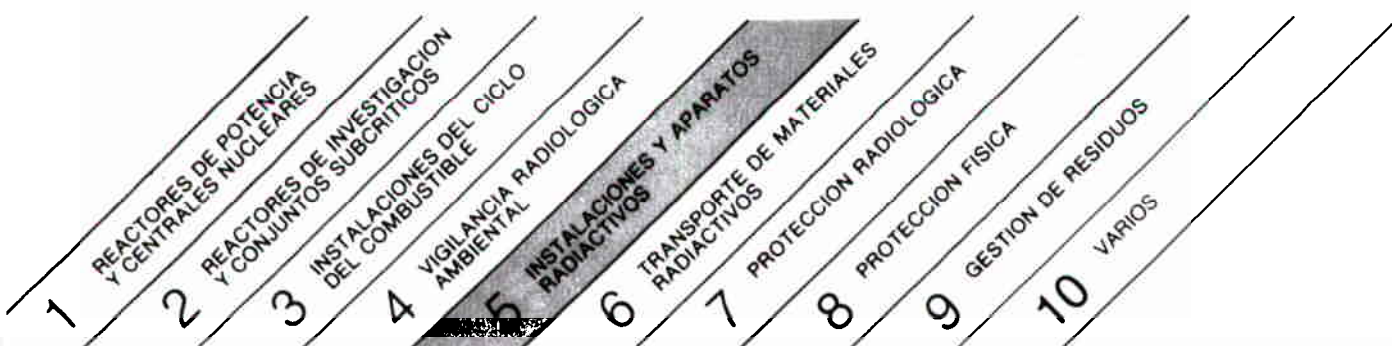




Aspectos técnicos de seguridad y protección radiológica de instalaciones médicas de rayos X para diagnóstico

COLECCION GUIAS DE SEGURIDAD DEL CSN



**Aspectos técnicos de
seguridad y protección
radiológica de
instalaciones médicas
de rayos X para
diagnóstico**

MADRID, octubre de 1990

Indice

1. INTRODUCCION
 - 1.1. Objetivo
 - 1.2. Ambito de aplicación
2. ASPECTOS GENERALES DE
SEGURIDAD NUCLEAR Y
PROTECCION RADIOLOGICA
3. REQUISITOS TECNICOS DE LOS
EQUIPOS
4. REQUISITOS TECNICOS DE LA
INSTALACION
5. PROTECCION DEL PERSONAL

DEFINICIONES

Anexo: Cálculo de Blindajes
Apéndice: Tablas y Figuras para el Cálculo
de Blindajes.

Prólogo

El vigente Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes, en su artículo 3. establece que "la aplicación de los preceptos de este Reglamento corresponden al Ministerio de Industria y Energía y al de Sanidad y Consumo y, en particular, al Consejo de Seguridad Nuclear, sin perjuicio de la competencia específica de otros Ministerios y Autoridades".

En base a lo anteriormente expuesto, el Consejo de Seguridad Nuclear trata de recomendar con esta guía una serie de requisitos técnicos de los equipos de rayos X y de la instalación, así como las medidas de protección radiológica durante el funcionamiento de los mismos con objeto de reducir a valores aceptables el detrimento para las personas, producido como consecuencia de la utilización de radiaciones ionizantes como medio de obtener un beneficio para la sociedad.

Las recomendaciones de esta guía, se extienden a las fases de diseño y construcción de los equipos de rayos X y de las instalaciones y a la protección radiológica durante el funcionamiento de las instalaciones a fin de optimizar cada una de estas fases.

Madrid, octubre de 1990

1. Introducción

1.1. Objetivo

En la presente guía se recomiendan los requisitos técnicos generales aplicables a las fases de diseño, construcción, pruebas de aceptación y funcionamiento de las instalaciones médicas de rayos X para diagnóstico, encaminados a que en cada una de las citadas fases se incorporen los criterios de seguridad nuclear, garantía de calidad y protección radiológica, necesarios para obtener una optimización de todas ellas.

1.2. Ambito de aplicación

Esta guía es aplicable a las instalaciones radiactivas de rayos X para diagnóstico en sus fases de diseño, construcción, montaje y funcionamiento dentro de las actividades de radiología convencional y las que sean aplicables en radiología veterinaria.

2. Aspectos generales de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica

En las instalaciones médicas de rayos X para radiodiagnóstico, se utilizan las radiaciones ionizantes para obtener un beneficio para la sociedad con el mínimo detrimento radiológico para las personas. Para reducir este detrimento a valores aceptables, los criterios y las medidas de seguridad nuclear y de protección radiológica han de aplicarse en las siguientes fases:

- a) En el diseño, fabricación y correcto funcionamiento de los equipos de rayos X.
- b) En la instalación, diseñándose correctamente las salas, su distribución, colocación de los equipos, zonas a proteger, blindajes, y en las pruebas de aceptación y establecimiento de programas de garantía de calidad, orientados a reducir las exposiciones y optimizar cada uno de los aspectos de la práctica radiológica de manera que se obtenga el número de imágenes imprescindible de la calidad necesaria, con las dosis tan bajas como sea practicable.
- c) Durante el funcionamiento, atendiendo a la protección de todo el personal, utilizando adecuadamente los equipos, optimizando los métodos de trabajo y efectuando verificaciones periódicas tanto de los equipos de rayos X como de la instalación en su conjunto.

En los apartados siguientes, se exponen los requisitos técnicos fundamentales recomendados para alcanzar el objetivo previsto en las mencionadas fases.

3. Requisitos técnicos de los equipos

Los requisitos técnicos a que están sujetos los equipos de rayos X para diagnóstico médico se corresponden con las especificaciones técnicas establecidas en los siguientes Decretos de Homologación:

- Real Decreto 2.954/1983 de 4 de agosto, por el que se establece la sujeción a especificaciones técnicas de los tubos de rayos X de ánodo giratorio y tubos equipados para diagnóstico médico (B.O.E. n.º 286 de 30-11-83), y Reales Decretos 1.265/1984, de 6 de junio y 1.144/1986, de 25 de abril, que complementa y modifica, respectivamente, al primero (B.O.E. de 2-7-84 y B.O.E. n.º 144 de 17-6-86).
- Real Decreto 1.252/1985, de 19 de junio, por el que se establece la sujeción a especificaciones técnicas de los generadores de rayos X para diagnóstico médico (B.O.E. n.º 179 de 27-7-85).
- Real Decreto 1.249/1985, de 19 de junio, por el que se establece la sujeción a especificaciones técnicas de las mesas para el diagnóstico radiológico (B.O.E. n.º 179 de 27-7-85).
- Real Decreto 2.603/1985, de 20 de noviembre, por el que se establece la sujeción a especificaciones técnicas de los aparatos de rayos X radioquirúrgicos (B.O.E. n.º 12 de 14-1-86).

De acuerdo con lo establecido en el artículo 1.º, punto 4.1.5 del Real Decreto 105/1988 de 12 de febrero (B.O.E. n.º 41 de 17-2-88), se consideran cumplimentados todos los requisitos técnicos anteriores en el caso de importarse o comercializarse en España equipos de rayos X procedentes de un Estado miembro de la Comunidad Europea o de otros países con los que exista un acuerdo en este sentido; todo ello en las condiciones establecidas en dicho artículo.

4. Requisitos técnicos de la instalación

4.1. Diseño y construcción

El diseño y construcción de una instalación de rayos X con fines de diagnóstico médico, ha de ir orientado a:

- Proteger a las personas, de modo que las dosis equivalentes de radiación que pudiera recibir el personal profesionalmente expuesto, los pacientes y los miembros del público sean tan pequeñas como sea razonablemente posible.
- La conservación del material radiográfico en perfecto estado, ya que el aumento del velo de dicho material puede provocar repeticiones innecesarias de placas o pérdida de la calidad de imagen, con la consiguiente repercusión sobre la Protección Radiológica.
- Evitar la interferencia con otros equipos cuyo correcto funcionamiento sea susceptible de ser perturbado por la radiación.
- Optimizar la calidad de las imágenes con el mínimo de radiación.

Con objeto de conseguir estas consideraciones en el diseño y construcción de las instalaciones, se han de observar las siguientes medidas:

- El acceso a las salas deberá ser controlado.
- Las puertas de acceso deberán permanecer cerradas cuando haya emisión de rayos X.
- Las salas de radiodiagnóstico no serán lugares de paso para acceder a otras dependencias.
- Los pupitres de control de los equipos de rayos X han de estar protegidos mediante mamparas blindadas, a ser posible fijas o estructurales.
- Las mamparas blindadas que protegen la zona de los pupitres de control han de disponer de visores y ha de estar prevista la comunicación con el paciente.
- Los soportes verticales portachasis, de cualquier tipo, para efectuar radiografías no se colocarán en:
 - Zonas del puesto de control.
 - Muros de las salas de revelado o cámaras oscuras o lugares de almacenamiento de películas, a menos que el blindaje y los tiempos de almacenamiento sean tales que el velo (densidad óptica) de las mismas no pueda aumentar en más de 0,05 por este motivo.
 - La inmediata proximidad de las puertas y de manera que el haz directo pueda dirigirse hacia las mismas.
- El diseño se efectuará de forma que en la medida de lo posible no se dirija el haz directo de radiación hacia las mamparas que protegen el pupitre de control, puertas de acceso y ventanas. Análogamente se aconseja no dirigirlos hacia la cámara oscura, a no ser que las barras hayan sido diseñadas para ello.

- No se dispondrán 2 tubos de rayos X en la misma sala alimentados por distintos generadores, a no ser que exista una barrera de protección entre ellos. (Se exceptúan las instalaciones con funcionamiento simultáneo o alterno en dos proyecciones sobre el mismo paciente.)
- Cuando existan dos o más tubos alimentados por el mismo generador, ubicados en la misma sala, no se preparará a un nuevo paciente, cuando uno de ellos esté en funcionamiento.

Finalmente, la planificación y diseño de las instalaciones ha de efectuarse teniendo en cuenta consideraciones futuras (carga de trabajo, futuras ampliaciones, etc). Asimismo han de tomarse en consideración no solo los límites de dosis actuales, sino que es imprescindible introducir, en todos los casos, el criterio ALARA.

4.1.1. Diseño y clasificación de áreas de trabajo

Las áreas de trabajo se clasifican, en función del riesgo de exposición, en zona controlada y zona vigilada, de acuerdo con lo establecido en el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes. Dichas zonas han de estar delimitadas y señalizadas adecuadamente y el acceso a las mismas estará limitado a personas autorizadas siempre que los pupitres de control estén conectados o haya emisión de rayos X.

El personal profesionalmente expuesto que pueda permanecer en zonas controladas, estará obligado a portar dosímetros individuales, mientras que, en zonas vigiladas, puede optarse por la instalación de dosimetría de área para estimar las dosis que pudiera recibir el personal en las mismas, siempre que los dosímetros estén en lugar representativo de las dosis que pueda recibir dicho personal.

A tal efecto, se recomienda la clasificación de zona vigilada para todos los lugares situados detrás de las mamparas de protección de los pupitres de control, y zona controlada al interior de las salas con equipos fijos, al menos mientras el generador esté conectado a la red. En el interior de las salas se deberá siempre utilizar delantales plomados cuando hay emisión de radiación. Asimismo, se recomienda que las zonas controladas estén delimitadas por elementos de construcción estructurales. Se recomienda que pasillos y dependencias de utilización pública, colindantes con las salas de radiodiagnóstico, sean zonas de libre acceso donde no se puedan superar los límites de dosis establecidos para los miembros del público.

Además de lo expuesto anteriormente, cuyo objetivo es la vigilancia de las personas profesionalmente expuestas, se recomienda realizar una dosimetría de área al menos una vez en la vida de cada instalación y después de cada modificación que pueda ser significativa a este respecto, así como realizar,

sobre los valores obtenidos por esta vía y sobre los resultados de la dosimetría personal individual, un cuidadoso análisis dirigido a evaluar las condiciones de seguridad y protección radiológica de la instalación durante su funcionamiento. Todo esto sin perjuicio de otras verificaciones que hayan de llevarse a cabo.

4.1.2. Señalización de áreas

Las zonas vigiladas y controladas de una instalación, deberán estar convenientemente señalizadas mediante el símbolo internacional de un trébol bordeado de puntos radiales, con objeto de indicar que únicamente existe riesgo de irradiación externa, enmarcado en una orla rectangular del mismo color que el trébol. Los colores y dimensiones de las señales estarán de acuerdo con lo establecido en el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes y en la Norma UNE 23 077.

Se recomienda que las mencionadas señales lleven una leyenda en la que se indique que dicha señal únicamente es válida, cuando los generadores y equipos de rayos X estén conectados a la red.

Asimismo, se recomienda que, además de las señales indicadas anteriormente, se coloque en los accesos de las salas de radiodiagnóstico, en un lugar visible, una señal luminosa de color rojo que indique cuándo hay emisión de rayos X, o desde que empieza hasta que termina una exploración, con una leyenda que exprese que la entrada está prohibida cuando la luz está encendida.

En cualquier caso, la señalización ha de cumplir los objetivos siguientes:

- Que los pacientes no entren en la sala de exploración hasta que se les llame, y siempre a través de la cabina vestuario que estará blindada por la parte colindante con la sala.
- Que el personal del Hospital se abstenga de entrar en la sala de exploración, salvo aquellas personas autorizadas explícitamente.
- Que sólo entren a la sala las personas que tengan que permanecer dentro durante la exploración.
- Que no se produzca la entrada involuntaria o indebida de personal sin delantal, coincidiendo con un disparo radiográfico o una radioscopía.

4.1.3. Diseño de la cámara oscura y del lugar de almacenamiento de películas

El diseño irá orientado a contribuir a la obtención de una buena calidad de imagen con el mínimo de exposición a la radiación, evitando en especial repeticiones indebidas.

Para elegir la ubicación de las reveladoras, se tendrá en cuenta el número de placas a realizar en cada sala y las distancias, de modo que en base a

ello se decida la colocación centralizada, descentralizada o mixta, siempre optimizando los trayectos del personal y de los chasis.

En el diseño del interior de la cámara oscura se tendrán en cuenta rigurosamente las condiciones de:

- Temperatura, humedad.
- Blindaje frente a radiación.
- Ausencia de entradas de luz.
- Luz de seguridad, distancia y filtro; distribución y color de las superficies de trabajo de manera que el operador tenga la visibilidad necesaria con el mínimo de velo a las películas.
- Ventilación y separación de zona húmeda y seca.
- Evitar confundir chasis expuestos de los no expuestos.

La ubicación y blindaje del almacén de películas se hará de tal modo que la temperatura a que estén sometidas las mismas sea la recomendada por el fabricante y su exposición a la radiación sea mínima. En particular, se proveerá los medios para que la posición de las películas sea vertical, y con las fechas de caducidad bien visible. El nivel de radiación será lo bastante reducido como para que sean aceptables los tiempos de almacenamiento previstos y las películas no deben recibir más radiación, que aquella que produzca un aumento de velo hasta 0,05 (valor orientativo de dosis en torno a 2-5 micro Gy, dependiendo de la sensibilidad de las películas).

4.2. Blindajes

En el cálculo de las barreras de protección de una sala de radiodiagnóstico, es razonable considerar una carga de trabajo que cubra las previsiones futuras en función del volumen máximo de exploraciones que puedan ser practicadas.

Los principales parámetros que intervienen en la protección de un local son:

- La carga de trabajo del equipo de rayos X.
- La posición prevista del tubo o tubos de rayos X y la dirección prevista de los haces útiles de radiación.
- La calidad de la radiación (penetración del haz).
- El tipo de radiación: Radiación directa, residual, dispersa o de fuga.
- La presencia simultánea de radiaciones ionizantes que provengan de otras fuentes.
- La clasificación de las áreas circundantes.

- Las características constructivas de los muros ya existentes en la instalación.
- La clasificación del personal a proteger: profesionalmente expuesto o miembros del público.

4.2.1. Materiales de blindaje

En Radiodiagnóstico es habitual utilizar planchas de plomo dado que en general el espesor necesario se halla en torno a los 2 mm de este material, con lo cual el peso no es tan grande que llegue a producir deformación de las planchas verticales.

No obstante en muchos casos las propias paredes de la instalación pueden ofrecer un blindaje significativo o incluso sustituir la función del plomo. Este es el caso de los muros de hormigón o de ladrillo macizo.

Por esta razón en el apéndice se dan unas tablas de equivalencia entre el plomo y otros materiales de construcción.

En las paredes de ladrillo hueco, o en los suelos y techos de forjado con bovedilla, es preciso prestar atención a que los espesores considerados sean los reales, es decir no incluyan los huecos, y si el muro no es homogéneo tomar en consideración las zonas más desfavorables.

4.2.2. Cálculo de Blindajes

Como principio general, el diseño del blindaje debe basarse en la aplicación del criterio ALARA, al igual que en todos los aspectos de protección radiológica. Según este principio, el cálculo no se efectuará en base a los límites de dosis reglamentarios, sino que se optimiza la dosis colectiva reduciéndola todo lo posible hasta conseguir que la diferencia entre el beneficio y el coste de blindaje sea máxima. Un ejemplo de cómo hacerlo viene ilustrado en los párrafos 252 a 256 de la publicación ICRP-33 y se basa en efectuar sucesivos tanteos, analizando en cada uno los costes y las dosis colectivas hasta encontrar dicho máximo (optimizar).

Sin embargo dada la dificultad de este cálculo, la mayor parte de la normativa existente, continúa adoptando el método tradicional de cálculo basado en los límites individuales de dosis. El método no contradice el criterio ALARA a pesar de seguir basándose en los límites individuales, ya que las dosis que resultan en la práctica vienen a estar entre 1/10 y 1/30 de dicho límite. Ello es debido a que todas las hipótesis de cálculo contienen un factor de seguridad, los cuales multiplicados entre sí arrojan las reducciones de dosis indicadas.

Dichos factores de seguridad se introducen al:

- Sobrestimar intencionadamente la carga de trabajo, los valores de kVp, los factores de ocupación y de utilización y tamaños de campo promedio.

- Suponer que las personas permanecerán junto a la pared, al otro lado del blindaje, en el lugar más desfavorable.
- Despreciar la atenuación del paciente y del dispositivo de imagen en el haz directo.
- Algunos reglamentos recientes(*) aplican incluso un factor de reducción adicional al límite de dosis poniendo un tope inferior.

En el caso de aplicar con rigor el método de optimización mencionado al principio, no sería correcto utilizar hipótesis desfavorables ni introducir factores de seguridad. Para que la optimización sea real ha de trabajarse con hipótesis reales, ya que de lo contrario el resultado no sería óptimo sino otro más costoso pero sin la contrapartida de una reducción de dosis en consonancia con el aumento de coste (Véase párrafo 256 de la ICRP-33).

Por tanto, a continuación se explica el método tradicional basado en fijar un tope de dosis individual al otro lado del blindaje. En la práctica, para esta baja energía de fotones propios del Radiodiagnóstico se utilizan tres procedimientos para determinar el espesor de la barrera por el método tradicional:

- Estimar el campo de radiación que existiría en la zona a proteger si no hubiera blindaje, fijar como hipótesis un tope para el valor de dosis y deducir el espesor necesario para atenuar el valor de campo hasta dicho tope.
- Utilizar directamente tablas que contienen los resultados de aplicar el método anterior para un elevado número de hipótesis de partida. (Véase Apéndice, Tablas 1a, 1b y 1c.)
- Por último se pueden utilizar, por razones prácticas, espesores normalizados a uno o dos valores para todas las barreras. Esto es aceptable en la mayoría de los casos, en los que las condiciones de trabajo (distancias, cargas de trabajo...) están dentro de los márgenes habituales.

En el Anexo se proporciona una explicación orientativa del método a).

4.2.3. Prácticas constructivas(**)

Los blindajes de las salas de radiodiagnóstico, se deberán construir de modo que no se debilite la protección a causa de las juntas, conductos, tuberías, etc., que pasen a través de las barreras, o diferentes elementos de servicio empotrados en las barreras. Las puertas (en otros medios de acceso a la sala) y las ventanas de observación, requieren una consideración especial para asegurar una protección adecuada sin perjuicio de la eficiencia operacional.

* Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgen-Strahlen (Röntgenverordnung) (1978) Bundesgesetzblatt, República Federal de Alemania.

** Ver Publicación n.º 49 de National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP) - USA.

a) Juntas

Las juntas entre las planchas de plomo deberán ser construidas de modo que las superficies estén en contacto y con un solapamiento de al menos 1 cm o dos veces el espesor de la plancha.

Las barreras protectoras construidas con bloques sólidos o ladrillos, deberán tener mortero (sin huecos) de al menos la misma densidad que los bloques.

Las juntas entre diferentes clases de materiales deberán ser construidas de modo tal que no se debilite la protección total de la barrera, por ejemplo una extensión del plomo dentro del hormigón podría ser necesaria para atenuar la radiación dispersa, aunque normalmente en instalaciones de diagnóstico convencionales no se suele requerir esta extensión del plomo.

b) Aberturas en barreras protectoras

Las aberturas en barreras protectoras para puertas, ventanas, conducciones para ventilación, etc. pueden requerir algún tipo de apantallamiento para asegurar que se mantiene el grado total de protección requerido. Siempre que sea posible, la abertura deberá estar localizada en una barrera secundaria, en las que los espesores de blindaje requeridos son menores. El diseño de estos apantallamientos depende de los siguientes factores:

- Energía de la radiación.
- Orientación y tamaño del campo de radiación.
- Tamaño y localización de la abertura en la barrera protectora.
- Relación geométrica entre la fuente de radiación y la abertura.
- Relación geométrica entre la abertura y las personas, materiales o instrumentos a proteger.

A modo general, una protección efectiva con el mínimo coste, se ha de obtener considerando todos los factores en cada una de las instalaciones individuales. Normalmente, el material de blindaje más económico para un apantallamiento es el plomo, porque la cantidad de radiación dispersada por este material es menor que la dispersada por materiales más ligeros.

La barrera de protección primaria en salas de radiodiagnóstico no necesita extenderse más de 2,10 m desde el suelo; por tanto, las aberturas en la pared por encima de esta altura, generalmente, no requieren apantallamiento.

c) Accesos a la sala de radiodiagnóstico

Se pueden utilizar varios métodos para proveer accesos a la sala de radiodiagnóstico. El más conveniente sería disponer de una puerta plomada directamente al interior de la sala. Los requerimientos de plomo, o su equivalente para una puerta, dependerá de la energía de la radiación, de la carga semanal y de la orientación del haz.

d) Ventanas de observación

Las ventanas de observación para salas de radiodiagnóstico están normalmente hechas de vidrio plomado.

4.3. Prácticas de funcionamiento(*)

Los siguientes casos, se han de considerar como reglas fundamentales de funcionamiento, aunque en circunstancias particulares se podrían añadir otras para cada situación concreta.

4.3.1. Salas de radiografía únicamente

1. Antes de proceder a efectuar la exploración, cerrar las puertas de la sala.
2. Durante la radiografía, todo el personal deberá permanecer en la zona protegida donde se pueda observar al paciente a través de un visor suficientemente protegido.
3. Se deberá diafragmar el campo de exploración al mínimo suficiente para el diagnóstico.
4. Siempre que sea posible, utilizar protectores gonadales para los pacientes.
5. Cuando sea necesario sostener un chasis radiográfico, se deberán utilizar dispositivos mecánicos.
6. No deberá permanecer ningún paciente en la sala mientras se está explorando a otro.
7. La inmovilización de los pacientes se efectuará mediante la utilización de sujeciones mecánicas adecuadas. Si fuera imprescindible sujetar a un paciente, se deberá:
 - a) Utilizar delantal y guantes plomados, permanecer fuera del haz directo y lo más alejado posible.
 - b) Utilizar siempre dosímetro personal cuando se efectúan este tipo de exploraciones por personal profesionalmente expuesto.
 - c) En ningún caso se efectuará por mujeres gestantes ni personas menores de 18 años.

* Ver "Manual de radioprotección dans les hopitaux et en pratique générale", OMS, Vol. 3 Radiodiagnostic (1975).

4.3.2. Salas de radiografía y radioscopia

1. Durante la realización de la radioscopia, sólo permanecerá en el interior de la sala el personal imprescindible.
2. La radioscopia se ha de efectuar con intensificador de imagen.
3. No se deberá pulsar el pedal para radioscopia nada más que cuando se necesite información.
4. Se ha de tener en cuenta en exploraciones a pie de tubo, que la disposición de tubo arriba de la mesa e intensificador abajo, produce más radiación dispersa. En esos casos se colocará algún dispositivo de protección (pantallas, cortinas, etc.).
5. La distancia foco-piel nunca debe ser inferior a 30 cm, recomendándose que sea superior a 45 cm(*).
6. Dependiendo del tipo de exploración puede ser recomendable la utilización de dosímetros adecuados para estimar las dosis en las partes del organismo potencialmente afectadas (de anillo, de muñeca, etc.).

4.3.3. Equipos móviles

1. Bajo ninguna circunstancia se efectuará radioscopia con un equipo móvil si éste no dispone de intensificador de imagen.
2. No se deberá dirigir el haz directo hacia ninguna persona que no sea el paciente.
3. En caso de exploración radiográfica, el personal permanecerá durante el disparo lo más alejado posible del paciente; siempre que sea posible, a una distancia no inferior a 2 m y provisto de delantal plomado.
4. Siempre que sea posible, se utilizarán protectores gonadales y se diafragmará el campo exploratorio al mínimo con el fin de no irradiar partes importantes del paciente que no sean objeto de la exploración.
5. En relación con la sujeción de un paciente o chasis, se aplicará lo especificado en el punto 4.3.1.

4.3.4. Radiografía dental

1. No se dirigirá el haz directo hacia ninguna otra persona que no sea el paciente.
2. En radiografía dental intraoral, la placa radiográfica la sujetará el mismo paciente o bien la sujeción se realizará por medios mecánicos.
3. Los disparos radiográficos se efectuarán a una distancia mínima de 2 m del tubo emisor

* Publicación n.º 33 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR o ICRP).

de rayos X, colocándose el operador en un lateral del mismo. En el caso excepcional de que con tal procedimiento se comprometiera la finalidad perseguida por la exploración, el operador se protegerá mediante un delantal plomado o cualquier otro dispositivo similar.

4. Se deberá disponer de un delantal plomado para proteger al paciente, en aquellos casos que se estime necesario.
5. La apertura del haz de radiación se limitará con localizadores apropiados, al mínimo compatible con la exploración a efectuar.
- 6.- Se han de cuidar de manera especial las normas de protección cuando se efectúen exámenes radiológicos a niños o cuando sea absolutamente imprescindible efectuarlos a una mujer embarazada.

Finalmente, resulta imprescindible la implantación de un programa de garantía de calidad con objeto de mantener la calidad de las imágenes en todas las técnicas de radiodiagnóstico y, en general, para optimizar la protección radiológica en el funcionamiento de las instalaciones. (Este tema será objeto de otra guía de seguridad del CSN.) Para garantizar el buen funcionamiento de los equipos, se recomienda que se efectúe el control de calidad de los mismos al menos una vez al año sin perjuicio de ciertas comprobaciones que han de hacerse con mayor frecuencia, así como realizar el mantenimiento de los equipos con la periodicidad adecuada de acuerdo con el resultado del control de calidad efectuado. Todas estas revisiones se han de llevar a cabo por personal o entidades debidamente autorizados. La retirada de los equipos defectuosos y la inutilización de los tubos podrá ser realizada por estas mismas entidades.

5. Protección del personal

5.1. Protección del personal profesionalmente expuesto

- El personal profesionalmente expuesto, deberá estar correctamente informado respecto al riesgo de exposición a las radiaciones ionizantes en su puesto de trabajo y el modo de protegerse en cada caso.
- El personal no deberá permanecer en la sala de exploración mientras los equipos de rayos X estén en funcionamiento.
- Si por las características propias de una exploración se hiciera necesaria la presencia de una o varias personas en el interior de la sala de exploración, éstas deberán ir provistas de delantal plomado. En ningún caso se encon-

trarán entre ellos mujeres gestantes ni personas menores de 18 años, estarán siempre en el menor número posible y no quedarán nunca expuestos al haz directo.

- Las personas profesionalmente expuestas que lo sean a su vez en más de una instalación, deberán dar cuenta expresa de tal circunstancia a los encargados de la protección de cada uno de los centros en los que trabajen, al objeto de que en todos ellos conste, actualizado y completo, su historial dosimétrico individual.
- En todos los casos, el personal adscrito a una instalación se atenderá a lo dispuesto en el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra radiaciones ionizantes.

En la práctica, es posible, en todos los casos, conseguir que todo el personal reciba dosis muy inferiores a los límites, incluso en las exploraciones de mayor exposición, que son aquellas que se realizan junto al paciente (angiografía, radiología intervencionista, cirugía).

El logro de este objetivo presupone optimizar cada uno de los procedimientos y medios de protección. Se citan a continuación sólo dos ejemplos:

- En la exploración de partes sin movimiento (p. ej: cirugía ortopédica, traumatología) memorización del último cuadro de la imagen de escopia y continuar observando la misma sin radiación, siempre que sea posible.
- Utilizar protectores de radiación dispersa colgados del tubo o del intensificador en el caso de haz vertical, o bien vidrios con cortinillas colgados del techo en caso de trabajar proyecciones oblicuas del haz (p. ej: cateterismo cardíaco), con el fin de proteger cabeza, cuello y manos de la persona más expuesta, es decir la que maneja el catéter.

5.2. Protección del paciente

Las fuentes principales de exposición a la radiación ionizante para la población son la natural y las aplicaciones médicas de la misma. De estas últimas, la mayor contribución es debida al radiodiagnóstico.

La Comisión Internacional de Protección Radiológica recomienda (ICRP Publicación n.º 57), en relación con evitar dosis innecesarias a los pacientes, lo siguiente:

- Reducir las dosis absorbidas recibidas por los tejidos de aquella región del cuerpo sometida a examen radiológico, al mínimo compatible con la obtención de la información necesaria para cada paciente en particular.
- Reducir tanto como sea posible la irradiación de otras partes del cuerpo.

- Tratar de evitar las repeticiones innecesarias de irradiaciones.

La cantidad de radiación que incide en un paciente y que es necesaria para generar una imagen diagnóstica útil depende de varios factores técnicos y físicos. Los factores que contribuyen a la reducción de la irradiación tienen por finalidad, la eliminación de la radiación que no es necesaria para la formación de la imagen útil y la elección correcta del sistema de imagen compatible con el diagnóstico en cada caso particular. Sin embargo, hay un límite por debajo del cual la radiación incidente en el sistema de imagen contiene insuficiente información para ser de valor diagnóstico.

De este modo, observar las siguientes técnicas, evita suministrar dosis innecesarias a los pacientes:

- Disminuir el tamaño del campo de irradiación.
- Proteger los órganos del cuerpo que potencialmente puedan ser afectados (gónadas, cristalino, etc.).
- No disminuir la distancia foco-piel o foco-sistema de imagen por debajo de los valores recomendados.
- No disminuir la filtración total por debajo de los valores recomendados.
- Utilizar rejillas antidifusoras de materiales de fibra de carbón.
- Controlar los tiempos de irradiación.
- Utilizar cuando sea posible cartulinas reforzadoras conteniendo materiales fosforescentes de alta eficiencia, tales como tierras raras, bario y tántalo.
- Controlar la radiación difusa, utilizando cuando sea posible rejillas antidifusoras entre el paciente y el sistema de imagen.
- Procesar correctamente las películas radiográficas.
- Reducir el número de repeticiones de irradiaciones.
- Establecer programas de garantía de calidad.

5.3. Protección de los miembros del público

En este grupo se incluyen los propios pacientes cuando no están sometidos a una exploración radiológica.

Fundamentalmente, la protección de los miembros del público está basada en el diseño adecuado del servicio, correcta distribución de las salas, pasillos, consultas y salas de espera; blindajes, clasificación de las áreas en función del riesgo de exposición, su señalización correcta, así como la señalización de todo el servicio en su conjunto.

En el caso particular de utilización de equipos móviles en una sala donde esté hospitalizada más de una persona, se deberán tomar las precauciones para evitar irradiar a otro paciente que ocupe una cama contigua en dicha sala.

Definiciones

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

- Ley 25/1964, de 29 de abril, sobre Energía Nuclear (B.O.E. n.º 107, del 4-5-64, artículo segundo) y Decretos que la desarrollan.
- Ley 15/1980, de 22 de abril, de Creación del Consejo de Seguridad Nuclear (B.O.E. n.º 100, del 25-4-80). Disposición Adicional Primera y artículo décimo.
- Real Decreto 2.519/1982, de 12 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes (B.O.E. n.º 241, del 8-10-82) y Real Decreto 1.753/1987, de 25 de noviembre, por el que se modifica parcialmente el mismo (B.O.E. n.º 13, del 15-1-88).
- Real Decreto 2.954/1983, de 4 de agosto, por el que se establece la sujeción a especificaciones técnicas de los tubos de rayos X de ánodo giratorio y tubos equipados para diagnóstico médico (B.O.E. n.º 286, del 30-11-83).
- Real Decreto 1.252/1985, de 19 de junio, por el que se establece la sujeción a especificaciones técnicas de los generadores de rayos X para diagnóstico médico (B.O.E. n.º 179, del 27-7-85).
- Real Decreto 1.249/1985, de 19 de junio, por el que se establece la sujeción a especificaciones técnicas de las mesas para el diagnóstico radiográfico (B.O.E. n.º 179, del 27-7-85).

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

Alara: Acrónimo de la expresión inglesa "As Low As Reasonably Achievable" (valor más bajo que pueda razonablemente alcanzarse), concepto que significa que el diseño y uso de fuentes radiactivas y equipos generadores de radiaciones ionizantes, y las prácticas correspondientes, deben ser tales que se tenga la seguridad de que las exposiciones a la radiación se reducen al valor más bajo que sea razonablemente conseguible, teniendo en cuenta los factores económicos y sociales.

Radiación de Fuga: Radiación ionizante que ha pasado a través de un blindaje de protección de una fuente de radiación, así como también aquella de algunos tipos de generadores de rayos X, que ha pasado por la ventana de radiación, antes y después de la carga, por ejemplo, el caso de un tubo de rayos X con rejilla de control.

Radiación dispersa: Para las radiaciones ionizantes, toda radiación excepto la específica para el haz de radiación considerado, pero incluyendo su radiación residual.

Radiación primaria: Radiación ionizante emitida directamente por el blanco o por una fuente radiactiva.

Radiación residual: En Radiología Médica, aquella parte del haz de radiación que queda después de haber pasado el plano de la superficie receptora de imagen y de cualquier dispositivo importante de medición, o en Radioterapia, la que emerge de la parte del cuerpo intencionadamente irradiada.

Radiación secundaria: Radiación ionizante emitida por la materia como resultado de una interacción de la radiación primaria con dicha materia.

ANEXO

CÁLCULO DE BLINDAJES

Para el cálculo de blindajes de una sala de radiodiagnóstico, es necesaria la determinación de los siguientes factores:

W: Carga de trabajo.

Se define por el cociente

$$W = \frac{I \times t_i}{t} \left(\frac{\text{mA} \times \text{min}}{\text{sem}} \right)$$

donde:

- I es la intensidad de corriente en mA.
- t_i es el tiempo de emisión de radiación en el intervalo t (generalmente se considera $t = 1$ semana).
- Si se utilizan distintos valores de I, se suman todos los productos de cada I por su tiempo t_i correspondiente.

Observaciones importantes:

1. Para cada valor de kVp le corresponderá una carga de trabajo diferente como puede deducirse de los ejemplos de la tabla 2. Los valores de dicha tabla son generalmente superiores a los que se encuentran en la práctica, pero sirven como hipótesis de cálculo conservadoras.

Una carga de trabajo doble que lo real puede requerir únicamente unas décimas de plomo más. Por ejemplo: a 100 kVp una duplicación de la carga de trabajo requiere sólo 0,25 mm de Pb. Por tanto resulta más práctico asumir valores normalizados o redondeados por exceso para las cargas de trabajo, que hacer un balance detallado de todas las exploraciones, que además tendrán muchas incertidumbres de todos modos.

2. No es necesario considerar en el cálculo las cargas de trabajo a todas las tensiones, como se deduce de los siguientes ejemplos.
 - 2.1. Al atravesar una barrera de 1,5 mm Pb la radiación de 75 kVp se atenúa 25 veces más que la de 100 kVp. Si la barrera es de 2 mm de Pb, en lugar de 25 será 75 veces más.
Por tanto, en general, las cargas de trabajo a 75 kVp se pueden despreciar frente a las de 100 kVp, a efectos de cálculo de blindaje.
 - 2.2. La radiación de 100 kVp se atenúa 2,5 veces más que a 150 kVp, es decir, si se utilizan los dos valores kVp, la W de 100 kVp contribuye como $W/2,5$ frente a la de 150 kVp.
 - 2.3. Todo lo indicado anteriormente sirve para simplificar fuertemente los cálculos, y permite en la práctica tomar únicamente las tensiones más altas que se utilicen, redondeando por exceso para tener en cuenta las pequeñas contribuciones de las cargas de trabajo de otras tensiones inferiores.

U: Factor de uso

Es la fracción de la carga de trabajo para la cual el haz útil está dirigido hacia el lugar considerado a proteger.

El factor de uso para barreras primarias en instalaciones de radiodiagnóstico sería:

Suelo: $U = 1$

Paredes: $U = 1/4$

Techo: $U =$ el requerido para barreras secundarias.

El factor de uso para barreras secundarias es normalmente 1.

En general, los blindajes para el techo están determinados por los requerimientos para barreras secundarias, ya que el factor de uso es generalmente bajo.

T: Factor de ocupación

Es el factor por el cual hay que multiplicar la carga de trabajo para tener en cuenta el grado de ocupación relativo de la zona considerada a proteger.

Las zonas se clasifican en:

Zonas de ocupación total: $T = 1$

Zonas de ocupación parcial: $T = 1/4$

Zonas de ocupación ocasional: $T = 1/16$

El factor de ocupación para áreas ocupadas por personal profesionalmente expuesto es 1.

El factor de ocupación para áreas ocupadas por miembros del público sería:

Ocupación total: $T = 1$. Áreas de trabajo, laboratorios, oficinas, despachos, talleres, tiendas, conserjerías, zonas de recepción y pasillos anchos que permitan colocar mesas o mostradores, cuartos oscuros, viviendas, zonas infantiles, etc.

Ocupación parcial: $T = 1/4$. Pasillos estrechos, salas de espera, aparcamientos, ascensores con operador, etc.

Ocupación ocasional: $T = 1/16$. Exteriores, aseos, escalera, ascensores automáticos, etc.

En aquellos casos en que $U \times T$ sea muy pequeño se recomienda tomar para dicho producto el valor 0,1.

El rendimiento (Γ) utilizado en esta guía es la dosis equivalente (mSv) que produce un haz a 1 m de distancia, por cada mA $\times$ min de carga. Se expresa por tanto en:

$$\frac{\text{mSv} \times \text{m}^2}{\text{mA} \times \text{min}}$$

y depende de la tensión, forma de onda (monofásica, trifásica y tensión constante) y de la filtración. En la figura 1 se proporcionan valores aproximados para este coeficiente. (Tomado de la norma DIN 6812).

Para cada caso concreto el "término fuente" podemos definirlo como $\Gamma \times W \times U$ y representa la dosis equivalente que se recibiría a 1 m en las condiciones de trabajo (W y U) de dicho caso concreto.

CALCULO DEL ESPESOR DE LAS BARRERAS DE PROTECCION

Según el método aludido en el apartado 4.2.2. a) de esta guía.

a.1) CALCULO DE BARRERAS PRIMARIAS.

Los pasos de cálculo lógicos son:

- Determinar el término fuente.
- Determinar a partir de éste, la dosis equivalente que se recibiría en el lugar a proteger si no hubiera blindaje. Es decir:

$$H = \frac{\Gamma \times W \times U \times T}{d^2} \left(\frac{\text{mSv}}{\text{sem}} \right) \quad \text{donde } d \text{ es la distancia entre el foco del tubo y la zona a proteger.}$$

- Fijar el tope de dosis semanal al otro lado del blindaje: H_w (mSv/sem).
- Determinar el factor de atenuación (A) que debe tener la barrera. Este factor se define como el cociente entre la dosis H y H_w , es decir entre las que habría sin blindaje y con éste. La inversa del factor de atenuación es el de transmisión (T).

El factor de atenuación se calcula por tanto así:

$$A = \frac{\Gamma \times W \times U \times T}{d^2 \times H_w}$$

- Una vez conocido el factor de atenuación, y utilizando las curvas de la figura 2, se deduce el espesor de plomo. Con la tabla 3 del Apéndice se puede asimismo deducir el espesor equivalente para otros materiales distintos del plomo.

a.2) CALCULO DE BARRERAS SECUNDARIAS

Para proteger las zonas sobre las que no puede incidir el haz de radiación directo, pasa a ser dominante el efecto de la radiación parásita, compuesta por la dispersa y la de fuga a través de la carcasa del tubo de rayos X.

Para calcular la acción combinada de ambas es aceptable el siguiente procedimiento simplificado:

- Se calculan los espesores del blindaje frente a radiación dispersa y de fuga por separado como si sólo existiera una de las dos.
- Se considera el mayor de los dos espesores obtenidos y se calcula la contribución de la otra dosis a través del espesor mayor.
- Si esta contribución es menor de 1/10 que la de la primera, se desprecia la de menor contribución frente a la mayor.
- Si dicha contribución es del mismo orden de magnitud, no se debe despreciar ninguna de las dos; lo que debe hacerse es reducir la dosis total en un factor 2, lo cual se consigue añadiendo, por simplificar, una capa semirreductora frente a radiación de fuga, que es la más penetrante de las dos.

Se explica a continuación un procedimiento aceptable para calcular los dos espesores frente a radiación dispersa y de fuga (según el punto i).

i.1) Procedimiento de cálculo de barreras frente a radiación dispersa.

El método de cálculo es conceptualmente igual que el de radiación directa, pero con las siguientes salvedades:

- El factor de uso ha de ser $U = 1$, como ya se indicó.
- El "término fuente" $\Gamma \times W \times U$ se sustituye por

$$\frac{\Gamma \times W \times a \times S}{d_p^2 \times 400} \left(\frac{\text{mSv} \times \text{m}^2}{\text{sem}} \right)$$

donde:

- a = Factor de dispersión, que con el fin de simplificar puede considerarse igual a 0,002, para un tamaño de campo de 400 cm² sobre la piel del paciente.
- S = Superficie real en cm² del haz (promedio) tomado sobre el paciente.
- d_p = Distancia del foco del tubo de rayos X al paciente (ya que se considera a éste como principal fuente de dispersión).

A partir de este valor en mSv/semana a 1 m de distancia se sigue el procedimiento de cálculo igual que para el haz directo. La fuente de radiación es ahora el centro de la superficie de entrada del haz en el paciente, y se ha de tomar una distancia secundaria (d_s) desde dicho centro hasta la zona a proteger. Es válida la ley del inverso del cuadrado de la distancia, a pesar de que no se trata de una fuente puntual, siempre que la distancia (d_s) sea superior a cinco veces el mayor lado del haz de radiación.

El factor de atenuación para radiación dispersa resulta ser:

$$F = \frac{\Gamma \times W \times T \times a \times S}{d_p^2 \times d_s^2 \times 400 H_w}$$

Las curvas de atenuación a utilizar son las mismas que para el haz directo, lo cual representa un criterio conservador ya que en realidad la energía de los fotones dispersados es inferior a la de los fotones del haz directo.

i.2) Procedimiento de cálculo de barreras frente a radiación de fuga a través de la carcasa.

La base de partida es la siguiente:

1. El blindaje de la coraza cumple la condición de que no se sobrepasa el valor 1 mGy en una hora a 1 m de distancia en ninguna dirección fuera del haz útil, trabajando con la máxima carga (Qh) que soporte el tubo en ese tiempo. (A efectos de cálculo de blindajes y de Protección Radiológica en Radiodiagnóstico podemos considerar numéricamente que 1 mGy corresponde a 1 mSv de dosis equivalente).
2. Esta carga máxima Qh, que corresponde a 1 mGy a 1 m, puede conocerse de dos formas:
 - 2.1. La proporciona el fabricante en los documentos de acompañamiento, dándola en mAs/h ó mA.min/h para distintos valores de kVp.
 - 2.2. Se toman valores orientativos que en la práctica nunca se superan. Ejemplos para estos valores son los tomados de la publicación NCRP-49 y que se exponen a continuación:

Valor de kVp	Intensidad máxima si se mantuviese durante una hora de forma continua (mA)	Valor de Qh en mA.min
100	5	300
125	4	240
150	3,3	200

3. La dosis absorbida máxima de 1 mGy a 1 m le corresponde a la carga de Qh. Al valor de la carga semanal le corresponde 1.W/Qh mGy/semana a 1 m.

Observación: Dado que el blindaje de la carcasa está diseñado para no sobrepasar 1 mGy en las condiciones más desfavorables, es decir con la máxima tensión de diseño (kVp máximos), si la carga Qh está referida a una tensión menor la dosis absorbida que resulta será inferior a 1 mGy, por lo cual es válido aplicar un factor de corrección de fuga (f) que se puede obtener de las curvas de la figura 3 del Apéndice.(*)

La dosis máxima a 1 m sería entonces f.W/Qh mGy/semana.

4. A continuación se calcula el factor de atenuación necesario.

$$A = \frac{f \times W \times T}{Qh \times d_s^2} \quad (\text{sin dimensiones})$$

El factor de uso es asimismo $U = 1$ ya que la radiación de fuga existe siempre en todas direcciones.

5. Para calcular la barrera necesaria a partir del factor de atenuación A, se tiene en cuenta que la radiación de fuga está fuertemente filtrada, y que el valor de 1 mGy transmitido, está formado sólo por los fotones más penetrantes del espectro.

Partiendo de este hecho se puede suponer que la atenuación de la radiación de fuga es exponencial y es aceptable calcular las barreras en base a las capas hemirreductoras (CHR) o decimorreductoras (CDR). Si A es la atenuación necesaria, el número de capas hemirreductoras necesario (n) es:

$$2^n = A \quad n = \frac{\ln A}{0,693}$$

El espesor necesario sería $n \times CHR$ (mm).

De la misma forma, en función de la capa decimorreductora:

$$10^{n'} = A \quad n' = \log A$$

El espesor necesario sería $n' \times CDR$ (mm)

En la tabla 4 del Apéndice se proporcionan los valores de CHR y CDR para distintas tensiones (kVp) y para hormigón y plomo.

* Medizinische Röntgenanlagen bis 300 kV. Strahlenschutzregeln für die Errichtung (1985).

APENDICE

TABLAS Y FIGURAS PARA EL CALCULO DE BLINDAJES

TABLA 1. Ejemplos de cálculo

1.a. Espesores de plomo frente a radiación directa (mm).(*)

DATOS DE FUNCIONAMIENTO		RADIOGRAFIA		
		150kVp/2 mm Al W = 40 mA.min/sem		
Tope semanal de dosis (mSv)		1	0,3	0,1
Distancia, d, en m.	1,5	1,4	1,9	2,3
	2	1,2	1,7	2,1
	2,5	1,0	1,5	1,9
	3	0,9	1,3	1,8
	3,5	0,8	1,2	1,7
	4	0,7	1,1	1,6
	5	0,6	1,0	1,4
	6	0,5	0,9	1,2
	10	0,3	0,6	0,9

(*) Observaciones, al pie de la Tabla 1.c.

1.b. Espesores de plomo frente a radiación parásita (mm).(*)

Datos de funcionamiento		Radiografía 150 kVp/2 mm Al W = 40 mA. min/semana Qh = 120 mA. min/h (300 W) dp = 1 m						Radioscopia con tubo detrás del tablero 110 kVp/2 mm Al W = 1200 mA. min/semana Qh = 175 mA. min/h (300 W) dp = 0,5 m						Radioscopia con tubo sobre la mesa 110 kVp W = 3000 mA. min/semana Qh = 326 mA. min/h (600 W) dp = 0,85 m					
Barrera		Paredes (d = ds)			Techo (d = ds - dp)			Paredes y techo			Suelo			Paredes			Techo		
Tope semanal de dosis (mSv)		1	0,3	0,1	1	0,3	0,1	1	0,3	0,1	1	0,3	0,1	1	0,3	0,1	1	0,3	0,1
Distancia, ds, en m	1,5	0	0,2	0,6	0,3	0,8	1,1	0,6	1,1	1,5	0,7	1,3	1,6	0,6	1,1	1,5	1,0	1,4	1,8
	2	0	0,1	0,3	0	0,3	0,6	0,5	0,9	1,3	0,5	0,9	1,3	0,5	0,9	1,3	0,6	1,0	1,4
	2,5	0	0	0,2	0	0,1	0,4	0,4	0,7	1,1	0,4	0,8	1,1	0,4	0,7	1,1	0,4	0,9	1,2
	3	0	0	0,1	0	0	0,2	0,3	0,6	1,0	0,3	0,7	1,0	0,3	0,6	1,0	0,3	0,8	1,0
	3,5	0	0	0,1	0	0	0,2	0,3	0,5	0,9	0,3	0,5	0,9	0,3	0,5	0,9	0,3	0,6	1,0
	4	0	0	0,1	0	0	0,1	0,2	0,4	0,8	0,2	0,4	0,8	0,2	0,4	0,8	0,2	0,4	0,9
	5	0	0	0				0,2	0,3	0,6				0,2	0,3	0,6			
	6	0	0	0				0,1	0,3	0,5				0,1	0,3	0,5			
	10	0	0	0				0	0,2	0,3				0	0,2	0,3			

(*) Observaciones, al pie de la tabla 1.c.

1.c. Espesores de plomo necesarios para radiación directa y dispersa (mm).(*)

Datos de funcionamiento	Mamografía Max. 50 kV/0,5 mm Al W = 2000 mA. min/semana Qh = 14.400 mAs/h (200 W)						Tomografía computarizada Coraza: 150 kVp nominales 120 kV/2,5 Al, 1 cm espesor de corte W = 5.000 mA.min/semana Qh = 20000 mAs/h (800 W)						Radiodiagnóstico dental 60 kV/2 mm Al W = 4 mA. min/semana Q = 1.500 mAs/h (25 W)					
Tope semanal de dosis (mSv)	Radiación directa			Rad. parásita dp = 0,4 m			Rad. parásita dp = 0,5 m			Radiación directa			Rad. dispersa dp = 0,1 m					
	1	0,3	0,1	1	0,3	0,1	1	0,3	0,1	1	0,3	0,1	1	0,3	0,1	1	0,3	0,1
1	0,6	0,7	0,7	0,3	0,4	0,4	0,9	1,4	1,8	0,1	0,2	0,3	0	0,05	0,2			
1,5	0,5	0,6	0,7	0,2	0,3	0,4	0,8	1,0	1,5	0,1	0,1	0,2	0	0,05	0,05			
2	0,5	0,5	0,6	0,2	0,3	0,3	0,6	0,9	1,3	0,05	0,1	0,2	0	0	0,05			
2,5	0,4	0,5	0,6	0,2	0,3	0,3	0,4	0,8	1,1	0,05	0,1	0,1	0	0	0,05			
3	0,4	0,5	0,6	0,1	0,2	0,3	0,2	0,7	1,0	0,05	0,1	0,1	0	0	0,03			
3,5	0,4	0,5	0,5	0,1	0,2	0,3	0,2	0,6	0,9	0,05	0,05	0,1	0	0	0			
4	0,4	0,5	0,5	0,1	0,2	0,3	0,2	0,5	0,8	0	0,05	0,1	0	0	0			
5	0,3	0,4	0,5	0,1	0,1	0,2	0,05	0,3	0,7	0	0,05	0,1	0	0	0			
6	0,3	0,4	0,5	0,1	0,1	0,2	0	0,2	0,6	0	0	0,1	0	0	0			
10	0,3	0,3	0,4	0,05	0,1	0,1	0	0	0,2	0	0	0,05	0	0	0			

(*) Observaciones a las tablas 1.a), 1.b) y 1.c).

- Valores tomados de DIN 6812.
- Los valores indicados son para f (factor de fuga) = 0,3 (coraza para 150 kVp nominales).
- Si en un equipo con radioscopia, se hacen radiografías con tamaño mayor que el intensificador, y no llevan blindaje tras el chasis, es preciso proteger los paramentos afectados contra radiación directa.
- Si se desea utilizar estas tablas, pero con cargas de trabajo diferentes de las que figuran en las mismas se procederá como en el ejemplo siguiente:
 - Se toma el espesor de plomo correspondiente a la carga (w) de la Tabla (p. ej.: 2 mm Pb a 100 kVp).
 - Se busca en la curva de la figura 2, la atenuación correspondiente a los 2 mm de Pb.
 - Vemos que corresponde una atenuación de 4.000. Si la carga de trabajo se pretende que sea la mitad de w, la atenuación necesaria será también la mitad, es decir 2.000.
 - Con el factor 2.000 y con los mismos kVp, el espesor de plomo que se deduce de la misma curva, será 1,75 mm Pb.
- d: Distancia primaria (del foco a la zona a proteger).

ds: Distancia del centro del cuerpo dispersor a la zona a proteger.

dp: Distancia foco-paciente.
- Para obtener los espesores indicados en las tablas se ha supuesto $U.T = 1$
En los casos en que $U.T < 1$ se pueden obtener los espesores dividiendo el tope de dosis por U.T y tomando el espesor de blindaje de la tabla correspondiente. P. ej.: si el tope de dosis es 0,1 mSv/sem, y $U.T = 0,25$, se toma como tope de dosis (hipótesis de cálculo), 0,4 mSv/sem.
- Algunos valores vienen expresados para una filtración de 2 mm de Al; no obstante la filtración recomendada es de 2,5 mm de Al (Norma UNE 20 569).

TABLA 2

**Cargas de trabajo semanales para cálculo de barreras en Radiodiagnóstico
(Tomadas de DIN-6812)**

Los siguientes valores son orientativos y superiores a los que generalmente se encuentran en la práctica y suponen hipótesis de cálculo conservadoras. (Sin embargo el blindaje que requieren aumenta en mucha menor proporción que el aumento de carga de trabajo, como ya se indicó en Observación 1.^a del apartado 4.2.2).

	Tensión (kVp)	Carga semanal (mA.min/sem)
1. Equipos para Radiografía (sin Radioscopia)	100	160
	125	80
	150	40
2. Equipos con Radioscopia	hasta 110 kVp	
Mesas con tubo de Rx debajo		1.200
Mesas con tubo de Rx encima (ej.: Telemandos)		3.000
3. Mamógrafos	hasta 50	2.000
4. Tomografía Computarizada (corresponde a 1.000 cortes por semana con 300 mA.s/corte)	120	5.000
5. Equipos de Radiografía Dental	60	4
6. Equipos de Radiografía Dental Panorámica	85	200

TABLA 3

Equivalencia en plomo de varios materiales para rayos X de baja energía

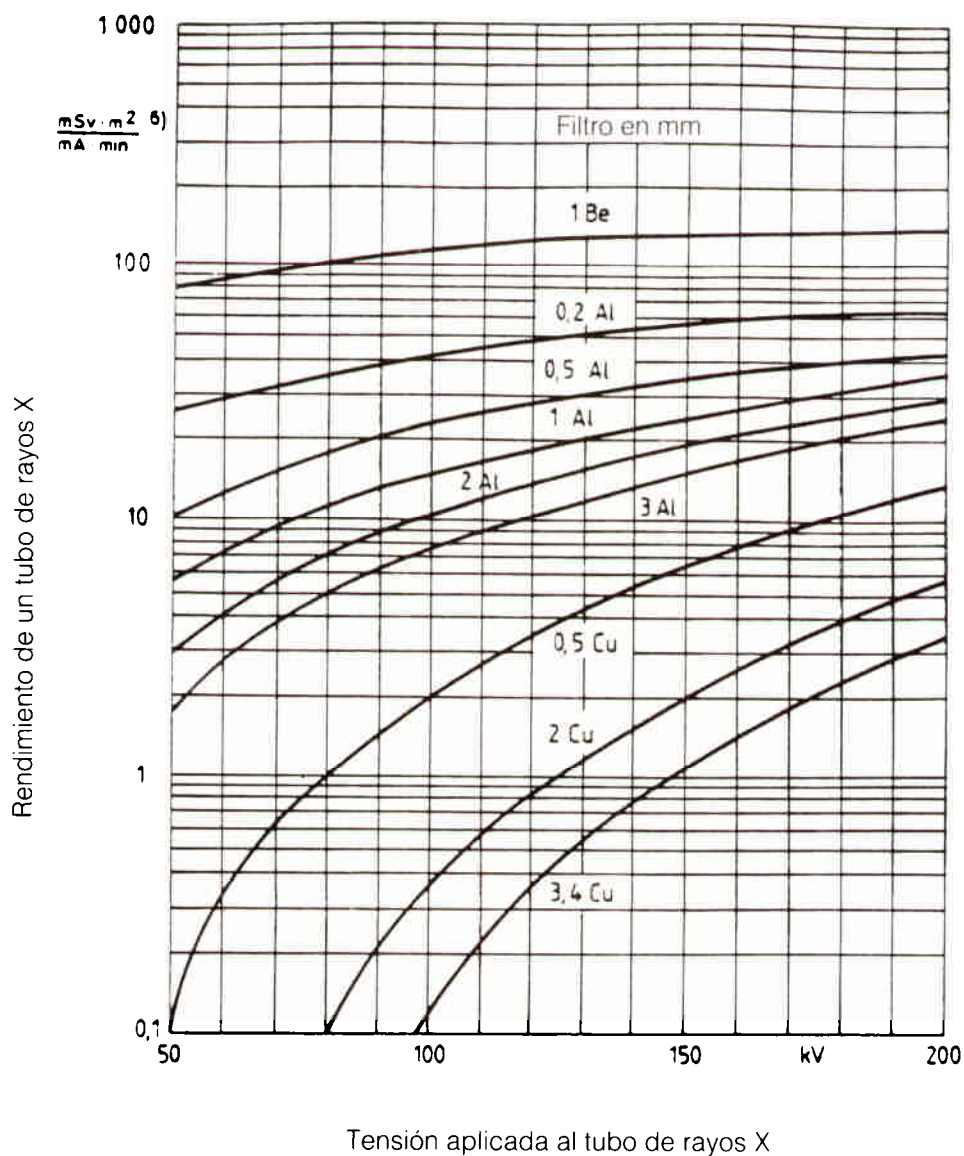
Material	Densidad del material (Kg.m⁻³)	Espesor del material (mm)	Equivalencia en mm de plomo según los kV aplicados			
			50	75	100	150
Ladrillo de arcilla	1.600	100	0,6	0,8	0,9	0,8
		200	1,4	1,7	1,9	1,7
		300	2,2	2,7	3,1	2,6
		400	—	3,8	4,5	3,7
		500	—	—	—	4,8
Hormigón o yeso baritado	3.200	10	0,9	1,5	1,8	0,9
		20	1,8	2,7	3,3	1,8
		25	2,3	3,3	4,0	2,2
		50	—	—	—	4,3
		75	—	—	—	5,9
		100	—	—	—	—
		125	—	—	—	—
Acero	7.800	1	—	0,1	0,2	0,1
		2	—	0,3	0,3	0,2
		3	—	0,5	0,5	0,3
		4	—	0,7	0,7	0,4
		5	—	0,9	0,9	0,5
		10	—	—	—	0,9
		20	—	—	—	1,7
		30	—	—	—	2,5
		40	—	—	—	3,3
		50	—	—	—	4,0

TABLA 4

Valores aproximados de capa hemirreductora y décimorreductoras para haces de Rayos X fuertemente filtrados (como es el caso de la radiación de fuga a través de la carcasa)

Tensión kVp	CHR (mm)		CDR (mm)	
	Plomo	Hormigón	Plomo	Hormigón
50	0,05	4	0,18	13
75	0,15	11	0,50	40
100	0,25	16	0,84	55
125	0,27	19	0,27	64
150	0,29	22	0,96	70

FIGURA 1

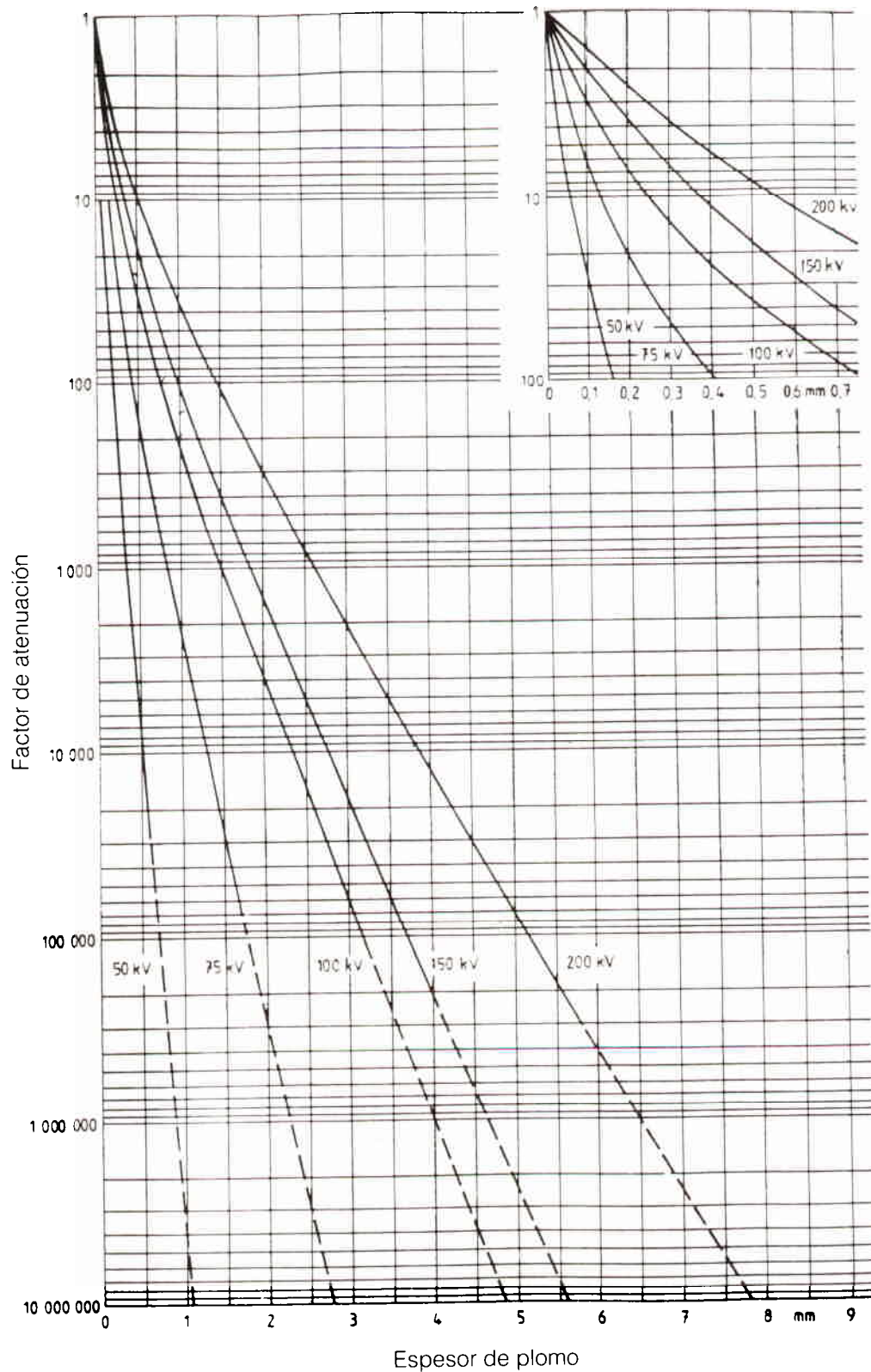


Rendimiento (coeficiente de dosis equivalente, según DIN-6812) de un tubo de Rayos X con ánodo de wolframio con filtración total desde 1 mm Be hasta 3 mm Cu para tensión constante entre 50 y 200 Kv, expresado en $\frac{\text{mSv} \cdot \text{m}^2}{\text{mA} \cdot \text{min}}$ medido en aire a un metro de distancia.

Para calcular barreras de protección para tubos de radiodiagnóstico con filtración total 2 mm Al, se recomienda utilizar el rendimiento para 2 mm Al y las curvas de la figura 2.

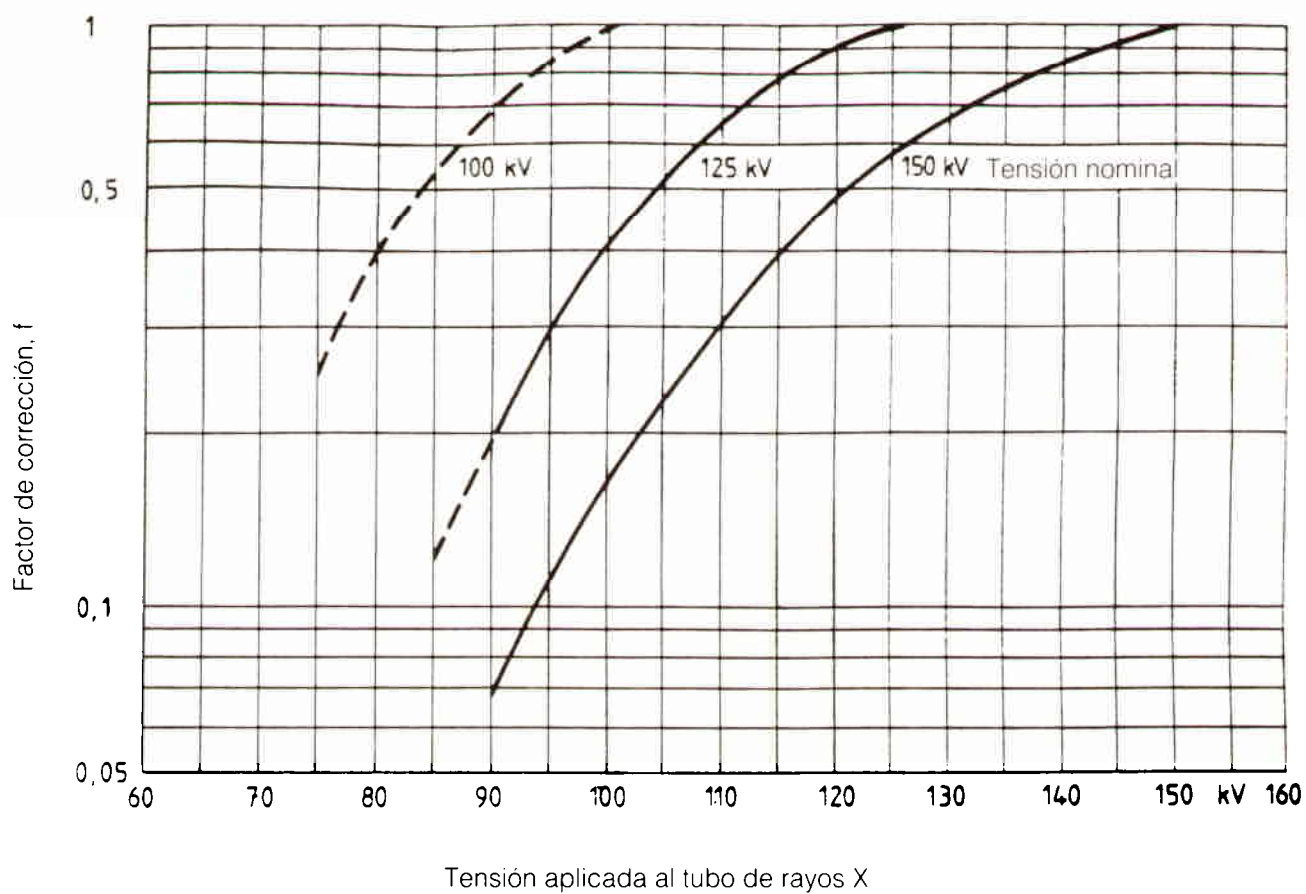
Curvas tomadas de DIN-6812, que a su vez cita ICRP-21 (actualmente ICRP-33).

FIGURA 2



Factores de atenuación frente a Rayos X directos y dispersos. (Las curvas están obtenidas con tensión constante y 2 mm Al de filtración total).
Tomadas de la norma DIN 6812

FIGURA 3



Variación del factor de corrección, f , para radiación de fuga en función de la tensión de utilización, para corazas diseñadas en base a las tensiones nominales de 100, 125 ó 150 kVp, todas ellas a igualdad de potencia.

Colección Guías de Seguridad del C.S.N.

Guías de Seguridad publicadas

GS-1.1	Cualificaciones para la obtención y uso de licencias de personal de operación de centrales nucleares.
GS-1.2	Modelo dosimétrico en emergencia nuclear.
GS-1.3	Plan de emergencia en centrales nucleares.
GS-1.4	Control y vigilancia radiológica de efluentes radiactivos líquidos y gaseosos emitidos por centrales nucleares.
GS-1.6	Sucesos notificables en centrales nucleares en explotación.
GS-5.1	Documentación técnica para solicitar las autorizaciones de construcción y puesta en marcha de las instalaciones de manipulación y almacenamiento de isótopos radiactivos no encapsulados. (2.ª y 3.ª categoría).
GS-5.2	Documentación técnica para solicitar autorización de construcción y puesta en marcha de las instalaciones de manipulación y almacenamiento de fuentes encapsuladas. (2.ª y 3.ª categoría).
GS-5.3	Control de la hermeticidad de fuentes radiactivas encapsuladas.
GS-5.5	Documentación técnica para solicitar autorización de construcción y puesta en marcha de las instalaciones de radioterapia.
GS-5.6	Cualificaciones para la obtención y uso de licencias de personal de operación de instalaciones radiactivas.
GS-5.7	Documentación técnica para solicitar autorización de puesta en marcha de las instalaciones de rayos X para radiodiagnóstico.
GS-5.8	Bases para elaborar la información relativa a la explotación de instalaciones radiactivas.
GS-5.10	Documentación técnica para solicitar autorización de instalaciones de rayos X con fines industriales.
GS-7.1	Requisitos técnico-administrativos para los servicios de dosimetría personal individual.
GS-7.2	Cualificaciones para obtener el reconocimiento de experto en protección contra las radiaciones ionizantes para responsabilizarse del correspondiente servicio o unidad técnica.
GS-7.3	Bases para el establecimiento de los servicios o unidades técnicas de protección contra las radiaciones ionizantes.
GS-7.4	Bases para la vigilancia médica de los trabajadores expuestos a las radiaciones ionizantes.
GS-7.5	Actuaciones a seguir en el caso de personas que hayan sufrido un accidente radiológico.
GS-7.7	Control radiológico del agua de bebida.
GS-10.1	Guía básica de garantía de calidad para instalaciones nucleares.
GS-10.1	Rev. 1.
GS-10.2	Sistema de documentación sometida a programas de garantía de calidad en instalaciones nucleares.
GS-10.3	Auditorías de garantía de calidad.
GS-10.4	Garantía de calidad para la puesta en servicio de instalaciones nucleares.
GS-10.5	Garantía de calidad de ensayos, pruebas e inspecciones de instalaciones nucleares.
GS-10.6	Garantía de calidad en el diseño de centrales nucleares.
GS-10.7	Garantía de calidad de instalaciones nucleares en explotación.
GS-10.8	Garantía de calidad para suministros de elementos y servicios para instalaciones nucleares.

LEGISLACION NUCLEAR ESPAÑOLA FUNDAMENTAL

LEY 25/1964, de 29 de abril, sobre Energía Nuclear («BOE» núm. 107, de 4 de mayo de 1964).

LEY 15/1980, de 22 de abril, de creación del Consejo de Seguridad Nuclear («BOE» núm. 100, de 25 de abril de 1980).

DECRETO 2869/1972 del Ministerio de Industria, de 21 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas («BOE» núm. 255, de 24 de octubre de 1972).

DECRETO 2177/1967, de 22 de julio, del Ministerio de Hacienda por el que se aprueba el Reglamento sobre Cobertura de Riesgo de Daños Nucleares («BOE» núm. 223, de 18 de septiembre de 1967).

REAL DECRETO 1999/1979, de Presidencia del Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento Nacional de Transporte de Mercancías Peligrosas por Carretera («BOE» núm. 201, de 22 de agosto de 1979).

REAL DECRETO 881/1982, de Presidencia del Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento Nacional de Transporte de Mercancías Peligrosas por Ferrocarril («BOE» núm. 109-123, 7-24 de mayo de 1982).

REAL DECRETO 2519/1982, de 12 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Nacional de Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes («BOE» núm. 241, de 8 de octubre de 1982), y Real Decreto 1753/1987, de 25 de noviembre, por el que se modifica parcialmente el mismo («BOE» núm. 13, de 15 de enero de 1988).

REAL DECRETO 1749/1984, de 1 de agosto, por el que se aprueban el Reglamento Nacional sobre el Transporte sin riesgos de Mercancías Peligrosas por Vía Aérea y las Instrucciones Técnicas para el Transporte sin Riesgo de Mercancías Peligrosas por Vía Aérea («BOE» núms. 236 al 245, del 2 al 12 de octubre de 1984); ORDEN del 31 de julio de 1987, por la que se actualizan las Instrucciones Técnicas solamente.

CSN

CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

Justo Dorado, 11. 28040 MADRID

Madrid, enero 1991