



Autoridad Regulatoria Nuclear
PRESIDENCIA DE LA NACIÓN

www.arn.gob.ar

Dosimetría Personal

Aspectos prácticos

Fabio O. López

Introducción

Es importante tener en cuenta que el sistema dosimétrico debe proporcionar una medición fiable de las magnitudes operacionales, esta medición debe ser independiente del tipo, la energía y la dirección de incidencia de la radiación.

Ningún sistema de dosimetría puede cumplir con estos requisitos sin información previa adicional del lugar de trabajo que se desea monitorear.



Magnitud de interés

La magnitud operacional recomendada para la estimación de dosis por exposición externa es:

“El equivalente de dosis Personal $H_p(d)$ ”

La dosis equivalente en tejido blando a una profundidad d en mm por debajo de un punto determinado del cuerpo.

El equivalente de dosis personal $H_p(10)$ es un estimación razonablemente conservadora de la Dosis Efectiva (E).



Tipos de dosimetría personal utilizada en los servicios de la República Argentina



Empresas y Laboratorios

En la República Argentina existen 12 empresas privadas reconocidas por la ARN y 5 laboratorios de organismos nacionales que prestan servicio de dosimetría personal.

Los laboratorios pertenecientes a los organismos nacionales, en líneas generales, prestan servicios solamente a sus propios trabajadores.



Empresas y Laboratorios

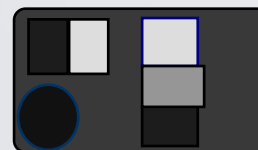
Los métodos utilizados por las empresas privadas son:

Número de empresas	Método utilizado
6	Película fotográfica
2	Película fotográfica y TLD
2	TLD
1	OSL
1	Instadose

Los laboratorios de los organismos nacionales utilizan TLD y dosímetros electrónicos.



Dosímetros de película fotográfica



Dosímetros de película fotográfica

Básicamente están constituidos por una película fotográfica sensible a la radiación. Esta emulsión fotográfica está formada por granos de AgBr .

fotones interactúan con el Ag^+ $\longrightarrow$ átomos de Ag

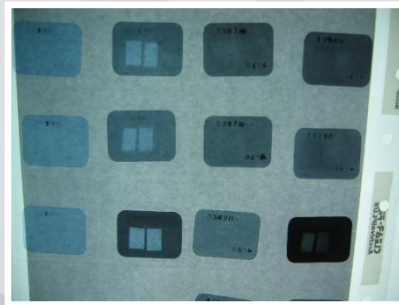


Imagen Latente



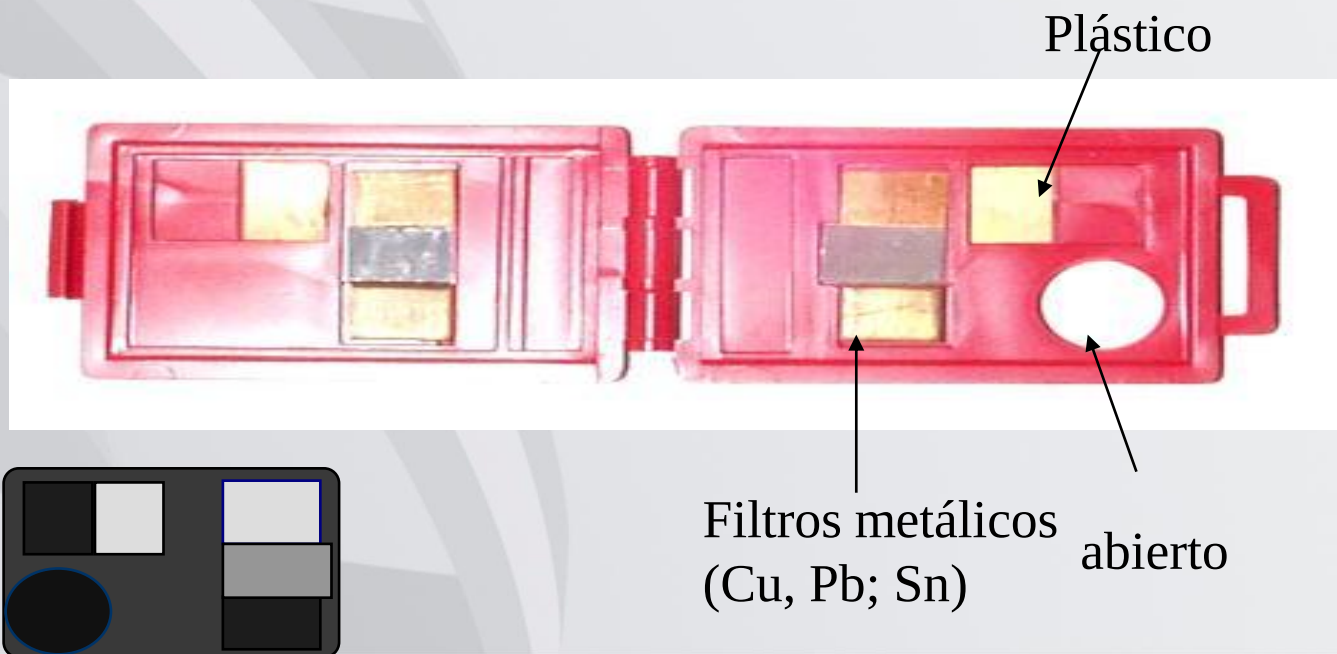
Dosímetros de película fotográfica

- Después del proceso de revelado, el oscurecimiento es cuantificado mediante un densitómetro óptico.
- El grado de oscurecimiento es función del tipo de película, del proceso, de la temperatura, del tipo de radiación y de su energía.



Dosímetros de película fotográfica

- Estos detectores pueden ser utilizados para determinar la dosis debido a fotones, betas y neutrones térmicos.
- Para dosimetría personal los detectores son colocados dentro de portapelículas (Holder).



Detectores Termoluminiscentes



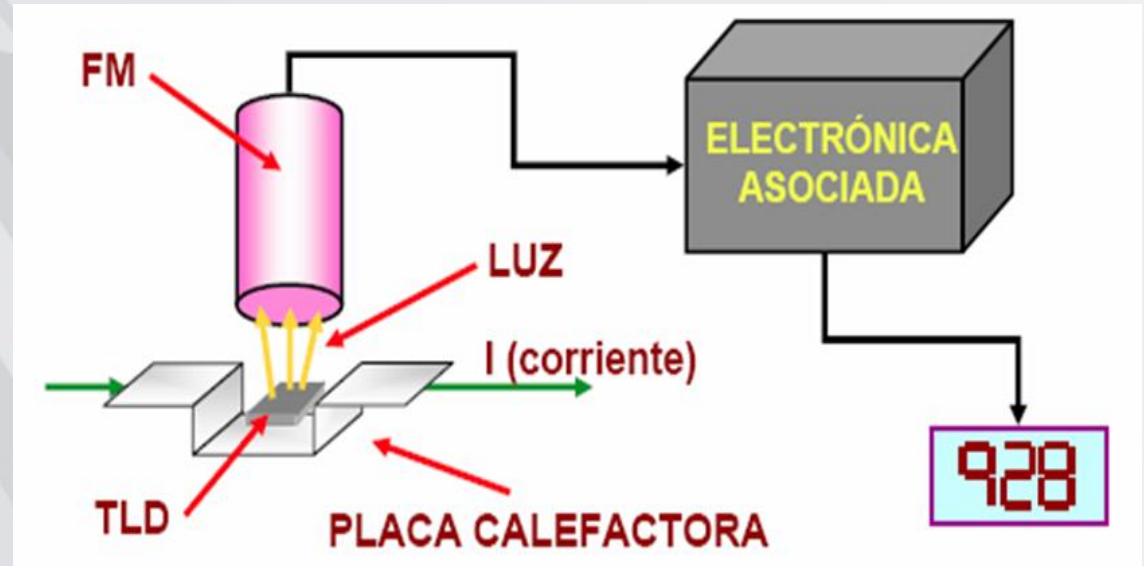
Detectores termoluminiscentes

Los TLD hacen uso de la propiedad de distintos cristales sólidos dopados con pequeñas cantidades de impurezas. Al incidir radiación ionizante, los electrones de la estructura cristalina se excitan a niveles metaestables.



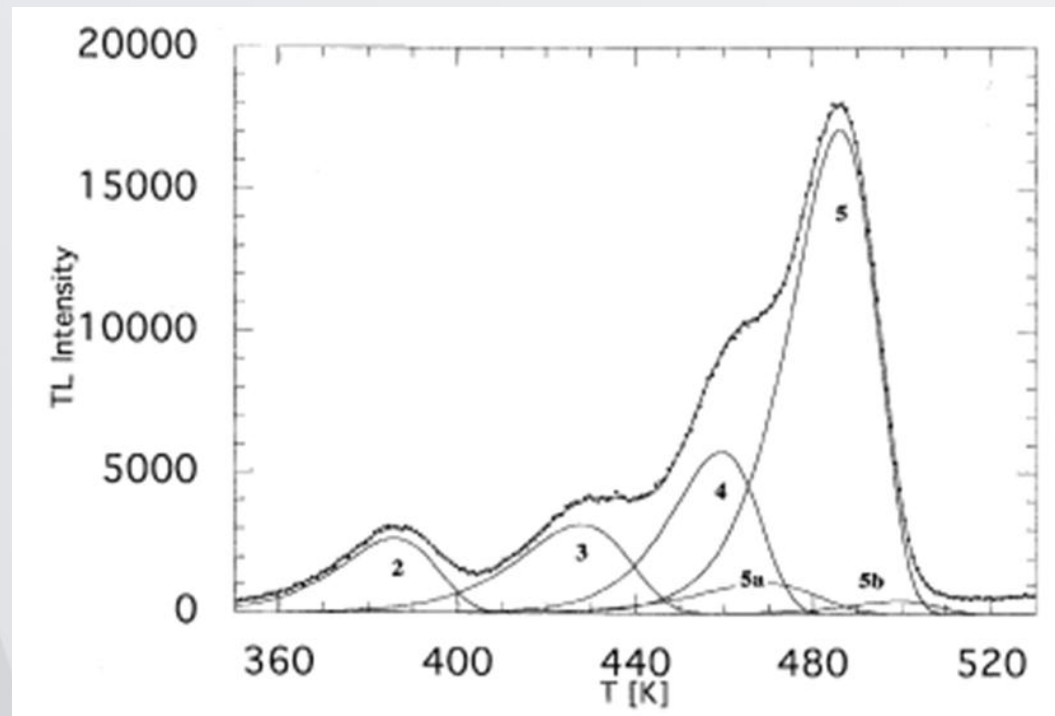
Cuando a estos cristales sólidos se les entrega energía en la forma de calor, los electrones retornan a sus estados fundamentales emitiendo luz en el rango visible.

Esta emisión de luz es proporcional a la cantidad de radiación recibida, y puede ser medida mediante lectores apropiados.

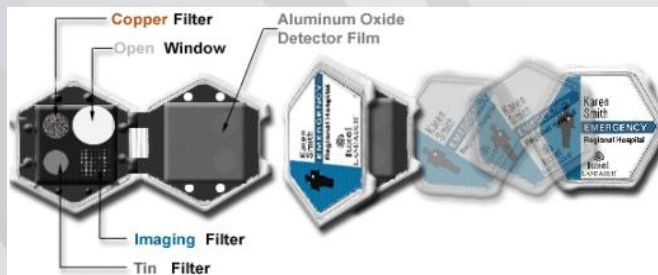


Detectores termoluminiscentes

- El área bajo la curva glow es empleada para la estimación de la dosis.
- La relación entre la luz detectada durante el proceso de lectura del dosímetro y el equivalente de dosis personal $H_p(d)$ se establece mediante el proceso de calibración.



Detectores de luminiscencia estimulada ópticamente (OSL)



Detectores OSL

Es un sistema más moderno y preciso para llevar a cabo la dosimetría personal y su funcionamiento es parecido al de TLD.

Al incidir radiación ionizante sobre el material sensible, los electrones de la estructura cristalina se excitan a niveles metaestables, y quedan atrapados en trampas.



Para la evaluación de dosis, se colocan en el lector en donde son iluminados con luz en la región del verde; esta luz hace que los algunos de los electrones atrapados regresen a su estado base, emitiendo luz en la región del azul, la cual es registrada por un tubo fotomultiplicador. Esta luz es una medida de la cantidad de radiación que recibió el dosímetro.



Respuesta relativa para distintas energía de fotones.

ISO ^b X Ray Quality	Average Energy (keV)	Response Relative to ¹³⁷ Cs
M30	20	1.95
M50	29	2.30
M60	34	2.22
M100	50	1.96
M150	71	1.48
H150	117	0.96
¹³⁷ Cs	662	1.00

a From data of Landauer, Inc.

b INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, X and Gamma Reference Radiations for Calibrating Dosimeters and Doserate Meters and for Determining Their Response as a Function of Photon Energy, ISO 4037/Part 1: Radiation Characteristics and Production Methods, ISO, Geneva (1996).



Dosímetros Electrónicos.



Dosímetros personales electrónicos

- Lectura instantánea o directa que existe la posibilidad de alta exposición.
- Alarma a determinados niveles de dosis y tasa de dosis.
- Indicación de $H_p(10)$ y $H_p(0,07)$.
- Mejores características para la dosimetría de neutrones.
- La transferencia de datos hacia y desde la PC.



Dosímetros electrónicos – Mecanismos de detección.

- **Cámaras de ionización.**
- **Diodos de silicio.**
- **Contadores Geiger-Müller.**
- **Almacenamiento de iones directa.**
- **Radiadores de partículas cargadas de neutrones**



Instadose - MIRIOM

Detector sólido, USB compatible

Lecturas de dosis realizadas en línea por el usuario final.

Mínimo de dosis reportable: 0.03 mSv

Límite inferior de detección: 0.01 mSv

Rango de dosis útil: de 0.03 mSv a 5 Sv.

Respuesta energética: Fotones de 5 keV y 6 MeV



Instadose - MIRIOM



Dosimetría Personal

Marco Normativo



Dosimetría Personal

Según lo expuesto en la Ley 17557/67, toda persona afectada al manejo y utilización de equipos destinados a la generación de Rayos X deberá contar con un sistema de dosimetría personal aprobado por la Autoridad de Salud, a fin de determinar y evaluar las dosis de radiación a que se halle expuesta.



Dosimetría Personal

En la Norma Regulatoria AR. 10.1.1, *Norma Básica de Seguridad Radiológica*, de la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN) se establecen los límites y restricciones de dosis para la exposición ocupacional de los trabajadores que operen equipos con fuentes radiactivas.



Dosimetría Personal

En la Norma Regulatoria AR. 8.2.4, Uso de fuentes radiactivas no selladas en instalaciones de medicina nuclear. D.4.2. Vigilancia Radiológica Individual

47. Debe llevarse a cabo el control dosimétrico individual de los trabajadores en los casos que corresponda.



Dosimetría Personal

48. El Responsable debe determinar la nómina de los trabajadores afectados al control dosimétrico individual. El personal que realiza tareas de elución, fraccionamiento, administración o cualquier otra tarea relacionada con la manipulación de radionucleidos, debe contar, además, con dosímetro de mano.



Dosimetría Personal

Según lo expuesto en la Resolución 295/2003 de la SRT, en el Anexo II : *ESPECIFICACIONES TECNICAS SOBRE RADIACIONES IONIZANTES*, se establecen las pautas dosimétricas para las exposiciones profesionales que deben cumplirse, estos niveles son coincidentes con los propuestos por la ICRP y la Ley 17557/67.

Ubicación del dosímetro

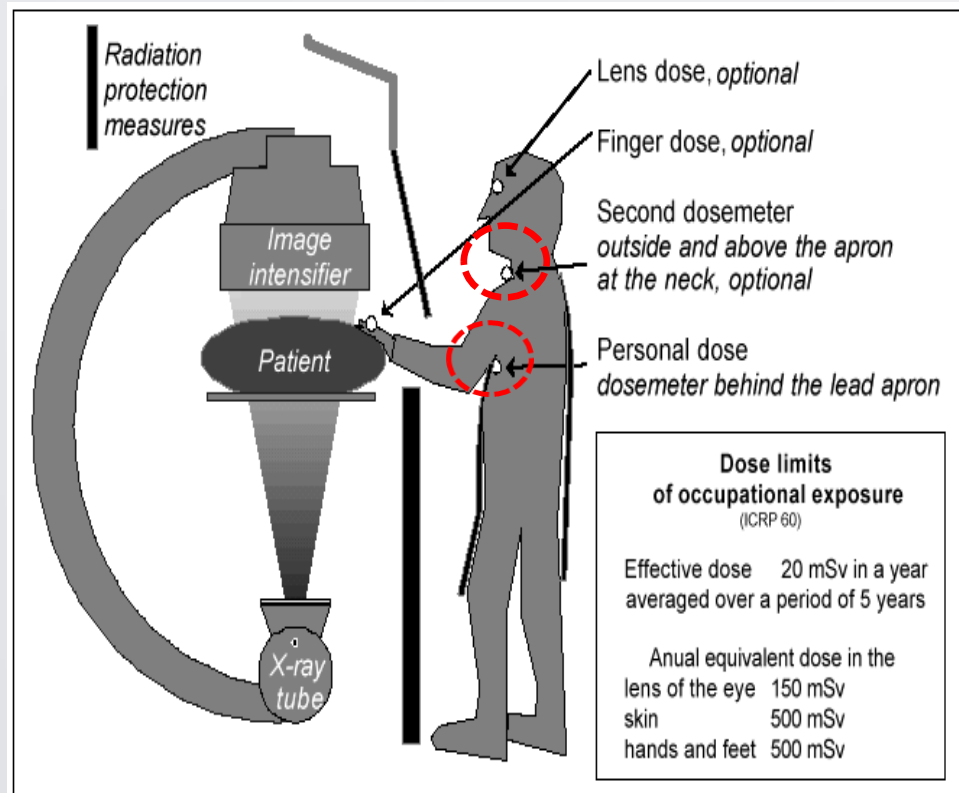


El dosímetro personal debe ser llevado, debajo del chaleco plomado, a nivel del pecho, entre los hombros y la cintura.

En la mayoría de los casos, la información brindada por un dosímetro ubicado debajo del chaleco plomado permitirá una estimación razonable de la dosis efectiva.

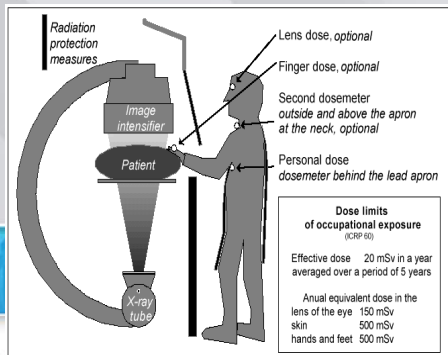


En caso de alta carga de trabajo (fluoroscopia, radiología intervencionista) se debe utilizar un dosímetro adicional por encima del chaleco plomado.



¿Cómo se estima la dosis efectiva a partir de los valores registrados en los dos dosímetros?

Reporte N°122 del NCRP (National Council on Radiation Protection and Measurements)



La dosis efectiva E se estima a partir de la siguiente expresión:

$$E = 0,5 H_1 + 0.025 H_2$$

donde:

H_1 : dosis debajo del chaleco

H_2 : dosis del dosímetro ubicado a nivel de cuello sobre el chaleco plomado.

IAEA - ICRP



**¿Cómo se estima la dosis efectiva
en la que incurre un trabajador que
se desempeña en radiología
intervencionista si posee un solo
dosímetro?**



En este caso se recomienda utilizar el dosímetro por encima del chaleco plomado, a la altura del cuello, y la dosis efectiva se estima a partir de la siguiente expresión:

$$E = H_p(10) / 21$$

ICRP-NCRP



En todos los casos...

Es importante que los trabajadores devuelvan los dosímetros después de cumplido el período de uso para un correcto procesamiento.

Los retrasos en la evaluación de un dosímetro puede resultar en la pérdida de la información almacenada.

La evaluación de la dosis es un aspecto fundamental de la protección radiológica.



Calibraciones y más.....

Los dosímetros deben estar calibrados.

Las empresas que presten servicio de dosimetría personal, deben contar con certificados de calibración expedidos por laboratorios acreditados. Estos laboratorios deben ser reconocidos por la Autoridad de Salud correspondiente.



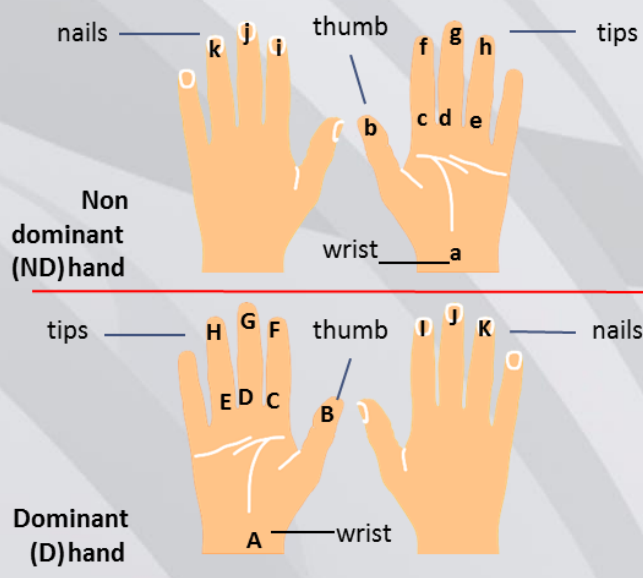
Consideraciones especiales para la dosimetría de extremidades en medicina nuclear.

Análisis de las recomendaciones de
ORAMED. (*Optimization of Radiation
Protection of Medical Staff*)



Collected and analyzed data

- Preparation and administration separately
- 22 positions of measurement
- Workers with at least 4 measurement series
- Mean measurement per worker

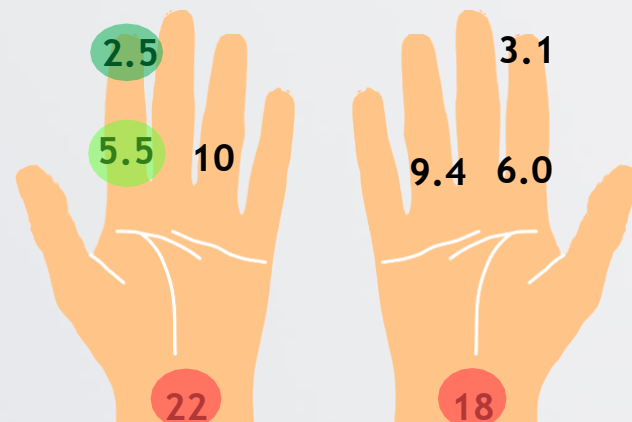


	Measurements included in the analysis		
	Number of NM departments	Number of workers	Number of measurements
Tc-99m preparation	21	36	178
Tc-99m administration	20	32	157
F-18 preparation	17	30	160
F-18 administration	17	30	146

Large number of monitored workers following a common measurement protocol.

Ratios between the maximum dose and the dose at the monitoring positions

- The lowest ratio is for the **index tip of the ND hand**, but is not practical.
- The recommended monitoring position is the **base of the index finger of the ND hand** (low ratio, high correlation with the maximum) which underestimates the maximum dose by a **factor of 6**.
- We strongly advise against the use of **wrist dosimeters** because of the large underestimation and lowest correlation.



Summary of results and conclusions

- ✓ Large range of finger doses among workers performing the same procedure.
- ✓ Shielding was identified to be the most important parameter for dose reduction.
- ✓ The use of wrist dosimeter is not recommended due to the underestimation of the maximum dose by a factor of around 20. It is recommended the use of **ring dosimeters** placed on the **base of the index finger of the non dominant** hand, and take into account that it will underestimate the maximum dose by a factor of 6.



Ejemplo

Usuario	Número Documento	Periodo	Dosis Leida (mSV)			Dosímetro	Dosis Acum.Anual		
			HS	HE	HD		HS	HE	HD
ARENAS Germán Mario	20 007 000	Enero /16	0,10			479486	0,10		
BAIGORRIA Sergio Ariel	12 200 701	Enero /16	4,28			479807	4,28		
CALDERÓN Guillermo José	20 200 492	Enero /16	N.I.			479859	0,00		
FORNES Rafael Fernando	20 040 085	Enero /16	1,70			479583	1,70		
LEDESMA Jorge Raúl	21 040 019	Enero /16	3,00			479429	3,00		
NOYA Enrique	00 007 075	Enero /16	N.I.			479824	0,00		

Usuario	Número Documento	Periodo	Dosis Leida (mSV)			Dosímetro	Dosis Acum.Anual		
			HS	HE	HD		HS	HE	HD
FORNES Rafael Fernando	20 040 085	Enero /16	8,33			A1814	8,33		
LEDESMA Jorge Raúl	21 040 019	Enero /16	12,30			A1843	12,30		



¿Qué solicita la ARN en
relación a los servicios de
dosimetría personal?



Resolución 180/13

En la Resolución N°180/13 el Directorio de la ARN resuelve:

Art 1 Establecer que el Titular de Licencia de Operación o de Autorización de Práctica No Rutinaria que posee personal afectado al control dosimétrico individual, debe acreditar a satisfacción de la ARN que las dosis debidas a la exposición externa de dicho personal son medidas por un servicio o laboratorio de dosimetría personal - propio de la instalación o externo a la misma – que cumpla los siguientes requisitos:



Resolución 180/13

- a) Participar en ejercicios de intercomparación al menos bienales, organizados por la ARN o en ejercicios que sean organizados por una institución reconocida internacionalmente la que deberá ser aceptada por la ARN analizando caso por caso.
- b) Cumplir con los requisitos del Punto 7 "Límites de Desempeño" de la Norma IRAM/ISO 14146 "Protección Radiológica".



Resolución 180/13

- c) Tener la capacidad de informar las dosis en el intervalo comprendido entre 0,2 mSv y 1 Sv.
- d) Poseer un sistema de gestión de calidad en el que se incluyan los aspectos técnicos y administrativos de la dosimetría personal, teniendo en cuenta las recomendaciones nacionales e internacionales en la materia.



NORMA IRAM-ISO 14146

**Criterios y límites de desempeño para la evaluación
periódica de laboratorios de servicio de dosimetría
personal para radiación X y gamma.**

Esta Norma especifica los criterios y los procedimientos
de ensayo para la verificación periódica del desempeño
de los laboratorios de servicios de dosimetría personal.



LÍMITES DE DESEMPEÑO

Para cada dosímetro irradiado debe satisfacerse la siguiente relación:

$$\frac{1}{1.5} \left(1 - \frac{2 H_0}{H_0 + H_r} \right) \leq \frac{H_m}{H_r} \leq 1.5 \left(1 + \frac{H_0}{2 H_0 + H_r} \right)$$

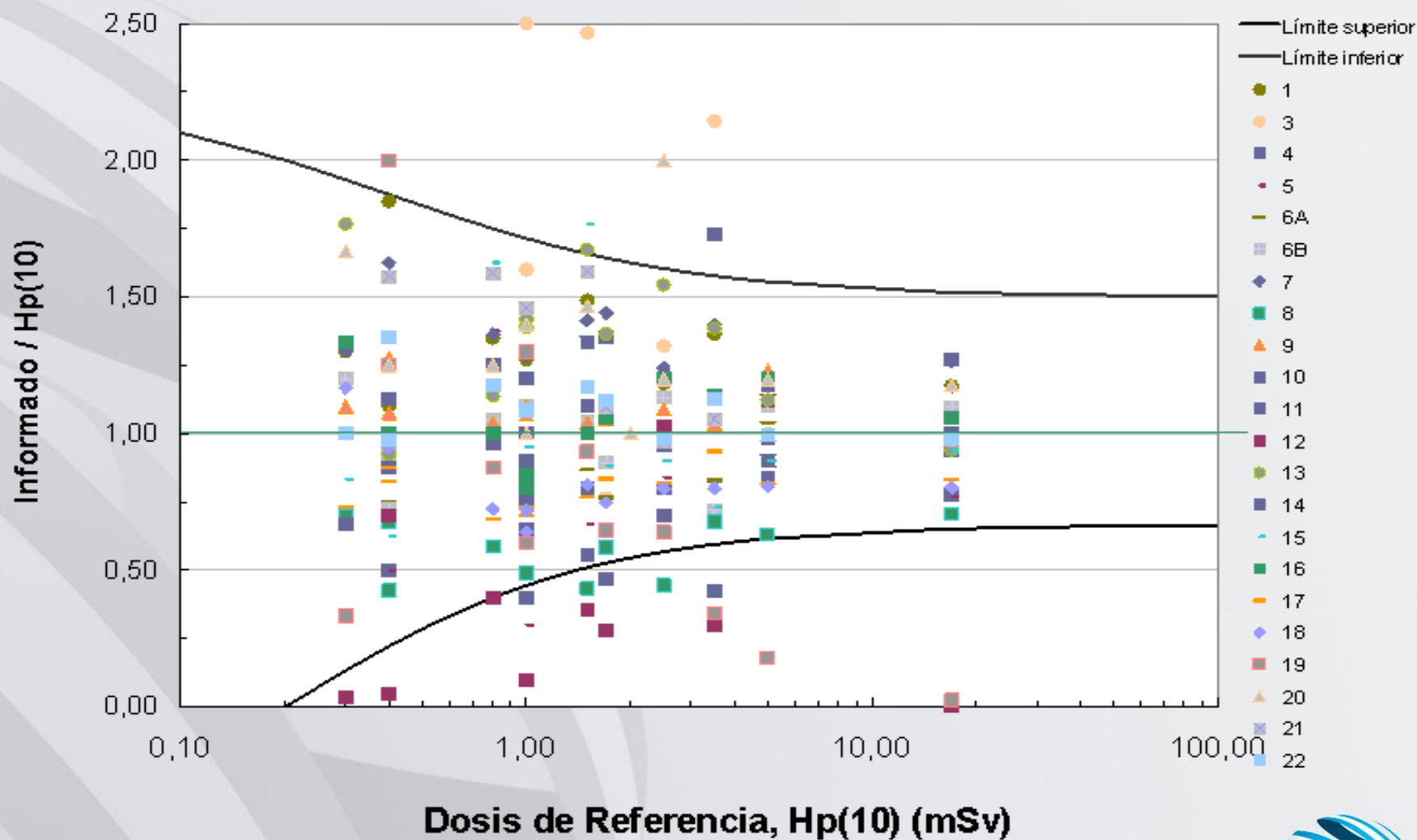
H_r es el valor de dosis verdadero dado por el CRRD

H_m es el resultado informado por cada laboratorio participante.

H_0 es el límite inferior de respuesta a dosis del sistema participante. Se asume 0,2 mSv.



Resultados de ejercicio de Intercomparación.



LÍMITES DE DESEMPEÑO

Se admite que como máximo, la décima parte de los dosímetros irradiados puedan exceder los límites indicados





Muchas gracias

flopez@arn.gob.ar

