

Curso: “Dosimetría personal externa”

UNIDAD 4. Dosimetría Externa

Conferencia No. 4.2

Calibración de Dosímetros Personales

Daniel Molina Pérez
MSc. Ing. Físico Nuclear



FACULTAD DE
CIENCIAS
UDELAR | fcien.edu.uy



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

OBJETIVOS

Conocer los requisitos técnicos y el procedimiento general para la calibración del sistema dosimétrico.

CONTENIDO

Requisitos técnicos para la calibración del sistema dosimétrico.

Procedimiento general para la calibración del sistema dosimétrico.

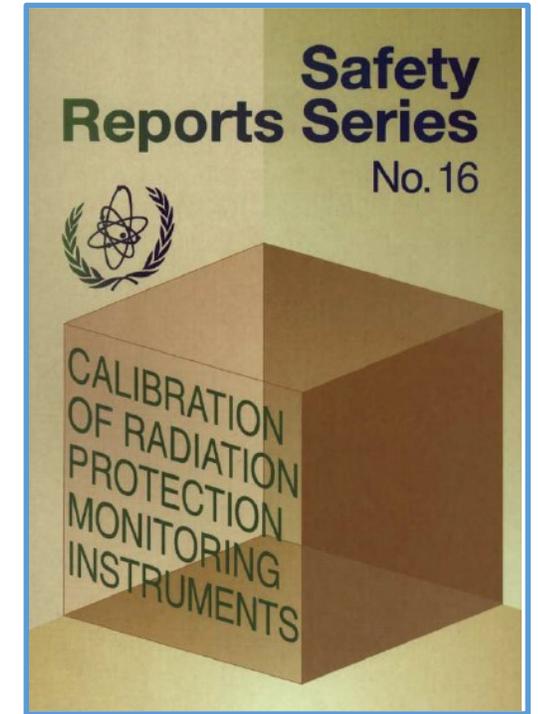
Sustracción de la dosis debida al fondo natural

RESUMEN TEMA ANTERIOR

Conceptos básicos sobre calibración

Colección Seguridad del OIEA No. 16.:

Recomendaciones detalladas sobre los procedimientos de calibración de instrumentos y dosímetros



Objetivos de la Calibración

Los objetivos primarios de la calibración son:

- (1) Asegurar que un instrumento trabaja correctamente y que es apropiado para el tipo de mediciones que se requiere realizar.
- (2) Determinar, bajo condiciones de referencia controladas, la indicación de un instrumento como función del valor del mensurando (magnitud que se intenta medir). Esto debe ser realizado sobre todo el rango de respuesta del instrumento.
- (3) Ajustar la calibración del instrumento, si es posible, de forma que la precisión del instrumento se perfeccione.

Terminología de Calibración

Patrones de Calibración

Patrón de medida: sistema de medida, una medida materializada o un material de referencia para la realización de la definición de una magnitud dada, con un valor determinado y una incertidumbre asociada, tomada como referencia.

Se utiliza como referencia para establecer la trazabilidad metrológica, mediante calibración de otros patrones, instrumentos o sistemas de.

Patrón Primario: designado o reconocido como poseedor de las más altas cualidades metrológicas y cuyo valor se acepta si se refiere a otros patrones de la misma magnitud

✓ **Requisitos muy estrictos de fabricación y caracterización**

Patrón Secundario

Patrón Terciario

Patrón Nacional

Patrones de Calibración

Instrumento

Rayos X:

cámara de ionización placas plano paralelas y paredes de aire

Rayos X ($E > 300$ keV) y Radiación Gamma (^{137}Cs y ^{60}Co):

cámara de ionización de paredes de grafito

Radiación beta:

cámara de ionización de extrapolación con ventana de entrada y parte posterior de la cavidad construida de material tejido equivalente

Campos de neutrones:

Procedimientos de medida primarios

“Baño de manganeso”: activación del ^{55}Mn por inmersión de la fuente en una esfera rellena de agua con MnSO_4

Magnitud

Kerma en aire

Dosis absorbida en tejido
 7 mg cm^{-2}

Tasa de fluencia de neutrones

Terminología de Calibración

Instrumento de Referencia: puede ser un patrón secundario calibrado con respecto a un patrón primario por un laboratorio nacional primario o un laboratorio de referencia reconocido que maneje patrones apropiados.

Fuente de Referencia: puede ser una fuente patrón secundaria calibrada con respecto a un patrón primario por un laboratorio nacional primario o un laboratorio de referencia reconocido que maneje patrones apropiados.

Trazabilidad: significa que las mediciones son trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI).

Capacidad de referir la calibración de un dosímetro a un patrón nacional o internacional (primario).

Terminología de Calibración

- **Valor verdadero convencional:** Es el mejor estimador de un valor, determinado por un patrón primario o secundario, o por un instrumento de referencia que está calibrado contra un patrón primario secundario.
- **Coefficiente de conversión:** se utilizan para relacionar los valores de las magnitudes operacionales con los de las magnitudes primarias tales como dosis absorbida en aire o el kerma en aire.
- Ejemplo: coeficiente de conversión de kerma a dosis equivalente h_k

$$h_k = H/K_a$$

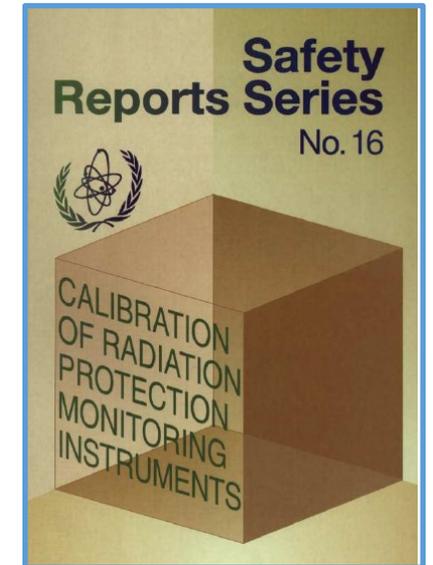
Calibración y Pruebas

- **Calibración:** es la *determinación cuantitativa*, bajo *condiciones de referencia* controladas, de la indicación de un *instrumento de medición* en función del valor de la magnitud que se pretende medir con el instrumento.
- **Pruebas:** son mediciones que se realizan para confirmar que un instrumento *funciona correctamente*, y/o para la *determinación cuantitativa de las variaciones* de la indicación del instrumento para un rango de radiaciones y condiciones eléctricas y medioambientales.
 - Prueba de aceptación:** son las pruebas contractuales que se llevan a cabo en todos los instrumentos de un tipo particular antes de que sean introducidos por primera vez en el servicio para demostrar que cumplen con las especificaciones.
 - Pruebas de funcionamiento:** son las pruebas regulares dirigidas a demostrar que se mantienen los parámetros tipo del funcionamiento dosimétrico global;

Condiciones de referencia y pruebas tipo

1. Radiological parameters

Influence quantities	Reference conditions	Standard test conditions (unless otherwise indicated)
Photon radiation	$^{137}\text{Cs}^a$	$^{137}\text{Cs}^a$
Neutron radiation	$^{241}\text{Am}/\text{Be}^a$	$^{241}\text{Am}/\text{Be}^a$
Beta radiation	$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}^a$	$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}^a$
Surface contamination		
Beta radiation	^{204}Tl	^{204}Tl
Alpha radiation	^{241}Am	^{241}Am
Phantom (only in the case of personal dosimeters)	30 cm × 30 cm × 15 cm slab of ICRU tissue (for whole body dosimeters)	ISO water slab phantom
	Right circular cylinder of ICRU tissue of 73 mm diameter and 300 mm length (for wrist or ankle dosimeters)	ISO water pillar phantom
	Right circular cylinder of ICRU tissue of 19 mm diameter and 300 mm length (for finger dosimeters)	ISO PMMA rod phantom
Angle of radiation incidence ^b	$\alpha = 0^\circ$	$A = 0^\circ \pm 5^\circ$
Contamination by radioactive elements	Negligible	Negligible
Radiation background	Ambient dose equivalent rate $H^*(10)$ 0.1 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ or less if practical	Ambient dose equivalent rate $H^*(10)$ less than 0.25 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$



Condiciones de referencia y pruebas tipo

Table 2 – Reference conditions and standard test conditions

Quantity to be measured; influence quantity	Reference conditions (unless otherwise indicated by the manufacturer)	Standard test conditions (unless otherwise indicated by the manufacturer)
Reference dose equivalent $C_{r,D}$ for $H_p(10)$ and $H^*(10)$ $H_p(0.07)$	3 mSv 10 mSv	1 mSv to 10 mSv 3 mSv to 30 mSv
Photon radiation energy for $H_p(10)$ and $H^*(10)$ $H_p(0.07)$	S-Cs (ISO 4037) ^a N-80 ^a	S-Cs (ISO 4037) ^a N-80 ^a
Beta radiation energy for $H_p(0.07)$	⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y (ISO 6980) ^a	⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y (ISO 6980) ^a
Angle of incidence of radiation	Reference direction given by the manufacturer	Direction given $\pm 2^\circ$
Ambient temperature	20 °C	15 °C to 25 °C ^b
Relative humidity	65 %	50 % to 75 % ^b
Atmospheric pressure	101,3 kPa	86,0 kPa to 106,6 kPa ^b
Power supply voltage	Nominal power supply voltage	Nominal power supply voltage ± 1 %
Frequency	Nominal frequency	Nominal frequency ± 1 %
AC power supply waveform	Sinusoidal	Sinusoidal with total harmonic distortion less than 5 %
Electromagnetic field of external origin	Negligible	Less than the lowest value that causes interference
Magnetic induction of external origin	Negligible	Less than twice the induction due to the earth's magnetic field
Dosimeter controls	Set-up for normal operation	Set-up for normal operation
Radiation background	Ambient dose equivalent rate of 0,1 μ Sv/h or less if practical	Less than ambient dose equivalent rate of 0,25 μ Sv/h
Contamination by radioactive elements	Negligible	Negligible

^a Other sources may be used if necessary and agreed with the purchaser, if appropriate correction factors are applied.

^b The actual values of these quantities at the time of test should be stated. The conventional true value of the dose equivalent should be corrected for the deviation from reference conditions. A lower limit of pressure of 70 kPa may be permitted at high altitudes.

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC
61066

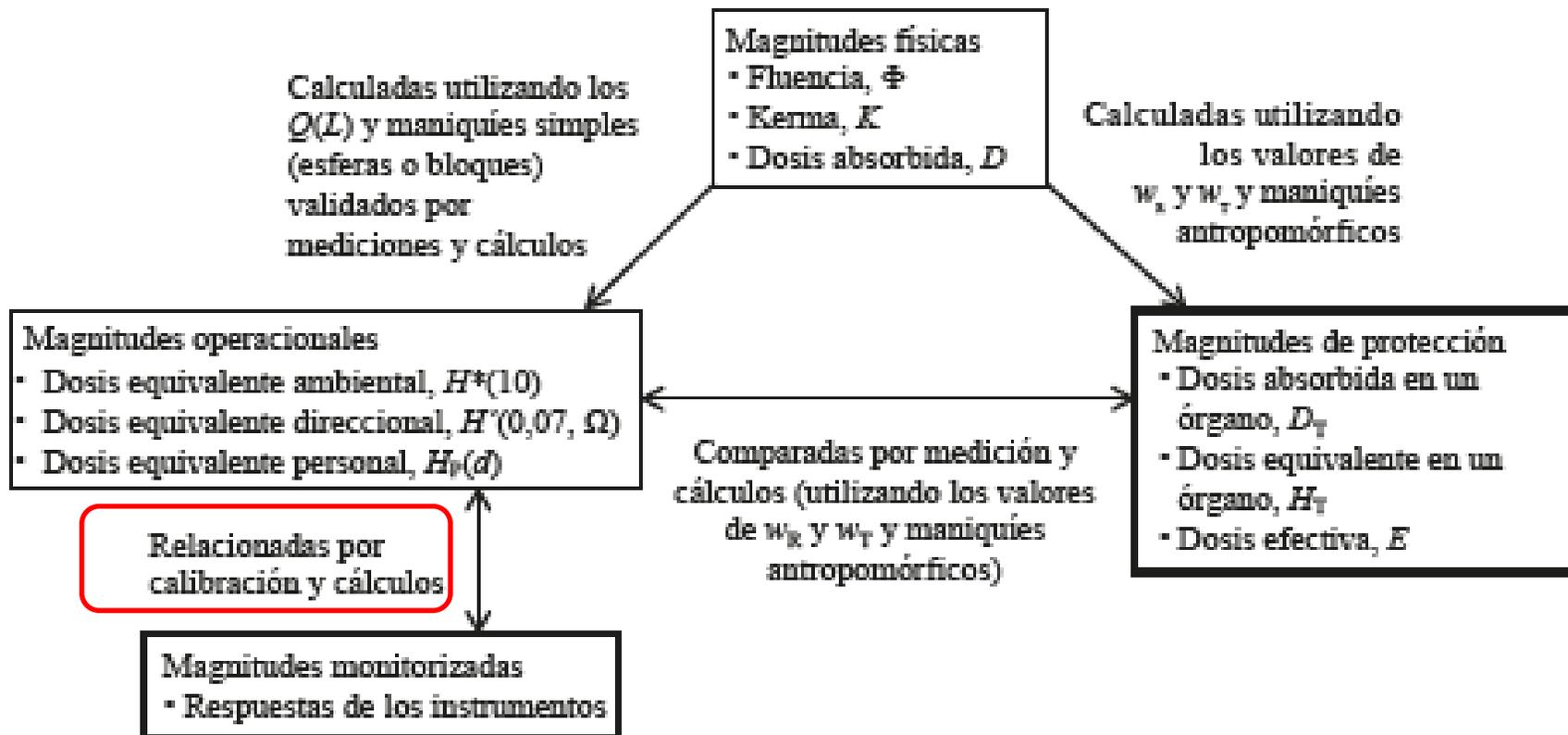
Deuxième édition
Second edition
2006-06

Systemes de dosimétrie par thermo-
luminescence pour la surveillance
individuelle et de l'environnement

Thermoluminescence dosimetry systems
for personal and environmental monitoring

Calibración del sistema de dosimetría personal

Relación entre las Magnitudes



Calibración: Definición

Operación en condiciones especificadas en las que:

- 1) se establece una relación entre los valores de la magnitud (con las incertidumbres de la medición) proporcionados por los patrones de medición y las correspondientes indicaciones del instrumento (con sus incertidumbres), y,
- 2) se utiliza esta información para establecer una relación que genere un resultado de medición a partir de la indicación.

La calibración no debería confundirse con el ajuste de un sistema de medición, ni con la 'autocalibración' o la verificación

Calibración: Requisitos

- ✓ Todos los instrumentos o dosímetros deben **calibrarse regularmente** (cualquier métodos de medición).
- ✓ Esta calibración debe tener una **trazabilidad** documentada hasta **patrones nacionales reconocidos**.

Para ello pueden utilizarse:

- Fuentes de referencia** previamente calibradas con respecto a los patrones primarios,
- Instrumentos de referencia** previamente calibrados con respecto a los patrones primarios por un laboratorio primario nacional o en un laboratorio de referencia reconocido que posea los patrones adecuados.

Calibración: Requisitos (campos de radiación)

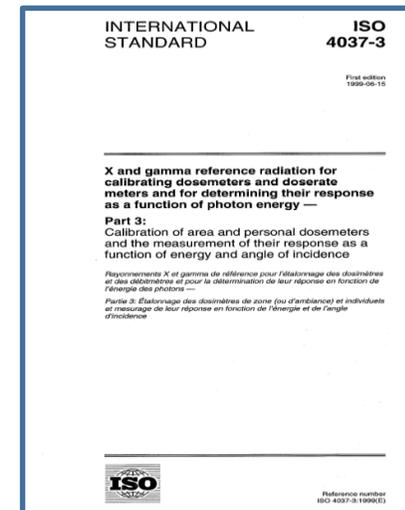
- ✓ Para determinar el factor de calibración de referencia, el campo de radiación debería estar bien caracterizado.
- ✓ Para la determinación periódica del factor de calibración de referencia de un sistema dosimétrico, **suele ser suficiente utilizar una fuente radiactiva:**

^{137}Cs o el ^{60}Co para la radiación fotonica,

$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ para la radiación β y

^{252}Cf para la radiación neutrónica.

- ✓ Trazabilidad documentada hasta un instituto de metrología nacional.
- ✓ Campos de referencia y los procedimientos de calibración: Serie ISO 4037].



Radiación neutrónica, puede ser útil realizar también una calibración en campos de lugares de trabajo simulados

Calibración: Requisitos

- ✓ La **calibración de referencia** de un sistema de dosimetría personal (pasivo o activo) debería repetirse a intervalos regulares, **por ejemplo cada uno o dos años**.
- ✓ El comportamiento del sistema debe verificarse con controles periódicos frecuentes (**pruebas de rutina**).
- ✓ En los **sistemas pasivos** deberían realizarse también algunos **controles sencillos del sistema de lectura**, por ejemplo utilizando **detectores irradiados**, cada vez que se efectúe la lectura.

Factores de Calibración

Factor de calibración de referencia:

- Se calibra para todos el sistema
- Se combina con varios factores de corrección para obtener el valor medido de la magnitud.

Factor de calibración del dosímetro (individual):

- Se calibra para cada dosímetro individual (factor individual o de normalización)
 - Puede estar o no incluido en el modelo matemático para obtener el valor medido.
- ✓ Cuando los dosímetros e pueden reutilizar, el factor de calibración o normalización individual debe controlarse periódicamente y ajustarse cuando sea necesario
- Estudio de respetabilidad previo (prueba tipo o funcionamiento).
 - Calibraciones internas repetidas periódicamente para ajustarlos según los cambios que se hayan producido por el uso repetido o confirmar que el funcionamiento no ha cambiado.
 - Una frecuencia posible es cada 10 usos, o cada dos años, si los 10 usos tardan más de dos años.

Determinación del Factor de Calibración de Referencia

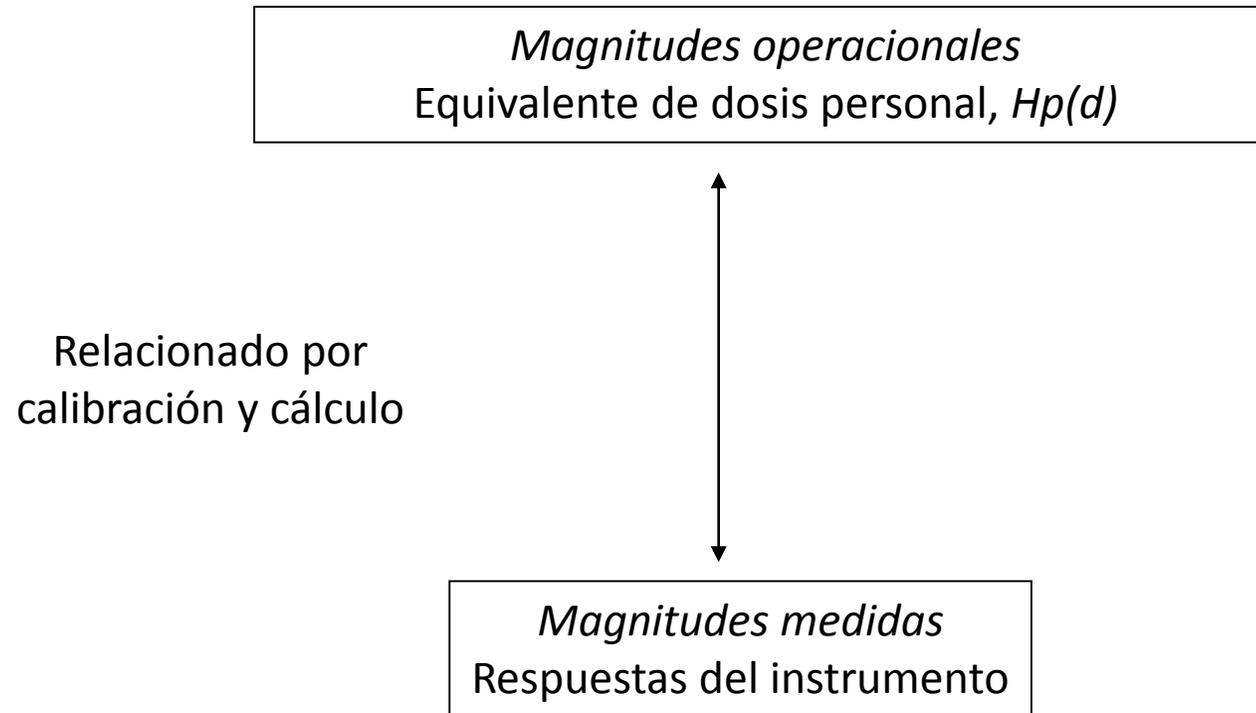
En dependencia del mecanismo de detección, la respuesta o lectura del dosímetro puede ser:

- tasa de conteo,
- conteos totales,
- unidades de luz, corriente, etc.

Factor de Calibración de Referencia del Sistema (FC)

Permite convertir la **respuesta del sistema** (como un todo), expresada en unidades en el proceso de lectura en **términos de la magnitud de interés**.

Determinación del Factor de Calibración de Referencia

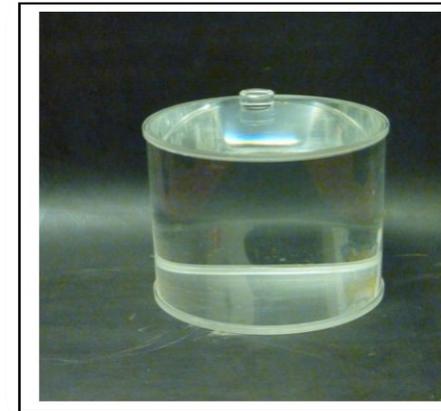
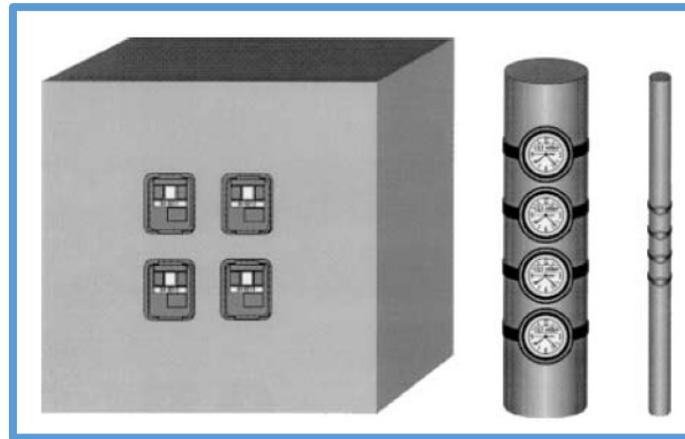


Determinación del Factor de Calibración de Referencia

Condiciones de irradiación

Magnitud operacional en dosimetría externa de la monitorización individual se relaciona con la medición de la dosis equivalente personal $H_p(d)$.

Calibración: efectuarse con un maniquí apropiado que simule la retrodispersión y atenuación producidas por el cuerpo.



Si el dosímetro funciona adecuadamente en el maniquí, podrá suponerse que lo hará también en el cuerpo de una persona

Determinación del Factor de Calibración de Referencia

- Se emplea un **grupo de dosímetros de calibración**, que son irradiados en **condiciones de referencia establecidas para la magnitud dosimétrica de interés**.
- Condiciones:
 - Fuentes calibradas que sean reconocidas por algún patrón nacional o internacional (usualmente LSCD).
 - Simulador apropiado.

Determinación del Factor de Calibración de Referencia

Procedimiento general de calibración

- Irradiar los dosímetros en condiciones controladas:
 - Tipo y energía de la radiación
 - Simulador
 - Distancia
 - Magnitud
- Leer los dosímetros
- Calcular el Factor de Calibración

Determinación del Factor de Calibración de Referencia

$$N = \frac{H}{M}$$

$$N_I^{user} = N_K^{ref} \frac{h M_R^{ref}}{M^{ref}}$$

TABLE IX. ISO X RAY REFERENCE RADIATION (NARROW SPECTRUM SERIES) CONVERSION COEFFICIENTS FOR RADIATION OF NORMAL INCIDENCE

Radiation quality ^a	Mean energy \bar{E} (keV)	Conversion coefficient, h					
		$H'(0.07)/K_a$ (Sv·Gy ⁻¹)	$H^*(10)/K_a$ (Sv·Gy ⁻¹)	Slab phantom		Pillar phantom	Rod phantom
				$H_p(0.07)/K_a$ (Sv·Gy ⁻¹)	$H_p(10)/K_a$ (Sv·Gy ⁻¹)	$H_p(0.07)/K_a$ (Sv·Gy ⁻¹)	$H_p(0.07)/K_a$ (Sv·Gy ⁻¹)
N-8	8	0.91		0.91		0.91	0.91
N-15	12	0.96		0.96	0.06!	0.96	0.95
N-20	16	1.00		0.98	0.27!	0.99	0.98
N-25	20	1.03	0.52!	1.03	0.55!	1.02	1.00
N-30	24	1.10	0.80!	1.10	0.79	1.08	1.03
N-40	33	1.25	1.18	1.27	1.17	1.20	1.07
N-60	48	1.48	1.59	1.55	1.65	1.33	1.11
N-80	65	1.60	1.73	1.72	1.88	1.39	1.15
N-100	83	1.60	1.71	1.72	1.88	1.38	1.17
N-120	100	1.55	1.64	1.67	1.81	1.35	1.17
N-150	118	1.50	1.58	1.61	1.73	1.32	1.17
N-200	164	1.39	1.46	1.49	1.57	1.27	1.16
N-250	208	1.34	1.39	1.42	1.48	1.24	1.15
N-300	250	1.31	1.35	1.38	1.42	1.22	1.14

^a With these radiation qualities, care needs to be taken as variations in energy distribution may have a substantial influence on the numerical values of conversion coefficients.

Determinación del Factor de Calibración de Referencia

$$FC = \frac{L}{C}$$

$$Cd = \frac{D_{LSCD} L_{IRR}}{L_{LSCD}}$$

FC – Factor de Calibración

L – Valor medio de las lecturas del grupo de calibración (**unidades genéricas**)

C – Valor verdadero Convencional (**unidades de magnitud dosimétrica**): mGy, mSv

Suposiciones: dependencia energía y con el rango de dosis

Calibración Factor Individual del dosímetro

Factor Individual del Dosímetro

Representa la respuesta relativa de cada detector con respecto al grupo de dosímetros de calibración.

Dos métodos: individual o utilizar un valor promedio para todo el lote de detectores del mismo material.

Procedimiento general de calibración:

1. Realizar el borrado de los dosímetros (o muestra representativa).
2. Irradiar los dosímetros a una dosis determinada (no requiere fuente de referencia).
3. Esperar tiempo para eliminar la influencia de los picos de baja temperatura.
4. Realizar la lectura de los dosímetros
5. Calcular (valor promedio de las lecturas, desviación estándar, factor individual y promedio).

Sustracción de la Dosis debida al fondo natural

Dosis debida al fondo natural

Contribución debida a la radiación de fondo natural debe ser excluida del valor de la **dosis ocupacional**.

$$De = Dm - Fn$$

Dm	Dosis medida en el dosímetro
-----------	------------------------------

Fn	Dosis de fondo natural
-----------	------------------------

Para la sustracción del fondo natural pueden utilizarse 2 métodos:

Dosis debida al fondo natural

Valor promedio se utiliza un mismo valor para todos los dosímetros.

Generalmente es un valor nacional.

Aplicable cuando:

- ✓ no existen diferencias significativas en la dosis de radiación natural en el país
- ✓ el periodo de monitoreo es corto (mensual).

Contribución a la incertidumbre total es importante, pero no afecta el cumplimiento de los requisitos establecidos para dosimetría personal.

Dosis debida al fondo natural

Valor específico: se utilizan valores específicos por usuarios o localidades.

- ✓ Localidades con valores de fondo natural son diferentes (menores o mayores) al promedio nacional, suelen llamarse “zonas o localidades anómalas”.
- ✓ Se recomienda también cuando el periodo de monitoreo es largo (3 o 4 meses).
- ✓ Se determina mediante dosímetros de control enviados por el servicio de dosimetría junto a los dosímetros de los usuarios y que deben ser almacenados en el lugar donde se colocan los dosímetros de los TOE cuando no se están utilizando

Calibración del Factor de Dosis debida al fondo natural

Ajuste a una función lineal

$$Fn = f_B T + C$$

T tiempo total de exposición del dosímetro

C lectura (dosis) “cero” del dosímetro (dosímetros no irradiados)

Calibración del Factor de Dosis debida al fondo natural

Procedimiento general de calibración:

1. Realizar el borrado de los dosímetros (o muestra representativa).
2. Almacenar los dosímetros en condiciones “normales”.
3. Esperar tiempo para “simular” periodos de monitoreo.
4. Realizar la lectura de los dosímetros
5. Calcular (valor promedio de las lecturas, desviación estándar)

BIBLIOGRAFÍA

- OIEA. GSR Parte 3. (2016).
- OIEA. GSG-7. (2018).
- ICRP Publication 60. (1991).
- EURADOS Report 2021-01. (2021).
- ICRU Report 47 (1992).

