

Guía de Seguridad 5.14

Seguridad y protección radiológica de las instalaciones radiactivas de gammagrafía industrial

Madrid, 8 de octubre de 1998

© Copyright Consejo de Seguridad Nuclear, 1998

Publicado y distribuido por:
Consejo de Seguridad Nuclear
Justo Dorado, II. 280040 Madrid
<http://www.csn.es>
Peticones@csn.es

Imprime: Grafoffset, S.I
c/ Herreros, 14. Getafe (Madrid)

ISBN: 84-87275-91-5
Depósito legal: M. 6.464-1999



Impreso en papel reciclado

Índice

1	Introducción.	7	
	1.1. Objeto	7	
	1.2. Ámbito de aplicación	7	
2	Requisitos generales.	7	
3	Requisitos de equipos y fuentes.	7	
	3.1. Requisitos del equipo	8	
	3.2. Requisitos de la fuente radiactiva	9	
4	Requisitos de las instalaciones fijas	9	
5	Requisitos para los recintos de almacenamiento de gammágrafos	11	
6	Verificaciones y mantenimiento	13	
7	Medios de vigilancia y protección radiológica	14	
	7.1. Sistemas de vigilancia personal	14	
	7.2. Monitores de radiación	17	
	7.3. Medios de protección radiológica.	18	
8	Optimización de la protección radiológica.	18	
9	Vigilancia médica	20	
10	Formación y entrenamiento del personal	21	
11	Diarios de operación e informes periódicos.	22	
12	Reglamento de Funcionamiento y Plan de Emergencia .	23	
Anexos			
	Anexo A. Certificados de verificación del gammógrafo (contenedor y telemando).	24	
	Anexo B. Reglamento de Funcionamiento.	26	
	Anexo C. Plan de Emergencia	52	
Definiciones			57
Referencias bibliográficas			59

Prólogo

Las instalaciones radiactivas donde se utilizan equipos de gammagrafía industrial requieren una autorización en base a lo establecido en el Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas. Para obtener esta autorización se deben presentar una serie de documentos, que se podrán elaborar siguiendo lo recogido en la Guía de Seguridad GS-5.2. Entre los citados documentos cabe destacar, por su relevancia en el funcionamiento de la instalación radiactiva, el Reglamento de Funcionamiento y el Plan de Emergencia; estos documentos son fundamentales para que con su cumplimiento se logren unas condiciones óptimas de seguridad desde el punto de vista radiológico, en el funcionamiento de la instalación.

El Reglamento sobre Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes establece unos objetivos a alcanzar y unas medidas de protección radiológica, con carácter general, que deben ser aplicadas a estas instalaciones radiactivas. La experiencia adquirida sobre el funcionamiento de estas instalaciones, que por su particularidad suponen unos riesgos radiológicos, demanda una especial atención en cuanto a los requisitos a cumplir en materia de seguridad y protección radiológica.

Por parte de este Consejo de Seguridad Nuclear se ha elaborado la presente Guía, con objeto de facilitar a los titulares de este tipo de instalaciones radiactivas el cumplimiento de los requisitos a aplicar desde el punto de vista de la seguridad y la protección radiológica, así como para servir de ayuda en la elaboración de la documentación preceptiva y en particular en lo referente a los documentos “Reglamento de Funcionamiento” y “Plan de Emergencia”, donde se desarrollan los procedimientos para operar con estos equipos de forma segura.

1. Introducción

Objeto

La presente Guía tiene como objeto establecer recomendaciones en materia de seguridad y protección radiológica relativas a instalaciones de gammagrafía industrial.

Ámbito de aplicación

Esta Guía es aplicable a las instalaciones radiactivas en las que se almacenen o manipulen equipos de gammagrafía industrial.

2. Requisitos generales

El funcionamiento de las instalaciones de gammagrafía industrial se debe ajustar a lo establecido en la legislación vigente en materia de seguridad y protección radiológica así como en los condicionados impuestos en las autorizaciones preceptivas. Asimismo deberá atenderse al contenido de la documentación presentada para obtener las citadas autorizaciones.

Las recomendaciones establecidas en la presente Guía tienen como finalidad primordial, servir de ayuda a los titulares de las instalaciones radiactivas de gammagrafía industrial en el correcto cumplimiento de los citados requisitos generales, de carácter obligatorio.

3. Requisitos de equipos y fuentes

A los efectos de esta Guía, un equipo para realizar gammagrafía industrial se compone en esencia de las siguientes unidades:

- a) Fuente radiactiva encapsulada acoplada en el extremo de un cable flexible, denominado cable portafuentes.
- b) Contenedor blindado, para almacenamiento de la fuente.

- c) Elementos auxiliares como son, el telemando, el tubo guía o manguera y la posible extensión del mismo.

Un caso particular lo constituyen los equipos de gammagrafía denominados “Crawler”, que se utilizan para radiografiar soldaduras en tuberías. Estos equipos disponen de un vehículo autopropulsado donde va acoplado un contenedor que alberga una fuente radiactiva encapsulada (generalmente Iridio-192), un sistema que permite el desplazamiento del portafuentes tanto a la posición de operación como a la de almacenamiento, y un sistema de control.

El “Crawler” es activado y controlado por el operador de radiografía a través de una fuente radiactiva encapsulada de baja actividad, normalmente de Cesio-137, que se encuentra alojada en el interior de un contenedor blindado y colimado.

Requisitos del equipo

- Los equipos de gammagrafía industrial deberán estar diseñados, en general, de acuerdo a lo recogido en la norma internacional ISO 3999 (1), o equivalente.
- Se deberá disponer del certificado de aprobación del prototipo del equipo, emitido por la autoridad competente en el país de origen del mismo, así como de un certificado de control de calidad en correspondencia con el equipo, emitido por el fabricante.
- El contenedor nunca albergará fuentes radiactivas de distinta naturaleza, ni actividad superior, para la que ha sido diseñado.
- En el exterior de los equipos figurará información suficiente que permita conocer en todo momento sus características fundamentales en lo relativo al diseño, fabricante y contenido radiactivo, y se señalará de conformidad al distintivo básico recogido en la correspondiente norma UNE 73-302 (2).
- Los contenedores de estos equipos portátiles, considerando las fuentes radiactivas y la actividad que incorporan, generalmente deben cumplir los requisitos para el transporte de un bulto tipo B(U) especificados en la regla-

mentación vigente para el transporte de mercancías peligrosas (3), así como disponer del correspondiente certificado y, si procede, de la convalidación del mismo en España.

Requisitos de la fuente radiactiva

- La fuente radiactiva deberá estar diseñada de acuerdo con la norma ISO 2919 (4) y su clasificación debe ser, al menos, la que figura en la citada norma para esta actividad.
- Se deberá disponer de un certificado de actividad y hermeticidad de la fuente radiactiva, emitido por el fabricante.
- Se considera conveniente que las fuentes estén encapsuladas como “material radiactivo en forma especial”, de acuerdo a la reglamentación vigente para el transporte de mercancías peligrosas. En tal caso se dispondrá del correspondiente certificado de aprobación.

4. Requisitos de las instalaciones fijas

Se consideran instalaciones fijas aquellos recintos blindados donde se efectúan actividades de radiografía industrial.

Recinto blindado (búnker) es todo espacio cerrado y construido para contener la radiación ionizante y proporcionar suficiente protección a las personas en las zonas contiguas (5).

En estas instalaciones el puesto de control estará situado en el exterior del recinto blindado.

El diseño de estas instalaciones incluye consideraciones sobre blindaje, accesos, enclavamientos de seguridad, monitor de radiación, señalizaciones y alarmas, con objeto de dar cumplimiento a lo establecido en el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes (6) en particular, en lo referente a los límites de dosis y a la optimización de las mismas.

Para el diseño del blindaje se deberá considerar lo siguiente:

- Condiciones máximas de funcionamiento (actividades máximas).
- Dirección del haz directo para el cálculo de la barrera primaria.
- Radiación dispersa y de fuga para el cálculo de la barrera secundaria (con especial atención en este punto a las instalaciones sin techo).
- Penetraciones, puertas o accesos, disposición del blindaje y otras características de diseño, que puedan suponer fugas de radiación.

En el diseño de estos recintos se deberá asegurar que:

- La zona exterior al recinto blindado sea una zona vigilada o de libre acceso.
- En el caso de que la zona exterior al recinto blindado sea una zona de libre acceso, fuera de la propiedad del titular de la instalación, la tasa de dosis en la superficie exterior al recinto no superará $2,5 \mu\text{Sv/h}$. Si la zona circundante al recinto blindado está dentro de la propiedad del titular, éste podrá definir la zona vigilada o de libre acceso dependiendo de los factores de ocupación y uso, de manera que no se superen los límites de dosis fijados en el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes (6).

Como orientación, el cálculo de estos blindajes se podrá realizar de acuerdo al procedimiento recogido en la norma BS 4094 parte 1 (7).

El diseño de los sistemas de seguridad de la instalación radiactiva, contemplará los siguientes criterios:

- Se dispondrá de enclavamientos que impidan la apertura de puertas o accesos durante la exposición.
- Al menos una puerta podrá ser abierta desde el interior.
- La unidad de control deberá estar colocada en una posición desde la que se vea fácilmente la puerta de acceso. El resto de accesos no visibles no podrán ser abiertos desde el exterior.

- Existirá una señal roja de advertencia, en el exterior de la puerta de acceso, que se mantendrá encendida cuando comience la irradiación con la fuente, hasta la recogida de la misma. Junto a la señal deberá existir un cartel que explique su significado.
- El sistema de enclavamiento y la luz de advertencia deberán ser independientes, de manera que el fallo de uno no implique el del otro.
- En el caso de recintos blindados de gran tamaño sería conveniente disponer de una señal sonora que avise que va a comenzar la irradiación.
- Deberá existir un detector de radiación fijo en el interior del recinto blindado a la entrada al mismo. Los enclavamientos y señalizaciones luminosas de emergencia pueden estar conectadas a este detector.

Los sistemas de seguridad anteriormente mencionados podrán ser sustituidos por otros distintos siempre y cuando éstos proporcionen una seguridad equivalente.

5. Requisitos para los recintos de almacenamiento de gammágrafos

11

Los recintos de almacenamiento para los gammágrafos podrán estar ubicados en la sede central de la instalación radiactiva o en las distintas delegaciones que ésta posea y deberán cumplir los siguientes requisitos:

- Disponer de acceso controlado (con cerradura).
- La puerta de acceso se señalizará de acuerdo con el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes (6) y con la correspondiente norma UNE 73-302 (2).
- No colindar con otras entidades que desarrollen actividades con riesgo de incendio o explosión y preferentemente se situará en sótanos.
- El acceso de los equipos a la instalación debe ser independiente del utilizado en el mismo edificio por otras entidades.

- Siempre que sea posible, estos almacenamientos se establecerán en una zona calificada como industrial.
- En la construcción de estos recintos se emplearán materiales resistentes al fuego. Asimismo, existirán extintores de fuego.
- En las superficies de las dependencias de la instalación que colinden con el recinto de almacenamiento, la tasa de dosis será como máximo $2,5 \mu\text{Sv/h}$.

Para calcular el espesor del blindaje necesario en estos recintos, se tendrá en cuenta la radiación de fuga producida por los gammágrafos, para la carga máxima que se tenga prevista albergar en el almacén. Este blindaje asegurará que la tasa de dosis en las dependencias de la instalación que colinden con el recinto de almacenamiento son las especificadas en el párrafo anterior.

Como orientación, el cálculo de estos blindajes se podrá realizar de acuerdo al procedimiento recogido en la norma BS 4094 parte 1 (7).

- El recinto de almacenamiento no deberá estar ocupado habitualmente por personas, es decir, no deberán existir en él puestos de trabajo fijos.
- En el recinto de almacenamiento no se realizarán, ni tan siquiera ocasionalmente, operaciones que puedan conllevar riesgo de explosión o incendio. En él no se almacenará material inflamable o explosivo.

Además de estos recintos de almacenamiento, se contemplará la posibilidad de almacenamientos temporales a pie de obra. Previamente al desplazamiento de equipos a obra es recomendable que se concierte con el cliente la preparación de un recinto con las características adecuadas. Estos almacenamientos a pie de obra, deberán cumplir los siguientes requisitos:

- Deberán estar ubicados siempre dentro de instalaciones con acceso controlado.
- Deberán disponer de acceso controlado (con cerradura) y debidamente señalizados de acuerdo con el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes (6) y la correspondiente norma UNE 73-302 (2).

- La tasa de dosis en el exterior del recinto no superará los 2,5 $\mu\text{Sv/h}$.
- Los materiales de construcción de estos recintos deberán ser resistentes al fuego. En estos recintos no se almacenará material inflamable o explosivo.
- Se situarán alejados de puntos peligrosos (sala de calderas, hornos, depósitos de gases o líquidos combustibles, transformadores eléctricos...).
- Los vehículos de transporte no se utilizarán como recintos de almacenamiento de gammágrafos, pudiendo permanecer en el interior de los vehículos únicamente durante cortos intervalos de tiempo y siempre en tránsito.

6. Verificaciones y mantenimiento

Las verificaciones periódicas que desde el punto de vista de la seguridad y protección radiológica se deberán llevar a cabo en las diferentes partes que constituyen un equipo de gammagrafía son las siguientes:

- a) Sobre la fuente radiactiva. Se realizarán pruebas de hermeticidad a las fuentes radiactivas de los equipos en uso, con la periodicidad que se fije en la correspondiente autorización y siempre tras cualquier incidente que hubiera podido afectar a su integridad. En el caso de las fuentes de Iridio-192 sólo será necesaria la prueba de hermeticidad tras un incidente que pudiera haber afectado a su integridad. Estas pruebas serán realizadas por entidades autorizadas y siguiendo las recomendaciones establecidas en la Guía de Seguridad GS-5.3 (8). Como resultado de estas pruebas se emitirá el correspondiente certificado de hermeticidad.
- b) Sobre el contenedor y telemando. Las revisiones a realizar sobre estos componentes son las recogidas en el certificado de asistencia técnica del Anexo A de la presente Guía.
- c) Verificación del estado de las mangueras con objeto de comprobar si presentan abolladuras o cortes que puedan afectar a la seguridad. La revisión

de estas mangueras (tubo-guía) puede ser realizada por los propios usuarios previamente a la realización de una operación gammagráfica.

En el caso de los equipos de gammagrafía tipo "Crawler" se realizarán, por un servicio de asistencia técnica, las verificaciones y comprobaciones que sean aplicables de las anteriormente expuestas, así como las establecidas por el fabricante de dichos equipos.

Tras las verificaciones y comprobaciones realizadas por un servicio de asistencia técnica, éste emitirá un certificado del equipo de gammagrafía propiamente dicho (contenedor) y un certificado del telemando. Estos certificados deben contener al menos los datos que figuran en el citado Anexo A.

Además de las revisiones que deben ser efectuadas por el servicio de asistencia técnica, el usuario puede efectuar, a períodos más cortos, verificaciones sobre los distintos componentes del gammógrafo. En tal caso deberá establecerlo en el Reglamento de Funcionamiento de la instalación, desarrollando los procedimientos correspondientes.

7. Medios de vigilancia y protección radiológica

Sistemas de vigilancia personal

7.1.1. Dosimetría individual. Aquellos trabajadores que sean clasificados como profesionalmente expuestos estarán provistos de un sistema dosimétrico personal para la determinación de dosis individuales. Estos dosímetros individuales (o dosimetría oficial) medirán dosis externa, representativa de la dosis para la totalidad del organismo durante toda la jornada laboral.

Este tipo de dosimetría individual será efectuada por entidades o instituciones expresamente autorizadas por el Consejo de Seguridad Nuclear para tal fin (art. 30 del Reglamento sobre Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes) (6).

Las dosis recibidas por los trabajadores profesionalmente expuestos deberán determinarse, cuando las condiciones de trabajo sean normales, con una periodicidad no superior a un mes para la dosimetría externa.

Se dispondrá de un historial dosimétrico para cada trabajador profesionalmente expuesto donde se registrarán las dosis recibidas durante toda su vida laboral. Dicho historial estará en todo momento a disposición del trabajador y en el caso de que éste cese en su empleo, el titular de la empresa deberá proporcionarle una copia certificada del mismo.

Cualquier trabajador clasificado como profesionalmente expuesto, empleado de forma permanente o temporal por una empresa de gammagrafía que efectúe una intervención de cualquier carácter en zona controlada de una instalación radiactiva o nuclear con distinta titularidad de la empresa de gammagrafía, deberá tener asignado un documento individual de seguimiento radiológico (Carné Radiológico).

Dicho Carné Radiológico deberá estar cumplimentado y continuamente actualizado por la empresa de gammagrafía a la que pertenezca el trabajador.

Este documento individual para seguimiento radiológico de los trabajadores deberá comprender los aspectos que se definen en el artículo 7 del R.D. 413/1997 sobre protección operacional de trabajadores externos con riesgo de exposición a radiaciones ionizantes por intervención en zona controlada (9).

7.1.2. Dosímetros de lectura directa. Adicionalmente a los dispositivos de dosimetría oficial, los trabajadores profesionalmente expuestos pertenecientes a instalaciones de gammagrafía industrial deben utilizar dosímetros de lectura directa que proporcionen una indicación inmediata de las dosis de radiación recibidas por el usuario, para mejorar el control de las exposiciones a radiaciones ionizantes y conseguir una reducción en las dosis individuales.

El número de estos dosímetros disponibles en la instalación radiactiva, será acorde con el número de gammágrafos y el de trabajadores profesionalmente expuestos.

Se utilizarán dosímetros de lectura directa con las siguientes características:

- Detección y medida de la radiación de tipo X y gamma.
- Respuesta adecuada para el tipo de radiación que se pretende medir.
- Medida de dosis acumulada al menos en el intervalo comprendido entre 0,01 mSv a 100 mSv para el caso de fotones.
- Estar provisto de alarmas acústicas, siendo aconsejable valorar, en ambientes de trabajo donde el nivel de ruido pudiera interferir, que también estén provistos de alarmas luminosas. El establecimiento de los niveles de alarma estará restringido a personal autorizado por la empresa. Este nivel de alarma podría ser fijado en 5mSv/h.

No se considera adecuada la utilización de dosímetros de cámara de ionización tipo pluma, dada la baja fiabilidad de las lecturas que éstos proporcionan.

Periódicamente se debe efectuar una verificación y calibración de los dosímetros de lectura directa con objeto de asegurar la fiabilidad y precisión del sistema utilizado para medida de dosis.

La periodicidad para efectuar estas verificaciones debe ser establecida siguiendo las recomendaciones del fabricante, o en su defecto, al menos una vez al año, y siempre después de la reparación de cualquiera de estos dispositivos.

Periódicamente deben someterse estos instrumentos a procesos de calibración por un laboratorio de calibración que posea un certificado de acreditación de trazabilidad metrológica expedido por el Laboratorio Metrológico de Radiaciones Ionizantes del CIEMAT, en calidad de laboratorio asociado legalmente reconocido por el Centro Español de Metrología como depositario de los patrones primarios de referencia del Estado Español (según lo establecido en el Real Decreto 533/1996) (10).

La periodicidad con que serán sometidos a procesos de calibración estos instrumentos será la establecida por el Laboratorio Metrológico.

■ Monitores de radiación

En la instalación se dispondrá de monitores de radiación, en número suficiente, considerando que:

- Las instalaciones de gammagrafía fijas tienen que disponer de un monitor de radiación fijo dentro del búnker de operación, según lo indicado en el apartado 4 de esta Guía. Además, siempre que se acceda al búnker de operación, se deberá ir provisto de un monitor de radiación portátil.
- En las instalaciones con recintos de almacenamiento de gammágrafos, siempre que se encuentre algún equipo almacenado, deberá existir, al menos, un monitor de radiación.
- En gammagrafía móvil todo equipo en funcionamiento debe ir acompañado de un monitor de radiación portátil.

Se utilizarán monitores de radiación con las siguientes características:

- Respuesta adecuada para el tipo de radiación que se pretende medir.
- Medida de tasas de dosis al menos en un rango comprendido entre 0-10mSv/h (0-1rem/h).
- Indicación de fuera de escala para rangos de tasa de dosis entre 10 mSv/h y 1.000mSv/h.
- En la gammagrafía móvil, este sistema de detección y medida de las radiaciones ionizantes se elegirá teniendo en cuenta la durabilidad y resistencia del equipo en condiciones atmosféricas adversas, así como la manejabilidad del mismo, y la posibilidad de uso en ambientes con condiciones pobres de luz o en oscuridad.

Estos instrumentos deben someterse periódicamente a procesos de calibración y verificación, efectuados según lo establecido en el punto anterior para el caso de los dosímetros de lectura directa.

Medios de protección radiológica

Los medios de protección radiológica a tener en cuenta en operación normal son:

- Elementos para la acotación y señalización de zonas (cintas, cuerdas, carteles. . .).
- Tablas o gráficas donde el operador pueda relacionar los parámetros que influyen en la calidad del trabajo (actividad de la fuente, tiempos de exposición, material y espesor de la pieza a radiografiar...).
- Tablas o gráficas donde el operador pueda relacionar los parámetros que influyen en la protección radiológica (actividad de la fuente, distancia, blindajes...).
- Colimadores.

En caso de emergencia los sistemas de protección radiológica a tener en cuenta serían los siguientes:

- Telepinzas o pinzas de mango largo.
- Tenazas.
- Tejas de plomo.
- Contenedor apropiado para la fuente radiactiva.

8. Optimización de la protección radiológica

Uno de los objetivos a abordar de forma inmediata es la optimización de la protección radiológica en lo relativo a la exposición externa de los trabajadores, mediante la implementación del concepto ALARA dentro de los programas operacionales de protección radiológica, cuya finalidad es la reducción de las dosis individuales de los trabajadores a niveles tan bajos como sea razonablemente posible (teniendo en cuenta factores económicos y sociales).

En el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes, ya aparecen definidos los objetivos perseguidos por el concepto ALARA (6).

De forma simplificada, se puede resumir, que el objetivo perseguido en la optimización de la protección radiológica consiste, una vez justificada una práctica, en utilizar todos los recursos posibles, de forma que los riesgos sean lo más reducidos posibles tanto para el trabajador como para la población.

La implementación de la optimización de la protección radiológica tomaría como partida el análisis de los siguientes aspectos:

- Reducción del tiempo de exposición asociado a la ejecución de la práctica. Para ello se debe estudiar el empleo de placas más rápidas y la preparación de los trabajadores mediante ejercicios de entrenamiento, con objeto de evitar el riesgo de repetición de trabajos de forma total o parcial debido a que no han sido ejecutados conforme a lo esperado.
- Realización de un análisis de las dosis individuales asociadas a los diferentes tipos de trabajos o tareas, con la ayuda de los sistemas de dosimetría de lectura directa. Esto permitirá identificar las dosis individuales asociadas a cada tipo de trabajo, teniendo en cuenta las técnicas empleadas, los tiempos de exposición y la pericia del operador. Magnitudes todas ellas de las que se puede extraer información que permita llevar a cabo un análisis orientado a la reducción de dosis individuales y al conocimiento del riesgo radiológico asociado a cada uno de los diferentes trabajos o tareas.
- Optimizar el número de personas involucradas en la ejecución de la práctica, de forma que no haya más de las estrictamente necesarias.
- Tener en consideración “restricciones de dosis”, debido a que una exposición sistemática de los trabajadores a niveles de dosis cercanos al límite establecido estaría cercana a una situación de riesgo inaceptable.
- Realización de planes de formación básicos en protección radiológica y planes de reentrenamiento, en los que se incluyan líneas básicas del programa ALARA aplicado a las prácticas.

La implementación de la optimización de la protección radiológica ocupacional (a través del concepto ALARA), implica no solamente realizar un esfuerzo en el sentido de

estudio, análisis y adaptación de los aspectos anteriores en la práctica normal de trabajo, sino también adoptar un compromiso dentro de la organización de la empresa para llevar a cabo la plena aplicación de los criterios ALARA, integrando desde la cúpula de gestión de la empresa a la organización de los trabajadores y a los propios trabajadores mediante motivación o establecimiento de objetivos a cumplir.

El análisis de los aspectos arriba enunciados debe concluir con el establecimiento de modificaciones en la práctica operacional, de forma que se reduzcan las exposiciones con un costo razonable. Para ello se definirán unas restricciones operacionales de dosis asociadas a los distintos tipos de prácticas a realizar, que aseguren que las exposiciones ocupacionales están tan lejos, por debajo, de los límites establecidos por la legislación, como sea razonablemente posible.

Estas actuaciones irán encaminadas a asegurar una reducción de las dosis individuales en el personal profesionalmente expuesto, y evitar riesgo de sobreexposiciones o de niveles de dosis cercanos a los límites de dosis establecidos en el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes (6).

9. Vigilancia médica

Los trabajadores profesionalmente expuestos que desarrollan actividades en instalaciones de gammagrafía industrial deberán estar sometidos a exámenes de salud y revisiones médicas establecidas a tal efecto en el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes (6) y desarrolladas en la Guía de Seguridad GS-7.4 (11).

Previamente a ser incorporado a un puesto de trabajo que implique riesgo de exposición, el trabajador debe ser sometido a un examen de salud que permita comprobar que no se halla incurrido en ninguna de las incompatibilidades legalmente determinadas y decidir su aptitud para el trabajo al que se le destina.

Durante el ejercicio de su trabajo, los trabajadores profesionalmente expuestos estarán sometidos, además, a exámenes de salud que permitan comprobar que siguen siendo aptos para ejercer sus funciones. Estos exámenes se realizarán una vez al año o más fre-

cuentemente si lo hiciera necesario el estado de salud del trabajador, sus condiciones de trabajo o los incidentes que puedan ocurrir.

La vigilancia 'médica de los trabajadores profesionalmente expuestos será realizada por un servicio médico especializado, propio o contratado, con capacidad oficialmente reconocida a estos efectos por el órgano de la Comunidad Autónoma competente en materia de sanidad.

El servicio médico especializado emite, tras el reconocimiento médico anual del trabajador, el correspondiente certificado de aptitud, el cual debe ser registrado junto con el historial dosimétrico del trabajador profesionalmente expuesto.

10. Formación y entrenamiento del personal

De acuerdo con el Título V del Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas (12) para dirigir el funcionamiento de la instalación existirá, como mínimo, un supervisor provisto de la licencia reglamentaria. Los equipos de gammagrafía sólo podrán ser manipulados por personal provisto de licencia de operador o supervisor.

La empresa se hará cargo de la correspondiente formación e instrucción de los trabajadores expuestos, aprendices, estudiantes etc, en el ámbito de la protección radiológica.

Se deberá cumplir todo lo relacionado con formación, información e instrucción en materia de protección radiológica a un nivel adecuado, atendiendo a la responsabilidad y al riesgo de exposición radiológica en el puesto de trabajo, siguiendo lo establecido en el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes (6).

Se recomienda llevar a cabo el entrenamiento del personal mediante la realización de ejercicios prácticos que reflejen operaciones propias de situación normal y de emergencia. El objetivo de estas acciones irá dirigido a aumentar la pericia del trabajador en el desarrollo de una práctica para reducir los tiempos de exposición, así como a conseguir que el trabajador conozca de forma clara las actuaciones a llevar a cabo en caso de emergencia. En este mismo sentido, sería aconsejable que se estableciera un programa de las inspecciones periódicas sobre el trabajo de los radiógrafos.

11. Diarios de operación e informes periódicos

El cumplimiento de lo establecido en los artículos 77 y 78 del Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas (12) se podrá llevar a cabo siguiendo la Guía de Seguridad GS-5.8 (13). Para este tipo de instalaciones, deberá cumplimentarse un diario de operación general que reflejará, al menos:

- Desplazamientos de los equipos radiactivos.
- Cambios de las fuentes, señalando el destino de las fuentes fuera de uso y el origen de las nuevas.
- Datos sobre la vigilancia radiológica en los almacenamientos de la instalación.
- Resultados de las verificaciones y calibraciones de los detectores de radiación.
- Resultados de las pruebas periódicas de hermeticidad de las fuentes. (No aplicable a Iridio-192).
- Revisiones de los equipos radiactivos y sus accesorios, tanto las efectuadas por el servicio de asistencia técnica externo como en la propia instalación (podrá hacerse referencia a certificados o partes de trabajo).
- Incidencias ocurridas en la instalación. Entre éstas deberán considerarse también las que afecten a los dosímetros personales.
- En el caso de instalaciones que dispongan de un búnker de operación, también se recogerán en este diario los resultados de las verificaciones periódicas de los sistemas de seguridad del búnker y de su vigilancia radiológica.

Además del diario de operación general, se dispondrá de Uno por cada equipo móvil, donde se anotarán los datos relativos a las operaciones que se lleven a cabo: fecha, lugar, tipo de operación, actividad de la fuente, tiempos de exposición, personal implicado, incidencias y dosis registradas por los dosímetros de lectura directa;

12. Reglamento de Funcionamiento y Plan de Emergencia

Cada instalación radiactiva de gammagrafía dispondrá de sus propios documentos denominados *Reglamento de Funcionamiento y Plan de Emergencia*. Estos documentos son esenciales en este tipo de instalaciones y deben diseñarse considerando que van dirigidos al personal de operación y por tanto, deben ser claros, concisos y de fácil manejo.

Deberá existir un procedimiento que indique sobre qué grupo(s) recaer(n) las funciones de elaboración, modificación y divulgación de estos documentos y en el que se contemple que existe constancia escrita de que los citados documentos han sido recibidos por los trabajadores profesionalmente expuestos.

El documento *Reglamento de Funcionamiento* deberá contener al menos los siguientes apartados:

- Organigrama.
- Normas de operación con los equipos
- Normas de protección radiológica.
- Normas de transporte del material radiactivo.
- Pruebas, verificaciones y mantenimiento de equipos y accesorios.
- Formación y entrenamiento del personal.
- Diarios de operación,

El documento *Plan de Emergencia* deberá recoger aquellas situaciones anormales que se puedan producir durante el almacenamiento, transporte y operación con los equipos provistos de fuentes radiactivas, así como las medidas de actuación a seguir durante dichas situaciones a fin de conseguir un control de las mismas y mitigar sus consecuencias.

En los Anexos B y C de la presente Guía, se trata lo relativo a ambos documentos.

Anexo A Certificados de verificación del gammógrafo (contenedor y telemando)

Certificado del equipo de gammagrafía (contenedor)

En él deberá figurar como mínimo:

- Identificación de la entidad y de la persona que emite el certificado.
- Marca, modelo y número de serie del equipo.
- Identificación de la instalación radiactiva usuaria del equipo.
- Fecha de operación de la asistencia técnica.
- Resultados de las verificaciones relativas a:
 - Estado general del contenedor.
 - Funcionamiento de la cerradura de bloqueo.
 - Funcionamiento del anillo selector.
 - Conexión del portafuentes con el telemando.
 - Tapón de conexión contenedor-tubos guía.
 - Medida de la contaminación en el canal de almacenamiento.
 - Niveles de radiación en el exterior.
 - Estado de las señalizaciones.
- Acciones correctoras o de mantenimiento efectuadas.

Certificado del telemando

En él deberá figurar como mínimo:

- Identificación de la entidad y de la persona que emite el certificado.

- Marca, modelo y número de identificación.
- Identificación de la instalación radiactiva usuaria del telemando.
- Fecha de la operación de asistencia técnica.
- Resultados de las verificaciones relativas a:
 - Estado del cable propulsor.
 - Longitud del cable propulsor.
 - Estado de la manguera.
 - Conexión del telemando con el portafuentes.
 - Funcionamiento del seguro.
 - Funcionamiento del cuentavuelas.
 - Prueba general de funcionamiento del telemando.
- Acciones correctoras o de mantenimiento efectuadas.

Anexo B Reglamento de Funcionamiento

Organigrama

Se deberá definir la organización de la instalación radiactiva de forma que quede establecida una línea inequívoca de autoridad y responsabilidad entre su personal.

Se definirán para cada grupo establecido en esta organización sus funciones y responsabilidades, así como, las prohibiciones que afectan a esos puestos de trabajo (deberán quedar claramente definidas las operaciones que puedan llevar a cabo y las que no). En base a las actividades que desarrolle cada grupo se indicará su clasificación de acuerdo al artículo 20 del Reglamento sobre Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes (6), puntualizando, si ha de disponer de licencia de operador o de supervisor.

Sobre este punto se hace notar que el número de personas que sin necesitar licencia sean clasificadas como trabajadores profesionalmente expuestos, será tan bajo como sea posible y en todo momento deberá estar debidamente justificada dicha clasificación.

En el caso de que en la organización de la instalación se contemple la existencia de ayudantes para gammagrafía, se deberá tener en cuenta que éstos no pueden realizar ninguna operación para la que se necesite licencia de operador o de supervisor.

Si en el organigrama figuran Delegaciones, se deberá definir la organización de las mismas, así como su relación con la sede central. En éstas deberá existir una persona con licencia, estableciendo y definiendo claramente sus responsabilidades en materia de seguridad y protección radiológica.

Normas de operación con los equipos

- Se debe disponer de un manual de operación del equipo traducido al español, y a disposición de los trabajadores.
- Cuando el equipo no se encuentre en operación, no se debe dejar almacenado con la llave puesta, ya que facilitaría su uso no controlado.

- Cada vez que se deposita el equipo radiactivo en el almacén, deberá realizarse una medida de tasa de dosis del mismo.
- Dentro de las normas de operación con los equipos se pueden diferenciar distintos aspectos, los cuales son relacionados a continuación de forma independiente:

2.1 Control de equipos en obra

Cuando se esté trabajando con los equipos en obra, el operador será responsable de los mismos, no debiendo en ningún momento abandonar el equipo en lugares donde pueda correr algún riesgo físico o ser manipulado por personal no autorizado.

Cuando se vaya a proceder al almacenamiento temporal de los equipos en obra, los locales a elegir han de tener las siguientes características:

- Acceso controlado (con cerradura).
- Alejado de puntos peligrosos (sala de calderas, hornos, depósitos de gases o líquidos combustibles, transformadores eléctricos..).
- No existirán en ellos puestos de trabajo fijos.
- La tasa de dosis en el exterior no superará el valor de 2,5 pSv/h.

Cuando en la obra exista personal de seguridad, se pondrá en su conocimiento el lugar y tipo de material almacenado.

En el caso hipotético de que en la obra no exista ningún local idóneo para almacenar el equipo, se habilitará una zona debidamente acotada y señalizada que esté separada de cualquier actividad o lugar de trabajo, debiendo el operador ser responsable del control del equipo. Para evitar estas situaciones es recomendable que, antes del desplazamiento de los equipos se concierte con el cliente la preparación de un recinto con las características adecuadas.

2.2 Procedimientos en inspección radiográfica

2.2.1. Gammagrafía con equipos móviles

Previamente al desplazamiento hacia el lugar donde se efectuará el trabajo, el operador comprobará que dispone de todo el equipamiento para el desarrollo del mismo, incluidos los medios de protección radiológica; así como de toda la documentación de transporte si se utiliza un transporte propio de la empresa y del diario de operación del equipo, en el caso de que el desplazamiento tenga una duración de varios días.

Para llevar a cabo esa comprobación previa, es recomendable que el Reglamento de Funcionamiento incluya un listado del equipamiento mínimo. En lo referente a los medios de protección este listado debería incluir:

- Dosímetro personal de termoluminiscencia (TLD).
- Dosímetro de lectura directa.
- Monitor de radiación.
- Colimador.
- Elementos para la acotación y señalización de zonas (cintas, cuerdas, carteles.. .).
- Tablas o gráficas que relacionan los parámetros que influyen en la calidad de la imagen.
- Tablas o gráficas para el cálculo de los parámetros que influyen en la protección radiológica.
- Equipamiento para hacer frente a una emergencia (sólo si el desplazamiento se hace a gran distancia de la instalación).

En el caso de que el equipamiento no esté asignado de manera permanente a cada trabajador, es recomendable que se desarrolle un procedimiento para que en la instalación se siga un control sobre este material.

Asimismo, antes de la partida se revisará que el contenedor, sus accesorios (mangueras y telemando) y el equipamiento de protección radiológica se encuentran en perfecto estado para su uso, siguiendo el procedimiento aprobado. Igualmente se constatará, que el contenedor está señalizado según lo establecido en el TPC (3) para su transporte.

La secuencia de operaciones en la inspección gammagráfica móvil podrá ser la siguiente:

- 1.º Se realizará una inspección visual de la zona de trabajo, con objeto de que siempre que sea posible, se realice en zonas que puedan proporcionar una mejor protección contra las radiaciones ionizantes.
- 2.º Se examinará la pieza a radiografiar (espesor, material, distancia de la película.. .) a fin de determinar el tiempo de exposición.
- 3.º Se hará un cálculo teórico a fin de proceder a la acotación y señalización de la zona. Para ello se tendrán en cuenta los factores de ocupación de la misma y de utilización de los equipos, considerando, que siempre que sea posible se deberán usar colimadores, en cuyo caso se estima recomendable situar la acotación para el área controlada en un rango de tasa de dosis entre 7,5 a 20 $\mu\text{Sv/h}$. La acotación se realizará como sea razonablemente posible, bien utilizando estructuras ya existentes en el lugar de operación (muros, etc.), usando barreras temporales o acordonando la zona con cintas.
- 4.º Se colocará sobre la pieza la película, así como todos aquellos elementos necesarios para la realización de la radiografía (indicador de calidad.. .).
- 5.º Se conectarán las mangueras (tubos-guías) entre si, y éstas al contenedor, así como el telemando se conectará al portafuentes; estas conexiones se realizarán siguiendo las instrucciones indicadas en el manual de operación del equipo. En este punto se deberán tener en cuenta los siguientes criterios:
 - El número de tubos-guías a conectar será el mínimo necesario y se deberá tener en cuenta la longitud del cable propulsor del telemando.

- Siempre que sea posible se utilizarán colimadores.
- Tanto los tubos-guía, como las mangueras del telemando, se situarán lo más en línea recta posible.
- La cesta del telemando se colocará a la máxima distancia posible del punto de exposición y en un lugar en el que preferiblemente exista un blindaje.

- 6.º El operador confirmará que va equipado con el dosímetro personal, el dosímetro de lectura directa y que tiene disponible el monitor de radiación.
- 7.º Tras constatar la ausencia de personal en la zona acotada se procederá a realizar la exposición llevando la fuente hasta el extremo focal.
- 8.º Siempre que la situación lo permita, durante la exposición el operador se alejará lo máximo posible, sin perder el control sobre el acceso de personal al área de exposición, y con el detector de radiación comprobará la tasa de dosis en los límites de la zona acotada.
- 9.º Una vez terminado el tiempo de exposición, se recogerá la fuente en el contenedor y se accionará el freno del telemando, si se dispusiera del mismo.
- 10.º El operador comprobará con el detector que la fuente se encuentra perfectamente alojada en el contenedor y para ello se irá acercando pausadamente al mismo.
- 11.º Se colocará el anillo selector del contenedor en posición de seguridad (bloqueo), si dispusiera del mismo.
- 12.º Sólo después de haber realizado la operación anterior, se procederá a retirar la película fotográfica y los demás elementos de la radiografía, así como a desconectar las mangueras y el telemando del contenedor, y al cierre del mismo.
- 13.º Finalmente se procederá a quitar los elementos de acotación, así como a cumplimentar el diario de operación del equipo.

Otras cuestiones de importancia a tener en cuenta en la operación serán:

- En el caso de que fuera necesario llevar a cabo una gammagrafía a corta distancia de la anterior, pero sea necesario mover el gammógrafo, el traslado siempre se hará con el anillo selector en posición de seguridad o, en su ausencia, desconectando previamente el telemando. No deberá trasladarse el gammógrafo tirando del telemando o de las mangueras.
- Cuando la operación se tenga que efectuar en zonas ocupadas o con áreas anexas ocupadas por personal, se elegirán horas del día en las que la ocupación sea mínima y el operador deberá disponer de ayuda, que la podrá aportar la entidad cliente, para el control de acceso a las zonas de exposición.
- Las operaciones se deberán realizar siempre con el apoyo de al menos otra persona, de la instalación o del cliente, que pueda proceder a las notificaciones o avisos necesarios en caso de accidente, mientras el operador permanece junto al equipo. Igualmente en el caso de operaciones que entrañen un riesgo para el operador distinto del radiactivo, éste deberá ir acompañado de al menos otra persona, preferiblemente con licencia.0 con capacidad y conocimientos para el control del equipo y material radiactivo.

31

Equipos tipo CRAWLER

En el caso de radiografiado mediante equipos tipo "Crawler", previamente se seleccionarán los parámetros de operación tales como: tiempo de exposición, control del movimiento del equipo, y tiempo de espera desde que se activa la señal de exposición y el inicio de ésta.

El control del movimiento del "Crawler" y las órdenes para realizar el ajuste preciso en el centro de la soldadura y el inicio de la exposición, se realiza desde el exterior de la tubería a través de la fuente de Cesio-137 de baja actividad.

En el procedimiento de operación con estos equipos se detallará la secuencia de operaciones a seguir, como en el caso anteriormente expuesto.

Los requerimientos generales de protección radiológica, ya mencionados, son aplicables a la operación con este tipo de equipos. Además, dado que operan en el interior de tuberías, pasando inadvertido su funcionamiento en el exterior de las mismas, sería aconsejable que incorporasen medidas adicionales de protección radiológica; por ejemplo, señales de aviso que funcionen de forma automática, porque un movimiento no intencionado de la fuente de baja actividad puede provocar el inicio de una exposición no planeada. Estas señales de aviso deben ser capaces de alertar al público presente en las inmediaciones.

Debido a que estos equipos pueden trabajar en ambientes ruidosos, la señal emitida por el equipo resultará atenuada por la pared de la tubería, por ello sería aconsejable que incorporasen sirenas y claxon.

Suplementariamente, fuera de la tubería sería recomendable que se dispusiera de las siguientes alarmas:

- a) Una alarma visual en ambientes ruidosos.
- b) Una alarma que indique la posición del "Crawler" dentro de la tubería cuando esté en modo de exposición.

Hay que resaltar la necesidad del uso del detector de radiación cuando se opere con estos equipos, ya que es la única manera de conocer si la fuente ha retornado a su posición de blindaje, de ahí la importancia de que estos detectores se encuentren en estado operativo.

2.2.2. Gammagrafía en instalaciones de tipo fijo

Este tipo de prácticas implican un menor riesgo radiológico, debido a la utilización de un recinto blindado donde se encuentra situado el equipo provisto de fuentes radiactivas, en el que no hay personal trabajando durante el transcurso de la práctica; pero a veces, ésto provoca una relajación de los procedimientos de operación, pudiendo dar lugar a graves incidentes en este tipo de instalaciones.

Igual que para la radiografía móvil, en el Reglamento de Funcionamiento se debe desarrollar un procedimiento específico para estas instalaciones, que considere los sistemas de seguridad y señalizaciones de que dispongan y que se

describen en el apartado 4 de esta Guía, pero sin olvidar que al entrar a los recintos blindados siempre se debe ir provisto del monitor de radiación portátil y de la dosimetría personal.

2.3. Procedimientos de cálculo

Existen tres factores básicos que permiten reducir la dosis que recibiría un operador de gammagrafía así como el público que se encuentra en las inmediaciones del equipo:

- a) Reducir el tiempo de operación.
- b) Aumentar la distancia máxima razonable entre el operador y la fuente.
- c) Interponer blindajes entre la fuente y el operador.

Para reducir la dosis se puede utilizar cualquiera de estos factores o una combinación de ellos.

A fin de facilitar a los trabajadores los cálculos a realizar para determinar aquellos factores que afectan a la protección radiológica, se recomienda que entre el equipamiento se incluyan tablas o gráficas de fácil manejo.

A continuación se presentan, a modo orientativo, una serie de ejemplos y tablas para cuantificar los factores arriba mencionados, así como para calcular el decaimiento de la fuente radiactiva.

1.º Cálculo de dosis:

Para calcular la tasa de dosis (\dot{D}) se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$\dot{D} = \frac{K \times A}{d^2} \quad [1]$$

donde:

- El factor gamma (K) es la tasa de dosis absorbida en mSv/h a un metro de 1 Bq del radionucleido.

- La actividad de la fuente (A) se expresa en Bequerelios.
- La distancia (d) se expresa en metros desde la fuente hasta el punto de interés.

A continuación se presenta una tabla con los valores del factor gamma para distintos radionucleidos que se pueden utilizar en gammagrafía:

<i>Radionucleido emisor gamma</i>	<i>Factor Gamma (K)</i>
Iterbio- 169	3,4 E-11
Tecnecio-99 m	2,2 E-11
Tulio-170	0,07 E-11
Cesio-137	8,1 E-11
Iridio-192	13 E-11
Cobalto-60	35,1 E-11

Por ejemplo: aplicando la expresión [1] para calcular la tasa de dosis debida a una fuente de Iridio-192 de $1,48 \cdot 10^{12}$ Bq (40 Ci), y a una distancia de 10 metros, se obtiene:

$$D_2 = 13 \cdot 10^{-11} \times 1,48 \cdot 10^{12} / 10^2 = 1,92 \text{ mSv/h (0,192 rem/h)}$$

Como la dosis es igual a la tasa de dosis por el tiempo ($D = D \times t$), un operador que permaneciera 1 hora en ese lugar recibiría 1,92 mSv (0,192 rem).

2.º Influencia del tiempo:

Partiendo del ejemplo anterior, si en vez de una hora se permaneciera en una operación un minuto, la dosis que se recibiría sería:

$$1,92 / 60 = 0,032 \text{ mSv (3,2 mrem)}$$

3.º Influencia de la distancia. Delimitación de zonas:

Despejando la distancia de la expresión [1] se obtiene:

$$d = \sqrt{\frac{(K \times A)}{\dot{D}}} \quad [2]$$

Mediante la ecuación [2] se pueden construir tablas, como la tabla 1 que se expone a modo de ejemplo, en la que se indica la distancia mínima (expresada en metros) para delimitar la zona controlada (en el caso de una tasa de dosis de 7,5 $\mu\text{Sv/h}$ (0,75 mrem/h)), teniendo en cuenta la actividad de la fuente y considerando que no existe ningún material de blindaje.

Tabla 1. Distancia mínima para delimitar la zona controlada en función de la actividad de una fuente de Ir-192

Actividad en Bq para Ir-192	Distancia en metros
$3,7 \cdot 10^9$ (10 Ci)	80,0
$7,4 \cdot 10^{11}$ (20 Ci)	113,2
$1,11 \cdot 10^{12}$ (30 Ci)	138,6
$1,48 \cdot 10^{12}$ (40 Ci)	160,0
$1,85 \cdot 10^{12}$ (50 Ci)	178,9
$2,22 \cdot 10^{12}$ (60 Ci)	196,0
$2,59 \cdot 10^{12}$ (70 Ci)	211,7
$2,96 \cdot 10^{12}$ (80 Ci)	226,3
$3,33 \cdot 10^{12}$ (90 Ci)	240,0
$3,7 \cdot 10^{12}$ (100 Ci)	253,0

Ejemplo para la utilización de la tabla 1:

Suponiendo que se trabaja con una fuente de Iridio-192 de $1,11 \cdot 10^{12}$ Bq (30 Ci) de actividad y se ha de delimitar la zona controlada, la distancia a tomar sería de 138,6 metros.

4.º Influencia de interponer un blindaje

Al interponer un material entre la fuente y el trabajador, el haz de radiación cede energía y consecuentemente es atenuado en su paso a través del mate-

rial. Dicha atenuación depende del material que se utilice, así como del espesor del mismo.

a) *Utilizando los factores de transmisión* de la British Standards Institution (7), recogidos en los gráficos de las figuras 1 y 2, se puede calcular la reducción en la tasa de dosis que produce un determinado espesor de plomo, acero u hormigón.

Conocida la tasa de dosis antes del blindaje (\dot{D}_1) y una vez determinado con la gráfica el factor de transmisión (T) a través de un determinado espesor, la tasa de dosis (\dot{D}_2) tras el blindaje será calculada siguiendo la expresión:

$$\dot{D}_2 = \dot{D}_1 \times T \quad \text{t31}$$

Por ejemplo; una tasa de dosis de 0,3 mSv/h (30 mrem/h) en un determinado punto, se reducirá mediante una plancha de acero de 5 centímetros hasta:

$$\dot{D}_2 = 0,3 \text{ mSv/h} \times 0,1 = 0,03 \text{ mSv/h}$$

b) *Otro método de cálculo es mediante la aplicación del espesor de semirreducción de un material*, definido como el espesor de dicho material que reduce la intensidad del haz de radiación a la mitad.

Para el caso del Iridio-192, en la tabla 2 se muestran los espesores de semirreducción para diferentes materiales.

Tabla 2. Espesores de semirreducción para una fuente de Ir-192 en función del material

	Plomo (mm)	Acero (mm)	Hormigón (mm)
Iridio-192	4	13	40

Ejemplo de la utilización de la tabla 2:

Suponiendo que se intercala entre la fuente y el trabajador una plancha de plomo de 1,2 cm (12 mm), para calcular el número de espesores de semirreducción (n), se divide este valor por el espesor de semirreducción que figura en la tabla 2:

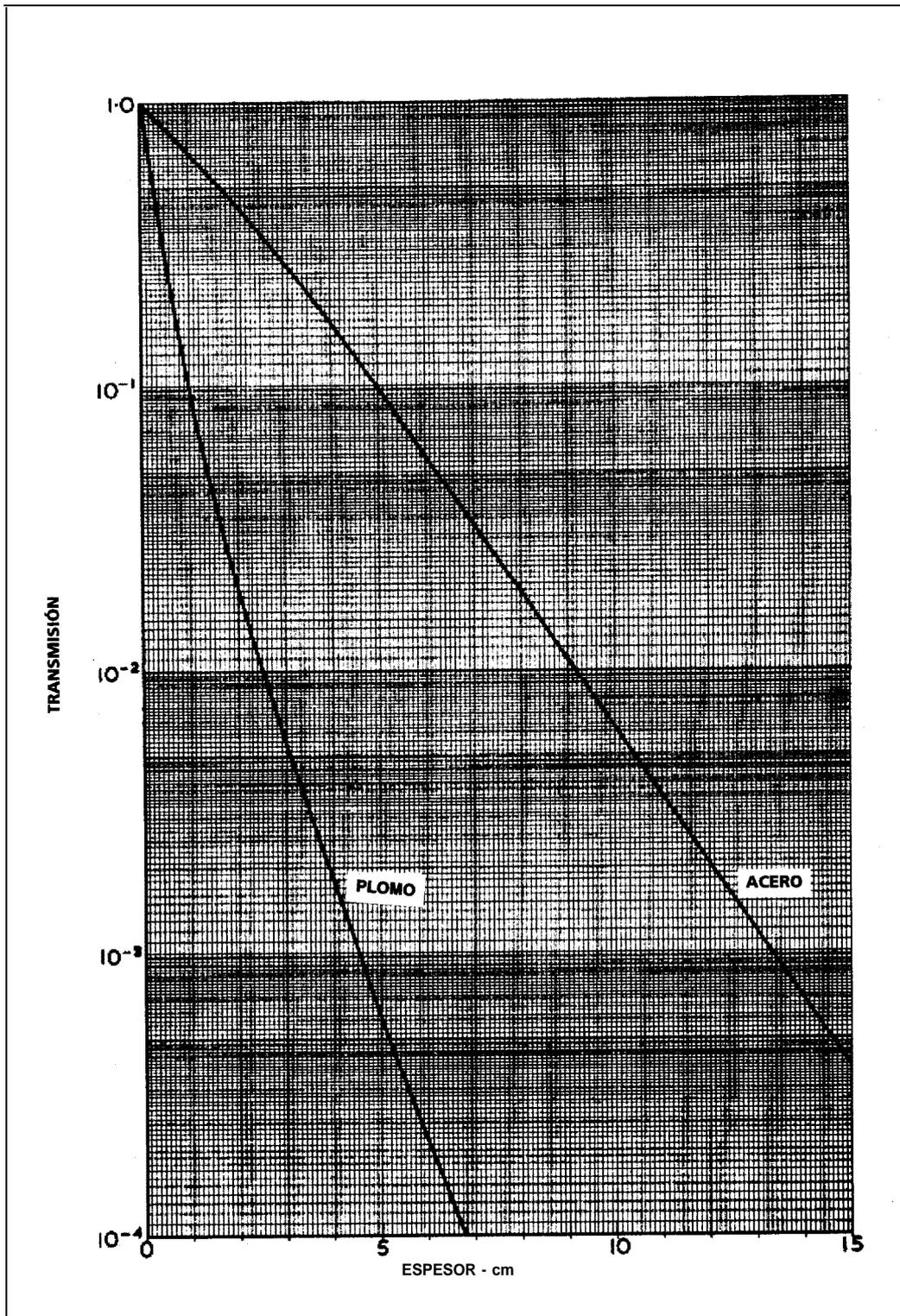


Fig. 1. Transmisión de los rayos gamma del Ir-192 a través de distintos materiales

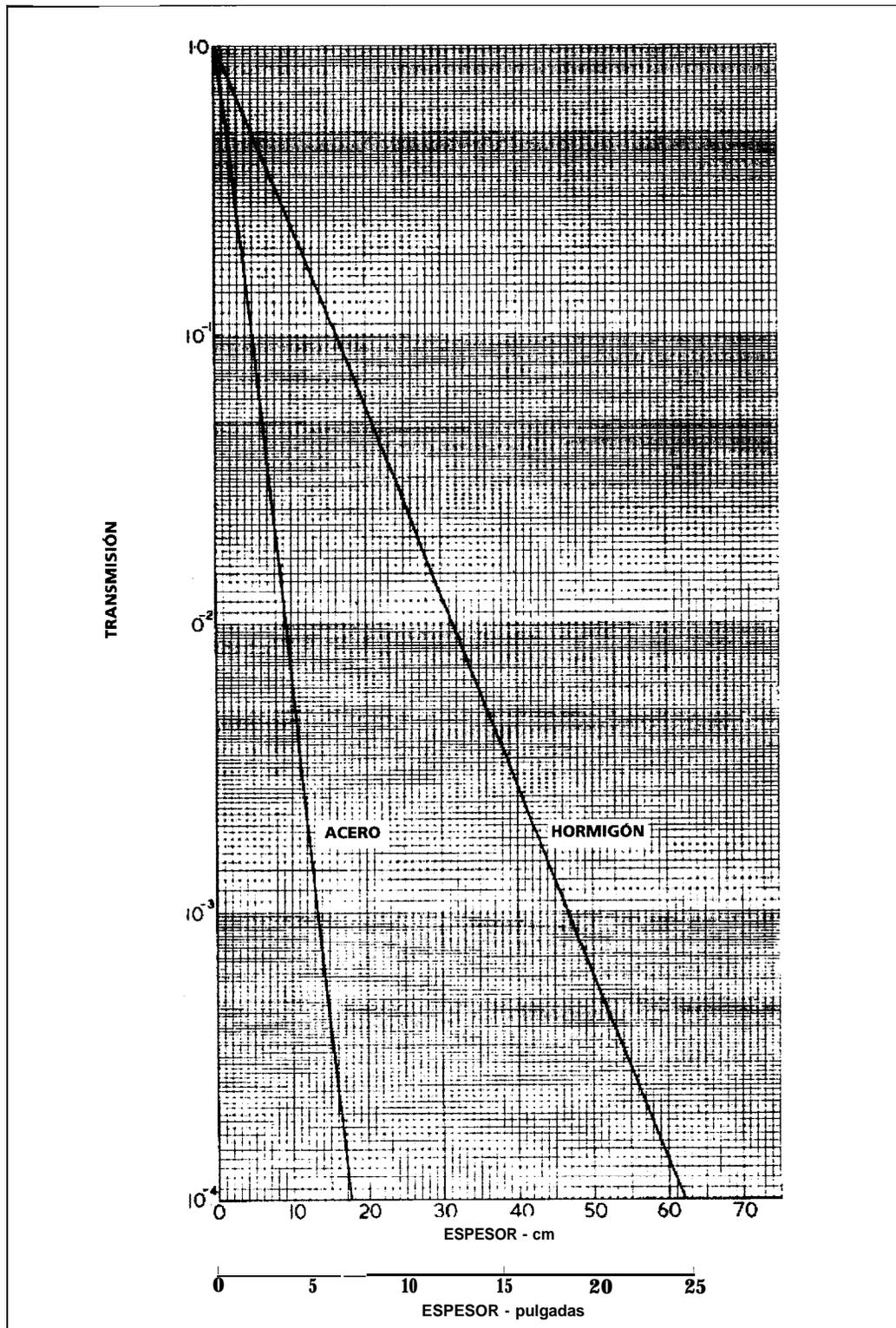


Fig. 2. Transmisión de los rayos gamma del Ir-192 a través de distintos materiales

$$\frac{12 \text{ mm Plomo}}{4 \text{ mm espesor semireducción}} = 3 \text{ espesores de semireducción (n)}$$

La nueva tasa de dosis se obtendrá utilizando la expresión:

$$D_2 = \frac{\dot{D}_1}{2^n} \quad \text{c41}$$

es decir, al existir 3 espesores de semireducción se reduce la intensidad del haz de radiación hasta 8 veces su valor inicial ($1/2 \times 1/2 \times 1/2 = 1/8$).

Por tanto, partiendo de una tasa de dosis de 0,3 mSv/h (30 mrem/h) e interponiendo el blindaje de 12 mm de Plomo, la nueva tasa de dosis será:

$$\dot{D}_2 \doteq 0,3 \text{ mSv/h} \times 1/8 = 0,0375 \text{ mSv/h (3,7 mrem/h)}$$

Obviamente la distancia a la que habrá que acotar la zona controlada se acortará, de ahí la importancia del uso de colimadores.

Una vez conocida la nueva tasa de dosis tras interponer un blindaje, la nueva distancia a la que habrá que acotar la zona controlada se calculará aplicando la expresión (2), pero introduciendo un factor que tenga en cuenta la interposición del blindaje; el nuevo valor obtenido para la distancia de acotamiento (considerando que en ese punto se alcanza una tasa de dosis de 7,5 $\mu\text{Sv/h}$ (0,75 mrem/h)) es de 40 metros.

La nueva expresión, utilizando la {2}, será:

$$d = \sqrt{\frac{K \times A \times f}{D}} \quad [2]$$

La tasa de dosis es la que se elegirá para establecer el acotamiento de zona (en los ejemplos anteriores era 7,5 $\mu\text{Sv/h}$ (0,75 mrem/h)), y el factor de dosis (f) será el valor del coeficiente de transmisión (1/T) o el valor 2^n donde n es, como se ha mencionado, el espesor de semirreducción del material interpuesto.

Mediante la ecuación [2] se pueden construir tablas, como la tabla 3 que se presenta a modo de ejemplo, en la que se indica la distancia mínima (expres-

sada en metros) para delimitar la zona controlada (en el caso de una tasa de dosis de 7,5 $\mu\text{Sv/h}$ (0,75 mrem/h)), teniendo en cuenta la actividad de la fuente y considerando el espesor que se interpone de un blindaje de Plomo. Igualmente se pueden construir otras tablas para otros materiales de blindaje.

Tabla 3. Distancias para acotar la zona controlada (0,75 mrem/h) en función del material de blindaje y distintas actividades de Ir-192

Ir-192 en Bq	1 cmPb	2 cm Pb	3 cm Pb	4 cm Pb
3,7 10^{10} (10 Ci)	33,8 m	14,2 m	6 m	2,5 m
7,4 10^{11} (20 Ci)	47,8 m	20 m	8,5 m	3,6 m
1,11 $\cdot 10^{12}$ (30 Ci)	58,6 m	24,5 m	10,3 m	4,4 m
1,48 $\cdot 10^{12}$ (40 Ci)	67,6 m	28,3 m	11,9 m	5 m
1,85 $\cdot 10^{12}$ (50 Ci)	75,6 m	31,2 m	13,3 m	5,6 m
2,22 10^{12} (60 Ci)	82,8 m	34,7 m	14,6 mm	6,2 m
2,59 $\cdot 10^{12}$ (70 Ci)	89,5 m	37,5 m	15,7 m	6,7 m
2,96 10^{12} (80 Ci)	75,6 m	40 m	16,8 m	7,1 m
3,33 10^{12} (90 Ci)	101,4 m	42,5 m	17,9 m	7,5 m
3,7 10^{12} (100 Ci)	107 m	44,5 m	18,8 m	8 m

Ejemplo de utilización de la tabla 3:

Suponiendo que se trabaja con una fuente de Iridio-192 de 1,11 $\cdot 10^{12}$ Bq(30 Ci) de actividad y se dispone como blindaje de una plancha de plomo de 2 cm de espesor, para delimitar la zona controlada la distancia a tomar será de 24,5 metros.

5.º Decaimiento de la actividad de la fuente radiactiva:

Para una determinada sustancia radiactiva todos los núcleos tienen la misma probabilidad de desintegración en una unidad de tiempo, independientemente de sus condiciones físicas y químicas. Así, cada isótopo posee un período de semidesintegración ($T_{1/2}$) característico, definido como el tiempo necesario para que el número de átomos radiactivos existentes en un instante inicial se reduzca a la mitad.

Por ejemplo; en el caso del Iridio- 192 el período de semidesintegración es de 74 días; lo cual quiere decir que si se tiene una fuente con una actividad de $2,96 \cdot 10^{12}$ Bq (80 Ci), cuando hayan transcurrido 74 días la actividad será de $1,4 \cdot 10^{12}$ Bq (40 Ci).

Para determinar la actividad de una fuente en cualquier momento, la expresión a utilizar es:

$$A_2 = A_1 \times e^{-\lambda t} \quad [5]$$

donde:

A_2 es la actividad en la fecha en que se quiere determinar.

A_1 es la actividad conocida en un determinado día.

λ es la constante de desintegración característica de cada isótopo ($T_{1/2} = \ln 2/\lambda$).

t es el tiempo transcurrido desde el día de actividad conocida.

Para el caso del Iridio-192 el valor de λ es $9,3 \cdot 10^{-3}$ días⁻¹.

Por lo tanto, conociendo la actividad de una fuente en una determinada fecha, se puede conocer su actividad en cualquier otra.

Por ejemplo; sea una fuente de Iridio-192 en cuyo certificado de calibración se especifica que el día 1 de enero su actividad era de $2,22 \cdot 10^{12}$ Bq (60 Ci); si la fecha actual es 24 de febrero, su actividad este día será:

dado que el período de tiempo transcurrido es de 55 días, aplicando la expresión [5] se obtiene:

$$A = 2,22 \cdot 10^{12} \times e^{-9,3 \cdot 10^{-3} \times 55}$$

luego, su actividad el día 24 de febrero es $A = 1,33 \cdot 10^{12}$ Bq (35,97 Ci)

Un método más rápido, aunque aproximado, para el cálculo de la actividad de la fuente radiactiva, se recoge en la tabla 4, según el cual será suficiente multiplicar la actividad de la misma por el factor especificado en dicha tabla, donde el tiempo transcurrido viene expresado en semanas.

Tabla 4. Factores a utilizar para el cálculo de la actividad de la fuente radiactiva

Señanas	0	10	20
0	1,000	0,521	0,272
1	0,937	0,487	0,255
2	0,878	0,458	0,237
3	0,822	0,427	0,224
4	0,771	0,402	0,210
5	0,722	0,377	0,176
6	0,677	0,353	0,184
7	0,634	0,331	0,172
8	0,594	0,310	0,161
9	0,557	0,290	0,147

Ejemplo de la utilización de la tabla 4:

Para una fuente con una actividad de $2,96 \cdot 10^{12}$ Bq (80 Ci), al cabo de cuatro semanas su actividad será:

$$A = 2,96 \cdot 10^{12} \times 0,771 = 2,282 \cdot 10^{12} \text{ Bq}$$

al cabo de 15 semanas su actividad será:

$$A = 2,96 \cdot 10^{12} \times 0,377 = 1,116 \cdot 10^{12} \text{ Bq}$$

3. Normas de protección radiológica

Dentro de este apartado se englobarán normas relativas a la vigilancia de los trabajadores profesionalmente expuestos y normas básicas de actuación en protección radiológica operacional.

3.1. Vigilancia personal

3.1.1. Dosímetros personales.

Para la correcta utilización de este tipo de dispositivos de medida de las dosis de radiación recibidas por la persona que lo usa, se deben tener en cuenta las

siguientes instrucciones, que se incluirán en el Reglamento de Funcionamiento:

- Los dosímetros personales han de prenderse en la ropa a la altura del pecho con ayuda de la pinza de la que están provistos. La pinza siempre ha de estar dirigida hacia su cuerpo.
- En caso de utilizar elementos de radioprotección durante la ejecución de la práctica, tales como delantales plomados, los dosímetros se colocarán debajo de los mismos.
- Los dosímetros personales deben ser utilizados en todo momento durante la jornada laboral. Al término de la misma, los dosímetros se guardarán en un lugar alejado de las fuentes de radiación, calor y humedad.
- Deberá estar terminantemente prohibido manipular o abrir los dosímetros, irradiarlos intencionadamente o dañarlos de cualquier modo, siendo el usuario del mismo el responsable de su buen uso y de mantener su integridad.
- En caso de que el usuario deba acceder a una zona dotada con control de acceso vigilado mediante equipos de rayos X, el dosímetro no se pasará a través de dichos equipos, para evitar una irradiación accidental.
- Los dosímetros personales no deben ser utilizados fuera del lugar de trabajo.
- En caso de encontrar un dosímetro al que previamente se dió por perdido, no deberá ser utilizado sino que se entregará al responsable de la empresa para su envío inmediato al servicio de dosimetría personal externa.
- Los dosímetros deben ser recambiados de forma mensual y en la fecha prevista por el responsable de la empresa a tal efecto. Para ello se deberá disponer de normas escritas sobre cómo efectuar el recambio y distribución mensual de los dosímetros personales, con objeto de evitar situaciones en las que no se efectuó dicho proceso porque el trabajador esté fuera de la empresa o por falta de información.

Si se produjese o se sospechara de la ocurrencia de una sobreexposición, los dosímetros personales serían inmediatamente enviados al servicio de dosimetría personal.

En caso de extravío del dosímetro o cuando éste haya sufrido algún incidente, este hecho deberá ser comunicado inmediatamente al supervisor y registrado en el diario de operación general de la instalación.

3.1.2. Dosímetros de lectura directa

Para la correcta utilización de este tipo de dispositivos de medida de las dosis de radiación recibidas por la persona que lo usa, se deben tener en cuenta las siguientes instrucciones, que se incluirán en el Reglamento de Funcionamiento:

- Estos dosímetros deben ser utilizados en todo momento durante el desarrollo de la operación gammagráfica.
- Se deberán incluir normas escritas para la utilización de los dosímetros.
- En el transcurso de la práctica el trabajador leerá el dosímetro de forma periódica, a intervalos tanto más frecuentes cuanto mayor sea el riesgo radiológico asociado.
- En el caso de detectar una lectura anormalmente alta, el trabajador deberá suponer que la lectura es debida a un nivel de radiación elevado, por lo que habrá de detener las operaciones que esté realizando en esa área de trabajo y poner el hecho en conocimiento del supervisor, el cual deberá evaluar el riesgo radiológico asociado a esa zona de trabajo y enviar los dosímetros de los trabajadores involucrados en ese hecho al servicio de dosimetría personal externa autorizado, para proceder a su lectura.
- Se deben registrar los niveles de dosis que aparecen en la pantalla del dosímetro de lectura directa del usuario al concluir el trabajo, lo que permitirá efectuar una relación dosis-trabajo o tarea.
- Antes de empezar a trabajar con estos dosímetros se debe prestar atención a los indicadores de baterías y de necesidad de calibración que puedan aparecer.

- En el caso de que en la instalación se realicen verificaciones periódicas de estos dosímetros para asegurar la fiabilidad y precisión del sistema utilizado para medida de dosis, se deberán incorporar las normas escritas donde se detalle el procedimiento para efectuar estas verificaciones, así como una hoja de registro de datos obtenidos en la ejecución de dicho proceso.
- Si el dosímetro de lectura directa que utiliza un operador se saliera de escala, sería recomendable que se remitiera el dosímetro personal asignado a ese operador al servicio de dosimetría personal para su lectura, dentro de las 24 horas siguientes.

3.1.3. Sistemas de vigilancia de area,

Dado que para el trabajo con los equipos radiactivos, es necesario disponer de un detector de radiación, el personal de operación deberá estar familiarizado con su utilización, así como ser capaz de interpretar las lecturas de los mismos.

Por lo expuesto, para cada uno de los modelos de detector existentes en la instalación deberá incluirse el procedimiento de utilización. En general, para muchos de los detectores en uso los puntos a recoger en el procedimiento podrían ser:

- 1.º Comprobación de que el estado de baterías del detector es correcto.
- 2.º Ajuste a cero.
- 3.º Información sobre las diferentes escalas o rangos de medida, indicando cómo se deben interpretar los valores obtenidos en cada una de ellas, a fin de obtener los resultados en intensidad de dosis.
- 4.º Verificaciones a realizar para constatar que la respuesta del detector es correcta.

En el caso de que sea el personal de la propia instalación quien realice estas verificaciones periódicas, es recomendable que se incluyan normas escritas

donde se detalle el procedimiento para efectuarlas, así como una hoja de registro de datos obtenidos como consecuencia de la ejecución de dicho proceso.

Se incluirán las normas a seguir para el almacenamiento de detectores. Estas normas deben tener por objetivo que el detector se mantenga en buenas condiciones de uso.

En el caso de que en la instalación se disponga de varios detectores de radiación, es recomendable incluir un procedimiento para el control de los mismos, de manera que en todo momento se conozca quien lo tiene en uso y su estado de funcionamiento.

También se incluirá en el Reglamento de Funcionamiento el procedimiento a seguir por el operador en caso de que detecte un mal funcionamiento en un detector. Deberán considerarse, la comunicación al supervisor o responsable previamente designado y el registro en el diario de operación de la instalación. Es recomendable que los detectores averiados sean marcados, de manera que no sean llevados a operar inadvertidamente. Esta recomendación es también válida para los dosímetros de lectura directa y para el propio gammógrafo y sus accesorios.

3.2. Normas básicas de protección radiológica operacional

Dado que para la operación normal de ejecución de una práctica con equipos de gammagrafía se han de incluir las normas de protección radiológica correspondientes, siguiendo el contenido del apartado 2.2 de este Anexo, no se contempla en este apartado el desarrollo de las mismas.

3.3. Optimización de la protección radiológica

Como desarrollo del principio ALARA para este tipo de instalaciones, se podrían establecer unos niveles de dosis de referencia, cuya superación supondría una investigación de los procedimientos de operación, así como el establecimiento de unas medidas adicionales a fin de conseguir que las dosis reci-

bidas por los trabajadores sean lo más bajas posibles y siempre inferiores a los límites legalmente establecidos.

Estos niveles de dosis de referencia serán establecidos por el propio titular, y pueden fijarse teniendo en cuenta el tipo de trabajo que realizan esos trabajadores (por ejemplo, puede ser distinto para operadores y para ayudantes). Asimismo, como consecuencia de la experiencia acumulada, podrían establecerse nuevos niveles de referencia en función del tipo de gammagrafía a realizar.

Estos niveles de referencia se deben establecer mensualmente, y además, también se pueden fijar otros niveles de referencia que impliquen otro tipo de actuaciones y que tengan una periodicidad mayor.

Se recomienda asimismo incluir un procedimiento que indique las actuaciones a realizar si se superan esos niveles, cuándo se debe actuar, quién debe realizar estos seguimientos y los registros que deben quedar de estas actuaciones.

Normas de transporte del material radiactivo

El transporte del material radiactivo se habrá de realizar siguiendo normas y procedimientos con los que se dé cumplimiento a la legislación específica dentro de cada modalidad de transporte. A continuación se destacan los principales aspectos para el transporte por carretera, por ser la modalidad más utilizada.

El transporte por carretera de equipos que incorporan material radiactivo debe realizarse de acuerdo con lo establecido para la Clase 7 en el Reglamento Nacional de Transporte de Mercancías Peligrosas (TPC) (3). Por tanto, las normas que se recojan en el Reglamento de Funcionamiento y en el Plan de Emergencia relativas a este tema serán extraídas o se basarán en lo tratado en ese Reglamento. A continuación se señalan los puntos más importantes a considerar y se referencia su tratamiento en el TPC.

Para el caso de los gammágrafos, dadas las actividades e isótopos que incorporan, su transporte debe ajustarse a los requisitos recogidos en la ficha correspondiente del TPC.

Los requisitos definidos en las fichas se refieren, entre otras, a las siguientes materias:

- Embalaje.
- Intensidad máxima de radiación en los bultos.
- Carga en común con otras mercancías.
- Señalización y etiquetado de bultos y vehículos.
- Documentación de acompañamiento (cartas de porte).
- Almacenamiento en tránsito y recorrido.
- Condiciones de transporte.

En relación con los vehículos, cabe destacar lo recogido sobre el equipamiento que deben llevar y sobre la vigilancia durante su estacionamiento.

Asimismo, es destacable lo aplicable a las normas de circulación y actuación en caso de accidente o avería.

Los conductores de los vehículos deberán estar en posesión de un certificado para la conducción, expedido por la correspondiente Jefatura Provincial de Tráfico.

Además de todo lo anteriormente expuesto, se considera muy importante destacar, para el caso concreto del transporte de gammágrafos, que antes de su inicio se deberá comprobar que el material radiactivo se encuentra en la posición de almacenamiento. Asimismo, el gammógrafo se colocará en el lugar más alejado posible al ocupado por el personal en el vehículo y, si es posible, rodeado de material de blindaje para reducir las dosis. Además, se fijará con la seguridad suficiente a fin de evitar el movimiento del mismo.

Pruebas, verificaciones y mantenimiento de equipos y accesorios

Tanto el gammógrafo (contenedor) como el telemando, deben ser revisados por un servicio de asistencia técnica reconocido. Además de esas revisiones es recomendable que en la instalación se lleven a cabo verificaciones básicas sobre el estado y funcionamiento de los equipos, que permitan un seguimiento más continuo.

Estas verificaciones deben hacerse con frecuencia; muchas de ellas pueden llevarse a cabo antes de partir con los equipos al lugar de las operaciones. Entre estas verificaciones pueden considerarse las siguientes:

- Del gammógrafo (contenedor):
 - Comprobación de su estado externo (golpes o abolladuras).
 - Señalizaciones y marcas o etiquetas.
 - Funcionamiento de la cerradura de los elementos de cierre y seguridad y del anillo selector, así como su estado de limpieza.
- Del telemando:
 - Estado externo de la manguera y de su conexión con el sistema de arrastre (cortes, abolladuras).
 - Funcionamiento de la manivela, y en general, del telemando.
 - Estado del cable propulsor (desgastes de las muescas, suciedad).
 - Funcionamiento del mecanismo de acople del telemando con el conector del gammógrafo.
 - Estado del sistema de enganche telemando-portafuentes (utilización de los sistemas de galga adecuados).
- De las mangueras (tubos-guías):
 - Estado externo y de las conexiones al gammógrafo así como las conexiones intermedias entre mangueras.
 - Estado del canal interno de la manguera (comprobación de que la fuente no tendrá impedimentos en sus movimientos).
 - Estado del extremo focal y de su acoplamiento a la manguera.

En el caso de los equipos tipo "Crawler" también se establecerán las verificaciones a realizar en la propia instalación.

Para la realización de estas verificaciones se incluirá el correspondiente procedimiento aprobado, que establezca cómo y cuándo deben realizarse, que defina los criterios de aceptación y las actuaciones a seguir en el caso de que no se superen, así como quien puede efectuarlas, aunque en la mayoría de los casos esta responsabilidad podría recaer en los propios operadores.

Como resultado de las verificaciones podría ser necesario efectuar alguna operación de mantenimiento sobre el equipo. Estas podrán ser realizadas por la entidad de asistencia técnica reconocida o bien, si son sencillas, por el personal de la propia Instalación. En este caso se desarrollará un procedimiento para las operaciones de mantenimiento, en el que quede perfectamente claro quien puede efectuarlas. Esto es igualmente aplicable a cualquier mantenimiento preventivo.

El resultado de las verificaciones y mantenimiento debe quedar registrado debidamente, lo que se recogerá en los citados procedimientos.

■ Formación y entrenamiento del personal

Se incluirán procedimientos relativos a la formación y entrenamiento, que establezcan: periodicidad con la que se efectuarán los entrenamientos, simulacros o seminarios informativos en materia de protección radiológica; temas a tratar en los mismos; personal al que van dirigidos; disponibilidad de fuentes frías (fuentes radiactivas decaídas o de baja actividad). Asimismo, se establecerá un sistema de registro donde se reflejen las personas que han asistido a este tipo de actividades, anotaciones relativas al aprovechamiento de las mismas, fechas en que fueron realizados, así como cualquier otro tipo de registro que permita estimar el grado de formación y entrenamiento de que disponen los trabajadores profesionalmente expuestos.

■ Diarios de operación

Se elaborará un procedimiento que desarrolle cómo y quién cumplimentará los diarios de operación y cómo registrar y archivar la documentación original relacionada con la información anotada en los mismos.

Se tendrá en cuenta que el diario de operación general de la instalación debe ser cumplimentado por el supervisor de la instalación. En caso de que existan varios supervisores se especificará cuál de ellos es el responsable de cumplimentar dicho diario de operación. Asimismo, se establecerá la frecuencia con que se deben realizar las anotaciones.

Los diarios de operación de los equipos radiactivos desplazados en las delegaciones de la empresa deberán estar disponibles en éstas. Asimismo, en los desplazamientos de los equipos durante largos períodos de tiempo deberán ir acompañados de sus diarios de operación. En ambos casos será factible que los registros sean firmados por personal con licencia de operador, que lleve a cabo las operaciones. En tal caso, dichos registros deberán ser visados y firmados por un supervisor, con una periodicidad no superior a tres meses.

Los datos a registrar en los diarios de operación son los que figuran en el apartado **II** de esta Guía.

Anexo C Plan de Emergencia

Se considera que existe una situación de emergencia desde el momento en que se pierde el control de la fuente radiactiva, ya sea porque ésta no vuelve a su posición de blindaje una vez que se retrae mediante el cable propulsor, bien porque el equipo al completo sufre robo, aplastamiento, incendio, etc.

Cuando un operador sospeche que se encuentra en una situación de emergencia habrá de poner en práctica unos procedimientos que deberán haber sido elaborados previamente para esa instalación radiactiva y que conformarán el documento Plan de Emergencia. Es posible que estos procedimientos no contemplen todas las situaciones que pueden dar lugar a una emergencia, a veces imprevisibles, pero sí deben contener el tipo de actuaciones generales a seguir en caso de emergencia, equipamiento a utilizar para solventarla y, al menos, su aplicación a los casos más previsibles.

Ante una situación de emergencia; los trabajadores que se vean implicados en la misma deberán tener presente en todo momento cuáles son sus funciones y responsabilidades durante la emergencia, por lo que éstas deben estar perfectamente definidas en el Plan de Emergencia.

Medidas de actuación generales

Una primera fase importante para poder solventar una emergencia, es reconocer que se está en esta situación, lo cual no siempre es evidente. Para poder reconocer una situación de emergencia se deben utilizar adecuadamente los detectores de radiación, de forma que se puedan detectar niveles anormales de radiación, si fuera el caso, indicativos de que la fuente no está bajo control. Para el caso de que ésta no vuelva a su posición de blindaje, se debe medir en primer lugar lateralmente y a continuación frontalmente, ya que en el caso de que la fuente quede en la entrada del contenedor y no alcance la posición correcta de almacenamiento, sólo se detectaría midiendo la tasa de dosis frontalmente.

Una vez reconocida la emergencia, el operador se debe alejar y pedir ayuda inmediatamente, mantener la calma y analizar la situación, Se establecerá un control de accesos a la fuente (se colocarán barreras y señalizaciones en un área considerada como

de acceso restringido alrededor de la fuente en exposición y se evacuará al personal que estuviera en ese área).

En el Plan de Emergencia debe figurar explícitamente que la fuente radiactiva en exposición no debe quedar fuera del control visual del operador, hasta que se personen en el lugar los responsables de resolver el incidente.

A continuación, el operador deberá avisar al supervisor que figure en su procedimiento y a los responsables de la empresa para la que se está trabajando. En el procedimiento deberá figurar una lista de nombres y teléfonos a los que debe recurrir el operador involucrado en una emergencia, indicando el orden que debe seguir en cuanto a notificación y qué debe hacer en caso de no localizar a esa persona. El operador sólo podrá realizar operaciones para las que previamente ha sido entrenado.

Posteriormente se deben planificar las acciones a adoptar para la localización de la fuente y su posterior recuperación.

Como pauta a seguir, para localizar la fuente se elige un punto en el que la intensidad de dosis sea aceptable, por ejemplo 1 mSv/h, y desde este punto se camina paralelamente al tubo guía. Las lecturas de tasa de dosis se incrementarán y decrecerán. En el punto donde la lectura sea más elevada, enfrente, en el tubo guía, se encontrará aproximadamente la fuente.

Para la recuperación de la fuente se deberá disponer de herramientas apropiadas, ya que nunca se debe coger ésta con la mano.

Tan pronto como se tenga conocimiento de una situación de emergencia se deberá comunicar al Consejo de Seguridad Nuclear.

Equipamiento para solventar una emergencia

El equipamiento mínimo recomendable para solventar una situación de emergencia es el siguiente:

- Blindaje necesario para atenuar en un factor de 100 (la cantidad de blindaje dependerá de la naturaleza y actividad de la fuente).

- Herramientas que permitan cortar la manguera.
- Tenaza de mango largo de al menos 1m ó 1,5m de longitud.

El explotador responsable deberá facilitar a los trabajadores el material necesario para hacer frente a una emergencia.

Medidas de actuación una vez superada la emergencia

Una vez superada la situación de emergencia, se deberán llevar a cabo las siguientes actuaciones:

- 1.º Hacer un cálculo teórico de las posibles dosis recibidas por los trabajadores implicados en la situación y registrar los valores de dosis medidos por los dosímetros electrónicos de lectura directa.
- 2.º Remitir el dosímetro personal de los trabajadores involucrados en el accidente al servicio de dosimetría autorizado, para proceder a su lectura.
- 3.º En caso de detectarse superación de los límites de dosis correspondientes, se realizará una revisión excepcional de la persona afectada, en un servicio médico especializado autorizado (art.40 R.D. 53/92).
- 4.º Describir en el diario de operación general y en el del equipo, el incidente y las medidas que se adoptaron.

En el plazo máximo de 10 días, contados desde el inicio del suceso, se debe remitir al Consejo de Seguridad Nuclear un informe sobre lo ocurrido y sobre las medidas adoptadas. Dicho informe podrá elaborarse siguiendo la Guía de Seguridad GS-5.8 (13).

Incidentes a considerar

Si bien no es posible prever todos los tipos de incidentes que se pueden dar, a continuación se exponen aquellos más comunes durante la operación con los equipos y que como mínimo deberán ser considerados. Se señalan, asimismo, algunas de las acciones que se recomienda adoptar para solventarlos:

1º Desconexión de la fuente radiactiva

En general, la causa que motiva este incidente es un fallo en el mecanismo de acople entre el portafuentes y el cable propulsor del telemando. Las acciones que se recomienda adoptar son las siguientes:

- Recoger el cable propulsor.
- Con ayuda de pinzas (siempre las de mayor longitud) mover la manguera, a fin de que la fuente se deslice hacia el gammágrafo.
- Blindar la fuente.
- Desconectar la manguera del contenedor.
- Con las pinzas, coger el portafuentes e introducirlo en un contenedor de emergencia. Si ello no fuera posible (por carecer de contenedor), con las pinzas se empujaría la fuente hasta el interior del gammágrafo.

2º Manguera deteriorada

Debido a algún golpe, la manguera se deteriora y ello impide el retorno de la fuente radiactiva al interior del gammágrafo. Las acciones que se recomienda adoptar son las siguientes:

- Localizar la fuente con el detector y blindarla.
- Cortar la manguera por la zona deteriorada teniendo cuidado de no dañar el cable propulsor, y eliminar esa parte.
- Unir provisionalmente, con cinta aislante, los dos extremos saneados de la manguera.
- Recoger la fuente con el telemando.

3º Accidente de transporte

En el caso de que ocurra un accidente cuando se está transportando el gammágrafo, la primera medida a adoptar es comprobar con el detector el nivel de radiación, a fin de poder determinar si ha habido rotura del contenedor.

- a) En caso de detectarse altos niveles de radiación:

- Acotar y señalizar la zona.
- Poner el hecho en conocimiento de la autoridad competente, informando de la naturaleza del material que se transporta.

b) En caso de no. detectar altos niveles de radiación:

- Sacar el gammógrafo del vehículo y retirarlo de la zona donde se produjo el accidente, debiendo estar bajo vigilancia.

En el caso de los equipos tipo "Crawler" se deberá considerar, al menos, el supuesto de accidente en el transporte, a semejanza del desarrollado anteriormente, y otros supuestos que impliquen que la fuente no puede retornar a su posición de blindaje. En todos estos supuestos se desarrollarán los procedimientos correspondientes, que incluyan las acciones a tomar para solventarlos y los medios y medidas de protección radiológica a adoptar.

Definiciones

Las definiciones de los términos y conceptos de la presente Guía se corresponden con los contenidos en los siguientes documentos legales:

- Ley 25/1964, de 29 de abril, sobre Energía Nuclear (BOE, n° 107, de 4-05-64, artículo segundo), modificada por la Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico (BOE, n° 285, de 28-11-97).
- Ley 15/1980, de 22 de abril, de creación del Consejo de Seguridad Nuclear (BOE n° 100, de 25-04-80).
- Decreto 2869/1972, de 21 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas (BOE n° 255, de 24-10-72).
- Real Decreto 53/1992, de 24 de enero, por el que se aprueba el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes (BOE n° 37, de 12-02-92).
- Real Decreto 413/1997, de 21 de marzo, sobre protección operacional de los trabajadores externos con riesgo de exposición a radiaciones ionizantes por intervención en zona controlada (BOE n° 91, de 16-04-97).

Además de lo anterior, se utilizan ciertos términos que, dentro del contexto de esta Guía se entienden como sigue:

- **Blindaje:** Construcción formada por un conjunto de materiales de composición y geometría adecuados (especialmente se atiende a los espesores) para atenuar los niveles de radiación procedentes de una fuente radiactiva.
- **Barrera primaria:** Blindaje suficiente para atenuar el haz útil de radiación a un grado requerido.
- **Barrera secundaria:** Blindaje suficiente para atenuar la radiación secundaria que se dispersa del haz útil y de la radiación de fuga del equipo.
- **Haz útil:** Radiación ionizante emitida directamente por una fuente de radiación.

- Enclavamiento: Dispositivo que se instala en los accesos a recintos blindados para impedir la entrada accidental de toda persona durante la exposición con haz útil.
- Factor de transmisión: Cociente entre las tasas de exposición producidas por una fuente radiactiva, con y sin el blindaje interpuesto.

Referencias bibliográficas

1. *Apparatus for industrial gamma radiography.- Design and test criteria. ISO 3999*, International Organization for Standardization.
2. *Dispositivos para señalización de radiaciones ionizantes. UNE 73-302*, Asociación Española de Normalización y Certificación.
3. *Reglamento Nacional de Transporte de mercancías peligrosas por carretera. Real Decreto 74/1992*, de 31 de enero (BOE nº 46, del 22-02-92).
4. *Sealed radioactive sources Classification and general requirements. ISO 29 19*, International Organization for Standardization.
5. *Manual práctico de seguridad radiológica. Manual sobre gammagrafía industrial* Organismo Internacional de Energía Atómica (1994) (Editado por el CSN en 1996).
6. *Reglamento sobre protección sanitaria contra las radiaciones ionizantes. Real Decreto 53/1992*, de 24 de enero (BOE nº 37, del 12-02-92).
7. *Recommendation for data on shielding from ionizing radiation. Part. 1 Shielding from gamma radiation. BS-4094. British Standards Institution.*
8. *Control de la hermeticidad de fuentes radiactivas encapsuladas. GS-5.3*, Consejo de Seguridad Nuclear.
9. Real Decreto 413/1997, de 21 de marzo, sobre protección operacional de los trabajadores externos con riesgo de exposición a radiaciones ionizantes por intervención en zona controlada. (BOE nº 91, del 16-04-97).
10. Real Decreto 533/1996, de 15 de marzo, por el que se declara al Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), como laboratorio depositario de los patrones nacionales de las unidades derivadas de actividad (de un radionucleido), exposición (rayos X y Gamma), Kerma y dosis absorbida, y como laboratorio asociado al Centro Español de Metrología. (BOE nº 77, del 29-03-96).

11. *Bases para la vigilancia médica de los trabajadores expuestos a las radiaciones ionizantes.*
GS-7.4, Consejo de Seguridad Nuclear.
12. *Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas.* Decreto 2869/1972, de 21 de julio (BOE nº 255, del 24-10-72).
13. *Bases para elaborar la información relativa a la explotación de instalaciones radiactivas.*
GS-5.8, Consejo de Seguridad Nuclear.