

# DETERMINACION DE FACTORES DE CONVERSION y EFICIENCIA PARA DETECTORES GM EMPLEADOS EN MEDICION DE CONTAMINACION SUPERFICIAL

Jaime Ayala G., José T. Alvarez R.

Laboratorio Secundario de Calibración Dosimétrica LSCD, Departamento de Metrología, Gerencia de Aplicaciones Nucleares en la Salud.

## 1.- Introducción



MX0100226

Uno de los objetivos de la Protección Radiológica PR, es cumplir con la normativa tanto nacional con internacional referente al sistema de limitación de dosis ICRP, [ICRP 26, ICRP 60]. Por otra parte es bien conocido, que este sistema se establece en función de los *límites primarios* indicados en las magnitudes: *Dosis Equivalente Efectiva*  $H_E$ , o la *Dosis Efectiva*,  $E$ . Además de existir los denominados *límites derivados* o *secundarios*, que se relacionan con los primarios; y fundamentalmente expresan los límites de  $H_E$  o  $E$  en función de los valores numéricos de las magnitudes secundarias; por ejemplo: Derived Air Concentration DAC, Allowable Limit on Intake ALI, Maximun Permissible Concentration MPC, Maximun Air Concentration MAC, Surface Contamination Limits SCL, etc, [Cember 1983].

En particular, para determinar si una superficie está contaminada se emplean los límites de contaminación superficial (SCL), los cuales se expresan generalmente en  $Bq\ cm^{-2}$  ( $Ci\ cm^{-2}$ ). Límites que están relacionados con las DAC mediante el llamado *factor de resuspensión*. Sin embargo, existen una serie de inconvenientes operacionales antes de que se pueda establecer con certeza los valores de SCL para las mediciones tomadas en una superficie de interés.

Entre otros problemas relacionados con la evaluación de superficies contaminadas, el técnico en PR se enfrenta a los siguientes:

i.- Problemas asociados con magnitudes y unidades del instrumento detector, con el cual

realiza su medición. Básicamente debido a que el equipo carece de los aditamentos necesarios para la conversión de las magnitudes, o a una ambigüedad en la información técnica existente en el manual de operación del equipo.

ii.- Carencia o desconocimiento de procedimientos para efectuar las mediciones adecuadamente (empleo correcto del equipo, toma de frotis, etc).

iii.- Carencia o falta de conocimiento de los procedimientos para obtener los valores de la magnitud de interés a partir de los magnitud medida, entre otros relacionados con el uso de factores de calibración expresados en eficiencia absoluta, interpretación de respuesta del detector en función de la energía de isótopo, uso adecuado de factores de conversión, etc. Es decir uso correcto de los procedimientos para convertir  $cpm$  en  $Bq$ .

En particular aquí trataremos el problema correspondiente al inciso i; que aborda, cómo determinar el factor de conversión de  $cpm$ /"mR/h" y la eficiencia absoluta  $\epsilon$ , para un equipo Geiger Müller GM, con ventana delgada. Equipo empleado para la detección de partículas  $\beta$ .

Cabe aclarar que la escala de dicho equipo está indicada en "mR/h", las cuales estrictamente son unidades de escala que debería estar en  $cpm$  o  $cps$ . Es decir, más que medidas de exposición, se realizarán medidas de contaminación superficial en  $cpm$ , con las cuales se determina la  $\epsilon$ , que finalmente nos permitirá obtener los valores de interés en  $Bq\ cm^{-2}$ .

Por lo tanto, cuantitativamente estamos en la posibilidad de expresar nuestras mediciones en las mismas unidades que valores reportados para los SCL

Es conveniente señalar que el equipo GM está diseñado para efectuar mediciones de exposición o contaminación; sin embargo por desconocimiento del usuario o del asesor en PR, no se adquieren los aditamentos que ofrece el fabricante para realizar la conversión de ambas magnitudes.

## 2.- Metodología

El método que emplearemos es el heurístico. Concretamente partamos de los siguientes hechos experimentales:

a.- Los fabricantes reportan para este tipo de equipo, y por experiencia personal en el LSCD sabemos, que los valores nominales de la eficiencia absoluta  $\epsilon_{\text{nominal}}$ , para partículas Beta, son aproximadamente de: 10-12 % para  $^{14}\text{C}$  y del 30-35% para  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  y  $^{36}\text{Cl}$ , y el 40% para el  $^{204}\text{Tl}$ . En otras palabras, la respuesta del instrumento GM para una fuente de radiación  $\beta$  de  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  es aproximadamente de 3 a 3.5 veces la obtenida para una fuente de  $^{14}\text{C}$ , y 4 veces para una de Talio. Lo anterior con la condición de que el instrumento se encuentre funcionando correctamente y asumiendo una la ventana de GM con un espesor del orden de 2  $\text{mg}/\text{cm}^2$ .

b.- Sea una fuente patrón cuya actividad este expresada en *emisividad* en  $2\pi$ ,  $q_{2\pi}$ , cuyas unidades están expresadas en  $\text{s}^{-1} \text{cm}^{-2}$ , y sea un instrumento con una área sensitiva del detector de  $W$ ,  $\text{cm}^2$ .

c.- Empleemos el valor de  $\epsilon$ , del inciso a, y la ecuación 1 para determinar el valor convencionalmente verdadero esperado para la lectura del instrumento  $L_{vcv}$ , expresado en *cpm*. En otras palabras usemos la siguiente ecuación, [ISO 7503-1 1988 ]:

$$\epsilon_i = L_{vcv} / (q_{2\pi} W) \quad (1)$$

para determinar el valor de  $L_{vcv}$ , donde este valor se encontrará en una de las escalas del instrumento.

d.- A continuación, tomemos un conjunto de medidas de fondo,  $n_B$ , y de la fuente patrón seleccionada. Las medidas estarán expresadas en las unidades de escala del instrumento, es decir en " $mR/h$ " nominales,  $L_{Ri}$ . En este punto de ser necesario se procede a mover los potenciómetros para tener una mejor SNR (Signal Noise Ratio).

e.- Se obtienen los promedios de las lecturas de fondo y de la fuente, los cuales expresaremos respectivamente como,  $\langle n_B \rangle$  y  $\langle L_{Ri} \rangle$ .

f.- Ahora expresemos el factor de conversión como el siguiente cociente:

$$F_i = L_{vcv} / [\langle L_{Ri} \rangle - \langle n_B \rangle] \quad (2)$$

g.- Repitamos el procedimiento para otro isótopo o isótopos, ( que indicaremos con el índice  $j=2$  hasta  $n$ ), para los cuales existan fuentes de referencia cuya emisividad implique lecturas en la misma escala, exceptuando emisores  $\beta^+$ .

h.- Finalmente calculemos el valor medio de los factores  $F_i$ ,  $\langle F_i \rangle$  y su Incertidumbre Expandida  $U_{\text{exp}}$ , [ISO 1992].

i.- Se repiten los pasos a-h, para las escalas restantes del instrumento en función de las fuentes patrón disponibles.

j.- Se procede a determinar la  $\epsilon$  para cada escala del instrumento, para cada isótopo de las fuentes patrón. Para esto se emplea los valores de  $\langle F \rangle$  calculados en los incisos h-i.

## 3.- Resultados.

Presentemos los obtenidos para un instrumento con dos detectores GM, uno interno y el otro externo; marca: Technical Associates, modelo: TMB-6A. Este equipo presenta cinco escalas de: 0.1, 1, 10, 100 y 10<sup>3</sup>; submúltiplos y múltiplos de una escala base en el rango de 0 a 2.0 "mR/h", con una resolución de 0.05 unidades de escala.

a.- Elegimos la escala de 0-20 "mR/h", para determinar su  $F_{0-20}$ . La razón para esta elección se debe a que para esta escala existen fuentes patrón en la cual el instrumento presenta respuestas adecuadas.

b.- Las fuentes patrón seleccionadas son reportadas en la Tabla abajo presentada.

c.- Los valores de  $L_{VCV}$  fueron calculados con el programa PLAN93.BAS indicado en el procedimiento P.LSCD-05, [Alvarez 1998], que corrige la lectura por decaimiento de la fuente y por área efectiva del detector, ( $W=4.15 \text{ cm}^2$ , para el detector externo) Adicionalmente, se empleo la ec. 1 considerar los valores nominales de  $\epsilon$ .

d.- Se midió la respuesta de instrumento para la radiación de fondo y para cada isótopo seleccionados. valores medios de  $\langle L_{Ri} \rangle$  que son reportados en la tabla anexa, que ya consideran la corrección por la radiación de fondo.

f.- El valor medio de las  $F$ , se determinó en  $\langle F \rangle = (310.8 \pm 9.9) \text{ cpm/"mR/h"}$ .

g.- Con este valor se midió la respuesta de cada fuente la cual se expresó en unidades de  $cpm$ . Respuesta que se empleo para determinar la  $\epsilon$ , de acuerdo con el procedimiento P.LSCD-05 de este Depto. de Metrología, [Alvarez 1998].

h.- Finalmente, se calculó la Incertidumbre expandida para cada valor de  $\epsilon$ , de acuerdo con [ISO 1992], en la cual se recomienda una clasificación de las incertidumbres en Tipo A y B, para su combinación posterior.

#### 4.- Discusión.

a.- Como puede observarse de la tabla de resultados, los valores de la  $\epsilon$  determinados para cada isótopo están dentro del orden de incertidumbre respecto de sus valores nominales.

b.- Sin embargo, es pertinente indicar al usuario la necesidad de adquirir un equipo GM, con una mayor área del detector.

#### 5.- Conclusiones.

a.- Se presentó un procedimiento para determinar el factor de conversión de unidades de escala indicadas en "mR/h" nominales a  $cpm$ . Para un instrumento con detector GM,  $\langle F \rangle = (310.8 \pm 9.9) \text{ cpm/"mR/h"}$ .

b.- Con este factor y los valores de  $\epsilon$ , el usuario tendrá la posibilidad de aplicar el procedimiento ISO para la evaluación de superficies contaminadas, [ISO 7503-1, 1988], u otro procedimiento que considere conveniente.

#### 6.- Referencias.

Alvarez R.J.T. 1998, "Procedimiento para la Calibración de Partículas Cargadas", P.LSCD-05. Rev 2.

Cember H, 1983. Introduction to Health Physics, second edition, Pergamon Press, USA.

ICRP 26, 1977. International Commission on Radiological Protection, Recommendations on ICRP, Publication 26, Pergamon Press, Oxford and N.Y.

ICRP 60, 1991. International Commission on Radiological Protection, Recommendations on ICRP, Publication 60, Pergamon Press, Oxford and N.Y.

ISO 7503-1, 1988. International Standard Organization, "Evaluation of Surface Contamination Part 1. Beta Emitters (Maximum Beta Energy greater than 0.15 MeV) and Alpha Emitters". First Edition, 1988-08-01, Switzerland.

ISO 1992, ISO/IEC/OIML/BIPM TAG4/W3. International Standard Organization, "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement". First Edition, Switzerland.

**Factores de conversión y Eficiencia para Equipo GM, marca: Technical Associates, modelo: TMB-6A. Escala 0-20 "mR/h".**

Isót.	$^1/q_{2m}$ , s <sup>-1</sup>	$\epsilon_{nm}$ %	$L_{VCV}$ , cpm	$\langle L_{Ri} \rangle$ mR/h	F cpm/ mR/h	$^2(\epsilon \pm$ $U_{exp})$ % k=1
<sup>14</sup> C	2886	10	1.129 X10 <sup>3</sup>	3.62	312.0	10.2±0.2
<sup>90</sup> Sr <sup>9</sup> <sup>90</sup> Y	3227	35	1.336 X10 <sup>3</sup>	4.14	322.0	33.6±2.8
<sup>204</sup> Tl	2647	42	2.414 X10 <sup>3</sup>	7.75	311.5	41.2±2.9
<sup>36</sup> Cl	3229	35	1.876 X10 <sup>3</sup>	6.30	297.8	36.6±3.4

1. Los valores para  $q_{2m}$  se reportan para toda la superficie de la fuente.
2. El factor de cobertura, k=1 para la  $U_{exp}$ . es análogo a un nivel de confianza de  $1\sigma$  para una distribución de probabilidad Normal.