

# Puesta a punto de un sistema de detección de centelleo sólido para determinar la actividad Alfa

L. PUJOL (\*); J. A. SUÁREZ-NAVARRO (\*\*); M. MONTERO (\*\*\*)

**RESUMEN** Los estudios medioambientales, tales como la determinación de la calidad del agua, requieren a menudo el conocimiento de sus parámetros radiológicos. En estos casos, uno de los parámetros a determinar es el índice de actividad alfa total. Este índice se considera como un indicador que señala la posible necesidad de realizar análisis adicionales para la identificación y cuantificación de los radionúclidos emisores alfa presentes en las aguas sometidas a control. El sistema de detección más utilizado para evaluar este índice es el basado en la técnica de centelleo sólido con ZnS(Ag). El sistema electrónico de recuento normalmente utilizado consta, principalmente, de dos variables que pueden ser manipuladas por el usuario: la alta tensión aplicada a los tubos fotomultiplicadores y un discriminador que permite separar los impulsos del ruido electrónico de los propios de la muestra. La optimización de los valores de voltaje y del nivel inferior de discriminación es conveniente para conseguir las mejores condiciones de contaje. En este artículo se presenta el estudio preliminar del procedimiento operativo seguido para la puesta a punto y optimización del sistema electrónico en los laboratorios del CEDEX para la medida del índice de radiactividad alfa total en agua.

## OPTIMIZATION OF A SCINTILLATION DETECTOR SYSTEM FOR GROSS ALPHA ACTIVITY DETERMINATION

**ABSTRACT** Assessment of the radiological water quality is useful for a wide range of environmental studies. In most cases, the gross alpha activity is one of the parameters to be determined. This parameter is used as an initial indicator to decide whether further radiological analyses are necessary in order to identify and quantify the presence of alpha emitters in water. The standard method for monitoring gross alpha activity includes sample evaporation to dryness on a disk and counting by means of a ZnS(Ag) scintillation detector. The detector electronics consist of two components which are adjustable by the user: the high-voltage applied to the photomultiplier tube and the low level discriminator, which is used to eliminate the electronic noise. The high-voltage and low level discriminator optimization are useful for reaching the optimum counting conditions. This paper is a preliminary study of the procedure followed to set and optimize the detector electronics in the laboratories of CEDEX for the measurement of gross alpha activity.

**Palabras clave:** Actividad alfa total; Vigilancia radiológica; Detectores de radiación; Calidad del agua.

## INTRODUCCIÓN

Los estudios medioambientales, tales como la determinación de la calidad del agua, requieren a menudo el conocimiento de sus parámetros radiológicos. En estos casos, uno de los parámetros a determinar es el índice de actividad alfa total.

Este índice se considera como un indicador que señala la posible necesidad de realizar análisis adicionales para la identificación y cuantificación de los radionúclidos emisores alfa presentes en las aguas sometidas a control.

La medida del índice de actividad alfa total, procedente de radionúclidos pesados constituye una rutina ha-

bitual en laboratorios de espectroscopía nuclear. Para este cometido, se usan frecuentemente contadores de centelleo sólido debido a sus ventajas: precio bajo, facilidad de manejo y buenas cualidades de estabilidad y reproducibilidad.

Para medir este índice se utiliza el detector de centelleo sólido de ZnS(Ag) en contacto con la muestra evaporada sobre una plancheta de acero inoxidable. El sistema electrónico de contaje consta, principalmente, de dos variables que pueden ser manipuladas por el usuario: la alta tensión aplicada a los tubos fotomultiplicadores y un discriminador que permite separar los impulsos del ruido electrónico de los propios de la muestra.

Con el fin de establecer las condiciones idóneas de operación en estos equipos de medida, el nivel inferior de discriminación (NID) y el voltaje han de establecerse de forma objetiva. Es práctica habitual calcular la figura de mérito como criterio aceptado para la optimización de un equipo de medida. La figura de mérito (*FM*) se define utilizando la siguiente expresión:

(\*) Doctor en Física. Departamento de Impacto Ambiental de la Energía (CIEMAT). Ministerio de Industria y Energía.

(\*\*) Licenciado en Ciencias Químicas. Departamento de Impacto Ambiental de la Energía (CIEMAT). Ministerio de Industria y Energía.

(\*\*\*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas del CEDEX. Ministerio de Fomento.

$$FM = \frac{E^2}{F} \quad [1]$$

donde  $E$  es la eficiencia de recuento expresada en tanto por ciento y  $F$  son las cuentas totales del fondo. Las condiciones de contaje óptimas son aquellas que proporcionan una  $FM$  más elevada. En el presente trabajo se han determinado las eficiencias y los fondos para diferentes voltajes y niveles inferiores de discriminación para establecer las condiciones óptimas de medida del índice de actividad alfa total, utilizando los sistemas de medida de centelleo de ZnS(Ag) instalados en los laboratorios del CEDEX.

### EXPERIMENTAL

La medida de las emisiones alfa se realizó mediante un disco de Mylar transparente que tiene en una de sus caras un depósito de finos cristales de ZnS(Ag) (Figura 1). El sistema de medida está formado por ocho cadenas de detección conteniendo, cada una de ellas, un cambiador de muestras (Figura 2), un tubo fotomultiplicador bialcalino de 2" de diámetro (Figura 3) y un preamplificador. Los ocho tubos fotomultiplicadores están alimentados por dos fuentes de alta tensión (cada una de las cuales alimenta a un grupo de cuatro fotomultiplicadores) y un divisor de tensión. A su vez, cada pareja de tubos fotomultiplicadores están asociadas a una doble escala amplificadora provista de dos amplificadores, dos discriminadores y dos escalas de

contaje. Las cuatro escalas amplificadoras, las dos fuentes de alta tensión y el divisor de tensión están alimentados por dos módulos NIM con su fuente de alimentación correspondiente (Figura 4). Las cuatro escalas amplificadoras se conectan en serie al ordenador por medio de un puerto COM, RS-232, mediante un cable común que las interconecta y, se gobiernan mediante un protocolo de comunicaciones desde el ordenador (Figura 5). El protocolo de comunicaciones permite seleccionar tiempos de medida distintos en cada módulo, leer valores almacenados o modificar los parámetros de medida. Las escalas dobles amplificadoras quedan fijadas con una determinada ganancia en el amplificador y un determinado nivel de discriminación en la línea base.

Los dos parámetros a optimizar por el usuario son el voltaje de la fuente de alta tensión y el *nivel inferior de discriminación* de los impulsos (NID). El NID es programable para cada uno de los ocho sistemas de detección y puede escogerse entre 1 y 255. Por ejemplo, el valor 255, correspondiente al 100%, implica que el discriminador está totalmente cerrado y los impulsos presentes no se cuentan.

Las medidas de las eficiencias, para cada uno de los sistemas, se realizó con patrones de americio-241 preparados en el CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas) en la misma geometría en la que se miden las muestras. Los fondos se prepararon colocando un disco Mylar encima de una plancheta de acero inoxidable de iguales características a los patrones y muestras.

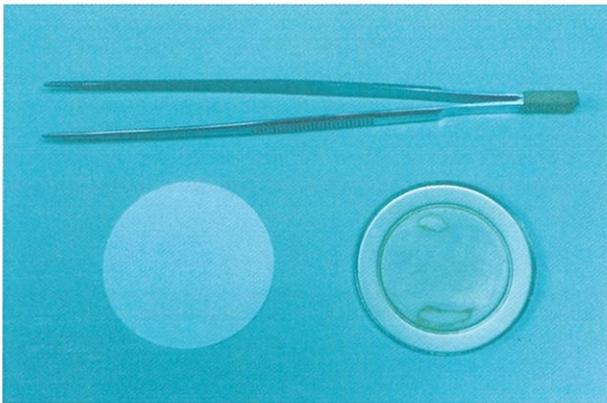


FIGURA 1. Disco Mylar de ZnS(Ag), plancheta de acero inoxidable y pinzas para manipulación de muestras.

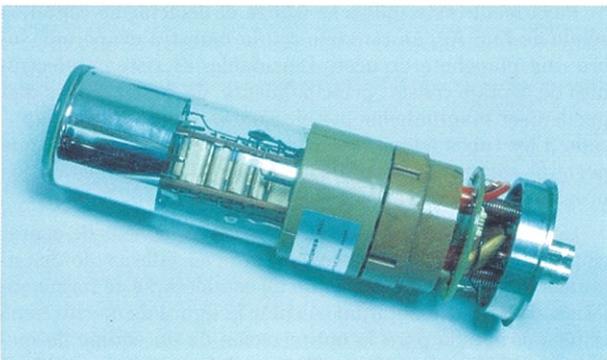


FIGURA 3. Tubo fotomultiplicador sin la carcasa que lo protege.

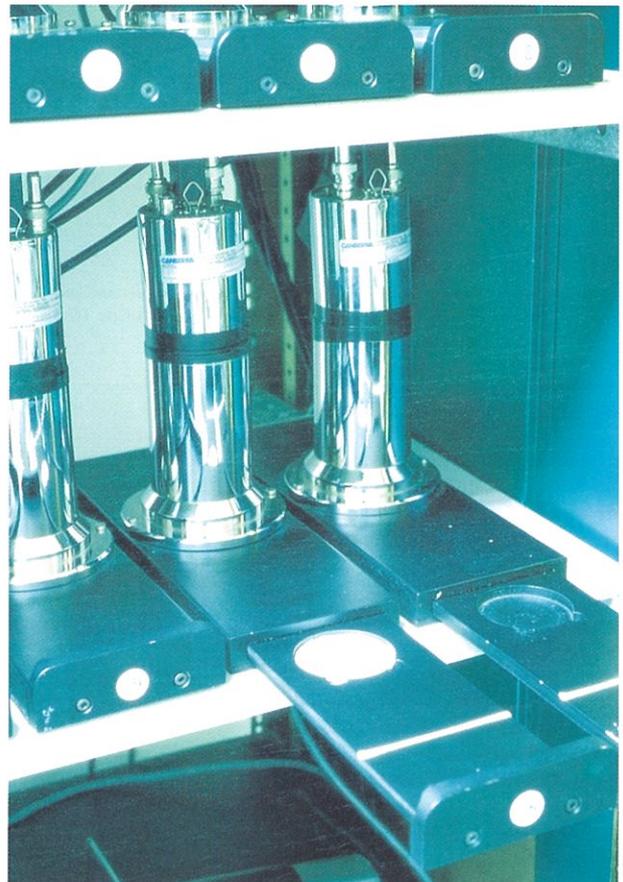


FIGURA 2. Cambiador de muestras y tubo fotomultiplicador del sistema detector de centelleo sólido de ZnS(Ag) de los laboratorios del CEDEX.



FIGURA 4. Electrónica asociada al detector de centelleo sólido de ZnS(Ag).

El proceso seguido para la optimización y puesto a punto del sistema detector fue el que se detalla a continuación:

1. **Determinación de la curva característica y del plateau para diferentes niveles inferiores de discriminación.** Se determinaron las cuentas del patrón de americio-241, midiéndolo 5 minutos para distintos voltajes, desde 0 V hasta 1000 V (con incrementos de 50 V) y de NID, desde 1 hasta 250 (con incrementos de 10 unidades). Posteriormente, se realizaron medidas en la zona comprendida entre 675 V y 850 V (zona del plateau), con incrementos de 25 V para ajustar la zona de optimización.
2. **Medición del fondo para determinados voltajes y NID.** Se midió el fondo durante 1000 minutos para voltajes desde 675 V hasta 850 V (con incrementos de 25 V) (zona del plateau) y de NID desde 1 hasta 60 (con incrementos de 10 unidades).
3. **Eliminación de los valores de fondo anómalos.** En un sistema de detección de radiaciones pueden producirse errores en el recuento que pueden ser debidos: al ruido electrónico, a perturbaciones electrónicas próximas, mal contacto de masas, transitorios en la red de alimentación, defectos en escalas e impresoras, variaciones bruscas de ganancias, etc. En consecuencia, es común encontrar en un conjunto de medidas, uno o varios valores que se desvían de la media de una forma anómala. En tales circunstancias, es adecuado utilizar un criterio para eliminar dichos valores. El criterio comúnmente aceptado es el criterio de Chauvenet que elimina la medida más separada del valor medio teniendo en cuenta el número de medidas. El criterio de Chauvenet establece que una observación ha de ser eliminada si su probabilidad es igual o menor que  $1/2N$ , donde N es el número de observaciones. En nuestro trabajo, se tomó como hipótesis inicial que el fondo medido era independiente del voltaje y del nivel inferior de discriminación en la zona de estudio considerada, esto es, desde 675 V hasta 850 V y para un valor de NID desde 1 hasta 60. Este hecho nos permitió aplicar el criterio de Chauvenet utilizando todos los fondos medidos en la zona de estudio para eliminar valores anómalos.
4. **Determinación de la función que relaciona fondo y voltaje y, de la función que relaciona fondo con el nivel inferior de discriminación.** Dado que los resultados de las medidas de fondo son de carácter estadístico, la determinación de las figuras de mérito en la



FIGURA 5. Vista completa del sistema detector de centelleo sólido de ZnS(Ag) de los laboratorios del CEDEX para la determinación del índice de actividad alfa total.

zona de interés con dichos fondos presentó una variabilidad que no permitió la interpretación de los resultados para determinar los puntos óptimos del voltaje de trabajo y del nivel inferior de discriminación (NID). Aunque en primera aproximación se consideró que en la zona de interés, el fondo era independiente del voltaje y del NID, posteriormente se observó una dependencia funcional entre el fondo y dichos parámetros. En consecuencia, se determinó una relación funcional, diferente para cada uno de los sistemas detectores, entre el fondo y el voltaje ( $F = f(V)$ ) y entre el fondo y el nivel inferior de discriminación ( $F = f(NID)$ ). El valor de fondo que se consideró en la relación funcional entre el fondo y el voltaje fue el promedio de los fondos obtenidos para los diferentes valores de NID en un valor de voltaje fijo. El valor de fondo que se consideró en la relación funcional entre el fondo y el NID fue el promedio de los fondos obtenidos para los diferentes valores de voltaje en un valor de NID fijo.

5. **Determinación y representación de las figuras de mérito utilizando los fondos calculados mediante diagrama de isolíneas.** Las figuras de mérito, en la zona de interés, se calcularon nuevamente utilizando las eficiencias obtenidas en el primer apartado, y los fondos calculados mediante la relación funcional determinada

en el apartado anterior. El fondo calculado para un determinado valor del voltaje y del NID es la semisuma de las dos contribuciones, esto es:

$$F = \frac{f(V) + f(NID)}{2} \quad [2]$$

Finalmente, se representó en un diagrama de isolíneas la figura de mérito en función del voltaje y del NID.

### RESULTADOS

Las curvas características de los ocho contadores de centelleo obtenidas para diferentes niveles inferiores de discriminación fueron muy similares. En la Figura 6 se presenta la correspondiente a uno de ellos. Se observa que cuando el voltaje es muy pequeño, los impulsos registrados por el contador de centelleo no alcanzan una altura suficiente para pasar a través del discriminador. Si se sigue aumentando el voltaje, se llega a una zona que, al igual que ocurre en los

contadores Geiger-Müller, podemos llamar plateau. Si aumentamos el valor del NID se observa: i) el voltaje umbral (voltaje a partir del cual empezamos a registrar cuentas) empieza en valores más elevados, y ii) el plateau de la curva característica se hace cada vez más estrecho, terminando por desaparecer para un valor de NID entre 20 y 30.

En los fondos medidos se aplicó el criterio de Chauvenet para eliminar los valores anómalos. De los 448 fondos medidos en total con los ocho detectores, 19 de ellos fueron eliminados. El máximo número de fondos eliminados fue en el detector número 6, en el que se eliminaron seis fondos. Los fondos promediados para cada detector variaron entre 9.6 - 16.6 cuentas en 1000 minutos.

Para la mayoría de los detectores, se observó una relación lineal entre el fondo y el voltaje (Figura 7), y entre el fondo y el NID (Figura 8). Los rangos de los coeficientes de determinación para el conjunto de los ocho detectores varió entre 0.654 - 0.968. Sólo en los detectores números 2 y 5 no se consideró la relación funcional entre el fondo y el NID, y

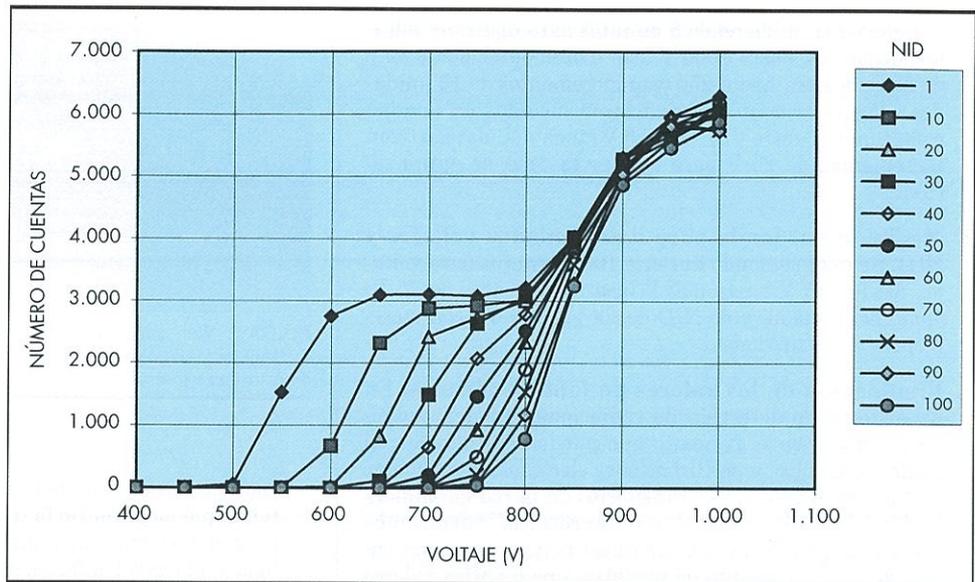


FIGURA 6. Curva característica del detector de centelleo número 1 para diferentes niveles inferiores de discriminación (NID).

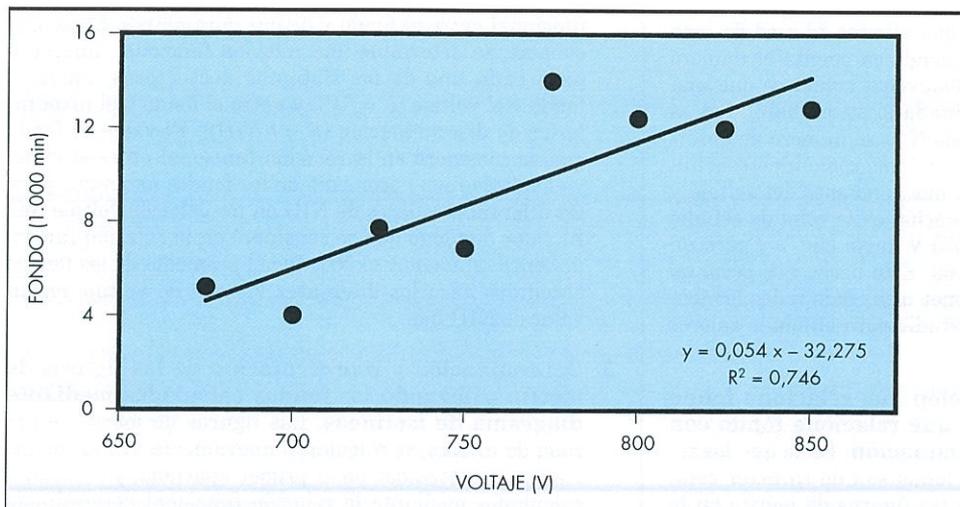


FIGURA 7. Relación entre el fondo y el voltaje en el detector de centelleo número 1.

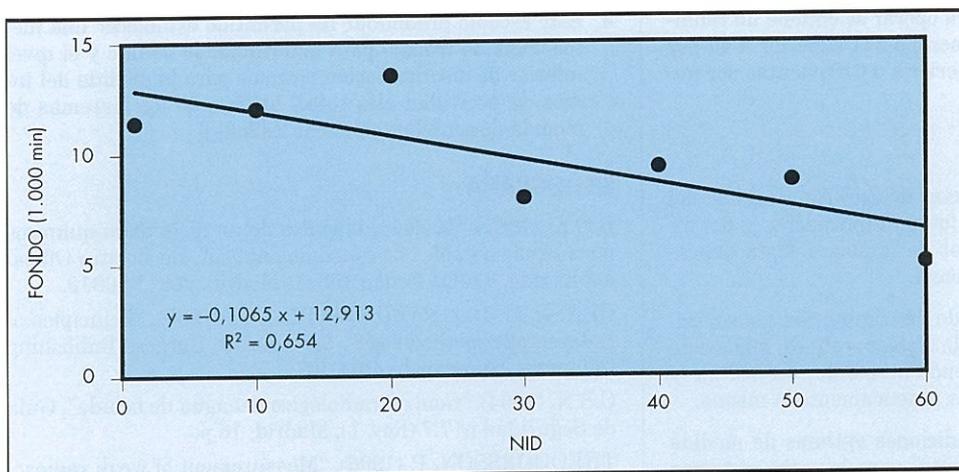


FIGURA 8. Relación entre el fondo y el nivel inferior de discriminación en el detector de centelleo número 1.

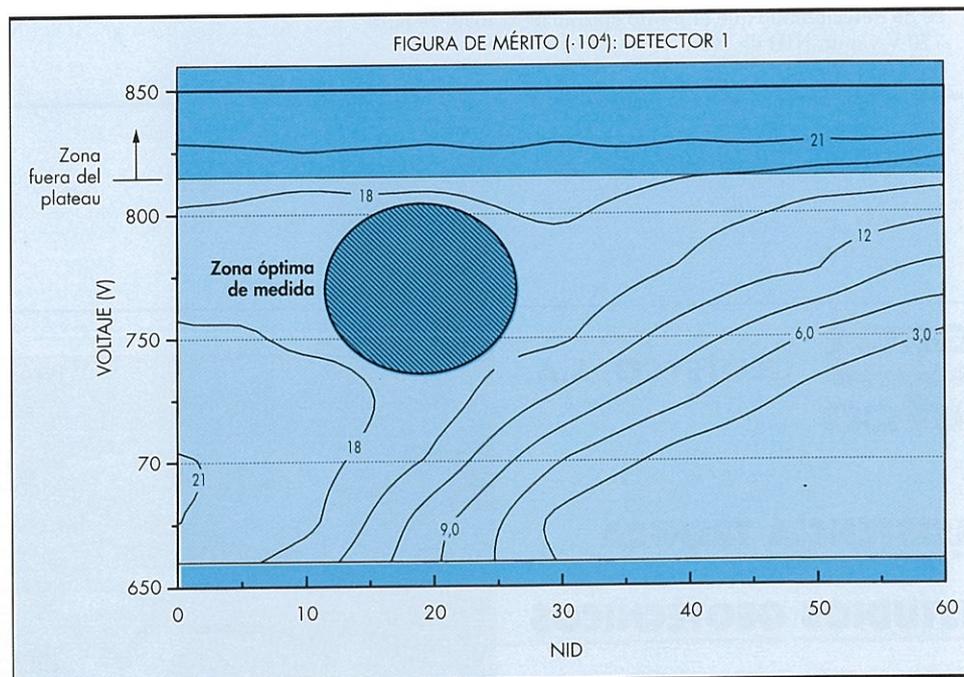


FIGURA 9. Figura de mérito (FM) en función del voltaje aplicado al tubo fotomultiplicador y del nivel inferior de discriminación (NID).

el fondo y el voltaje, ya que los coeficientes de determinación obtenidos fueron muy bajos,  $R^2 = 0.292$  y  $R^2 = 0.227$ , respectivamente. En estos casos, la expresión utilizada para el cálculo del fondo fue  $F = f(V)$  (esto es, el fondo se calculó en función sólo del voltaje, donde el fondo para cada voltaje fue determinado con el promedio de los fondos medidos en ese voltaje para los diferentes valores de NID) para el detector número 2 y  $F = f(NID)$  (esto es, el fondo se calculó en función sólo del valor del NID, donde el fondo para cada NID fue determinado con el promedio de los fondos medidos en ese valor de NID para los diferentes valores del voltaje) para el detector número 5.

La figura de mérito se calculó en cada uno de los ocho sistemas detectores de centelleo sólido en función del voltaje y del valor del NID, y se representaron en un diagrama de isolinéas (Figura 9).

Se observa que el valor del voltaje y del nivel inferior de discriminación no es crítico para una zona amplia, esto es,

que existe una zona en la cual, independientemente del voltaje y del NID, la figura de mérito es prácticamente la misma. Esta es la zona óptima de medida del índice de actividad alfa total en el sistema de medida de centelleo sólido de ZnS(Ag). Parece lógico considerar que el punto de medida es el centro de la zona óptima de medida. En particular, para el detector número 1, este punto se determinó para 770 V y a un valor de NID de 19 (Figura 9).

Este punto óptimo también debe de cumplir los siguientes condicionantes:

1. El voltaje de trabajo ha de situarse dentro de la zona del plateau, de forma que el conteo sea insensible a las variaciones del voltaje.
2. El nivel inferior de discriminación no ha de ser demasiado bajo para evitar así señales espúreas de ruido electrónico.

3. En el punto seleccionado para operar se obtiene un rendimiento de detección para americio-241 superior a 40 por 100, en  $2\pi$  y un fondo no superior a 0.010 cuentas por minuto (c.p.m.).

### CONCLUSIONES

1. El fondo medido en un detector de ZnS(Ag) depende del voltaje aplicado a los tubos fotomultiplicadores y del nivel del discriminador inferior de impulsos. Esta dependencia se puede considerar lineal.
2. El voltaje y el nivel inferior de discriminación no son críticos para una zona amplia de trabajo, esto es, que existe una zona en la cual, independientemente, del voltaje y del NID la figura de mérito es prácticamente la misma.
3. Se han determinado las condiciones óptimas de medida del índice de actividad alfa total para los ocho sistemas de detección de centelleo de ZnS(Ag) instalados en los laboratorios del CEDEX. En el caso del detector número 1 se ha determinado que el punto óptimo de trabajo es para 770 V y a un NID de 19.

4. Este estudio preliminar ha permitido establecer una metodología de trabajo para determinar el voltaje y el nivel inferior de discriminación óptimos para la medida del índice de actividad alfa total, utilizando los sistemas de medida de centelleo sólido de ZnS(Ag).

### BIBLIOGRAFÍA

- B.O.E. (1987), "Métodos oficiales de análisis físico-químicos para aguas potables de consumo público", En Boletín Oficial del Estado, 9 julio, Orden 15871, Madrid, 20911-20919.
- CHASE, G. D. y RABINOWITZ, J. L. (1967), "Principles of radioisotope methodology", 3er edición, Burgess Publishing Company, Minneapolis, 104-107.
- C.S.N. (1994), "Control radiológico del agua de bebida", Guía de Seguridad nº 7.7 (Rev. 1), Madrid, 16 p.
- THEODORSSON, P. (1996), "Measurement of weak radioactivity", World Scientific, Singapore, 333 p.



**GEOTEYCO, S.A.**

- **ASISTENCIA TÉCNICA**
- **ESTUDIOS GEOTÉCNICOS**
- **CONTROL DE CALIDAD**

#### ENSAYOS DE CAMPO

- Sondeos Geotécnicos
- Ensayos con Piezocono
- Vano test
- Ensayo con Presiómetro
- Permeabilidad "in situ"
- Determinaciones inclinométricas

#### ENSAYOS DE LABORATORIO

- Hormigones
- Cementos y Aditivos
- Aceros
- Materiales bituminosos



1995: Urbanización Interior del Plan Parcial II-5 del Ensanche Este - Pavones



#### Oficina Central:

Pº de La Habana, 81  
28036 Madrid  
Tel.: 914 57 06 28  
Fax: 914 57 43 33  
e-mail: geoteyco@CTV.es

#### Laboratorio Central:

Pol. Ind. Valdonaire  
28960 Humanes (Madrid)  
Tel.: 916 90 11 80  
Fax: 916 90 24 62

**Delegaciones Nacionales:** Córdoba, Galicia, Vitoria.  
**Delegaciones Internacionales:** Bélgica, Irlanda, Portugal, Grecia.