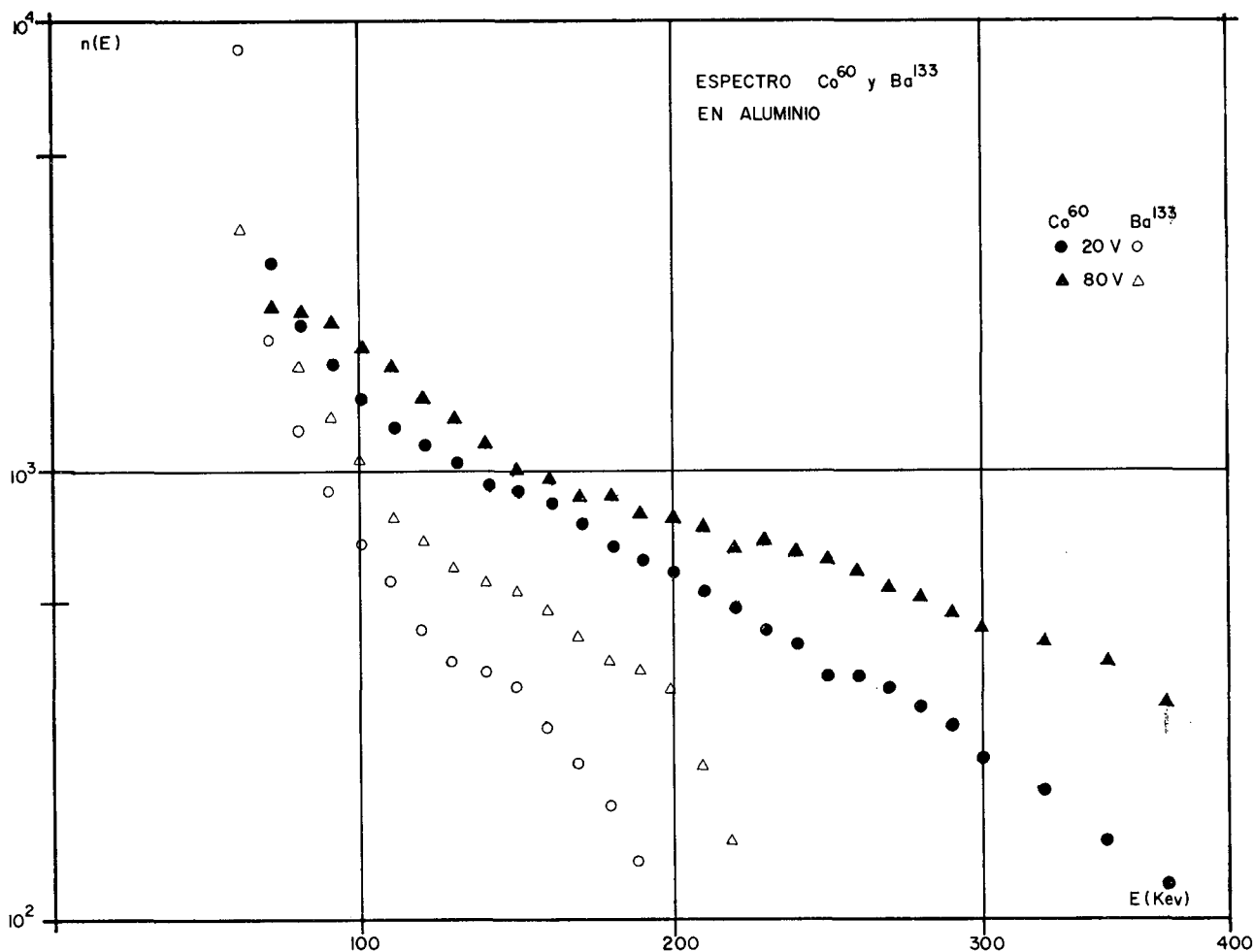


Figura 2: Espectros de Co-60 y Ba-133 con radiador de aluminio. Dependencia con la polarización del DBS.

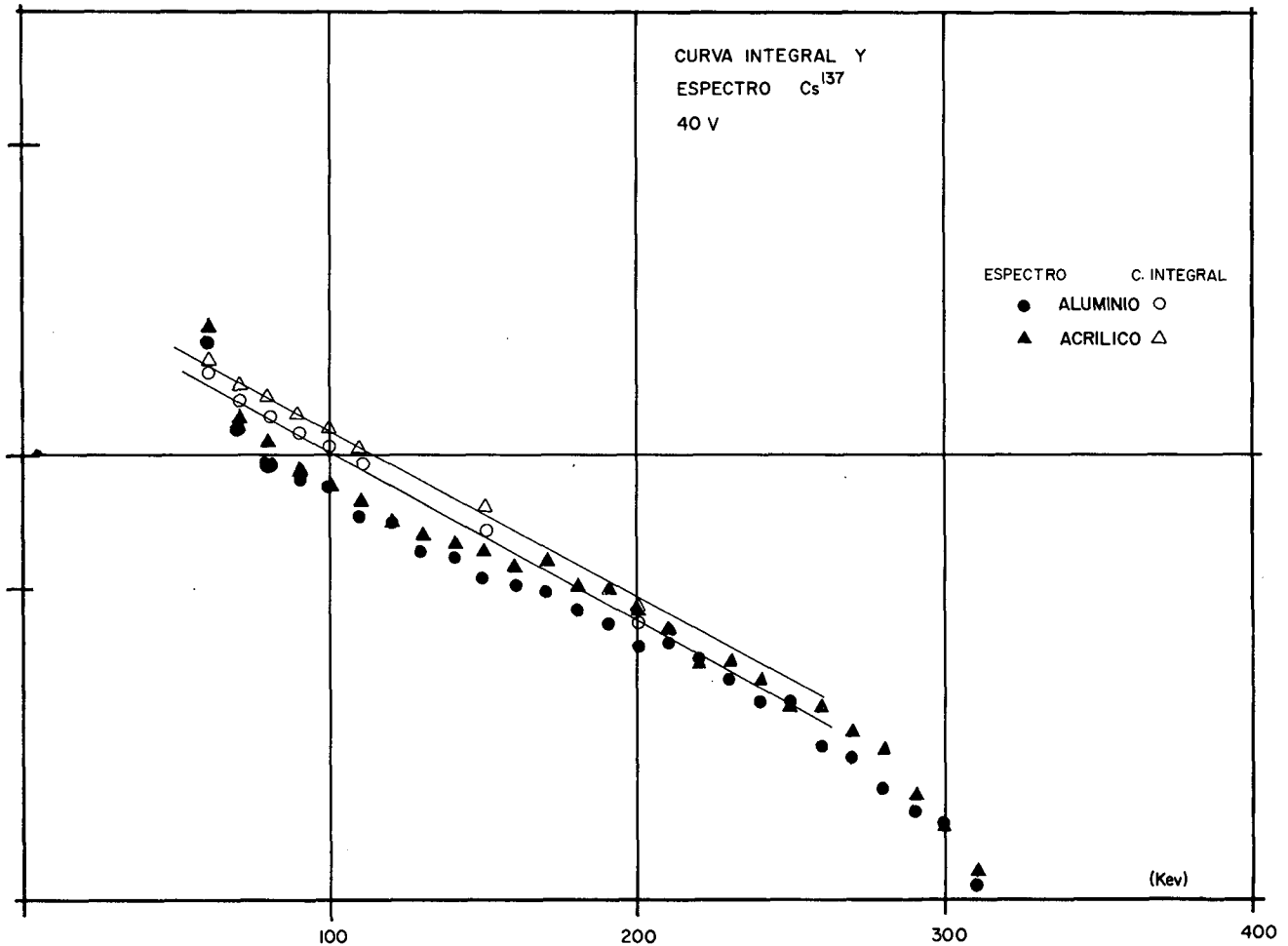
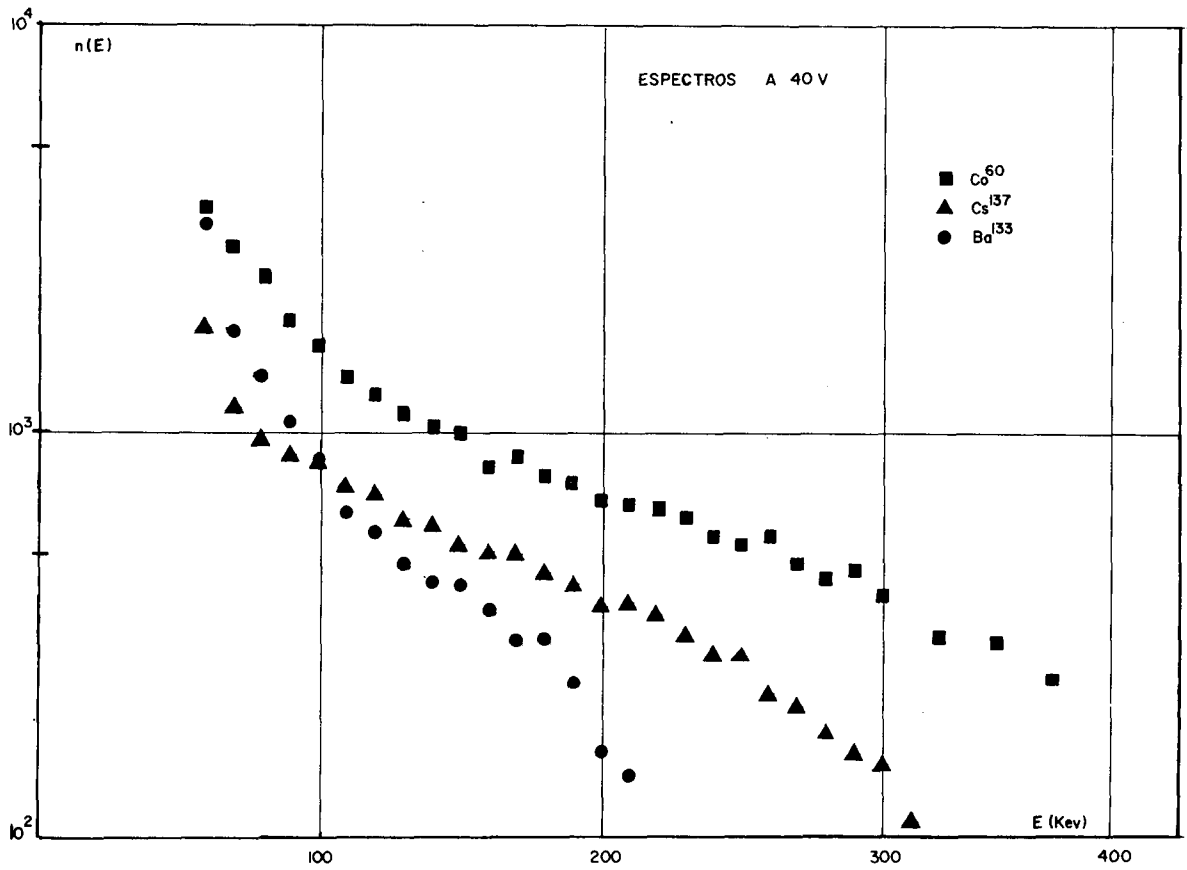
Figura 3: Espectros de Co-60, Cs-137 y Ba-133 con 40 volts de polarización para el DBS.

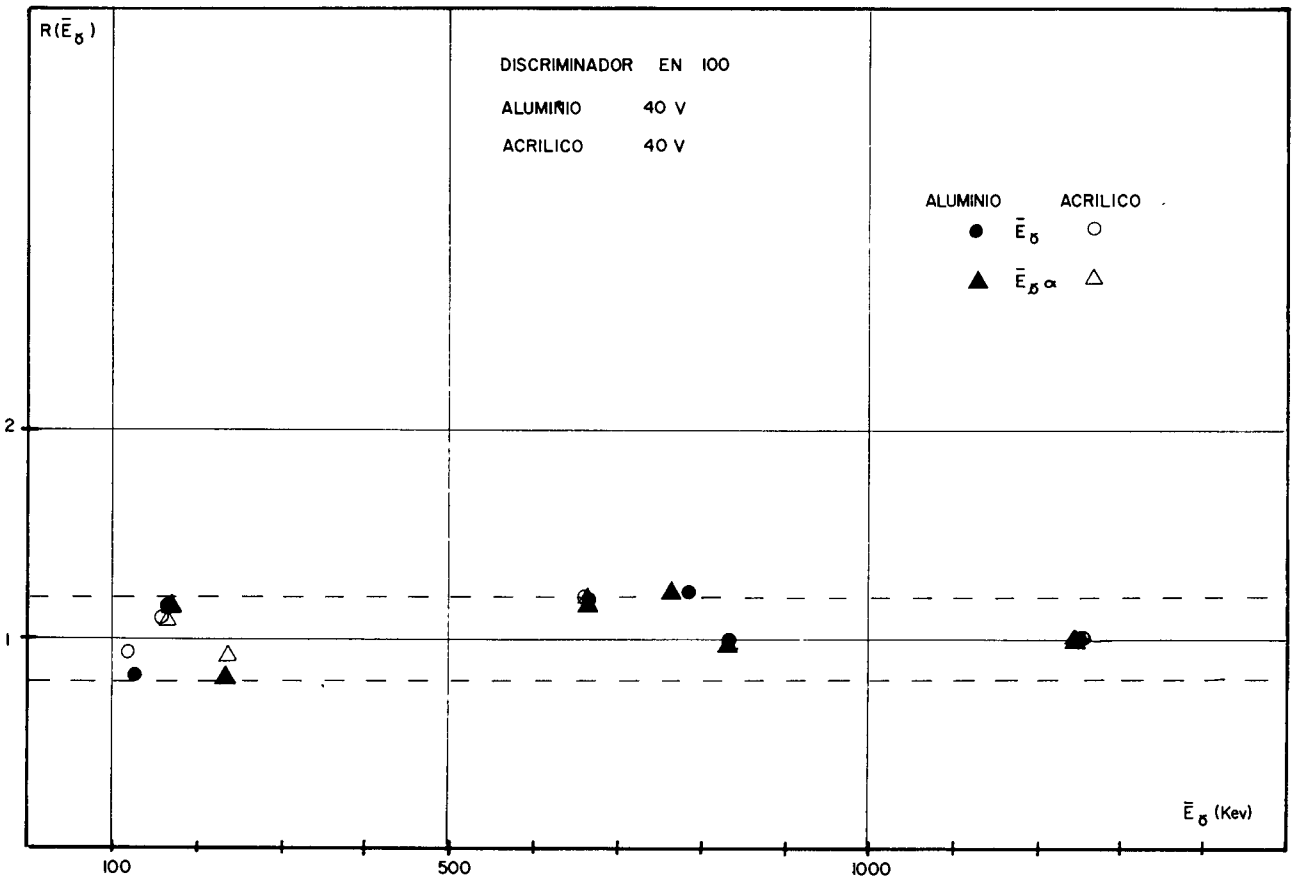
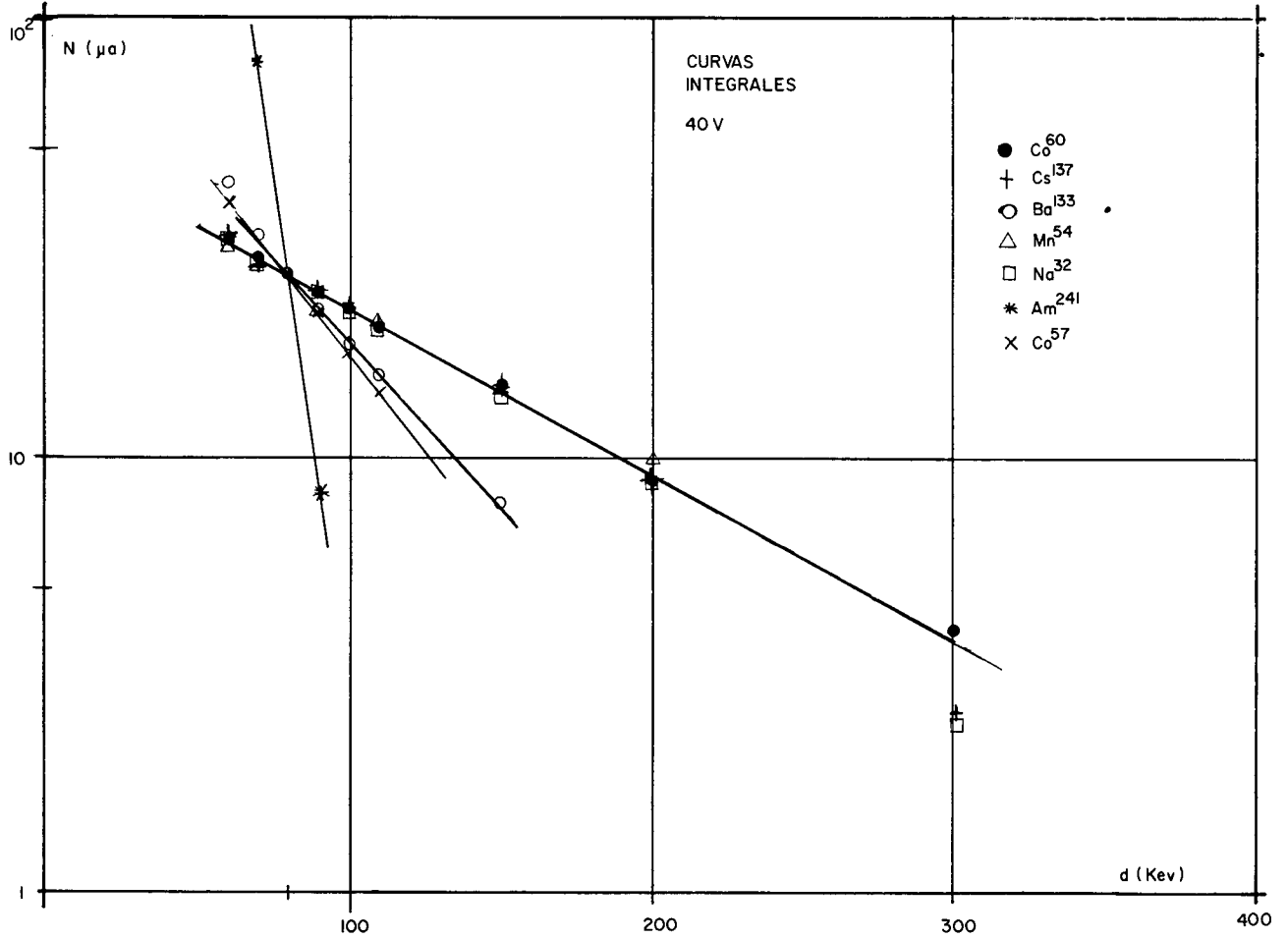
Figura 4: Espectro y curva integral para Cs-137, con radiadores de aluminio y acrílico y polarización de 40 volts.

TABLA I

Características del detector de barrera superficial

Material: Silicio n - Au
Resistividad: $\approx 1000 \text{ cm}$
Superficie: $\approx 4 \text{ cm}^2$
Espesor: $\approx 0.5 \text{ mm}$
Energía e-h: 3.2 eV
Polarización: 20 volts $< V < 80$ volts
Espesor sensible: 121u a 50 volts $\omega = k \sqrt{V}$
Corriente inversa: $\approx 0.3 \text{ uA}$ a 25° C
Temperatura: ambiente
Resolución alfa: $\approx 40 \text{ KeV}$
Umbral ruido: $\approx 60 \text{ KeV}$





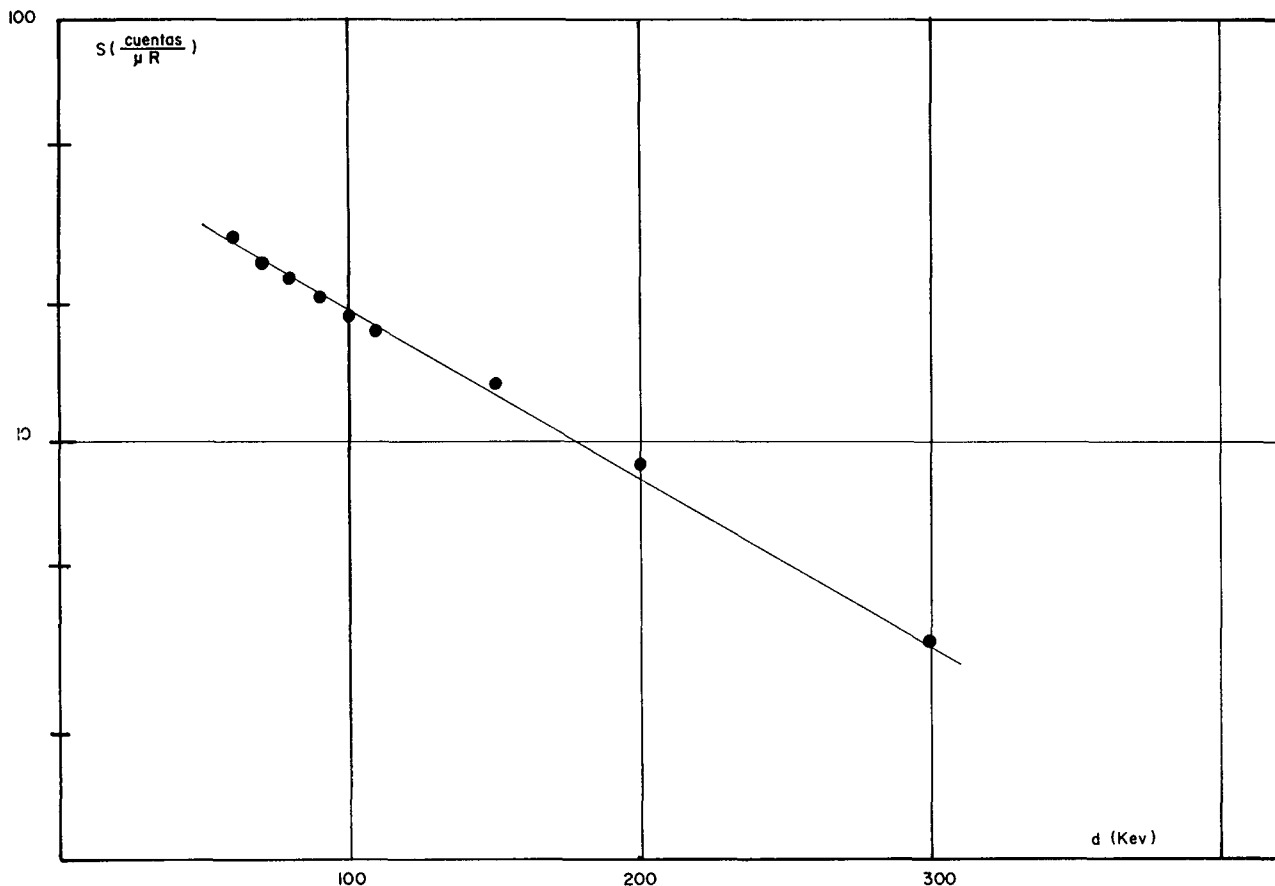


Figura 5: Curva integral correspondiente a varios radioisótopos. Respuesta normalizada, arbitrariamente, para 80 KeV en el nivel de discriminación.

Figura 6: Dependencia de respuesta del sistema propuesto con la energía de la radiación gamma incidente sobre el DBS.

Figura 7: Dependencia de la sensibilidad del sistema propuesto con el nivel de discriminación.

TABLA II

Líneas principales de fuentes de radiación gamma

$E_\gamma(\text{MeV})$ y $P(\%)$ para $E_\gamma > 60 \text{ KeV}$

Am 241	0.06 (35.3)			
Co 57	0.122 (85.2)	0.136 (11.1)		
Ba 133	0.303 (18.7)	0.356 (61.9)	0.384 (8.9)	
Cs 137	0.662 (85.1)			
Mn 54	0.835 (100)			
Na 22	0.511 (181)	1.275 (100)		
Co 60	1.173 (100)	1.333 (100)		

- Alta sensibilidad gamma ($\approx 30 \text{ C}/\mu\text{R}$)
- Bajo fondo ($\approx \mu\text{R}/\text{H}$)
- Rango hasta $\approx 100 \text{ R}/\text{H}$
- Energías detectables $E_\gamma > 60 \text{ KeV}$
- Respuesta en E_γ plana
- Posibilidad de estimación de E_γ

- Bajas tensiones de polarización y bajo consumo ($= 40 \text{ V}; = 1 \mu\text{A}$)
- Uso a temperatura ambiente
- Compactos, robustos, confiables
- Relativo bajo costo

SERVICIO I.A. 20