

REGLAMENTO TÉCNICO PARA EVALUACIÓN DE RADIACIONES IONIZANTES



Reglamento Técnico para
Evaluación de Radiaciones Ionizantes

DIRECCIÓN

Pedro Nel Ramírez Ramírez

REDACCIÓN DEL TEXTO

Edna Iveth Leguizamón Amaya
Omar Enrique Restrepo Padilla

INTERVENTORIA

Unidad de Interventorías
Facultad de Salud Pública
Universidad de Antioquia

2002

***REGLAMENTO TÉCNICO
PARA EVALUACIÓN DE
RADIACIONES IONIZANTES***



JUAN LUIS LONDOÑO DE LA CUESTA
MINISTRO DE SALUD
ENCARGADO DE LAS FUNCIONES
DEL DESPACHO DEL
MINISTRO DE TRABAJO Y SEGURIDAD SOCIAL

LUZ STELLA ARANGO DE BUITRAGO
VICEMINISTRA
MINISTERIO DE TRABAJO Y SEGURIDAD SOCIAL

JOSE VICENTE CASAS DÍAZ
SECRETARIO GENERAL

NESTOR ARTURO HERRERA ARENALES
DIRECTOR GENERAL DE SALUD
OCUPACIONAL Y RIESGOS
PROFESIONALES



PROFESIONALES EN SALUD
OCUPACIONAL LTDA.

PEDRO NEL RAMÍREZ RAMÍREZ
DIRECTOR GENERAL

EDNA IVETH LEGUIZAMON AMAYA
INGENIERA ESPECIALISTA EN
GERENCIA AMBIENTAL

OMAR ENRIQUE RESTREPO PADILLA
INGENIERO ESPECIALISTA EN
HIGIENE INDUSTRIAL

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	13
2. OBJETO	15
3. CAMPO DE APLICACIÓN	17
4. FUNDAMENTO DEL MÉTODO	19
5. CONTENIDO ESPECÍFICO DEL REGLAMENTO TÉCNICO	20
DEFINICIONES	20
RECONOCIMIENTO	25
<i>Aplicaciones médicas</i>	26
<i>Aplicaciones industriales</i>	34
EQUIPOS PARA LA MEDICIÓN DE RADIACIONES IONIZANTES	38
<i>Detectores de ionización de gas</i>	38
<i>Cámaras de Ionización</i>	38
<i>Contadores proporcionales</i>	39
<i>Contadores Geiger-Muller</i>	39
<i>Cámara de ionización de Bolsillo – de lapicera</i>	39
<i>Dosímetros de lectura retardada</i>	40
TÉCNICAS DE MEDICIÓN	41
<i>Evaluación de la irradiación externa individual</i>	42
<i>Evaluación radiológica de áreas de trabajo</i>	42
<i>Cálculo de la tasa de irradiación en un punto</i>	44
<i>Cálculo de la radiación total y del grado de riesgo</i>	44
<i>Evaluación de contaminación en superficies y equipos</i>	44
CALIBRACIÓN	45
CONSIDERACIONES GENERALES	46
CONTROLES	48
6. IDONEIDAD DEL HIGIENISTA	49
7. VIGILANCIA Y CONTROL.....	51
8. REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN	53
9. DEROGATORIA.....	55
10. VIGENCIA.....	57
11. RÉGIMEN SANCIONATORIO.....	59
12. BIBLIOGRAFÍA.....	61
13. ANEXOS	63

TABLA DE ILUSTRACIONES

<i>Figura 1. Esquema Cámara de Ionización</i>	39
<i>Figura 2. Cámara De Ionización De Bolsillo</i>	40
<i>Figura 3. Dosímetro De Película</i>	41
<i>Figura 4. Dosímetro Termoluminiscente</i>	41

LISTA DE TABLAS

TABLA I.	Valores Limite De Exposición De Los Trabajadores	19
TABLA II.	Valores Limite De Exposición De Aprendices Y Estudiantes	19
TABLA III.	Valores Límite De Exposición Del Publico	19
TABLA IV.	Valores De Referencia En La Evaluación De Una Instalación	20
TABLA V.	Valores De Referencia En El Control Dosimetrico Individual	20
TABLA VI.	Valores Orientativos Como Indicativo De Contaminación Superficial	45

1. INTRODUCCIÓN

La utilización de fuentes radiactivas (radioisótopos) o de generadores de radiaciones ionizantes (rayos X, rayos gamma, aceleradores de partículas, etc.) es actualmente herramienta indispensable en el diagnóstico médico, en el tratamiento de ciertas enfermedades y es cada vez más común su aplicación en todo tipo de actividades, como la industria, agricultura, investigación y enseñanza, con el consecuente incremento de los riesgos para la salud de los trabajadores y del público en general.

Basados en los más recientes y completos estudios epidemiológicos sobre los efectos Biológicos nocivos que pueden producir las radiaciones ionizantes, analizados exhaustivamente en los informes del “Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas” (UNSEAR), la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIRP), recomienda desde 1990 reducir la dosis en un 60%, sin embargo, para el público en general, la reducción de dosis se estableció en un 80%, antes era de 5 mSv/año y posteriormente se fijó en 1 mSv/año. Los límites máximos de dosis de radiación para el personal ocupacionalmente expuesto. Recomendaciones que actualmente se encuentran armónicamente publicadas en las Normas Básicas Internacionales de Seguridad para la Protección Contra la Radiación Ionizante y para la Seguridad de las Fuentes de Radiación, C.S. No. 115, OIEA, 1997.

En el mismo sentido, el ordenamiento jurídico colombiano, gradualmente a incorporado leyes, decretos y resoluciones que plasman los diferentes aspectos de la filosofía de la protección radiológica (Justificación, Optimización y Limitación de Dosis), expresados en la Ley 9 de 1979 Código Sanitario (arts. 149 al 154); Decreto 0295 de 1958, control a importación, uso y aplicación de radioisótopos; Acuerdo No. 241 de 1967 del Consejo Directivo ICSS, por el cual se expide el Reglamento de Prevención de Riesgos Profesionales (art. 26), modificado por Acuerdo 496 8/02/1990 de la Junta Administradora del ISS; Resolución 2400 de 1979 Ministerio de Trabajo y Seguridad Social (Capítulo V, Arts. 97 al 108); Resolución 13382 de 1984 Ministerio de Salud (art. 13); Resolución No. 9031 de 1990 Ministerio de Salud (normas y procedimientos relacionados con el funcionamiento, operación de equipos de rayos X y otros emisores de radiaciones ionizantes); Código Sustantivo del trabajo, Art. 201 (Decreto 778 de 1987 Art. 1); Ley 100 de 1993 Art. 88 y decretos 1281, 1832 de 1994 (Tabla de enfermedades Profesionales), Decreto 2174 de 1996 y la Resolución 4445 de 1996.

Este Reglamento Técnico para la Evaluación de Radiaciones Ionizantes, es acorde con el objeto del Fondo de Riesgos Profesionales, artículo 88 de la Ley 100 de 1993, puesto que ha de contribuir en la mitigación del riesgo radiológico en la población expuesta, esencialmente cáncer, como efecto diferido en el tiempo.

En consecuencia, el Presente Reglamento Técnico describe equipos y procedimientos para la detección de contaminación radiactiva, la medición de campos de radiación ionizante en los puestos de trabajo y el control de dosis del trabajador ocupacionalmente expuesto y el público en general. Respecto al diseño de la instalación, se hace referencia únicamente a lo indispensable en la instalación desde el punto de vista de Protección Radiológica.

Para su elaboración se considera el factor riesgo para los ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes en prácticas de radiodiagnóstico, radioterapia, medicina nuclear, laboratorios de radioinmunoanálisis (RIA) e investigación y diferentes aplicaciones industriales.

El reglamento Técnico hace énfasis en aspectos determinantes en la evaluación cualitativa de una instalación radiactiva y en los que son objeto de medición directa de magnitudes operacionales por

parte del higienista y que contribuyen a emitir un concepto favorable sobre el control del riesgo por parte de la entidad responsable de la instalación.

2. OBJETO

Especificar equipos y procedimientos normalmente empleados en la determinación de niveles de radiación en instalaciones de Radiodiagnóstico, Radioterapia, Medicina nuclear, Radioinmunoanálisis e investigación y aplicaciones industriales.

Indicar procedimientos a seguir en la detección de contaminación de una instalación que involucre el riesgo de incorporación de sustancias radiactivas en el organismo.

Reunir elementos de juicio que permitan la emisión de concepto técnico, en cuanto al cumplimiento de normas básicas de protección radiológica, con fines de licenciamiento y existencia legal del ente natural o jurídico, que maneje, use, almacene, transporte o de cualquier manera tenga en su poder material radiactivo o disponga para su operación equipos emisores de radiaciones ionizantes.

3. CAMPO DE APLICACIÓN

El presente Reglamento Técnico será de aplicación en la evaluación técnica de procedimientos y condiciones de seguridad radiológica de instalaciones radiactivas, con fines de concesión, renovación o revocación de licencias o autorizaciones para: la operación de equipos emisores de radiación, uso, transporte, comercialización y/o importación de materiales radiactivos.

Se entiende por instalación radiactiva, al lugar que alberga equipos destinados a la utilización, producción, ensamble, fabricación, tratamiento, manipulación o almacenamiento de fuentes radiactivas o equipos generadores de radiaciones ionizantes.

4. FUNDAMENTO DEL MÉTODO

La evaluación de las condiciones de seguridad de una instalación radiactiva o radiológica, se fundamenta en la detección y medición directa de campos de radiación, mediante instrumentación específica, cuya elección debe tener en cuenta propiedades de la radiación ionizante que se desean medir, tales como: el tipo de emisión, la energía de la radiación y su intensidad. También se fundamenta en la correcta observación y uso de procedimientos y elementos de protección personal aplicables a las prácticas radiológicas.

El instrumento utilizado se ubica en los puntos considerados como críticos, elegidos para la medición de magnitudes operacionales, de acuerdo con las características de la fuente o emisor de radiación, blindajes o barreras primarias y secundarias existentes entre el campo de radiación y la ubicación del personal ocupacionalmente expuesto, pacientes y el público en general. En el caso de evaluación de contaminación superficial el instrumento a utilizar debe ser específico para detectar contaminación. Los resultados de la medición se comparan con los siguientes valores preestablecidos, derivados de los límites primarios recomendados, para evaluar el grado de cumplimiento de la instalación con las normas de Protección radiológica:

TABLA I. Valores Limite De Exposición De Los Trabajadores

Una dosis efectiva de 20 mSv por año como promedio en cinco años consecutivos.
Una dosis efectiva de 50 mSv en cualquier año.
Una dosis equivalente al cristalino de 150 mSv en un año.
Una dosis equivalente en extremidades (manos y pies) o a la piel de 500 mSv en una año.

La exposición de aprendices y estudiantes de 16 a 18 años que reciban formación para un empleo que implique exposición a la radiación y que tengan que utilizar fuentes en el curso de sus estudios, la exposición ocupacional debe controlarse de manera que no se rebasen los siguientes límites:

TABLA II. Valores Limite De Exposición De Aprendices Y Estudiantes

Una dosis efectiva de 6 mSv en un año.
Una dosis equivalente al cristalino de 50 mSv en un año.
Una dosis equivalente en extremidades (manos y pies) o a la piel de 150 mSv en una año.

Las dosis promedio estimadas para los grupos críticos pertinentes de miembros del público, que sean atribuibles a las prácticas, no deberán rebasar los siguientes límites:

TABLA III. Valores Límite De Exposición Del Publico

Una dosis efectiva de 1 mSv en un año.
En circunstancias especiales, una dosis efectiva de hasta 5 mSv en un sólo año, a condición que la dosis promedio en cinco años consecutivos, no exceda de 1 mSv por año.
Una dosis equivalente al cristalino de 15 mSv en un año.
Una dosis equivalente a la piel de 50 mSv en un año.

Se entiende que los límites de dosis se aplican a exposiciones laborales en la instalación radiactiva. Se excluyen las exposiciones médicas y las causadas por fuentes naturales que no puedan razonablemente considerarse como exposiciones ocupacionales.

Se entiende que los límites de dosis no son aplicables para el control de las exposiciones potenciales y no son de aplicación para las decisiones sobre si ha de procederse a un intervención y la manera de realizarla, pero los trabajadores que participen en una intervención deberán estar

sujetos a los requisitos pertinentes prescritos por el Apéndice V. Colección seguridad No. 115, OIEA, 1997.

En la siguiente tabla se plantean algunos valores de referencia que pueden ser útiles en la emisión de un concepto técnico en cuanto a la valoración del riesgo, teniendo en cuenta que el nivel de exposición debe ser “tan bajo como razonablemente posible de alcanzar”. Dichos valores se pueden considerar como aceptables y suponen, por ejemplo: que la exposición en un área de libre acceso, en un año laboral (8 horas/día, 5 días/semana, 4 semanas/mes y 12 meses/año: 2000 horas/año) será en un caso muy extremo 15 mSv/año.

TABLA IV. Valores De Referencia En La Evaluación De Una Instalación

LUGAR DE MEDICIÓN	VALOR DE REFERENCIA
Fondo Natural de Radiación	0.2 – 0.6 μ Sv/h
Lugar de trabajo o de almacenamiento de fuentes radiactivas, en contacto con barreras primarias	7.5 μ Sv/h ¹
Contaminación superficial de emisores Beta y Gamma	0.4 Bq/cm ² ²
Contaminación superficial de emisores alfa	0.04 Bq/cm ² ³

TABLA V. Valores De Referencia En El Control Dosimetrico Individual

Nivel de Registro	0.30 mSv/mes ⁴
Nivel de Investigación	1.7 mSv/mes ⁵
	0.4 mSv/semana
Nivel de Intervención	12 mSv/mes ⁶
Limite Anual de Dosis Máxima	50 mSv/año ⁷
Límite Anual de Dosis promediado en 5 años	20 mSv/año ⁸

En dosimetría personal, se tiene en cuenta que los límites primarios recomendados por los organismos internacionales no son una línea divisoria entre lo “seguro” y “lo peligroso”, por lo tanto, se recomienda que los valores adoptados como referencia (límites derivados), se interpreten como valores que representan una línea divisoria entre lo “inaceptable” y lo “tolerable”. Por ejemplo, una dosis individual inferior a 1.7 mSv/mes, es tolerable, aunque siempre digna de investigar el por que de la dosis; un valor superior debe ser investigado y documentado con el fin de evitar dosis en un futuro. Un valor que supere 12 mSv/mes, debe considerarse como inaceptable y por tanto requiere de una acción reparadora tendiente a reducir las dosis derivadas de la práctica.

5. CONTENIDO ESPECÍFICO DEL REGLAMENTO TÉCNICO

DEFINICIONES

A

¹ Safety Series No. 84, OIEA, 1987; Manual Práctico de Seguridad Radiológica sobre recintos blindados, OIEA, 1995.

² Safety Series No. 6, OIEA, 1985; Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, No. ST- 1; OIEA, 1996

³ Safety Series No. 6, OIEA, 1985; Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, No. ST- 1; OIEA, 1996

⁴ General Principles of Monitoring for Radiation Protección of Workers, ICRP Publicación 35, 1982

⁵ Unidad de Energía Nuclear – INGEOMINAS

⁶ Unidad de Energía Nuclear – INGEOMINAS

^{7,8} Colección Seguridad No. 115, OIEA, 1997.

REGLAMENTO TÉCNICO PARA EVALUACIÓN DE RADIACIONES IONIZANTES

- **Actividad (A):** Magnitud correspondiente a una cantidad de radionucleido en un estado determinado de energía, en un tiempo dado, definida por la expresión:

$$A = dN/dt$$

Siendo dN el valor esperado del número de transformaciones nucleares espontáneas a partir de ese estado determinado de energía, en el intervalo de tiempo dt. En el SI, la unidad de actividad es la inversa de segundo (s^{-1}), que recibe el nombre de becquerel (Bq).

- **Autoridad Competente:** autoridad designada o reconocida por un Ministerio del Gobierno Nacional para los fines específicos relacionados con la seguridad radiológica y nuclear.

B

- **Bulto:** Embalaje con su contenido radiactivo tal como se presenta para el transporte.

C

- **Ciclo dosimétrico:** Periodos establecidos por la autoridad competente durante los cuales se controlara que no se superen los límites de dosis recomendados.

D

- **Dosímetro personal:** Dispositivo de control dosímetro que porta consigo el trabajador durante la jornada laboral.
- **Dosis absorbida (D):** Medida de la energía media impartida por la radiación a la materia contenida en un volumen determinado. Sus unidades en el S.I. es el Grey (Gy)
- **Dosis equivalente (H):** Energía transferida por un determinado tipo de radiación ionizante a la unidad de masa de un órgano ó tejido dado. Sus unidades en el S.I. es el Sievert (Sv)
- **Dosis efectiva (E):** Suma ponderada de las dosis equivalentes recibidas en los distintos órganos. Sus unidades en el S.I. es el Sievert (Sv)

E

- **Entidad Autorizada:** Toda entidad pública o privada previamente autorizada por la Autoridad Competente para prestar servicios a la población, asociados a la Protección Radiológica.
- **Embalaje:** Conjunto de todos los componentes necesarios para alojar completamente el contenido radiactivo. como por ejemplo: uno o varios recipientes. materiales absorbentes. estructuras de separación, blindajes, dispositivos de amortiguación, refrigeración, absorción y los que se consideren necesarios para garantizar la integridad del material radiactivo para el cual fue diseñado.
- **Exposición:** Termino empleado en protección radiológica en sentido general, para indicar la acción de estar expuesto o en sentido cuantitativo para expresar la cantidad de iones en el aire, producidos por radiación electromagnética por unidad de masa.
 - a) **Sentido general:** Acción de someter, estar sometido o expuesto, tanto personas como material, a las radiaciones ionizantes. Sinónimo de irradiación.
 - b) **Sentido Cuantitativo:** Ionización del aire, producida por radiación electromagnética, por unidad de masa. Sus unidades en el S.I. es el Coulombio por Kilogramo (C/kg).

CONTENIDO ESPECÍFICO DEL REGLAMENTO TÉCNICO

- **Exposición especial planificada:** Aquella que pueda derivarse de una emergencia, accidente, o mantenimiento o actividad de una instalación de forma tal que la probabilidad de exceder los límites anuales de dosis es muy alta. La intervención, en estas exposiciones debe estar de acuerdo a un plan preestablecido, debidamente justificado e imprescindible tal intervención.
- **Exposición potencial:** Exposición que no se prevé se produzca con seguridad, pero que puede ser resultado de un accidente ocurrido en una fuente o deberse a un suceso o una serie de sucesos de carácter probabilista, por ejemplo a fallos de equipo y errores de operación.
- **Equipos generadores de Radiaciones Ionizantes:** Dispositivo capaz de emitir radiaciones ionizantes, de manera controlada.

F

- **Frotis (Wipe Test):** Toma de una muestra mediante frotamiento o barrido de una superficie con un paño o papel suave y absorbente.
- **Fuente sellada:** Fuente radiactiva cuya estructura de contención es tal que impide, en condiciones normales de empleo, toda dispersión de material radiactivo al medio ambiente.
- **Fuente abierta (fuente no sellada):** Fuente radiactiva cuya forma física y estructura del recipiente que la contiene no asegura la no dispersión en el medio ambiente.

G

- **Grupo crítico:** Personas del público cuya exposición es razonablemente homogénea y característica de los individuos que reciben las más alta dosis equivalente o dosis efectiva, procedentes de una determinada fuente.

H

- **Historial dosimétrico:** Documento, o conjunto de ellos, que certifican las dosis recibidas por una persona expuesta a las radiaciones ionizantes, durante toda su vida laboral y por lo menos durante 30 años después de cesar su trabajo con radiaciones ionizantes.

I

- **Instalación radiactiva:** Lugar que alberga equipos destinados a la utilización, producción, fabricación, tratamiento, manipulación o almacenamiento de fuentes radiactivas o equipos generadores de radiaciones ionizantes.
- **Intensímetro:** En Protección Radiológica, es cualquier instrumento o equipo de medición de campos de radiación ionizante, con electrónica y escala diseñada para dar respuesta en términos de exposición de dosis absorbida o dosis equivalente por unidad de tiempo. ((Roentgen por hora (R/h), (rad/h), (mSv/h)). Puede ser una Cámara de Ionización, un contador proporcional, un contador Geiger-Müller o cualquier otro instrumento de lectura directa que de información de la intensidad del campo de radiación en las unidades anteriores.

J

- **Justificación:** Término empleado en protección radiológica que establece, como principio, que la autoridad competente no debe autorizar ninguna práctica que se traduzca en una exposición del ser humano a las radiaciones ionizantes, a menos que la introducción de dicha práctica produzca un beneficio neto.

L

REGLAMENTO TÉCNICO PARA EVALUACIÓN DE RADIACIONES IONIZANTES

- **Límite:** Valor de una magnitud que no debe sobrepasarse.
- **Límite Anual de Incorporación (LAI):** Es el valor mínimo de la incorporación de un determinado radionucleido en un año por el hombre de referencia, que se traduciría en una dosis efectiva comprometida de 50 mSv, o bien en una dosis equivalente comprometida de 150 mSv en el cristalino, o de 500 mSv en cualquier otro órgano o tejido.
- **Límites Primarios:** Valores máximos permisibles de dosis recomendados, los cuales no deben ser sobrepasados bajo ninguna circunstancia normal de trabajo.
- **Límites derivados:** Valores de dosis o de actividad, definidos arbitrariamente en una instalación o por la autoridad competente, para garantizar que las dosis se mantienen en niveles muy inferiores a los límites primarios.

M

- **Magnitud Operacional:** Valor de una magnitud dosimétrica que sirve de base para la toma de decisiones en cuanto a las condiciones de seguridad de una instalación o de los procedimientos que en ella se realizan. No hace referencia a valores de dosis equivalente efectiva o dosis equivalente en un órgano o tejido.

N

- **Nivel de registro:** Nivel de dosis o de exposición recibida por el trabajador, a partir de los cuales se ha de anotar en sus respectivos registros individuales de dosis. Valores de dosis inferiores se consideran de poca importancia en la protección radiológica individual.
- **Nivel de investigación:** Valor de una magnitud como dosis efectiva, dosis equivalente o de contaminación por unidad de área o de volumen, que al alcanzarse o rebasarse debería realizarse una investigación.
- **Nivel de Intervención:** Nivel de dosis evitable, al alcanzarse el cual se realiza una acción protectora o una acción reparadora específica en una situación de exposición de emergencia o en una situación de exposición crónica.
- **Nivel de Referencia:** Nivel de actuación, nivel de intervención, nivel de investigación o nivel de registro. Estos niveles se pueden establecer para cualquiera de las magnitudes determinadas en la práctica de la protección radiológica.
- **Nivel orientativo:** Nivel de una magnitud determinada al rebasarse el cual se deberían considerar las acciones pertinentes.

CONTENIDO ESPECÍFICO DEL REGLAMENTO TÉCNICO

O

- **O.I.E.A.:** Abreviatura de Organismo Intencional de Energía Atómica.
- **Operador:** Persona autorizada, por la autoridad competente, para realizar actividades directamente vinculadas a la operación de fuentes radiactivas o equipos emisores de radiaciones ionizantes, en condiciones de seguridad radiológica.
- **Optimización:** Concepto que impone que el diseño y uso de fuentes o equipos emisores de radiaciones ionizantes y las practicas correspondientes, deben mantener las dosis en el “valor más bajo que razonablemente pueda alcanzarse”, teniendo en cuenta factores económicos y sociales. Implica que ulteriores reducciones de las dosis supone un esfuerzo mayor que los beneficios que puedan obtenerse.

P

- **Personal expuesto:** Ver Trabajador expuesto
- **Público general:** Miembros de la población, excluyendo al trabajador expuesto y grupo crítico.
- **Práctica:** Toda actividad humana que introduce fuentes de exposición o vías de exposición adicionales o extiende la exposición a más personas o modifica el conjunto de vías de exposición debidas a las fuentes existentes, de forma que aumente la exposición o la probabilidad de exposición de personas, o el número de personas expuesta.
- **Protección y seguridad:** Protección de las personas contra la exposición a la radiación ionizante y a las sustancias radiactivas, así como seguridad de las fuentes de radiación, incluidos los medios para conseguir esa protección y seguridad, tales como los diversos procedimientos y dispositivos para reducir las dosis y riesgos de las personas al valor más bajo que pueda razonablemente alcanzarse y mantenerlos por debajo d las restricciones prescritas de dosis relacionadas con las fuentes, así como los medios para prevenir accidentes y atenuar las consecuencias de estos si ocurrieran.

R

- **Radiaciones ionizantes (Radiaciones):** Radiación de energía suficiente para arrancar electrones (ionizar) de átomos o moléculas de materiales o sustancias biológicas con que interactúan.
- **Responsable de la Protección Radiológica:** Persona natural perteneciente al cuerpo técnico de una instalación donde se utilicen radiaciones ionizantes, quien ejercerá labores en el campo de la protección radiológica, independientemente de sus labores como técnico.
- **Roentgen (R) :** Una de las magnitudes dosimétricas más antiguas. Conceptualmente es una magnitud que evalúa la intensidad de un campo de radiación electromagnética ionizante (radiación X i Gamma), esta unidad no pertenece al Sistema Internacional (S.I.). Unidad tradicional de Exposición (X), como magnitud física, no como “estar expuesto a...”. Se define como la cantidad de radiación X o Gamma que, a través de 1cm³ de aire a 0°C y 760 mm de presión (0.001293 gr de aire), utilizando totalmente la energía de los electrones liberados y eliminando la acción de las paredes de la cámara de ionización, determina una conductividad eléctrica en el aire tal, que la cantidad de carga eléctrica transportada, medida en corriente de saturación, es igual a la unidad electrostática.

$$1 R = 2.58 * 10^{-4} \text{ culombios por kilogramo de aire}$$

REGLAMENTO TÉCNICO PARA EVALUACIÓN DE RADIACIONES IONIZANTES

En condiciones de equilibrio transitorio de partículas cargadas, el valor numérico de la exposición en roentgen es aproximadamente igual al valor numérico de la dosis absorbida en aire, agua o tejido blando, expresado en rads. Esta aproximación numérica no existe cuando se emplean las unidades del S.I.

S

- **Sievert (Sv):** Unidad empleada para la dosis equivalente y dosis efectiva, puede presentarse en submúltiplos miliSievert (mSv), microSievert (μ Sv), etc...

T

- **Tasa de Dosis – Intensidad:** La dosis en la unidad de tiempo. ejemplo: mSv/h, mrad/h.
- **Titular de la licencia de funcionamiento:** Persona natural o jurídica a la cual la autoridad competente le ha otorgado una autorización para realizar, actividades específicas con fuentes o equipos emisores de radiaciones ionizantes.
- **Trabajador expuesto:** Persona que realice actividades directa o indirectamente vinculadas con el uso o manipulación de material radiactivo dentro de una instalación u opere equipos generadores de radiaciones ionizantes.

U

- **Unidad de Energía Nuclear:** Ente regulatorio Nacional adscrito a INGEOMINAS.

V

- **Vial:** (del Ingles) Frasco, Botella, Recipiente pequeño utilizado en radioquímica para envasar soluciones de radioisótopos.
- **Vigilancia Radiológica** Conjunto de medidas y procedimientos orientados a evaluar y controlar el impacto de las radiaciones ionizantes en las personas y el público general.

Z

- **Zona controlada:** Área de acceso restringido y sometida a un programa de vigilancia radiológica.
- **Zona supervisada:** Área de acceso no controlado, en la cual las condiciones de protección radiológica deben mantenerse bajo permanente revisión, aun cuando en ellas no son normalmente necesarias programas especiales de vigilancia radiológica

RECONOCIMIENTO

En una instalación radiológica el factor riesgo proviene esencialmente de un equipo energizado o de una fuente radiactiva, la cual a su vez puede ser abierta o sellada, derivándose de ésta característica, situaciones diferentes en cuanto a la potencialidad del riesgo, a su evaluación y al estudio en sí.

Se describen a continuación las principales aplicaciones en que el factor riesgo interviene, el medio en que se encuentra presente o características de diseño de la instalación desde el punto de vista de la protección radiológica y los aspectos a evaluar en la seguridad del personal que se encuentra expuesto.

Aplicaciones médicas

Radiodiagnóstico

Conjunto de técnicas radiológicas encaminadas a establecer un diagnóstico mediante el uso de radiaciones ionizantes, según las circunstancias o el órgano a explorar.

Objetivo

Diagnóstico médico de alteraciones elementales comunes a los diversos órganos y sistemas, como; Modificaciones del tamaño, Alteraciones de la posición, Anomalías del contorno, cambios de densidad (clasificaciones, ocupación de órganos huecos), alteraciones funcionales, etc

Equipos

Equipo de Rayos X, Mamógrafo o TAC, Equipo portátil, etc.

Tipo de Radiación:

Rayos X	Energías entre:
Mamografía	25 - 50 keV
Radiografía convencional	50 - 150 keV
Radiografía odontológica	50 - 100 keV
Scanografía	120-150 keV

Riesgo Presente

Irradiación externa únicamente durante el tiempo de emisión del tubo de Rayos X, tiempo en que este se encuentra energizado.

Diseño de la Instalación:

Antes de iniciar cualquier construcción o modificación importante de una instalación ya existente, los planos de la misma deben ser revisados por personal idóneo en Protección Radiológica, copia de los mismos incluyendo las especificaciones del blindaje, deben ser conservadas, actualizadas cuando sea necesario y mantenerlas disponibles para su presentación ante la autoridad competente.

La Sala donde se encuentra el equipo de Rayos X (Radiodiagnóstico convencional o TAC) debe ser acorde a las dimensiones del equipo, a la intensidad y energía de las radiaciones emitidas. El blindaje de paredes, puertas, ventanas y sus respectivos marcos, debe corresponder a cálculos que garanticen una tasa de dosis inferior a 7.5 µSv/h, en áreas alrededor de la instalación consideradas de libre acceso, cuidando que juntas o uniones, instalación de tubos, conductos o rejillas estén provistos de un blindaje equivalente al espesor de material que proporcione la atenuación de la radiación requerida.

La protección adecuada para el personal ocupacionalmente expuesto, pacientes y el público en general debe conseguirse limitando las posibles direcciones del haz de radiación, controlando la distancia a la fuente de emisión de radiación, el espesor de blindaje adecuado y el tiempo de exposición.

REGLAMENTO TÉCNICO PARA EVALUACIÓN DE RADIACIONES IONIZANTES

Dependiendo del tamaño de la sala y la carga de trabajo puede no ser necesario blindar la sala de un equipo dental de Rayos X.

En general, el diseño y proyección de la instalación radiactiva debe contar con las protecciones necesarias para evitar radiaciones al personal ocupacionalmente expuesto y al público en general, para lo cual debe tenerse en cuenta:

- a) Las direcciones en las cuales el haz de radiación puede ser dirigido, la intensidad de la radiación secundaria y de fuga, la carga de trabajo esperada y los tipos de exámenes radiológicos que se pueden realizar, el factor de ocupación del cuarto o sala de rayos X y los posibles usos y cambios futuros del equipo. Factores determinantes en el cálculo adecuado del blindaje de barreras primarias y secundarias de la instalación, en la ubicación de los comandos del equipo y en la proyección de mejoras sin contratiempos en la adquisición de nuevos equipos.
- b) Que en edificaciones de más de un piso, los entresijos correspondientes al área de la sala de examen deberán contar con la protección adecuada.
- c) Que debido a ciertos procedimientos operacionales o a condiciones generales del paciente, algunos trabajadores expuestos se encuentran impedidos para retirarse detrás de una pantalla protectora y por tanto las dimensiones de la sala deben ser suficientemente grandes, como para permitir el uso de barreras móviles y para que los trabajadores expuestos tomen posiciones seguras a una distancia adecuada del tubo de rayos X y del paciente durante la exposición.
- d) Las recomendaciones del fabricante del equipo en cuanto a ubicación, requerimientos de diseño estructural y de blindajes de la instalación.

Aspectos a evaluar en la instalación radiactiva:

- 1) Buen funcionamiento del dispositivo de control de parámetros o comandos del equipo (kilovoltaje pico (kV), miliamperaje (mA), tiempo (t) o cualquier combinación de estos) y la existencia de área blindada desde la cual se debe operar el equipo.
- 2) Clasificación de áreas de trabajo como zonas controladas y vigiladas.
- 3) Uso de prendas de protección contra radiación directa: guantes, delantal plomado protectores de tiroides y la posibilidad de permitir blindajes adicionales para proteger al trabajador cuando hace procedimientos especiales.
- 4) Uso de dosimetría personal: Divulgación de reportes de dosis, dosis individuales acumuladas, uso correcto y cambio mensual del dosímetro. La no devolución de un dosímetro personal en dos periodos consecutivos de servicio no debe ser permitido en la instalación.
- 5) Formación en las técnicas aplicadas y en protección radiológica del personal que opera equipo.
- 6) Existencia y buen manejo de libros de registro de operaciones, control de calidad y mantenimiento del equipo.
- 7) Existencia de procedimientos escritos para asegurar irradiación mínima al personal, pacientes y al público en general, que consideren aspectos tales como:
 - a) Permanencia fuera de la Sala de Rayos X
 - b) Protección en caso de permanecer en el interior
 - c) Acceso controlado, cierre de puertas y señalización de advertencia a la altura de los ojos, conectada al circuito del equipo, que indique generación de radiación.
 - d) Colimación de campo y repetición de estudios
 - e) Uso de protectores (delantal plomado y los del caso)

CONTENIDO ESPECÍFICO DEL REGLAMENTO TÉCNICO

- f) Corroboración del estado de la instalación y del equipo:
- Medidas ambientales: Niveles de radiación secundaria y de fuga habitualmente existentes en la instalación.
 - Carga de trabajo esperada, los tipos de exámenes radiológicos que se llevan a cabo y el factor de ocupación de la instalación .
 - Control de calidad del equipo y su mantenimiento periódico.

Radioterapia

Método terapéutico basado en la acción biológica de las radiaciones ionizantes sobre el organismo, que se emplea en el tratamiento de determinadas enfermedades.

Comprende Teleterapia y Braquiterapia

Teleterapia - Radioterapia externa

Haces de radiación provenientes de una fuente situada en un aparato a aproximadamente un metro del paciente,

Objetivo:

Tratamiento (básicamente cáncer);

Equipos

Bomba de Cobalto o Cesio (Co-60, Cs-137)

Acelerador de electrones (equipo eléctrico: sin fuente radiactiva).

Otros equipos generadores de haces de alta energía.

Tipo de radiación

Radiación gamma con energías de miles de KeV (Co-60 1250 keV, Cs-137 – 666 keV)

Haces de electrones y otras partículas cargadas.

Riesgo presente:

Siempre que este presente material radiactivo

Irradiación externa muy baja, durante el posicionamiento del paciente y debida a la radiación de fuga del equipo.

Diseño de la Instalación:

En todas la prácticas es esencial tener en cuenta la Protección Radiológica del Paciente, .

- a) Búnker o sala blindada con paredes de hormigón, que garanticen tasas de exposición menores que $7.5 \mu\text{Sv/h}$ en áreas de acceso al público.
- b) Utilización de laberintos y puertas con blindaje en varias capas.
- c) Prestar atención a fugas de radiación.

Aspectos a evaluar en la instalación radiactiva:

- 1) Existencia de elementos no estructurales de Protección Radiológica:

Protección al Paciente:

- Seguridad de sistemas: Contadores redundantes, frenos de movimiento, enclavamientos
- Sistemas de TV, Citófono sala de control, estoque de emergencia (Co-60).

REGLAMENTO TÉCNICO PARA EVALUACIÓN DE RADIACIONES IONIZANTES

- Realización de planimetrías con sistemas modernos.

Protección al Profesional Expuesto:

- Puerta con relé luminoso y señalización general
- Detectores de radiación con indicación fuera de la sala.
- Blindajes de alto Número Atómico. Fuente de Co-60

2) Protección Radiológica Operacional:

- a) Formación del personal y existencia de protocolos.
- b) Respeto a normas de trabajo tendientes a disminuir al mínimo las dosis individuales de los trabajadores (comprobación de presencia de compañeros en la sala antes de irradiar, control de acceso a sala de tratamiento).
- c) Clasificación de áreas en controladas, vigiladas y señalización que indique fuente expuesta.
- d) Control de niveles de exposición en áreas controladas y vigiladas.
- e) Línea de responsabilidad clara.
- f) Conocimiento y aplicación de planes de emergencia: No retirada de fuente, incendio o de fallas del pulsador de apagado del equipo.

- 3) Uso de dosimetría personal: Divulgación de reportes de dosis, dosis acumuladas, uso correcto y cambio mensual del dosímetro. La no devolución de un dosímetro personal en dos periodos consecutivos de servicio no debe ser permitido en la instalación

Braquiterapia – Curieterapia

Inserción de fuentes radiactivas en una cavidad dentro del cuerpo (aplicación intracavitaria, intraluminales), o su ubicación sobre la superficie de un tumor o sobre la piel (terapia superficial) o su implantación a través de un tumor (terapia intersticial).

Objetivo

Tratamiento (básicamente cáncer);

Equipos:

Fuentes encapsuladas en contacto con el cuerpo, . En el caso particular de sistemas de alta tasa de dosis, equipos de carga diferida.

Tipo de Radiación:

Radiación gamma (ocasionalmente Beta) Ra-226, Ir-192, Cs-137, Co-60, Au-198, I-125...

Riesgo presente:

La braquiterapia constituye un tratamiento eficaz para pacientes de cáncer, pero puede ser muy peligrosa si no se enfoca cuidadosamente o sin una preparación a fondo.

Siempre que este presente el material radiactivo, existe riesgo de:

- a) Irradiación externa.
- b) Riesgo de irradiación por contaminación externa e interna por uso incorrecto de fuentes encapsuladas.

Diseño de la Instalación:

En todas las prácticas es esencial tener en cuenta la Protección Radiológica del paciente.

CONTENIDO ESPECÍFICO DEL REGLAMENTO TÉCNICO

- a) Almacén – Quirófano – Habitación
- b) Plomo como material de blindaje.
- c) Todas las paredes son barreras primarias.
- d) Tener en cuenta que el uso de fuentes encapsuladas en proximidad al Profesional Expuesto da mayores dosis.

Aspectos a evaluar en la instalación radiactiva

- 1) Existencia de elementos no estructurales de Protección Radiológica:

Protección al Paciente:

- a) Aseguramiento de retirada de fuentes.
- b) Control contra pérdida de fuentes: Inventario físico periódico de fuentes, comprobación del número de fuentes dentro del contenedor, Registro de movimiento de fuentes, con indicación de fecha, nombre del paciente y número de cada tipo de fuente utilizada y similarmente para registrar devolución de las fuentes.
- c) Realización de estudios dosimétricos previos a la aplicación de la fuente, para órganos y tejidos del paciente (planimetrías).

Protección al Profesional Expuesto:

- a) Elementos de protección (distancia, blindaje y tiempo de permanencia) en la gammateca y habitación donde se lleva a cabo el tratamiento al paciente.
- b) Contenedores de plomo para el transporte de fuentes y protección para el transporte del paciente.
- c) Control periódico de hermeticidad de las fuentes (al menos cada 6 meses).
- d) Implantación de carga diferida.

- 2) Protección Radiológica Operacional:

- a) Formación del personal asegure adecuada capacitación y existencia de protocolos.
- b) Respeto a normas de trabajo tendientes a disminuir al mínimo las dosis individuales de los trabajadores (comprobación de presencia de compañeros en la sala antes de irradiar, control de acceso a sala de tratamiento, utilización de protectores individuales).
- c) Clasificación de áreas (señalización), sala de depósito de fuentes no puede ser un lugar de paso, ni sala compartida en que permanezcan personas no relacionadas con la práctica.
- d) Control de acceso no autorizado a caja de seguridad de almacenamiento con cerradura segura y manteniendo niveles de dosis inferiores a 20 $\mu\text{Sv/h}$ en las cercanías de la caja de seguridad cerrada.
- e) Evaluaciones de dosis en áreas controladas y vigiladas.
- f) Existencia de blindajes y mirillas o ventanas plomadas que permitan al operador observar las operaciones necesarias de realizar sin riesgo de sobreexposición.
- g) Que la instalación cuente con los instrumentos adecuados de mango largo para manipulación de las fuentes radiactivas.
- h) Que exista una línea de responsabilidad clara en la organización de la entidad.

REGLAMENTO TÉCNICO PARA EVALUACIÓN DE RADIACIONES IONIZANTES

- i) El establecimiento y aplicación de un programa o sistema de contabilidad para el control de las fuentes en existencia, en su aplicación al paciente y su retorno al lugar de almacenamiento.
 - j) Registro de pruebas de fugas de las fuentes, niveles de radiación en las salas de deposito y aplicación de las fuentes y un calendario en que consten las fechas en que deben realizarse las pruebas.
 - k) Conocimiento y aplicación de planes de emergencia, respecto a: Pérdida de fuente; necesidad de atención médica o muerte del paciente, incendio, etc.
- 3) Todas las personas relacionadas con el programa, deben utilizar dosímetros personales y por consiguiente se divulgue y se vigile los reportes de dosis, dosis acumuladas, uso correcto y cambio mensual del dosímetro. La no devolución de un dosímetro personal en dos periodos consecutivos de servicio no debe ser permitido en la instalación.
 - 4) Existencia de suficientes medidores de tasas de dosis para vigilar sala de deposito y otras zonas de acuerdo con las necesidades de la instalación

Procedimientos especiales

Los procedimientos especiales comprenden aquellas exposiciones directas en la que el personal recibe la radiación al mismo tiempo que se está irradiando al paciente, estas exposiciones ocurren en procedimientos de urología, gastroenterología, cirugía ortopédica, urgencias, unidad de cuidados intensivos, densitometría, hemodinamia, litotricia y oncología, entre otros

En el caso de quirófanos, fluoroscopias y otros procedimientos especiales es conveniente el uso de intensificadores de imagen, con el fin de reducir la exposición al ocupacionalmente expuesto.

Objetivo

Procedimientos quirúrgicos en gastroenterología, cirugía ortopédica, urgencias, unidad de cuidados intensivos, densitometría, hemodinamia, litotricia y oncología, con toma de fluoroscopia y/o placas.

Equipos

Equipo portátil de Rayos X y Fluoroscopia
Equipos Convencionales de Rayos X
Equipos Combinados (Rayos X y Fluoroscopia)

Tipo de radiación presente

Rayos X

Riesgo presente

Irradiación en el momento del disparo, por estar expuestos directamente

Diseño de la instalación

Este diseño es independiente de la operación porque los procedimientos implican una relación directa del trabajador y el equipo emisor de radiación. Sin embargo, la instalación tendrá las condiciones de blindaje en paredes, puertas y ventanas, apropiadas para evitar la presencia de radiación en áreas exteriores a la sala de cirugía.

Aspectos a evaluar en la instalación radiactiva

- 1) Uso de elementos de protección personal (chaleco plomado, protección de tiroides, protección gonadal) y gafas.
- 2) Uso de dosimetría personal cuerpo entero:
 - Dosímetro de película fotográfica
 - Dosímetro TLD
- 2) Uso de dosimetría personal de mano:
 - Dosímetro TLD
- 3) Divulgación de reportes de Dosis, dosis acumuladas, uso correcto y cambio mensual del dosímetro. La no evolución de un dosímetro personal en dos periodos consecutivos de servicio, no debe ser permitida en la instalación.
- 4) Formación en Protección Radiológica del personal que opera los equipos o fuentes de radiaciones ionizantes.
- 5) Buen funcionamiento del dispositivo de control de parámetros del equipos (kV, mA y tiempo)
- 6) Existencia de procedimientos escritos para asegurar irradiación mínima al personal y al paciente.

Medicina nuclear

Especialidad que se ocupa del diagnóstico, tratamiento e investigación médica mediante el uso de radionúclidos o compuestos marcados, que se comportan dentro de un órgano o sistema, en función del metabolismo de su estructura química o en función de sus cualidades físicas.

Objetivo

Diagnóstico, Tratamiento e investigación médica

Equipos

Equipos detectores de radiación y actividad: Contadores, Activímetro, Gammacámara.
El elemento clave para la evaluación del riesgo es el material radiactivo, no los equipos.

Tipo de radiación:

Rayos Gamma energías mayores a 100 keV
Rayos Beta (tratamientos y laboratorio)
Rayos Alfa (Laboratorio)

Riesgo Presente

Irradiación externa por contaminación externa de superficies e interna por ingestión, inhalación de sustancias radiactivas.

Diseño de la instalación:

El diseño de las instalaciones requiere tener en cuenta múltiples facilidades con blindaje estructural adecuado, tales como:

- a) Almacén de radioisótopos.
- b) Almacén de residuos radiactivos.
- c) Sala de manipulación.
- d) Sala de inyección.
- e) Sala de espera de pacientes inyectados (con aseo para los pacientes).
- f) Sala de gammacámara.
- g) Zona de descontaminación.

Los acabados deben evitar superficies con bordes cortantes, utilizando materiales lisos, no absorbentes y fáciles de descontaminar.

Si se realiza terapia metabólica, es necesario habitación plomada para el paciente .

En caso de laboratorio al menos almacén de radioisótopos, sala de manipulación, almacén de residuos y zona de descontaminación, como es el caso de análisis "in vitro".

Aspectos a evaluar en la instalación radiactiva

- 1) Clasificación de zonas y señalización indicando riesgo de contaminación.
- 2) Uso de prendas de protección individuales: guantes desechables, delantal plomado.
- 3) Protección adicional no individual: Cámaras blindadas, visores blindados, jeringas blindadas, dispositivo blindado para evacuar residuos diarios.
- 4) Uso de dosimetría personal: Divulgación de reportes de dosis, dosis acumuladas, uso correcto y cambio mensual del dosímetro. La no devolución de un dosímetro personal en dos periodos consecutivos de servicio no debe ser permitido en la instalación.
- 5) Formación en la técnica y en protección radiológica del personal que manipula material radiactivo
- 6) Existencia de procedimientos escritos para asegurar irradiación mínima al personal, pacientes y al público en general, que considere aspectos tales como:
 - a) Tiempo mínimo y máxima distancia a la fuente (antes y después de incorporada al paciente).
 - b) Uso de la mínima actividad por objeto de estudio.
 - c) Información al paciente y protección al público
 - d) Existencia y uso sistemático de guantes y papel absorbente sobre superficies.
 - e) Conocimiento y aplicación de procedimientos de descontaminación.
 - f) Monitoreo personal de contaminación antes de abandonar la instalación.
 - g) Decaimiento y eliminación controlada de residuos radiactivos.
 - h) Libro de registro de operaciones o prácticas con material radiactivo.
 - i) Mantenimiento en correcto estado de detectores ambientales de radiación.
- 7) Corroboración del estado de la instalación y del equipo:
 - a) Medidas ambientales de dosis
 - b) Controles de contaminación de superficie

CONTENIDO ESPECÍFICO DEL REGLAMENTO TÉCNICO

c) Control de calidad de equipos: Gammacámara y activímetro.

Aplicaciones industriales

Comprende entre otros, Gammagrafía industrial, control nucleónico de procesos, y utilización de radioisótopos como trazadores

Gammagrafia industrial

Proceso en el cual se usa radiación ionizante de alta energía, para observar la estructura interna de objetos opacos.

La radiación gamma procedente de una fuente radiactiva, atraviesa el objeto a estudiar e incide sobre una placa fotográfica, donde el flujo de radiación incidente en cada punto, varía con el espesor y composición de la materia recorrida por la radiación.

Objeto

Obtención de una imagen de sombras del objeto, que muestra los defectos estructurales, como; cavidades, fisuras, impurezas o cualquier otro tipo de imperfección.

Equipos:

Fuente radiactiva sellada con su correspondiente contenedor blindado para el alojamiento de la fuente.

Telemando o Guaya de extensión para desplazar la fuente desde su alojamiento a la posición de exposición.

Película especial de rayos X y unidad de revelado fotográfico

Tipo de Radiación

Radiación Gamma y Rayos X e inclusive neutrones.

Fuentes: Ir-192, Co-60, Cs-137, Am-Be

Riesgo presente

Irradiación externa proveniente de la fuente cuando se encuentra expuesta y del bulto o contenedor de la fuente radiactiva durante su transporte.

Diseño de la Instalación:

En instalaciones fijas, el trabajo debe efectuarse en un lugar debidamente blindado y cerrado provisto de señalización en todos los puntos de acceso.

En instalaciones móviles o trabajo de campo, debe tenerse especial cuidado en la demarcación de áreas controladas y supervisadas alrededor de la zona de trabajo.

Toda instalación fija o en campo debe tener presente en el diseño, la construcción de un pozo blindado para almacenar fuentes radiactivas cuando no estén en uso, el mismo debe estar dotado de la seguridad suficiente contra el robo de fuentes y el vehículo de transporte debidamente acondicionado para evitar robo de la fuente y garantizar dosis mínimas de radiación al conductor y su acompañante.

Aspectos a evaluar en la instalación radiactiva

La gammagrafía industrial, es la actividad que más contribuye al riesgo de radiación y dadas las condiciones particulares de cada trabajo, se hace difícil su control y evaluación en forma directa por el higienista.

Se entiende entonces que el operador de gammagrafía, conoce el riesgo importante que comporta el empleo de fuentes radiactivas de actividad elevada, debe tener ideas muy claras acerca de los problemas y soluciones que plantea la radioprotección, para sí mismo, como para el público en general. Debe por tanto ser capaz de calcular con soltura las dosis que pueden producir las fuentes radiactivas que manipula, así como los métodos para su minimización, para que las dosis recibidas, sean siempre inferiores, no solo a los límites legales, sino también a niveles operacionales más bajos, fijados por la empresa, para controlar las dosis recibidas por su personal.

Por tal razón su control y evaluación por parte de la autoridad competente, se lleva a cabo a través de exigencias administrativas, que garantizan el cumplimiento de condiciones mínimas de seguridad para las fuentes radiactivas, los trabajadores y el público en general, antes de la expedición de la Licencia de Manejo de Material Radiactivo.

La evaluación para esta actividad debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- a) Vigencia de Licencias de Importación y de Manejo de Material Radiactivo.
- b) Formación en protección radiológica para operadores de las fuentes y carnet vigente para los mismos.
- c) Manual o Reglamento de Protección Radiológica de la empresa, su divulgación entre todos los trabajadores.
- d) Existencia y buen funcionamiento de instrumentos de medición de la radiación.
- e) Vigencia de calibración de equipos o instrumentos de medición de la radiación.
- f) Equipo para emergencia apropiado (Pinzas extensibles, señales, etiquetas y cuerdas de aviso o advertencia de irradiación, etc...).
- g) Uso de dosímetro personal: Divulgación de reportes de dosis, dosis acumuladas, uso correcto y cambio mensual del dosímetro, documentación de investigaciones para dosis superiores a $1.7 \mu\text{Sv}$ y de acciones emprendidas para evitar dosis futuras. La no devolución de un dosímetro personal en dos periodos consecutivos de servicio no debe ser permitido en la instalación.
- h) Documentos de Transporte con información de la fuente, Tipo de bulto, categoría e Índice de Transporte. Las condiciones del vehículo de transporte, deben garantizar dosis inferiores a $20 \mu\text{h}$ al conductor y al acompañante.
- i) Pruebas de hermeticidad de las fuentes anual o semestralmente.
- j) Niveles de radiación en alrededores de zona controlada y vigilada
- k) Registros que indiquen la ubicación actual de la fuente y faciliten su contabilidad.

Control Nucleonico

Uso de fuentes radiactivas para el control automático de procesos industriales

Objeto

Medición y control de densidades, niveles de llenado, control de espesor.

Equipos

Fuente radiactiva con su correspondiente dispositivo de blindaje, colimación del haz de radiación y detector de campo de radiación.

Tipo de Radiación

Radiación Gamma, Beta y rayos X provenientes de fuentes de Kr-85; Estroncio – itrio – 90, Am-241, Cs-137, Co- 60, Tl-204, etc.

Riesgo presente

Irradiación externa en operaciones de mantenimiento y reemplazo de fuentes.

Diseño de la Instalación

El equipo de control nucleonico debe instalarse en un lugar de paso restringido a los trabajadores, debidamente señalizado y con luz de advertencia que indique cuando la fuente esta expuesta.

Delimitar área controlada para dosis inferiores a 7.5 $\mu\text{Sv/h}$, utilizando blindaje o barrera mecánica que impida el acceso al haz directo de radiación o a las cercanías del equipo..

Aspectos a evaluar en la instalación radiactiva

- 1) Vigencia de Licencias de Importación y de Manejo de Material Radiactivo.
- 2) Formación en protección radiológica para operadores de las fuentes y carnet vigente para los mismos.
- 3) Manual o Reglamento de Protección Radiológica de la empresa, su divulgación entre todos los trabajadores.
- 4) Existencia y buen funcionamiento de instrumentos de medición de la radiación.
- 5) Vigencia de calibración de equipos o instrumentos de medición de la radiación.
- 6) Equipo para emergencia apropiado (Pinzas extensibles, señales, etiquetas y cuerdas de aviso o advertencia de irradiación, etc.)
- 7) Uso de dosímetro personal: Divulgación de reportes de dosis, dosis acumuladas, uso correcto y cambio mensual del dosímetro, documentación de investigaciones para dosis superiores a 1.7 μSv y de acciones emprendidas para evitar dosis futuras. La no devolución de un dosímetro personal en dos periodos consecutivos de servicio no debe ser permitido en la instalación.
- 8) Documentos de Transporte con información de la fuente, Tipo de bulto, categoría e Índice de Transporte. Las condiciones del vehículo de transporte, deben garantizar dosis inferiores a 20 μh al conductor y al acompañante.
- 9) Pruebas de hermeticidad de las fuentes anual o semestralmente.

REGLAMENTO TÉCNICO PARA EVALUACIÓN DE RADIACIONES IONIZANTES

- 10) Niveles de radiación en alrededores de zona controlada y vigilada.
- 11) Registros que indiquen la ubicación actual de la fuente y faciliten su contabilidad

Aplicaciones con Trazadores

Uso de fuentes radiactivas en estado sólido, líquido o gaseoso, dispersas en un medio, para obtener información de un fluido o un proceso.

Objeto

Medida de caudales, detección de puntos muertos en un reactor químico, laguna, etc...

Equipos

Fuentes radiactivas abiertas (no selladas) en solución y dispositivos de inyección del material en el medio a estudiar, equipos de detección y medición de radiación, blindajes y viales adecuados para manipular y transportar el material radiactivo, dispositivos para asegurar adecuado control radiológico al personal, al público en general y al medio ambiente.

Tipos de radiación:

Radiación gamma y beta frecuentemente del I-131

Riesgo presente

Irradiación externa, Contaminación superficial e interna.

Diseño de la Instalación

Normalmente se trabaja en áreas poco concurridas por personas y en lugares distantes, en general debe preverse elementos de protección radiológica para el personal y el ambiente, como son facilidades de dilución y descontaminación del equipo utilizado.

Aspectos a evaluar en la instalación radiológica

- 1) Vigencia de Licencia de Manejo de Material Radiactivo.
- 2) Formación en protección radiológica para operadores de las fuentes y carnet vigente para los mismos.
- 3) Manual o Reglamento de Protección Radiológica de la empresa, su divulgación entre todos los trabajadores.
- 4) Existencia y buen funcionamiento de instrumentos de medición de la radiación.
- 5) Vigencia de calibración de equipos o instrumentos de medición de la radiación.
- 6) Equipo para trabajo y emergencia (Pinzas extensibles, bandejas para dilución de material radiactivo, bolsas plásticas, señales, etiquetas y cuerda de aviso de irradiación, bandas de caucho, balde plástico, guantes de caucho, detergente de limpieza líquido, agua, cinta adhesiva de 2 pulgadas, escobillas de cerda dura, overoles, botas de caucho, etc...).
- 7) Uso de dosímetro personal: Divulgación de reportes de dosis, dosis acumuladas, uso correcto y cambio mensual del dosímetro, documentación de investigaciones para dosis superiores a 1.70 μSv y de acciones emprendidas para evitar dosis futuras. La no

CONTENIDO ESPECÍFICO DEL REGLAMENTO TÉCNICO

- devolución de un dosímetro personal en dos periodos consecutivos de servicio no debe ser permitido en la instalación.
- 8) Documentos de Transporte con información de la fuente, Tipo de bulto, categoría e Índice de Transporte. Las condiciones del vehículo de transporte, deben garantizar dosis inferiores a 20 μh al conductor y al acompañante.
 - 9) Pruebas de hermeticidad de las fuentes anual o semestralmente.
 - 10) Niveles de radiación en alrededores de zona controlada y vigilada.
 - 11) Registros que indiquen la ubicación actual de la fuente y faciliten su contabilidad

EQUIPOS PARA LA MEDICIÓN DE RADIACIONES IONIZANTES

Las radiaciones directas (partículas cargadas) o indirectamente ionizantes (fotones Gamma ó rayos X, neutrones) experimentan interacciones con los átomos o moléculas del medio que atraviesan, produciendo ionización en medios gaseosos, centelleos en determinadas sustancias luminiscentes, ennegrecimiento de las emulsiones fotográficas y la descomposición química de algunas sustancias, propiedades utilizadas en el diseño y construcción de diversos dispositivos destinados a detectar y medir las radiaciones ionizantes aplicables a trabajo de campo, dosimetría personal y laboratorio.

En general, los equipos de medición de las radiaciones ionizantes y dosímetros personales deben proporcionar datos con una incertidumbre aceptable, que depende del propósito de las mediciones. Por tanto, en su elección deben tenerse en cuenta las limitaciones de cada instrumento, tales como:

- a) Intensidad, calidad y tipo de radiación que pueden medir.
- b) Confiabilidad con la cual el equipo o instrumento mide y mantiene su calibración.
- c) Estabilidad del equipo o instrumento a condiciones ambientales (temperatura, humedad, polvo, vapores, campos magnéticos y eléctricos).

Se describen a continuación algunos equipos de importancia en la medición, detección y control de las radiaciones ionizantes en puestos de trabajo, en el ambiente y en individuo expuesto. Algunas características adicionales de los equipos se presentan en el Anexo 5.

Detectores de ionización de gas

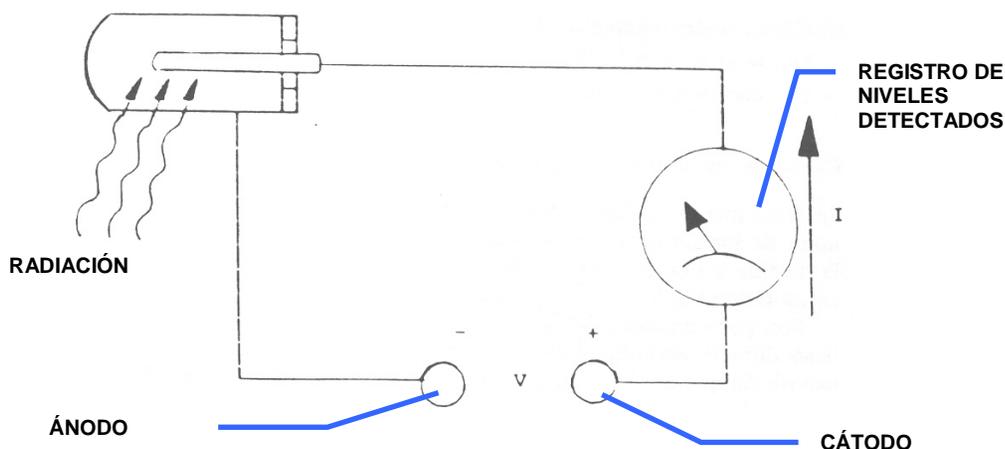
Estos equipos constan generalmente de un gas confinado en un recipiente de paredes delgadas, los iones positivos y negativos producidos por la radiación dentro del gas, se colectan en un par de electrodos, sometidos a una diferencia de potencial (voltaje). La corriente eléctrica inducida en forma de pulsos de corta duración, son contados directamente o activan un medidor de corriente, información que es transformada directamente a unidades de exposición (Roentgens (R)) exposímetros, dosis (rad o mSv) dosímetros, tasa de exposición (Roentgens por hora (R/h)), tasa de dosis (rad/h ó mSv/h) intensímetros, dependiendo del diseño del equipo.

Cámaras de Ionización

Operan con voltajes entre 100 y 200 voltios, el número de iones colectados no cambia si se aumenta el voltaje. En los electrodos se recogen esencialmente todos los iones primarios; no hay recombinación ni ionizaciones secundarias, el tamaño del pulso depende de la ionización primaria y por tanto de la energía depositada por cada radiación.

Su respuesta es lenta, baja su sensibilidad y es costoso.

Figura 1. Esquema Cámara de Ionización



Contadores proporcionales

Operan con voltajes entre los 300 y 550 voltios, La carga colectada aumenta al incrementarse el voltaje de operación, debido a que los iones iniciales (primarios) se aceleran dentro del campo eléctrico, dando lugar a la creación de nuevos pares de iones o ionizaciones secundarias, por lo que los pulsos producidos son mayores que en la cámara de ionización, pero conserva la dependencia en energía de las radiaciones.

Su principal uso es la medición de contaminación superficial de alfas y Betas.

Contadores Geiger-Muller

Operan entre 700 y 800 voltios, lo que puede variar según el diseño de cada detector, los fenómenos de ionización secundaria y multiplicación de iones es tan intensa que se logra una verdadera avalancha de cargas en cada pulso, los pulsos son grandes debido a la gran cantidad de iones colectados, no existe dependencia de la ionización primaria y por tanto no pueden dar una medida de la energía de la radiación. Son los mas utilizados, por su sensibilidad y facilidad de operación, soportan trabajo pesado.

Respuesta rápida, fuerte dependencia con la energía, precio moderado. Útiles en la detección de contaminación de Betas y Gammas y en la medición de campos de radiación ionizante sea Alfa, Beta, Rayos X ó Gamma, dependiendo del diseño particular del equipo.

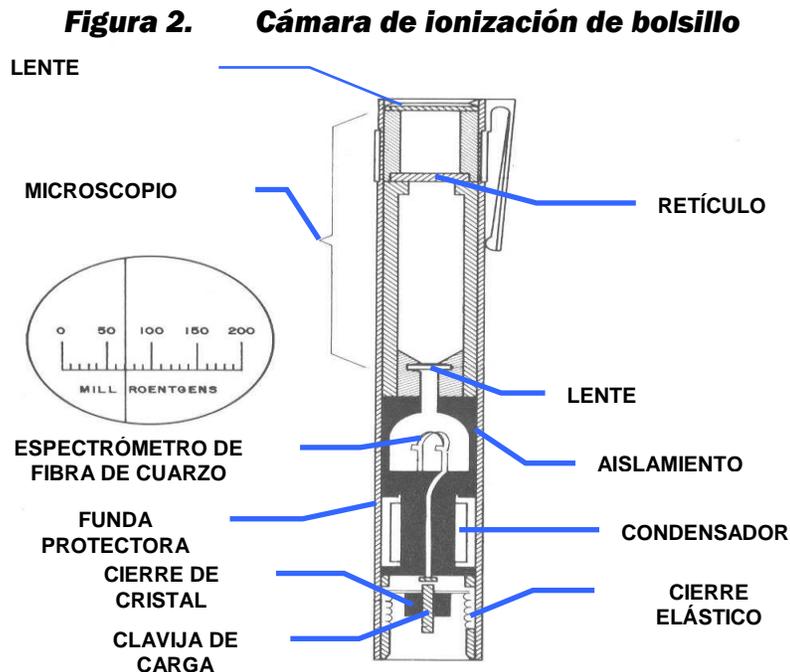
Cámara de ionización de Bolsillo - de lapicera

Su operación esta basada en la variación de la distancia entre dos armaduras metálicas, por efecto de la repulsión electrostática creada cuando estas son sometidas a una determinada diferencia de potencial. El paso de la radiación a través de la cámara produce iones que eliminan la intensidad de la repulsión electrostática y por tanto hacen que varíe la distancia entre las dos armaduras metálicas.

Útiles como dosímetros personales, aunque dan una indicación inmediata de la exposición, no son muy útiles para evaluar la exposición total a lo largo de un periodo de varios días. Son sensibles a golpes y variaciones de las condiciones atmosféricas.

CONTENIDO ESPECÍFICO DEL REGLAMENTO TÉCNICO

Se recomienda su uso en operaciones especiales de corta duración, acompañado con otro tipo de dosímetro, como son los dosímetros de película y/o los termoluminiscentes.



Dosímetros de lectura retardada

Dispositivos utilizados en el control periódico de las dosis de radiación individual recibidas en el trabajo con radiaciones ionizantes.

Las dosis acumuladas en un periodo de uso del dosímetro, pueden ser leídas mediante un procesamiento del dosímetro.

Dosímetros de película (fotográfico) – Dosímetro personal

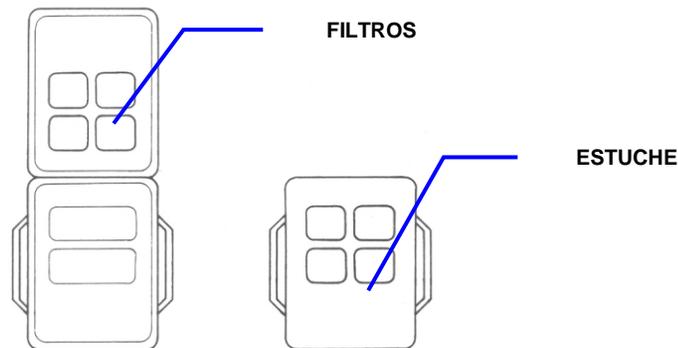
La radiación al interactuar con los microcristales de haluros de plata suspendidos en la emulsión fotográfica, forma racimos de iones de plata, que al ser revelados pasan de ser una imagen latente a una imagen real que se manifiesta en el ennegrecimiento proporcional a la radiación que fue absorbida por la película.

La película se recubre parcialmente con filtros metálicos, lo que proporciona un espectro de ennegrecimientos que permite determinar dosis de radiación Betas, Rayos X y Gamma y su calidad o energía aproximada.

Es el dispositivo de mayor flexibilidad de empleo para la evaluación de la exposición de cuerpo entero, por su bajo costo, su tamaño pequeño, cómodo y permitir el control de las exposiciones individuales en tiempo real; al constituirse en archivo permanente de la dosis individual, facilitando su lectura y corroboración en cualquier momento después de ser procesada la película.

La dosis acumulada y la energía aproximada se reporta al final de cada periodo de uso del dosímetro.

Figura 3. Dosímetro de película



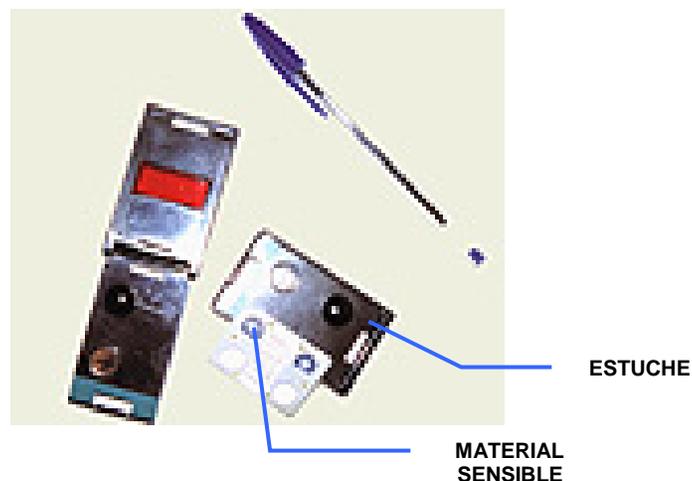
Dosímetro Termoluminiscente o de TLD

La parte sensible consiste de sustancias, como el LiF, CaF₂, que al exponerse a radiaciones pueden almacenar su energía, que por calentamiento a una cierta temperatura, puede ser reemitida en forma de luz visible, la cual es directamente proporcional a la radiación absorbida por el cristal e incrementada por un fotomultiplicador, para ser reportada en términos de dosis.

Su tamaño pequeño lo hace muy útil en la dosimetría personal y particularmente para la dosimetría de dedos y manos.

La dosis acumulada se reporta al final de cada periodo de uso del dosímetro y una vez procesado el dosímetro y leída la dosis, el dosímetro puede ser utilizado nuevamente, perdiendo la información del periodo anterior.

Figura 4. Dosímetro termoluminiscente



CONTENIDO ESPECÍFICO DEL REGLAMENTO TÉCNICO

La finalidad esencial de la evaluación en protección radiológica, es valorar el riesgo con el fin de evitar la aparición de efectos determinísticos y limitar la aparición de efectos estocásticos debidos a exposiciones innecesarias o no justificadas.

Se fundamenta en la verificación del cumplimiento con los requerimientos exigidos por las autoridades competentes en cada aplicación particular y la determinación de niveles de radiación en las áreas de trabajo y su comparación con los límites autorizados.

La evaluación del cumplimiento con los requerimientos de las autoridades competentes, consiste en la verificación simple de la documentación exigida, manuales de procedimientos y la aplicación de los principios para minimizar las exposiciones (distancia, tiempo y blindaje).

En cuanto a la observación de niveles de radiación en la instalación, las técnicas a utilizar se clasificaran de la siguiente manera:

Evaluación de la irradiación externa individual

Su objetivo es demostrar que las dosis individuales en la instalación se mantienen por debajo de los límites autorizados por las autoridades competentes y permanecen siempre inferiores a los límites primarios recomendados.

Se lleva acabo mediante instrumentos de medición de las radiaciones que el trabajador lleva consigo, durante la jornada laboral.

Estos instrumentos denominados dosímetros personales (Dosímetros de Película Fotográfica y Termoluminiscentes), permiten medir la dosis total de radiación externa, acumulada en un periodo determinado, generalmente un mes. Los dosímetros de Película Fotográfica, constituyen en si un archivo permanente de las dosis de cada periodo de uso, por lo que permiten comprobar en todo momento la exactitud de los datos sobre las dosis de irradiación externa de cada persona, registrados en los expedientes personales que deben mantenerse actualizados. Los dosímetros Termoluminiscentes, pierden la información una vez leído el dosímetro, permitiendo su uso repetidas veces.

La exactitud y confiabilidad de los datos reportados por estos sistemas de monitoreo personal, dependen de su adecuada calibración, la cual debe ser demostrada ante la autoridad competente mediante intercomparaciones previas al licenciamiento de dichos servicios.

Se recomienda reportar las dosis en unidades de dosis equivalente (mSv) y registrar dosis superiores a un 10% del límite máximo de un periodo de uso del dosímetro, considerando las dosis inferiores a este valor, sin importancia para la protección radiológica.

Evaluación radiológica de áreas de trabajo

Se lleva a cabo utilizando cámaras de ionización portátiles, cámaras de ionización de bolsillo, Contadores Geiger Muller, Contadores de centelleo, dependiendo del interés propio de la evaluación. Los instrumentos deben ser comprobados y calibrados periódicamente frente a un patrón de radiación.

La evaluación debe hacerse en todos los lugares situados en las proximidades de fuentes radiactivas o equipos que emitan radiaciones penetrantes, en los que las personas puedan estar expuestas a radiación. Debe tenerse cuidado de no omitir locales contiguos y los alrededores de la instalación radiactiva.

REGLAMENTO TÉCNICO PARA EVALUACIÓN DE RADIACIONES IONIZANTES

La evaluación debe hacerse antes de emprender un proyecto que involucre la emisión de radiaciones ionizantes, después de una modificación considerable de la instalación, periódicamente durante todo el tiempo que se desarrollen actividades y a la clausura o desmantelamiento de la instalación cuando se trate de manejo u operación con materiales radiactivos.

En la evaluación de áreas de trabajo, se procede de la siguiente manera:

- 1) Chequear el nivel de las baterías y verificar que el equipo de medición se encuentre en buen estado de funcionamiento.
- 2) Dar encendido al equipo y observar adecuada visualización de la lectura que puede ser de tipo digital o análoga.
- 3) Establecer la escala en la cual será efectuada la medición correspondiente. Se debe tener especial atención en la lectura de esta escala, para evitar errores de apreciación.
- 4) Esperar hasta que el equipo se estabilice e indique un valor mínimo de radiación, el cual se denomina radiación de fondo. En el caso, que la radiación de fondo sea muy alta, restar este valor al valor encontrado en la evaluación. Generalmente el valor de radiación de fondo se encuentra entre 0.2 y 0.6 $\mu\text{Sv/hora}$.
- 5) Determinar el tipo y número de placas que se toman en la sala a evaluar y la capacidad máxima del equipo generador de radiación (kV, mA). Verificar a estas condiciones, los blindajes correspondientes a barreras primarias y secundarias de la instalación.
- 6) Cada medición se realiza en el momento en que se hace cada disparo del equipo emisor de radiaciones ionizantes, tomando los niveles de radiación en diferentes puntos, en el exterior de la sala y en la cabina de control (consola), para verificar que los niveles registrados por el detector sean muy inferiores a 7.5 $\mu\text{Sv/hora}$. Los sitios críticos de la instalación que deben evaluarse son: Uniones de blindajes, empates de vidrios, vidrio de la ventana a través de la cual el operario observa al paciente, puertas, marcos de puertas, salas de espera y oficinas adyacentes a la instalación. Se debe tener especial cuidado con las edificaciones construidas con placas aligeradas, en donde las radiaciones pueden llegar al piso superior o inferior.
- 7) El equipo se debe ubicar a una distancia aproximada de 5 cm y un metro de sus superficies, a partir de la pared, ventana o puerta. Además se debe variar la altura de ubicación del equipo, para realizar cada medición, en rango desde el nivel del piso hasta 1.80 m de altura. Efectuar las mediciones radiológicas, detrás de las barreras primarias y secundarias, para verificar que los niveles registrados por el detector sean muy inferiores a 7.5 $\mu\text{Sv/hora}$.
- 8) El equipo se ubica de frente al punto de emisión de radiaciones ionizantes.
- 9) Elaborar un plano de la instalación que indique las áreas adyacentes, teniendo en cuenta las dimensiones y materiales.
- 10) Registrar los datos encontrados, con su ubicación, valor obtenido en la medición y técnica de aplicación (kV, mA y tiempo de exposición).

En los casos de evaluación de exposición a radiaciones de personal ocupacionalmente expuesto en procedimientos especiales, el equipo se debe ubicar sobre el área de manejo, con el fin de determinar la radiación en cada uno de los procesos.

Esta evaluación se efectúa con las técnicas o protocolos determinados para cada intervención del paciente.

En casos especiales como Medicina Nuclear y Braquiterapia, se debe realizar la evaluación desde el manejo del material radiactivo o la fuente y la aplicación al paciente hasta la finalización del procedimiento.

Cálculo de la tasa de irradiación en un punto

La tasa de irradiación en un punto se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$\overset{\circ}{X} = \left(\frac{\Gamma * A}{d^2} \right)$$

Donde:

- $\overset{\circ}{X}$: Tasa de exposición, tasa de dosis (mRoengen/hora, mSv/h)
- Γ : Factor Gamma (mSv.h⁻¹ a 1 m de 1 GBq de un radiosotopo)
- A** : Actividad de la Fuente en GBq
- d** : Distancia entre la fuente y el punto de medición

Conociendo la tasa de exposición $\overset{\circ}{X}_1$ a una distancia determinada de la fuente (d_1), puede hallarse la tasa de exposición $\overset{\circ}{X}_2$ a cualquier distancia d_2 de la fuente:

$$\frac{\overset{\circ}{X}_1}{\overset{\circ}{X}_2} = \frac{d_2}{d_1}$$

Cálculo de la radiación total y del grado de riesgo

Para calcular la radiación total, se debe tener en cuenta la siguiente Ecuación:

Ec. 1

$$X = \overset{\circ}{X} * t * W$$

Donde:

- $\overset{\circ}{X}$: Radiación encontrada
- t : Tiempo de exposición, en horas
- $\overset{\circ}{X}$: Tasa de exposición puntual; en μ Sv/h ó mSv/h

W : Carga (Número de placas o número de estudios a la semana)

Una vez calculada la radiación encontrada se debe obtener el Grado de Riesgo mediante la ecuación siguiente:

Ec. 2

$$G.R. = \frac{R.E.}{V.P.}$$

Donde:

- R:E. = Radiación encontrada
- V.P. = Valor de Dosis Permitido

Con este resultado, es posible determinar los niveles de intervención del riesgo existente, para minimizar la exposición ocupacional.

Evaluación de contaminación en superficies y equipos

Los contadores Geiger Müller de ventana delgada son apropiados para la mayor parte de las evaluaciones de superficies y equipos en una instalación radiactiva, donde se labore con materiales radiactivos emisores de radiación gamma y betas.

REGLAMENTO TÉCNICO PARA EVALUACIÓN DE RADIACIONES IONIZANTES

El muestreo se efectúa tomando un frotis; remoción de material radiactivo, frotando la superficie contaminada con un papel suave y absorbente, en un área representativa (300 cm²) de la superficie objeto de evaluación. Luego se examina la muestra o frotis colocándola frente a la ventana del contador Geiger Muller y teniendo en cuenta el Fondo Natural de Radiación de la zona geográfica donde se encuentre el objeto de medición. Una contaminación considerable que exceda 600 kBq de Cs-137 o una cantidad muy inferior de I-131 o Co-60 producirá tasas de dosis medibles de por lo menos 5 µSv/h a 10 cms de distancia, siendo la magnitud de una fuga aceptable muy inferior a estos valores.

Si la contaminación es fija o permanente en la superficie objeto de medición, se desplaza el detector, a una distancia aproximada de 1 cm, sobre el área específica de interés.

Cuando amerite la identificación del radionuclido contaminante o la cuantificación de la actividad contaminante, se somete la muestra a un análisis por espectrometría gamma.

Cuando se trate de fuentes radiactivas, se frote cualquier superficie que haya estado en contacto con la fuente, como interior del tubo guía y comprobando si hay alguna sustancia radiactiva en el paño.

En caso de encontrarse cualquier nivel de contaminación removable superior al fondo natural de radiación, la contaminación debe removerse, buscando que los niveles de contaminación sean tan bajos como razonablemente posible de alcanzar (ALARA).

TABLA VI. VALORES ORIENTATIVOS COMO INDICATIVO DE CONTAMINACIÓN SUPERFICIAL

Instrumento de Medición	Valores para radionuclidos contaminantes⁸
Contador Geiger de ventana delgada (Betas, Gamma) Cámara de Ionización. Medidas efectuadas a un (1) cm de la superficie.	100 c.p.m. ⁹
	1 µSv/h

CALIBRACIÓN

Con el fin de garantizar veracidad de los valores medidos, todo instrumento destinado a la medición de radiación con fines de evaluación de una instalación radiactiva o en prácticas con radiaciones ionizantes, debe mantenerse en estado satisfactorio y debe ser ensayado a intervalos regulares, además debe tener su respectiva etiqueta de calibración con fecha vigente.

En el caso de dispositivos personales para el control de exposiciones periódicas (dosímetros personales) es indispensable que la empresa o entidad prestadora de este servicio se encuentre debidamente licenciada por la autoridad competente.

El uso y almacenamiento de los instrumentos y dispositivos de medición y control de la irradiación, debe procurarse en atmósferas libres de polvo y no someterlos a cambios extremos de temperatura, humedad o presión.

⁸ Colección Seguridad No. 1, OIEA, 1973

⁹ c.p.m : cuentas por minuto

CONTENIDO ESPECÍFICO DEL REGLAMENTO TÉCNICO

La calibración debe estar certificada por un laboratorio nacional (Unidad de Energía Nuclear – INGEOMINAS, Tel: 315 30 59) o extranjero debidamente reconocido por la autoridad competente.

CONSIDERACIONES GENERALES

La evaluación y concepto sobre el riesgo radiológico existente, requiere reunir información directa de la fuente o emisor de radiaciones ionizantes, la instalación, el personal ocupacionalmente expuesto y de los miembros del público que puedan estar afectados por las prácticas en la instalación radiactiva.

En todo estudio y/o evaluación del riesgo de una instalación radiológica, debe hacerse un informe que incluya: un plano de la instalación o del área donde se lleva a cabo la práctica con radiaciones ionizantes, identificando puestos de trabajo, salas de espera y lugares donde labora personal no ocupacionalmente expuesto a radiaciones; los valores de las mediciones, su respectiva interpretación y recomendaciones pertinentes en caso de encontrarse niveles de radiación superiores a 7.5 $\mu\text{Sv/h}$ en contacto con barreras primarias y secundarias de la instalación.

El objetivo básico mínimo es recolectar la información objetiva siguiente:

- 1) General de la entidad responsable de la instalación: Razón social, representación legal, su ubicación y la aplicación específica relacionada con las fuentes radiactivas o equipos emisores de radiaciones ionizantes.
- 2) De la instalación radiactiva, en cuanto al cumplimiento de requisitos esenciales; características del área destinada al diagnóstico, tratamiento, almacenamiento, manipulación u operación de equipos emisores de radiación ionizante:
 - a) Área, especificando por separado sus dimensiones: ancho, largo y alto
 - b) Área de mirillas de observación y su espesor equivalente en plomo, cuando sea del caso, especificando sus dimensiones: ancho, largo y alto.
 - c) Ubicación de controles dentro o fuera de la instalación, longitud del cable, control del tiempo de exposición, kilovoltaje y miliamperaje.
 - d) Especificar el uso de la instalación radiactiva: diagnóstico, tratamiento, almacenamiento de radioisótopos y/o residuos radiactivos, manipulación, u operación de equipos emisores de radiación ionizante.
 - e) Indicar si existe señalización de áreas
- 3) Sobre el número y sexo del personal considerado ocupacionalmente expuesto, su capacitación en protección radiológica y la carga de trabajo semanal en la instalación, especificando número de pacientes atendidos y el número de placas por estudio.
- 4) Sobre los elementos de protección radiológica existentes en la instalación, dependiendo de la actividad que en esta se desarrolla, como: colimación del haz, focalizadores luminosos, delantales plomados, guantes, protectores de gónadas y de tiroides, pinzas extensibles, señalización y/o delimitación de áreas, facilidades de cuarto oscuro y control de químicos de revelado.

REGLAMENTO TÉCNICO PARA EVALUACIÓN DE RADIACIONES IONIZANTES

En cuanto a procedimientos de trabajo:

- 1) Verificar la existencia y cumplimiento de manuales de procedimientos de trabajo, reglamentos de protección radiológica y de actuación en casos de emergencia y su conocimiento por parte del personal.
- 2) Verificar el uso mensual de dosímetros personales, su retorno oportuno para la lectura (no mayor a dos periodos de servicio), dosis del periodo y acumuladas, la divulgación de los reportes de dosis entre los interesados y los informes correspondientes a la investigación efectuada cuando existen dosis superior a 1.7 mSv en un periodo de uso del dosímetro.
- 3) Verificar reconocimientos médicos específicos y periódicos al personal ocupacionalmente expuesto.
- 4) Verificar cuando sea del caso, el uso de instrumentos de lectura directa, su fecha de calibración y estado actual del instrumento de medición.
- 5) Verificar la actualización de diarios de operación de los equipos y actas de revisión técnica periódica de los mismos.

El concepto final sobre las condiciones medio ambientales de una instalación radiactiva, además de la aceptación de los aspectos mínimos anteriores, debe estar afectado por los resultados de una valoración objetiva de los aspectos subjetivos siguientes:

- 1) El estado de seguridad de la instalación, de los equipos y fuentes.
- 2) La correcta operación de equipos, fuentes y material radiactivo y condiciones de seguridad del manejo y transporte de estos elementos.
- 3) La detección de posibles daños que se presenten en los equipos o fuentes, que pongan en peligro la salud del trabajador expuesto, de la población o del medio ambiente.
- 4) La existencia y aplicación de las medidas de seguridad exigidas por la autoridad competente, como también de planes de emergencia.
- 5) La existencia de posibles fallas, anomalías, defectos, mal uso de la instalación o del material radiactivo, que puedan derivar en incidentes o accidentes con repercusiones hacia el trabajador expuesto o hacia la población.
- 6) La existencia de denuncias sobre fallas, incidentes, accidentes, pérdida, hurto o abandono de material radiactivo.
- 7) El cumplimiento de las medidas correctivas que aplique la autoridad competente, en caso de sanciones.
- 8) La denuncia de toda infracción a la ley, reglamentos, normas, condiciones de licencias e instrucciones dada por la autoridad competente.
- 9) Toda irregularidad, hecho o circunstancia que afecte la seguridad de las personas, los bienes y el medio ambiente.
- 10) La información pertinente de cada entidad debe quedar registrada en una base de datos, que permita análisis globales posteriores con fines estadísticos, epidemiológicos, legales y de evaluación de planes de protección radiológica o de otro orden.

CONTROLES

Los controles y medidas que deberán adoptarse para la prevención y protección contra la exposición a radiaciones ionizantes en el trabajo, parten del diseño mismo de la fuente y de las instalaciones consideradas como radiactivas, en el sentido de que su construcción, manejo y mantenimiento, eviten en la medida de lo factible los accidentes y en general; la restricción de la magnitud y probabilidad de la exposición de los trabajadores y de los miembros del público a los niveles más bajos que puedan razonablemente alcanzarse, teniendo en cuenta factores económicos y sociales (ALARA).

Por tanto es esencial que cada entidad responsable de una instalación radiactiva:

- 1) Optimice la protección y la seguridad ocupacional, conforme a los requisitos aplicables presentes en las normas (Colección seguridad No. 115, OIEA).
- 2) Registre las decisiones relativas a protección y seguridad ocupacional y las ponga en conocimiento de las partes interesadas, por medio de sus representantes, conforme a lo que especifique la autoridad competente (Secretarías de Salud y Unidad de Energía Nuclear - INGEOMINAS).
- 3) Establezca principios rectores, procedimientos y disposiciones organizativas de protección y seguridad para dar cumplimiento a los requisitos aplicables prescritos por las normas (Colección seguridad No. 115, OIEA), concediendo prioridad a las medidas de diseño y de naturaleza técnica para controlar las exposiciones ocupacionales.
- 4) Facilite medios, equipos y servicios idóneos y suficientes de protección y seguridad, de tipo e importancia adecuada a la magnitud y probabilidad prevista de la exposición ocupacional.
- 5) Establezca, conserve y mantenga bajo revisión un programa de vigilancia radiológica de los puestos de trabajo, con la supervisión de un experto cualificado y de un oficial de protección radiológica, si así lo prescribe la autoridad competente (Secretarías de Salud y Unidad de Energía Nuclear de INGEOMINAS).
- 6) La naturaleza y frecuencia de la vigilancia radiológica de los puestos de trabajo debe:
 - a) Ser suficiente para permitir:
 - La evaluación de las condiciones radiológicas existentes en todos los puestos de trabajo.
 - La evaluación de las exposiciones en las zonas controladas y supervisadas.
 - El examen de la clasificación de las zonas en controladas y supervisadas.
 - b) Depender de los niveles de dosis equivalente y de la concentración de actividad, teniendo en cuenta las fluctuaciones previstas y la probabilidad y la magnitud de las exposiciones potenciales.

6. IDONEIDAD DEL HIGIENISTA

Teniendo en cuenta la definición de Cultura de la Seguridad, Colección Seguridad No. 75 – INSAG-4, OIEA, Viena , 1991. (Grupo Internacional Asesor Sobre Seguridad Nuclear), adaptada a instalaciones radiactivas: “ **Cultura de la seguridad es el conjunto de características y actitudes, en las entidades y los individuos que aseguran que, con carácter de máxima prioridad, las cuestiones de protección y seguridad reciben la atención que merecen en razón de su importancia**”.

Y textualmente, como características universales de dicha cultura:

- . *Conciencia individual* de la importancia de la seguridad
- . *Conocimientos y competencia*, impartidos por capacitación y adiestramiento del personal y por su autoformación
- . *Compromiso* que requiere la demostración por parte del alto nivel de conducción de que la seguridad tiene alta prioridad, y la adopción de un objetivo de seguridad común por todos los individuos.
- . *Motivación*, a través del liderazgo y la fijación de objetivos y sistemas de permiso y sanciones, y de actitudes auto-generadas en los individuos.
- . *Supervisión*, incluyendo prácticas de auditoria y revisión, y disposición para responder a las actitudes críticas de los individuos.
- . *Responsabilidad*, a través de la asignación y descripción formal de las funciones y su comprensión por parte de los individuos.

Es entonces, comprensible que la buena práctica de la evaluación del riesgo a radiaciones ionizantes, implica como elemento clave “una preocupación constante por la seguridad” que permita “una actitud esencialmente crítica, la evasión a falsas complacencias, la búsqueda constante de excelencia, y el estímulo del sentido de la responsabilidad personal y del autocontrol corporativo en materia de seguridad” y por tanto, es importante que las entidades o personas interesadas en prestar servicios de Protección Radiológica y de estudio de control de calidad en los Servicios Seccionales de Salud, deban cumplir, de acuerdo con la Resolución 9031 de 1990, con los requisitos siguientes:

- 1) Acreditar idoneidad profesional mediante título profesional (ingeniero o físico), con especialización en protección radiológica, en áreas de Radiofísica Sanitaria o en Higiene Industrial y acreditar una experiencia no menor a cinco (5) años en el área.
- 2) Contar con equipos y recursos físicos apropiados para la prestación de los servicios.
 - . La experiencia de trabajo en Protección Radiológica tendrá validez mediante certificación expedida por una institución de carácter oficial.
 - . La autorización para la prestación de servicios de Protección Radiológica a personas o entidades, puede únicamente ser expedida por el Ministerio de Salud y será válida en todo el Territorio Nacional.

Con el fin de propender por una verdadera cultura de la seguridad en el territorio nacional, es de extrema importancia que ninguna entidad de carácter oficial o privado contrate servicios de protección radiológica, con personas naturales o jurídicas que carezcan de las pertinentes licencias o autorizaciones de las autoridades competentes. **Dicha falta será sancionada por la correspondiente entidad de vigilancia y control.**

7. VIGILANCIA Y CONTROL

Le corresponde a los a la Dirección de Salud Ocupacional y Riesgos Profesionales del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, a través de las Secretarías Departamentales, distritales y Seccionales de Salud la vigilancia y control de radiaciones ionizantes emitidas por equipos energizados. Y al Ministerio de Minas y Energía a través de la Unidad de Energía Nuclear de INGEOMINAS, ejercer la vigilancia y control sobre todos los aspectos relacionados con la importación, tenencia, manejo, uso, almacenamiento, comercialización y transporte materiales radiactivos.

8. REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN

El presente reglamento Técnico para la evaluación de radiaciones ionizantes, estará sujeto a revisiones periódicas y a las actualizaciones pertinentes que tengan como origen la experiencia y retroalimentación permanente entre los entes comprometidos, afectados y autoridades competentes y en especial atendiendo a las recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIRP), a los cambios surgidos en Las Normas Internacionales y a investigaciones que sobre el tema se refieran por entes nacionales e internacionales.

La revisión y actualización de este Reglamento Técnico, es competencia del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, como entidad encargada de la Vigilancia y Control del cumplimiento de la normativa en Salud Ocupacional y Riesgos Profesionales. A partir de las entidades Prestadores de Servicios de Higiene Industrial, en lo relacionado con la evaluación de radiaciones ionizantes, obtendrán información para actualizar el contenido de este reglamento técnico.

Esta actualización se adquiere mediante la realización de actividades de Inspección, Vigilancia y Control como mecanismo para el fortalecimiento de los Sistemas de Vigilancia Epidemiológica y para el mejoramiento de las condiciones de trabajo y salud.

Se propone una periodicidad de tres años para hacer la revisión y actualización de este reglamento técnico con la participación de personal idóneo y el concepto de diferentes entidades relacionadas con el Sistema General de Riesgos Profesionales. Esta revisión se debe realizar en el marco de toda la legislación en Salud Ocupacional vigente en el momento.

La revisión y actualización debe comprender la verificación del cumplimiento de las funciones y responsabilidades de los entes territoriales en materia de evaluación de radiaciones ionizantes.

9. DEROGATORIA

El presente Reglamento Técnico deroga las disposiciones en la materia que le sean contrarias.

10. VIGENCIA

El presente Reglamento Técnico rige a partir de la fecha de su aprobación y publicación.

11. RÉGIMEN SANCIONATORIO

Las Autoridades Competentes: Unidad de Energía Nuclear – INGEOMINAS, Secretarías Departamentales, Distritales y Seccionales, podrán aplicar las sanciones que definan en su jurisdicción, en particular los términos establecidos en los artículos 49 y 50 de la Ley 10 de 1990, como lo dispone la Resolución 9031 de 1990, Artículo 29, y en cualquier caso de incumplimiento con la conformidad de las normas internacionales aceptables en la tenencia, manejo, uso, almacenamiento y comercialización de fuentes radiactivas u operación de equipos que emitan radiaciones ionizantes.

12. BIBLIOGRAFÍA

Annals of the ICRP

Radiological Protection of the Worker in Medicina and Dentistry.

Publicación 57 and 58.

UNCEAR

Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation

1988 Report.

Comisión Internacional de Protección Radiológica

Publicación ICRP No. 60

Recomendaciones 1990.

OIEA

Radiation Protection in Occupational Health, Manual for Occupational Physicians, Recommendations, Safety Series No. 83

VIENA, 1987.

OIEA

Normas Básicas de Seguridad para la Protección Contra la Radiación Ionizante y para las Seguridad de las Fuentes de Radiación, Colección Seguridad No. 115

1997.

OIEA

Normas Básicas de seguridad en materia de Protección radiológica, Colección Seguridad No. 9

VIENA, 1983.

Requeriments No. ST-1.

Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material

1996 Edition.

OIEA

Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos, Colección seguridad No.6

VIENA, 1985.

OIEA

Planificación y preparación de la respuesta a emergencias debidas a accidentes de transporte en los que intervengan materiales radiactivos. Colección Seguridad No. 87

VIENA, 1989.

OIEA

Recommendations for the Safe Use and Regulation of Radiation Sources in Industry, Medicine, Research and Teaching, S.S. No. 102

1990.

Pilar Infante Luna, Hector Gustavo Barreto Olmos.

Identificación de Actividades Económicas que Utilizan Material Radiactivo

1996, INEA-Seguro Social Protección Laboral, Administración de Riesgos Profesionales,

SocialMinisterio de Trabajo y Seguridad Social, ISS

Codigo de Salud Ocupacional Aplicable en el Régimen del Seguro

Seccional Antioquia. 1990.

BIBLIOGRAFÍA

Real Decreto 1891/1991.

Sobre instalación y utilización de aparatos de rayos X con fines de diagnóstico medico.

30 de diciembre de 1991

OIEA

Cultura de la Seguridad; Informe del Grupo Internacional Asesor en Seguridad Nuclear;, Colección Seguridad No. 75, INSAG-4

VIENA 1991.

OIEA

Emergency Planning and Preparedness for Accidents Involving Radioactive Materials Used in Medicine, Industry, Research and Teaching, Safety Series No. 91, Recommendations

VIENA, 1989.

OIEA

Objectives and Design Of Environmental Monitoring Programmes for Radiactive Contaminants. Safety Series No. 41

VIENA, 1975.

OIEA

Manipulación sin riesgos de los radionúcleidos. Colección Seguridad No.1

VIENA, 1973.

OIEA

Procedimientos de protección radiológica, Colección Seguridad No. 38

Viena, 1974

OIEA

Tratamiento y Evacuación de desechos radiactivos producidos por los usuarios de radioisótopos. Colección Seguridad No. 12

VIENA, 1966.

13. ANEXOS

- ANEXO 1. FORMULARIO TOMA DE DATOS DE MONITORAJE DE ÁREAS
- ANEXO 2. GUÍA DE CHEQUEO DE CUMPLIMIENTO CON REQUISITOS TÉCNICOS Y LEGALES PARA LA EVALUACIÓN Y CONCEPTO SOBRE CONDICIONES MEDIOAMBIENTALES DE UNA INSTALACIÓN RADIATIVA.
- ANEXO 3. GUÍA SOBRE CRITERIOS DE VALORACIÓN DE CONDICIONES MEDIOAMBIENTALES DE UNA INSTALACIÓN RADIATIVA.
- ANEXO 4. EVALUACIÓN Y CONTROL DE RADIACIONES IONIZANTES
- ANEXO 5. CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA DETECCIÓN Y CONTROL DE LA RADIACIÓN IONIZANTE.
- ANEXO 6. EFECTOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES EN LA SALUD

ANEXO 2

GUÍA SOBRE CRITERIOS DE VALORACIÓN DE CONDICIONES MEDIOMBIENTALES DE UNA INSTALACIÓN RADIATIVA

- 1) En la instalación se aplica alguna técnica o práctica que permitan clasificarla como Instalación Radiativa en cuanto a la existencia de equipos y/o isótopos emisores de radiaciones ionizantes.

Si no existe esta condición aplicar guía correspondiente a la condición de riesgo medio ambiental de la instalación.

- 2) La instalación radiactiva y/o las Prácticas llevadas a cabo en ellas disponen, según sea el caso, de la respectiva autorización y/o licencia de manejo de material radiactivo, importación o de transporte, concedidas por la autoridad competente.

Toda práctica que involucre el uso, operación, almacenamiento o comercialización de equipos o isótopos emisores de radiaciones ionizantes debe ser notificado y objeto de la autorización correspondiente concedida por la autoridad competente correspondiente (Secretarías departamentales, seccionales o del distrito de salud y/o de la Unidad de Energía Nuclear de INGEOMINAS).

- 3) La instalación radiactiva cuenta con un responsable con funciones de supervisión con la capacitación y aprobación de la Autoridad competente?

En toda instalación debe existir una persona con carné de oficial, supervisor u operador como responsable de la instalación.

- 4) Se tienen al día los diarios de operación y actas de revisión técnica periódica de los equipos?

Toda operación con fuentes radiactivas, exámenes de rayos X o que deriven la exposición a radiaciones ionizantes deben registrarse en un libro diario, estar al día y a disposición de las autoridades reguladoras.

- 5) En la instalación se aplican los principios para minimizar las exposiciones (alejamiento de la fuente, reducción del tiempo y número de personas, uso de blindajes, etc.)?.

En toda instalación radiactiva deben implantarse los principios de tipo técnico y administrativo y de comportamiento para minimizar las exposiciones.

- 6) Se conocen los niveles de radiación habitualmente existentes en la instalación?.

Los niveles de radiación en las áreas de trabajo deben medirse periódicamente y mantenerlos por debajo de los límites prefijados.

- 7) Se realizan mensualmente los controles dosimétricos individuales del personal ocupacionalmente expuestos?.

Es obligatorio el uso de dosímetro personal, archivar los resultados y tenerlos a disposición de las autoridades. (Res. No. 02400 de 22/05/1979, art.101).

- 8) Está regulado por la instalación y correctamente señalizado el acceso a las zonas controladas?

Los lugares de trabajo deben clasificarse y señalizarse en zonas controladas y zonas supervisadas, en función del riesgo.

- 9) Existe y se cumple un programa para la correcta gestión global de todos los residuos radiactivos que se generan en la instalación?

Debe llevarse a cabo un programa de gestión de residuos radiactivos.

- 10) Existen y son conocidas por los interesados las normas de actuación en casos de emergencia?

Deben establecerse planes de emergencia y procurar su divulgación entre las personas afectadas por él.

- 11) El personal ocupacionalmente expuesto recibe formación adecuada a sus responsabilidades, que les permita desarrollar sus tareas en forma segura?

Las personas expuestas deben conocer y ser conscientes de los riesgos y las medidas de prevención y control.

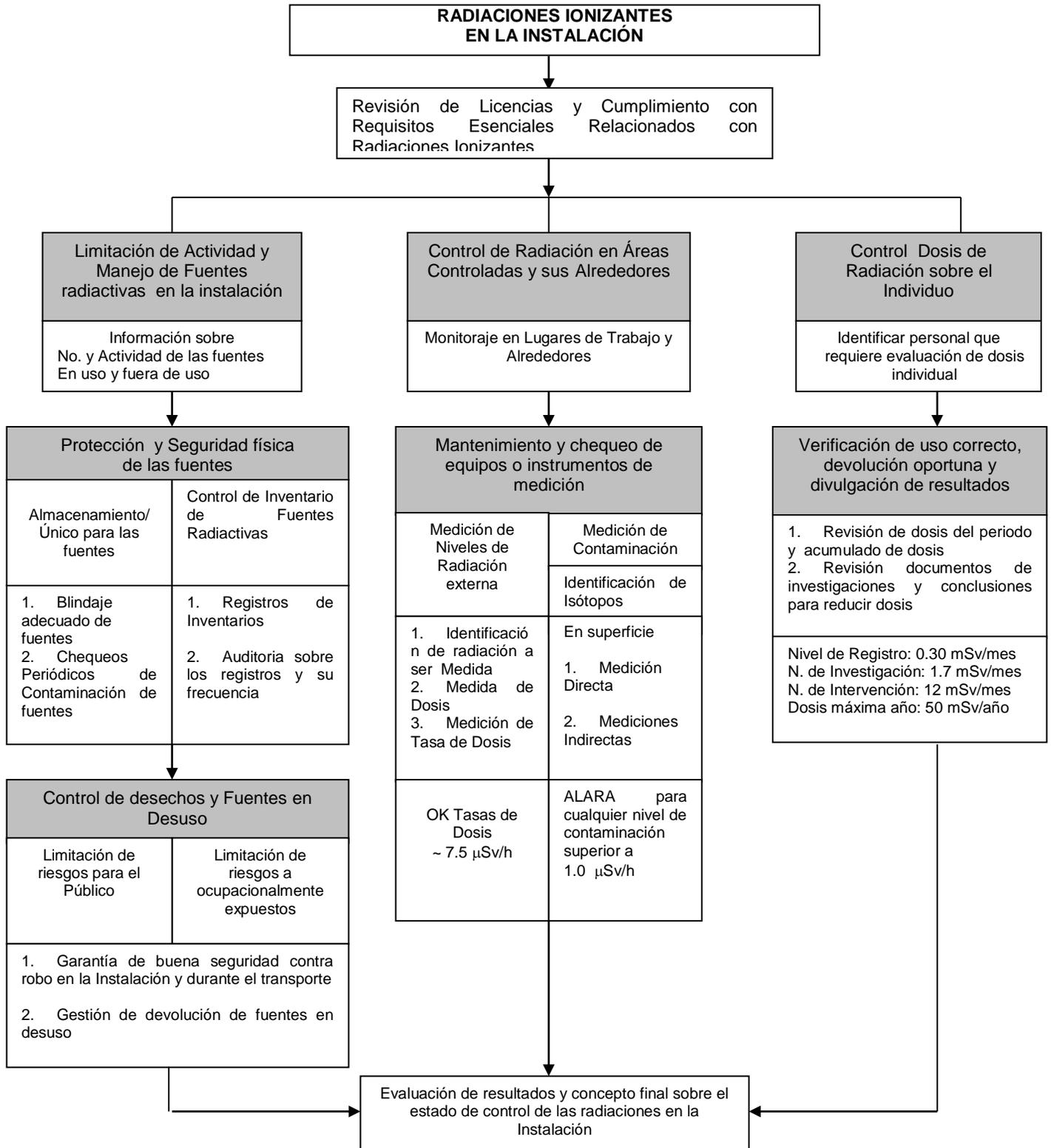
- 12) Se realizan reconocimientos médicos específicos y periódicos a los ocupacionalmente expuestos?

Debe efectuarse reconocimiento médico al inicio de las actividades en la instalación, al cesar el trabajo en ella y periódicamente, prestando especial cuidado en evitar la exposición de mujeres embarazadas o en su condición de estarlo.

ANEXO 3
CRITERIOS DE VALOREACIÓN DE CONDICIONES MEDIOAMBIENTALES DE UNA
INSTALACIÓN RADIACTIVA

MUY DEFICIENTE	DEFICIENTE	MEJORABLE
-Respuesta negativa a la cuestión 2 del Anexo 2. -Tres o más respuestas negativas a las cuestiones 3 a 12 del Anexo 2	Se cumplen aunque no de manera satisfactoria las cuestiones 3 a 12 del Anexo 2	Se cumple a cabalidad con todas las cuestiones del Anexo 2.
RESULTADO DE LA VALORACIÓN		
Señale cuales cuestiones del Anexo 2 no se cumplen completamente en la instalación radiactiva.	Señale cuales cuestiones del Anexo 2 no se cumplen a satisfacción.	Indicar cuales cuestiones del 2 al 12 presentan alguna deficiencia en su cumplimiento.
ACCIONES A TOMAR PARA CORREGIR DEFICIENCIAS DETECTADAS		

**ANEXO No. 4
EVALUACIÓN Y CONTROL DE RADIACIONES IONIZANTES**



ANEXO No. 5
CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA DETECCIÓN Y CONTROL DE LA RADIACIÓN IONIZANTE

En el siguiente cuadro, se presentan los equipos utilizados para la medición de radiaciones ionizantes y sus características más importantes en cuanto a radiación a medir, rango típico de medición, su uso Principal, ventajas y desventajas y observaciones sobre sus limitaciones¹⁰.

¹⁰ Safety Series Number 91, OIEA

CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA DETECCIÓN Y CONTROL DE LA RADIACIÓN IONIZANTE

TIPO DE INSTRUMENTO	RADIACIÓN MEDIDA	RANGO TÍPICO DE MEDICIÓN	USO PRINCIPAL	VENTAJAS	OBSERVACIONES
Dosímetros personales Lectura directa	X y Gamma	0-2 mSv 0-200 mrem 0-5 rem	Monitoreo personal	Bajo costo Tamaño pequeño y cómodo Ayuda al control de las exposiciones en tiempo real	Solamente proporciona medidas de dosis integradas
Dosímetros de película o TLD	B, X y Gamma	mSv o más 10 mrem o más	Monitoreo personal	Bajo costo Proporciona registro permanente	Solo puede ser leído en el laboratorio
Dosímetros con alarma	X y Gamma	0-500 mrem/h	Supervisión general en áreas	Bajo costo Posee señal audible de la intensidad del campo	Inexacto Buen instrumento cuando la exactitud no es esencial
Contadores Geiger-Muller	B, X y Gamma	1-100 mSv/h 0.1-100 rem/h 500-100.000 cpm	Medición de campos de radiación	Respuesta rápida	Fuente dependencia con la energía. Sensible a las microondas
Contadores de Centelleo	B, X y Gamma	0.1-200 mSv/h 0.01-20 rem/h 50-250.000 cpm	Especialmente utilizados para medir contaminación de baja energía	Respuesta rápida Alta sensibilidad	Frágil Costoso
Cámaras de Ionización	B, X y Gamma	0.03-5 Sv/h 3-500 rem/h	Supervisión general en áreas o en personal expuesto.	Baja dependencia con la energía	Respuesta lenta Baja sensibilidad Costoso
Contador proporcional a gas	Alfa	100-500.000 cpm	Monitoreo de la contaminación Alfa- Beta	Eficiente	Muy delicado
Equipos de contaje de laboratorio			Medición de muestras tomadas en áreas contaminadas para determinar contaminación		Muy preciso No miden en tiempo real
Muestreadores de aire			Monitoreo de contaminación del aire		Para utilizar con uno de los instrumentos adecuados mencionados anteriormente

ANEXO No. 6
EFFECTOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES EN LA SALUD

1. La célula

Todos los órganos del cuerpo humano se componen de tejidos, formados a su vez por células de diversos tipos. La célula viva, que es la unidad de nuestro complejo sistema biológico, es en sí misma una entidad sumamente complicada. Se compone de protoplasma, que es fundamentalmente agua que contiene una serie de compuestos, entre los que figuran sales inorgánicas, hidratos de carbono, grasas, aminoácidos y proteínas. Dentro de cada célula se encuentra un núcleo que contiene un número característico de cromosomas. Estos cromosomas portan el material genético, que es ácido desoxirribonucleico (ADN). El núcleo es esencial para la vida de la célula y para su reproducción. La porción de protoplasma que queda por fuera del núcleo recibe el nombre de citoplasma; contiene numerosas partículas, alimentos en disolución y enzimas que participan en su metabolismo. Una membrana rodea al núcleo y otra a toda la célula, y ambas ostentan propiedades selectivas de permeabilidad.

2. Acción de las radiaciones ionizantes sobre las células

Cuando las células absorben radiaciones ionizantes tiene lugar procesos de ionización y excitación. Los átomos y las moléculas ionizados y excitados se redisponen formando moléculas estables o inestables o bien radicales libres, con lo que se producen nuevas reacciones químicas con las moléculas contiguas. Estos cambios en cualquier parte de la complicada estructura de la célula pueden dar lugar a una serie de efectos nocivos, como son: inhibición de la división celular, anormalidad en las funciones de la célula, muerte de ésta o alteración de la estructura de los genes de las células reproductoras, que en definitiva podría dar lugar a cambios genéticos. El daño causado depende de la cantidad de energía absorbida, de la velocidad de absorción y del mecanismo seguido por ésta, y es acumulativo a lo largo de prolongados intervalos de tiempo.

2.1 Mecanismos de las radiolesiones y de su reparación

El mecanismo de las radiolesiones es un proceso complejo. La importancia relativa de aquella parte de la célula que haya sido atacada por las radiaciones determina el que célula resulte o no afectada. Por ejemplo, si una de las varias moléculas proteicas contenidas en la célula queda inactivada por efecto de las radiaciones, es posible que la célula sobreviva. En cambio, si la molécula afectada es el ADN, que es absolutamente esencial para las funciones celulares, el efecto podría ser letal. Corroboran claramente esta afirmación los resultados experimentales, según los cuales una célula haploide, que contiene una sola guarnición de cromosomas (genes), es más sensible a las radiaciones que una célula diploide de la misma especie, que contiene dos guarniciones cromosómicas.

La determinación exacta del daño producido se complica aún más a causa de otros factores, como son las relaciones mutuas entre las células de los tejidos, los procesos de regeneración de éstos y otras reacciones de carácter secundario. La regeneración de los tejidos puede tener lugar de dos formas: una es la restauración de las células parcialmente lesionadas y la otra es la sustitución de las células total o parcialmente lesionadas. Ahora bien, estos procesos de regeneración podrían ser afectados, a su vez, por los daños inducidos por las radiaciones en el propio mecanismo de restauración o reparación.

2.2 Acción directa e indirecta de las radiaciones

La acción directa de las radiaciones sobre las células o sobre determinadas moléculas de interés consiste en los procesos primarios de ionización o excitación que dan lugar a daños directos en

tales células o moléculas, independientemente de la naturaleza del medio circundante. Este efecto directo es fácil de observar en procesos como la inactivación de: a) enzimas en estado seco, b) esporas bacterianas, y c) células en estado húmedo congelado. Esta inactivación por acción directa se puede explicar por la teoría del blanco, en la que se supone que únicamente se originan efectos biológicos, cuando se producen una o más ionizaciones (impactos) en el punto sensible o en su inmediata proximidad. Esta teoría ha servido para explicar satisfactoriamente los cambios químicos inducidos por las radiaciones en las sustancias orgánicas, así como la inactivación de macromoléculas, virus y bacterias.

Los efectos indirectos se deben a la interacción de productos químicos intermedios que se originan en el medio acuoso de la célula. Interviene la producción del electrón hidratado (e^-_{aq}), H° , OH° , y H_2O_2 y otras especies reactivas. Estas se difunden a través del medio acuoso y reaccionan con las moléculas críticas contenidas en la célula. La manera en que la acción indirecta contribuye al efecto biológico queda claramente demostrada si se observa la reducción de radiosensibilidad que se produce cuando el medio contiene sustancias que eliminan estos radicales. El aumento de la sensibilidad por un factor de 2.5 aproximadamente, que se observa por lo regular cuando en el medio se halla presente oxígeno disuelto, a diferencia de las condiciones de ausencia del mismo, se atribuye a la mayor producción de peróxido de hidrógeno y de ciertos peróxidos orgánicos en presencia de oxígeno.

Los dos mecanismos anteriormente descritos no se excluyen mutuamente, antes bien, pueden resultar complementarios. Tanto en la acción directa como en la indirecta, se induce una cadena de reacciones químicas que puede dar lugar a un efecto biológico considerable. Partiendo de la base de estos mecanismos, son de esperar los resultados que se describen en los párrafos siguientes:

2.3 Relación dosis - efecto

- a) Para determinar cómo varía la respuesta al aumentar la dosis, se estudia generalmente el efecto de las radiaciones sobre alguna función biológica determinada, por ejemplo la supervivencia, y el resultado se representa gráficamente en forma de curva de supervivencia. Cuando la pérdida de actividad biológica se deba al paso de una partícula cargada a través del blanco biológico o por su proximidad, o cuando la inactivación de una molécula haya sido causada por un radical, la curva de supervivencia será exponencial. La inactivación de macromoléculas, virus y bacterias sigue este modelo.
- b) Cuando se requiere el paso de varias partículas ionizantes a través de los blancos sensibles (impactos múltiples), o hayan de quedar inactivados varios blancos antes de que pueda quedar afectada una función biológica determinada, es de esperar una curva de supervivencia exponencial sigmoidea. Estas curvas de supervivencia son corrientes en las células de los organismos superiores. La alteración de la capacidad reproductora en las células de los mamíferos, la frecuencia de las aberraciones cromosómicas y la supervivencia de los organismos en conjunto se ajustan a ese modelo. Es complicado expresar en términos cuantitativos las curvas de supervivencia correspondientes a estos sistemas, debido a la existencia de los mecanismos de reparación y de los demás factores que intervienen.
- c) Dosis idénticas de radiaciones de diferentes calidades y tipos darán lugar a efectos biológicos también diferentes, debido a los distintos valores de la transferencia lineal de energía (TLE) a lo largo de los recorridos de las diversas calidades y tipos de radiación (se define la TLE como la entrega de energía, por unidad de longitud, de una partícula ionizante que atraviesa un medio) y a la distribución de los sucesos primarios efectivos. En el caso de la inactivación molecular, viral y bacteriana, la Eficacia Biológica permanece constante para valores bajos de la TLE y decrece de un modo continuo en la región de valores altos de TLE. En las células de

REGLAMENTO TÉCNICO PARA EVALUACIÓN DE RADIACIONES IONIZANTES

los mamíferos, la eficacia biológica aumenta gradualmente con la TLE, alcanza un máximo en el caso de radiaciones muy intensamente ionizantes y decrece a continuación al seguir aumentando la TLE.

Del estudio de estos mecanismos resulta evidente que hay ciertos factores físicos que influyen sobre los efectos biológicos, como son el tipo, la calidad y la cantidad de la radiación, su distribución en el tiempo, su distribución en el organismo, y el que la fuente de radiación se encuentre en el exterior o en el interior de éste. Dependen también tales efectos de factores a su vez de carácter biológico, como son el grado de oxigenación y el contenido de agua de un tejido, y su estado metabólico. Cuando se trata de radionucleidos depositados internamente, la emisión de radiaciones va acompañada con frecuencia de efectos de retroceso o de transmutación en átomo que posee nuevas propiedades químicas. Por ejemplo, el P-32, incorporado se transmuta en S-32 y este cambio químico en un punto importante de una macromolécula puede tener serias consecuencias para la vitalidad de la célula.

La relación dosis - efecto difiere según los distintos tipos de efectos radiológicos en los organismos superiores y en el hombre. Los efectos genéticos están relacionados linealmente con la dosis de radiación: Otros efectos, como la producción de roturas en los cromosomas y la posterior adhesión o aglutinamiento de éstos, dependen directamente de la intensidad de dosis: el efecto es tanto mayor cuanto más elevada es la intensidad.

3. Efectos somáticos y genéticos

3.1 Efectos somáticos

Los efectos somáticos se refieren a aquellas lesiones experimentadas por las células, que afectan a la continuidad de las funciones del organismo, como sucede en el caso de las células sanguíneas y de la médula ósea. A continuación se enumeran algunos de los efectos somáticos originados por la exposición a radiaciones:

a) Efectos agudos locales

- 1) Lesiones de la piel, eritema, caída del cabello y necrosis de la piel y de los tejidos internos.
- 2) Esterilidad temporal o permanente, causada por irradiación de las gónadas.
- 3) Reproducción aminorada o anormal de tejidos proliferativos, como el epitelio del tracto gastrointestinal y el tejido hematopoyético.
- 4) Alteración de las funciones del sistema nervioso y de otros sistemas diferenciados.

b) Efectos agudos generalizados

Síndrome agudo de irradiación; ver cuadro

c) Efectos tardíos como consecuencia de una sola exposición intensa o de una exposición crónica

- 1) Lesiones crónicas de la piel, que pueden ser de carácter ulceroso o canceroso.

- 2) Cicatrices locales atróficas o procesos distróficos en órganos y tejidos expuestos a una irradiación intensa.
 - 3) Cataratas en el cristalino
 - 4) Osteosarcomas debidos a la irradiación del tejido ósea
 - 5) Cáncer de pulmón, causado por inhalación y depósito de sustancias radiactivas en los pulmones.
 - 6) Anemias aplásticas causadas por radiolesiones de la médula ósea.
 - 7) Leucemia, enfermedad maligna en la que aumenta el número de diferentes clases de glóbulos blancos de la sangre.
- d) Posibles efectos tardíos (observados en experimentos con animales, pero no en el hombre)
- 1) Acortamiento de la vida y envejecimiento prematuro.
 - 2) Mayor incidencia de los tumores

En que se refiere a los efectos agudos que se producen inmediatamente a causa de la exposición, se comprende bastante bien la relación entre dosis y efecto en la mayoría de los casos; en general, se pueden establecer la dosis y la intensidad de dosis mínimas que producirán un efecto apreciable. En cambio, por lo que respecta a los efectos tardíos, se conoce muy poco en la actualidad acerca de esta relación. Para que se produzcan determinados efectos, como el cáncer en la piel, de los huesos o del pulmón, o las cataratas, son necesarias dosis elevadas. En cuanto a otros efectos, como la anemia aplástica y la leucemia, no se sabe si existe en absoluto una dosis umbral.

3.2 Efectos genéticos

Los efectos genéticos se refieren a las lesiones de las gónadas que son causa de que se propaguen características genéticas a las generaciones siguientes. Como ya se ha indicado, los tejidos de las gónadas son más sensibles a las radiaciones. La irradiación de las células germinales puede causar mutaciones que se manifiesten en generaciones posteriores

Las mutaciones, una vez ocurridas, son permanentes. La gran mayoría de las mutaciones observadas son perniciosas. No se tienen pruebas concluyentes sobre si existe o no una dosis umbral para las mutaciones. Las dosis pequeñas podrían ser acumulativas y el resultado final no manifestarse hasta muchas generaciones más tarde.

EFFECTOS BIOLÓGICOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

Dosis agudas (rads)	Efectos posibles
0 - 25	Ninguna lesión evidente
25 - 50	Posibles cambios en la sangre, pero ninguna lesión grave,
50 - 100	Cambios en las células de la sangre, alguna lesión, ninguna invalidez
100 - 200	Lesión, posible invalidez
200 - 400	Certeza de lesión e invalidez, posible muerte
400 - 500	50% de mortalidad en 30 días
600 ó más	Probablemente mortal para el 95% de las víctimas

4. Fuentes de información sobre los efectos

- Experiencias de Nagasaki e Hiroshima
- Accidentes con radiaciones consecuencia de ensayos nucleares o de aplicaciones de la energía nuclear con fines pacíficos.
- Irradiación deliberada con fines terapéuticos, para el tratamiento de enfermedades malignas o como preparación para transplante de órganos.
- Información obtenida en experimentos con animales extrapolados al caso del hombre.

5. Mecanismos celulares básicos

Los efectos no estocásticos más importantes en los tejidos y órganos se deben a lesiones celulares y a la consiguiente pérdida de la capacidad reproductiva de las células embrionarias específicas de un órgano.

La integridad y funcionamiento de la mayor parte de los órganos y tejidos adultos dependen en parte de la reposición de células diferenciadas y esta respaldado por un equilibrio constante entre la formación, la proliferación, diferenciación y muerte de las células.

5.1 Ritmo de renovación celular

- ◆ **Sistemas de renovación rápida:** Días o semanas :*médula ósea, epitelio del tubo gastrointestinal, la piel y los testículos.*
- ◆ **Sistemas de renovación condicional:** las células supervivientes reemplazan rápidamente por proliferación a las células destruidas.
- ◆ **Renovación normalmente nula o lenta:** *hígado y riñón*
- ◆ **Sistemas estáticos:** no existe reemplazo por división celular; *células del sistema nervioso central.*

Los efectos aparecen más rápidamente en los sistemas de renovación rápida, puesto que la irradiación altera la cinética de la proliferación celular. Un factor importante en la dosis a la cual se producen destrucciones graves de los tejidos es la radiosensibilidad intrínseca de los blastocitos para la pérdida de su capacidad de proliferación y la aptitud de las células supervivientes para reparar los daños subletales.

Lo anterior se observa cuando las dosis de radiación se dividen en dos o más fracciones espaciadas temporalmente. la dosis total para matar un porcentaje determinado de células aumenta a medida que es mayor el número de fracciones o frecuencia de irradiación sobre un tejido.

5.2 Efectos localizados

Irradiación de la piel

Las reacciones iniciales de la piel son de distinto nivel y se denominan, por orden creciente de gravedad: *eritema*, *descamación seca*, *descamación húmeda*, *escariamiento en capas* y *ulceración crónica*; se deben a la despoblación celular de la capa basal del epitelio y el plazo de aparición es más o menos proporcional al de renovación de tejidos no irradiados

Especificar equipo, materiales y procedimientos empleados en la determinación de niveles de radiación en instalaciones de Radiodiagnóstico, Radioterapia, Medicina Nuclear, Radioinmunoanálisis, e investigación y aplicaciones industriales.

Indicar procedimientos a seguir en la detección de contaminación y medición de niveles de radiación, para la evaluación y estudio de las condiciones de seguridad de una instalación que involucre el riesgo de radiación ionizante y/o de incorporación de sustancias radiactivas al organismo.

Reunir elementos de juicio que permitan la emisión de concepto técnico, en cuanto al cumplimiento de normas básicas de protección radiológica, con fines de licenciamiento y existencia legal del ente natural o jurídico, que maneje, use, almacene, transporte o de cualquier manera tenga en su poder material radiactivo o disponga para su operación equipos emisores de radiaciones ionizantes

Este reglamento representa una guía de utilidad para los profesionales y técnicos en las áreas de Higiene Industrial, que realicen evaluaciones de radiaciones ionizantes.



Participe 28 de Julio, Día Nacional de la Salud en el Mundo del Trabajo

Dirección General de Salud Ocupacional y Riesgos Profesionales
Carrera 7 No. 32-16 Piso 16

Teléfonos: 3500161 – 56128557

Línea de información al usuario desde Bogotá: 3500138

Para el resto del país: 9800-916530

Página web: www.mintrabajo.gov.co

Correo electrónico: atencionusuario@mintrabajo.gov.co