

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº	AÑO
1	1982

LIMITES DE DETECCION Y DETERMINACION DE LA DOSIMETRIA
Y DETECCION DE Pu EN AIRE EN LA FACILIDAD ALFA

(*) Roberto Rojkind - (') Ana María Gatti

(') Departamento Combustibles Nucleares
Proyecto Tecnología del Plutonio
(*) INVAP S.E.

Resumen

Se presenta el cálculo de límite de detección y de determinación de concentración de aerosoles de plutonio en aire, en las instalaciones de la Facilidad Alfa. En el cálculo se utilizan los datos recogidos durante un año de funcionamiento continuo de un sistema de monitoreo de aerosoles de Pu en aire, y se prevén distribuciones de tamaño de aerosoles en zonas de trabajo de cajas de guantes y en conductos de ventilación. Se presenta además un plan de muestreo para la verificación de la exactitud de los cálculos, mediante la correlación de las mediciones de un equipo de monitoreo continuo, con las mediciones de un equipo de medición diferida de bajas actividades alfa sobre filtros de recolección de aerosoles.

1) Introducción

El cálculo y medición precisa del límite de detección de un dado proceso de medición resulta especialmente necesario, cuando, como en el caso de una instalación de Investigación y Desarrollo con Pu, se mide normalmente en el nivel de "lectura de fondo" de los equipos utilizados. En tales casos la falta de una adecuada comprensión del significado de los términos "límite de detección", "detección" y "lectura de fondo", trae aparejada una falta de coherencia y homogeneidad en el tratamiento del volumen de datos extraídos de las mediciones que se realizan sobre un proceso.

Para la seguridad y protección radiológica de una instalación como la Facilidad Alfa del C.A.C. es imprescindible determinar con la máxima precisión y exactitud los "Límites de Detección" de sus sistemas de monitoreo alfa.

2) Sensibilidad y límites de detección

La "sensibilidad" de un proceso de medición está relacionada con procedimientos de prueba para detectar apartamientos respecto de cierta "Hipótesis" $L \geq L_D$, respecto de alguna propiedad estadística medible de una población. Dichos procedimientos de prueba de la Hipótesis llevan a la decisión de aceptarla o rechazarla. Tal decisión está sujeta a errores de dos tipos: un error resultante de aceptar la hipótesis de prueba, cuando ésta es falsa (error de 1er. tipo) y (error de 2do. tipo) un error resultante de rechazar la hipótesis, cuando en realidad es cierto.

El método de realización del test de hipótesis (1) consiste en hallar algún valor crítico L_C como límite superior de una zona de rechazo del test.

Definimos precisamente el límite de detección (2) L_D para un dado proceso de medición, como nivel de señal neta para el que la probabilidad de cometer errores del 1° y 2° tipo resulta ser α y β respectivamente. Para ello establecemos un nivel crítico L_C , determinado por el valor máximo aceptable de α y por la desviación standart σ de la medición, cuando no existe señal neta real, tal que una señal neta L observada debe ser mayor que L_C para dar lugar a la decisión de "detección".

Queda así definido el límite de detección L_D , determinado por el nivel crítico L_C , por el máximo valor aceptable de β y por la desviación standart σ de la señal neta observada, cuando ésta corresponde a un valor verdadero igual al límite de detección L_D . Así, si una señal neta observada L es mayor que el nivel crítico L_C , se aceptará la hipótesis de que corresponde a una "detección" de valor verdadero igual a L_D con una probabilidad no mayor que α y β de cometer los errores de 1° y 2° tipo, respectivamente.

Definimos por último un límite de determinación L_Q para el que el método de medición resulta suficientemente preciso, como para dar estimaciones cuantitativas satisfactorias, con valores de la dispersión standart σ determinados por una distribución esencialmente gaussiana.

Fijando probabilidad de errores de 1° y 2° tipo en los siguientes valores: $\alpha = \beta = 0,05$, según Currie (2) las expresiones para los límites L_C , L_D y L_Q resultan, para desintegraciones radioactivas:

- a) $L_C = 1,64 \cdot \sqrt{n_B}$
- b) $L_D = 2,71 + 3,29 \cdot \sqrt{n_B}$
- c) $L_Q = 50 \times \left[1 + \left(1 + \frac{n_B}{25} \right)^{1/2} \right]$
- En la suposición de un valor medio del fondo n_B , bien medido
- Para una desviación standard definida en el 10% de L_Q .

Estos cálculos en nuestro caso no se ven esencialmente afectados por consideraciones de efectos de tiempo muerto en las mediciones (3); (4); en tanto que representan inferencias y límites de confianza para mediciones con baja velocidad de conteo.

3) Límites de Detección y Determinación para el sistema de monitoreo de la Facilidad Alfa.

A - Monitor continuo de aerosoles de Pu en aire (MCA)

Para una descripción detallada de este equipo, referirse al trabajo "monitor Continuo de aerosoles con cabezales remotos de muestreo" que se presenta en este Congreso.

Este equipo consta de varios cabezales de muestreo remoto de aire y su principio de observación se basa en la integración de pulsos provenientes de la detección de la desintegración α del Pu, depositado como aerosoles sobre filtros de fibra de vidrio.

Por tratarse de una integración dinámica por medio de un amplificador operacional realimentado con un RC de 6 minutos de constante de tiempo, el equipo provee una salida S proporcional a la frecuencia media de llegada de pulsos al integrador. Por ello, al calcular los límites dados por las ecuaciones a), b) y c) se considera un tiempo equivalente de conteo $t_e = RC = 6$ minutos, con una estadística de muestreo que abarca la jornada completa de muestreo de aire con un filtro de fibra de vidrio.

El cálculo de los límites de detección conlleva al efecto de la distribución típica del tamaño de aerosoles en la instalación bajo control.

A-1 Muestreo del aire de conductos de ventilación corriente abajo de filtros HEPA

Tras un año de experiencia en la operación de este equipo MCA, se consigna un fondo de emisores naturales de 0,8 cpm, con lo que se obtienen los siguientes valores:

Zona de Muestreo	A_D (B_q)	Tiempo de recolección t (min)	a_D ($\frac{B_q}{m^3}$)
Conductos de extracción de Cajas de Guantes	0,14	6	0,93
		10	0,56
		60	0,09

donde:

A_D (B_q) : Actividad del límite de detección sobre el papel de filtro.

$$a_D (Bq/m^3) = A_D (B_q) / (Q \cdot (m^3/min) \times t (min)) =$$

= concentración de actividad de Pu en aire, para llegar al límite de detección, al cabo de t (min) de muestreo de un caudal Q (m^3/min) de aire.

La corrección proveniente de computar la fluctuación introducida por el número esperado de partículas de polvo de Pu sobre el filtro de recolección de aerosoles (5) suponiendo una distribución de las mismas en el aire con un diámetro aerodinámico medio de 0,3 μm (6) es menor que el 1%.

Cada cabezal ubicado en chimenea muestrea 10^{-3} del total de aire expulsado, por lo tanto el límite de detección para la actividad total emitida por chimenea es de 140 Bq diarios. Esto equivale a un límite de detección anual de $5,1 \times 10^4$ Bq (1,4 μCi).

Los límites de determinación A_0 y a_0 resultan 10 veces mayores que A_D y a_D , respectivamente.

A-2 Muestreo del aire en áreas de trabajo con cajas de guantes.

Se consigna un conteo de fondo de emisores naturales de 20 cpm, con lo que se obtienen los siguientes valores:

A_D (Bq)	Tiempo de recolección t (min)	a_D (Bq/m ³)	a_D^* (Bq/m ³)
0,54	60	0,36	0,38
	240	0,09	0,10
	480	0,05	0,06

Para el significado de las variables utilizadas, referirse a la tabla anterior.

En una instalación de investigación y desarrollo como la Facilidad Alfa, se espera una media de tamaño de aerosoles de 1 ~~µm~~ a 3 ~~µm~~ (6), lo que permite corregir a_D , tal como se indica (a_D^*), teniendo en cuenta la distribución típica del tamaño de aerosoles (5).

Los límites de determinación A_Q y a_Q , resultan ser 4 veces mayores que A_D y a_D respectivamente.

B - Monitor diferido de actividad de Pu recolectada sobre filtros de muestreo de aire (M.D.A.)

Este equipo marca Friesseke y Hoepfner es un sistema de detección de actividad alfa sobre papeles de filtro.

Posee una cámara proporcional con flujo continuo de gas y un sistema de conteo de pulsos en el tiempo de muestreo. Su eficiencia de detección medida es del 47% y se midió un fondo de 0,5 cpm.

A los efectos de correlacionar las mediciones en el monitor diferido MDA con aquellos del MCA, se realizan los cálculos de límites de detección A_D iguales a los calculados para el monitor continuo.

B-1 Medición diferida de filtros de cabezales de muestreo continuo (MCA) ubicados en conductos de ventilación corriente abajo de filtros absolutos.

El cálculo de límites en término de actividades sobre los filtros se realiza teniendo en cuenta la eficiencia del sistema de detección, resultando en el tiempo de medición de 1,4 minutos: $A_D = 0,14$ Bq ;
 $A_Q = 2,55$ Bq

B-2 Medición diferida de filtros provenientes de cabezales de muestreo continuo (MCA), ubicados en zonas de trabajo con cajas de guantes.

En este caso el tiempo de medición es de 15 segundos y resultan límites en término de actividades de: $A_D = 0,54 \text{ Bq}$; $A_Q = 14,2 \text{ Bq}$

4) Valor asignado a la medición de los filtros de aire.

Los cálculos anteriores se basan en estadísticas de conteo de fondo, medidas en los equipos de monitoreo continuo y diferido de la Facilidad Alfa, a lo largo de un año de operación con ellos.

La lectura de cada cabezal del monitor MCA se enviará a una computadora para su continuo procesamiento. La misma deberá proveer un valor neto de actividad AR(Bq) de cada cabezal, al cabo de la jornada de recolección en el filtro, tal que:

1°) "No detección" : Si $1(t) < 1_c$ a lo largo de toda la jornada, entonces:

$$A_R \text{ (Bq)} < \left[\bar{I} + 1,645 \sqrt{I} \right] \times \frac{1}{E_D}$$

$$\text{donde: } \bar{I} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} 1(t) dt.$$

$\sqrt{I}$ = dispersión standard del valor promedio neto $\bar{I}$

$1(t)$ = salida neta del equipo al tiempo t , proporcional a la frecuencia media de llegada de pulsos al integrador, calibrada en cps.

1_c = nivel crítico medido en cps (2)

t_1 y t_2 = instantes inicial y final de la jornada

E_D = eficiencia del detector semiconductor = 0,2

Por conveniencia operativa se computará $A_R < \text{Límite de Detección } (A_D)$.

- 2°) "Detección" : si $1(t) \gg 1_c$ en algún instante t , se realizará el cálculo del promedio de la lectura únicamente a partir de dicho instante y hasta el final de la jornada y:

$$A_R = \left[\bar{I} \pm 1,96 \sigma_i \right] \times \frac{1}{ED}$$

Los filtros de los respectivos cabezales, una vez retirados de los mismos, son medidos nuevamente en el monitor de diferido (MDA) al cabo de 48 hs. de decaimiento.

Normalmente no se dispone de una estadística precisa de mediciones u observaciones de un filtro, sino que se dispone de una muestra de n mediciones, de las que debe inferirse la posición relativa de la media poblacional del referido filtro, respecto del límite de detección del equipo. Dada la rutina de trabajo de monitoraje y de dosimetría de la Facilidad Alfa, la cantidad de muestras diferidas y de superficie medidas diariamente supera el centenar. Por ello se hace imprescindible reducir al máximo tiempos de conteo y número de observaciones de cada filtro. El tamaño mínimo n de la muestra necesario para realizar el test de hipótesis, en este caso se calcula según Mace (1), tal que:

- 1°) Si $\bar{u} < 1_c$, se trata de "no detección" y:

$$A_R(\text{Bq}) < \left[\bar{u} + 1,645 \sigma_u \right] \times \frac{1}{E_D}$$

donde:

$\bar{u}$ = valor medio neto en cps de las n observaciones del filtro

1_c = valor de lectura crítico medido en cps.

σ_u = desviación standard del valor medio neto $\bar{u}$

E_D = eficiencia de detección medida del equipo = 0,47.

Por conveniencia operativa se computará $A_R < \text{límite de detección } (A_D)$

2°) Si $\bar{u} \gg 1_c$, se trata de una "detección" y:

$$A_R = \left(\bar{u} \pm 1,96 \sqrt{\bar{u}} \right) \times \frac{1}{E_D}$$

Correlación de datos entre las mediciones del MCA y el MDA para cada filtro.

A fin de verificar la concordancia de las mediciones sobre cada filtro de los cabezales, se considerará que cada una de las mediciones que se realizan en un mismo filtro con los monitores MCA y MDA respectivamente, es una muestra de una variable normalmente distribuida con varianzas σ^2 , cuyas medias $\bar{A}_{R1}$ y $\bar{A}_{R2}$ deseamos verificar si corresponden a una misma magnitud, realizando un adecuado test de hipótesis (1).

Considerando un riesgo $\alpha' = 0,05$ de rechazar la hipótesis, aunque sea correcta, en caso de observarse que $|\bar{A}_{R1} - \bar{A}_{R2}| > \sigma'$ (valor aproximado de la dispersión standard de las mediciones), y un riesgo $\beta' = 0,20$ de aceptar como cierta la hipótesis aún cuando sea falsa, si se observa que $|\bar{A}_{R1} - \bar{A}_{R2}| \leq \sigma'$; el tamaño óptimo de la muestra a tomar resulta ser $n = 18$ (1). De esto se deduce que para los filtros que hubieran dado "detección" en el monitor MDA, se realizará una nueva medición con el MDA durante un tiempo T y el valor neto medio de actividad será:

$$\bar{A}_{R2} = \frac{\bar{I}_R}{E_D} \quad ; \quad \bar{I}_R = \frac{L}{T} - n_B$$

donde:

$T = 18 \times \Delta t$; $\Delta t = 1,4$ minutos ó 15 seg. para los casos B_1 y B_2 respectivamente.

L = Valor de la lectura en el T .

n_B = valor medio del fondo = 0,5 cpm.

La correlación entre los 2 equipos de medición para cada filtro del mes de trabajo se realizará como sigue:

- 1-) Si $\bar{A}_{R1}$ y $\bar{A}_{R2}$ medidas según A) y B) corresponden a mediciones de "no detección", se asigna a dicha medición el valor $A_R < A_D$.
- 2-) Si sólo una de las mediciones $\bar{A}_{R1}$ ó $\bar{A}_{R2}$ hubiera dado "detección", se rechaza la medición de dicho filtro.
- 3-) En caso de que ambas den "detección":
 - 3-a) Si $|\bar{A}_{R1} - \bar{A}_{R2}| > \sqrt{\sigma_{A_{R1}}^2 + \sigma_{A_{R2}}^2}$ se afirma que no coinciden ambas mediciones y se rechaza la misma.
 - 3-b) Si $|\bar{A}_{R1} - \bar{A}_{R2}| \leq \sqrt{\sigma_{A_{R1}}^2 + \sigma_{A_{R2}}^2}$ se asegura que se trata de la misma magnitud y se toma como valor de la medición $A_R = ((\bar{A}_{R1} + \bar{A}_{R2}) / 2) \pm 1,96 \sqrt{\sigma_{A_{R1}}^2 + \sigma_{A_{R2}}^2}$

donde: $\bar{A}_{R1}$; $\bar{A}_{R2}$; actividades reales medias medidas en el MCA y MDA respectivamente.

$\sqrt{\sigma_{A_{R1}}^2 + \sigma_{A_{R2}}^2}$: como aprox. se toma el valor de $\sqrt{\sigma_{A_{R1}}^2}$ más grande.

5) Plan de muestreo para la verificación absoluta de los cálculos de límites de detección de los sistemas de monitoreo de la Facilidad Alfa.

A fin de corroborar la exactitud de estos cálculos se define un plan para la correlación de datos entre las mediciones del sistema de monitoreo de la Facilidad Alfa y las mediciones integradas mensualmente sobre un equipo centellador de muy bajo fondo, para la medición de Pu recuperado de filtros; existente este último en la Gcía. de Protección Radiológica y Seguridad de la CNEA.

Para ello se agruparán los filtros mensualmente en tres grupos, según su procedencia: 1) Areas de trabajo con cajas de guantes; 2) conductos de extracción de cajas de guantes y 3) chimenea; y se separarán además en tres subgrupos, cada uno según hayan dado "detección" ó no de Pu, o hubieran sido rechazados.

Se deberá verificar que, mes a mes, a lo largo de por lo menos un año de trabajo, y con un 95% de aciertos, para cada uno de los grupos arriba mencionados:

$$1) \quad |A_2 - \sum_{i=1}^N A_1| \leq \left(\sum_{i=1}^N \sigma_i^2 \right)^{1/2}; \quad 2) \quad A_1 < N' A_D$$

donde:

- A_2 = actividad medida en el equipo de centelleo para el subgrupo de N filtros del mes que hayan dado "detección".
- A_i = actividades medias de la Facilidad Alfa de los filtros que hayan dado "detección".
- σ_i = es el indicado arriba para cada filtro. Provee una estimación cuantitativa de la dispersión de A_i , teniendo además en cuenta que el aporte de la dispersión de A_2 es despreciable por ser mayor la precisión de su medida.
- A_1 = actividad medida en el equipo de centelleo para el subgrupo de N' filtros del mes que hayan dado "no detección".

La actividad A_0 , medida en el equipo de centelleo para el grupo de N" filtros del mes que hayan sido "rechazados", se utilizará como un indicador cualitativo de la bondad relativa de nuestros dos métodos de medición (MCA y MDA). Para ello se comparará este valor A_0 con la "actividad" suma asignada a este subgrupo, según datos obtenidos de cada uno de los 2 métodos de medición. De los dos valores resultantes de MCA y MDA, como criterio de aceptación, se tomará el más cercano al valor A_0 .

6) Conclusiones

Se desarrolló el cálculo de límite de detección y determinación para los sistemas de monitoreo de Pu en aire en la Facilidad Alfa. Dicho cálculo permitirá implementar una rutina de muestreo de filtros mediante mediciones continuas y diferidas de áreas de trabajo con cajas de guantes y en conductos de extracción.

Quedan así determinados límites de detección para áreas de trabajo con cajas de guantes y conductos de ventilación de 0,54 Bq y 0,14 Bq respectivamente, los que dependen fundamentalmente del fondo debido a la actividad alfa natural y de los riesgos aceptados α y β . Estos límites, así calculados, permiten discriminar perfectamente valores de fondo de valores de actividad inferiores a los límites permitidos. Se prevé un programa de comparación de eficacia de los métodos de medición (MCA y MDA) de actividades alfa de aerosoles depositados en filtros.

- (1): A.E. Mace; R.E. Krieger, Publishing Co. N.Y.
"Sample Size Determination", 1974
- (2): L.A. Currie, Anal. CNEM. 40, 583, 1968
- (3): J.W. Mueller, Nucl. Instr. and Meth 112(1973), 47
- (4): D.R. Jordan; G.W. Mc. Beth, Nucl. Instr. and
Meth. 155(1978), 57
- (5): J. Kordas; P. Phelps, IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-26
N°1 Feb. 1979
- (6): W. Seefeldt; W.J. Mecham; M.J. Steindler, ANL-75-78.