



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA

CURSOS INSTITUCIONALES

PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA

MÓDULO II PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA

Del 08 de Agosto al 10 de Septiembre de 2006

APUNTES GENERALES

CI-086

Instructor: Ing. Fernando Rodriguez
Secretaria de Salud del Distrito federal
Agosto/Septiembre del 2006

OBJETIVO

Al término del curso el participante conocerá los principios básicos necesarios para la protección y seguridad en las áreas donde se utilizan equipos de rayos "X", para un mejor diagnóstico médico.

“PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA”

pueden haber un número determinado de electrones, en la K sólo 2, en la L hasta 8, en la M hasta 18, en la N 32, etc., de modo que un átomo puede representarse en forma simplificada como se muestra en la Fig. 2.

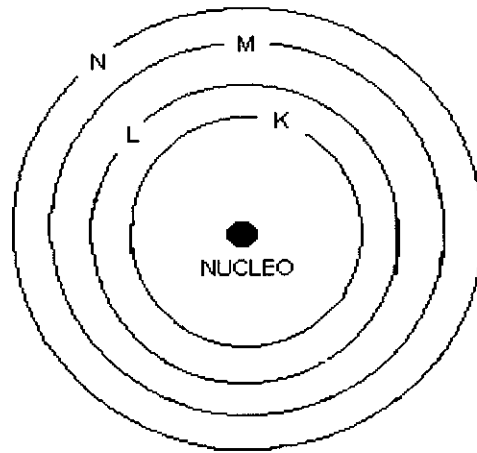


Fig. 2 Modelo atómico con varias capas electrónicas.

II.2.2 Radiación ionizante.

Se entiende por radiación toda emisión de energía que se propaga desde el cuerpo o fuente que la emite, puede estar constituida por partículas o por ondas, en ocasiones denominadas rayos por la forma radial en que se propagan.

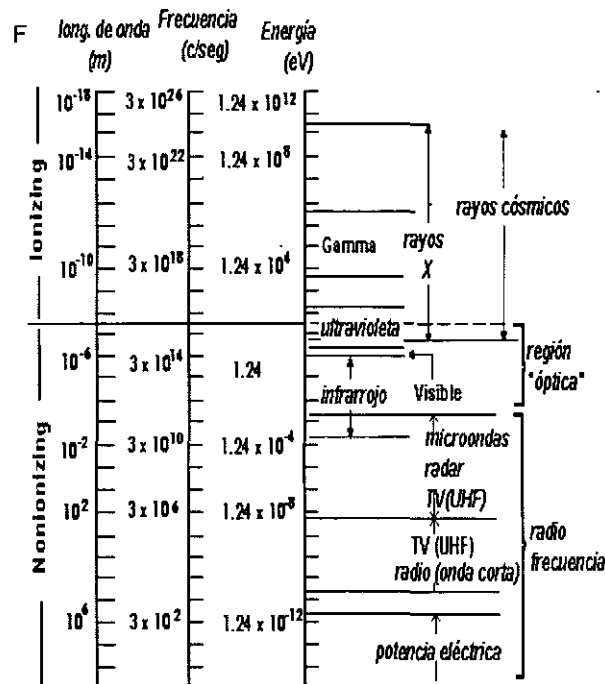
En la vida diaria encontramos diversos tipos de ondas, como las que se forman en el agua o en una cuerda cuando las agitamos, de modo que en primera instancia podríamos definir una onda como la perturbación que se propaga en un medio elástico, las ondas sonoras son perturbaciones que se propagan en el aire. La perturbación o vibración puede desplazarse grandes distancias y transportar energía sin que el medio elástico se mueva esas mismas grandes distancias. Por ejemplo cuando se arroja una piedra a un estanque con agua en calma, se genera una onda circular que se expande radialmente a partir del punto de impacto; un corcho que flote sobre la superficie se moverá hacia arriba y hacia abajo cuando pase la onda, pero no se moverá radialmente hacia afuera, como ocurriría si hubiera un flujo de agua. Las partículas de agua sólo oscilan mientras la onda se desplaza alejándose del centro, la onda transportó energía suficiente para mover el agua y el corcho. Los rayos de esa onda serían las líneas imaginarias que parten del centro y se extienden como los "rayos" de la rueda de una bicicleta.

Las ondas en general se caracterizan por su longitud de onda y su frecuencia, la longitud de onda es la distancia entre dos puntos equivalentes de la onda, como se ilustra en la Fig. 3, la frecuencia es el número de ondas completas que se producen en un segundo. La velocidad de propagación de una onda es igual al producto de su frecuencia por la longitud de onda, además para un tipo de onda en un medio determinado la velocidad de propagación es constante, así que a mayor frecuencia menor longitud de onda y viceversa.

 "PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA"

Los campos eléctrico y magnético se autosostienen y no necesitan un medio para su propagación, por lo que las ondas electromagnéticas se propagan en el vacío. El nombre que reciben las ondas electromagnéticas varía según su frecuencia o su origen, desde las ondas largas de radio producidas en una antena hasta los rayos gamma que se generan en el núcleo atómico, pasando por la luz visible producida por los electrones orbitales, ya que todas ellas se propagan a la velocidad de la luz puede establecerse una escala en la que se representa todo tipo de ondas electromagnéticas, como la Fig. 5, que se denomina espectro electromagnético se producen en forma de paquetes o cuantos que se llaman fotones, su energía se expresa comúnmente en eV que significa electrón-volt y se define como la energía cinética que adquiere un electrón cuando es acelerado en el vacío mediante la aplicación de una diferencia de potencial de un volt. La energía adquirida será el producto de la carga del electrón 1.6022×10^{-19} Coulomb por la diferencia de potencial 1 Volt o sea 1.6022×10^{-19} Joule.

Otra forma de excitar a los electrones de los átomos, es haciendo que un fotón ceda su energía al electrón y lo transfiera a otra subcapa, para que esto ocurra el fotón tiene que tener una energía igual o mayor que la diferencia de energía entre las subcapas involucradas. Cuando la energía del fotón es tan grande que el electrón escapa del átomo, se produce una ionización, que consiste en separar al electrón liberándolo y dejar un átomo con carga positiva por haber perdido un electrón. Tanto el electrón libre como el átomo con carga se denominan iones (por su capacidad de viajar en un campo eléctrico), por lo que a la radiación que tienen energía suficiente para producir este proceso de ionización se le llama radiación ionizante. Los fotones de luz visible tienen energías cercanas a 1 eV, por lo que no son capaces de ionizar, mientras los fotones más energéticos de luz ultravioleta sólo pueden arrancar electrones de las capas más externas de los átomos, los rayos X y gamma, con energías de varios keV, pueden ionizar electrones de las capas K y L.



 "PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA"

que inicialmente favorece el movimiento del electrón pero al alejarse el e^- de dicho campo este lo frena y lo desvía de su camino original, notándose un frenado o disminución importante de la velocidad y de la energía cinética del electrón y un cambio de dirección. La diferencia entre la energía cinética antes y después del frenado se transforma en energía electromagnética conocida como "radiación de frenado" o "Bremsstrahlung" o rayo X de frenado.

Este proceso se puede repetir varias veces con un mismo electrón, por lo que se producen los rayos X de diferente energía que dan lugar al espectro continuo o de energía variables.

La energía máxima de dicho espectro corresponde al fotón producido cuando el electrón es frenado en una sola interacción y produce ese único fotón.

Rayos X característicos:

Una fracción de los electrones incidentes chocan con los electrones de la capa K o L de los átomos del elemento blanco, provocando el salto de sus electrones, desde órbitas más profundas a otras más externas y cuando se produce el salto inverso se origina la emisión de fotones con una energía característica que viene dada por la diferencia entre la que corresponde a los niveles más internos y a los más externos de los átomos del metal que forma el ánodo (ver Fig. 7b).

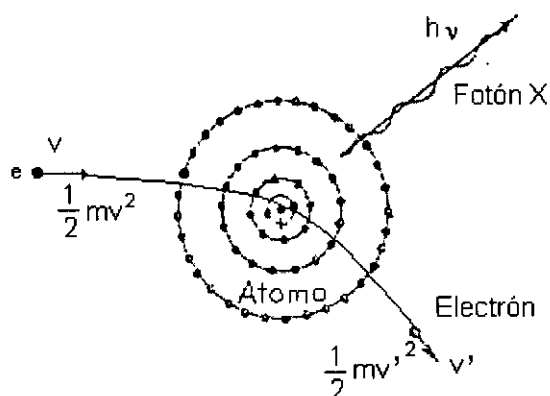


Fig. 7a.- Mecanismo de Producción del Espectro de frenado

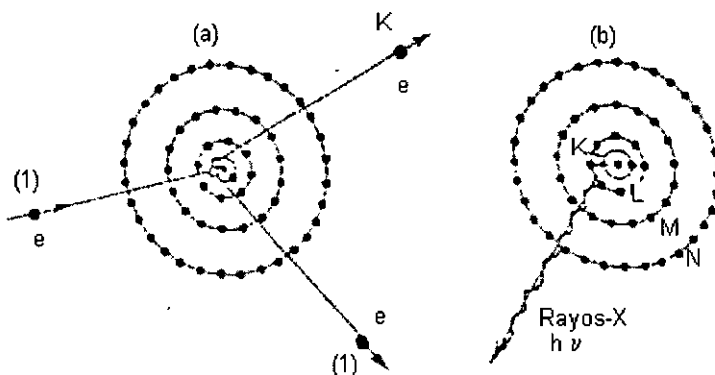


Fig. 7b.- Mecanismo de Producción de los Rayos X característicos

 "PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA"

MAGNITUDES QUE INFLUYEN EN LA ENERGÍA E INTENSIDAD DE UN HAZ DE RAYOS X.

Influencia del Voltaje aplicado.

Al elevar el voltaje aplicado entre el cátodo y el ánodo, los electrones que llegan al ánodo lo hacen con una mayor energía cinética, y esto da lugar a fotones de frenado más energéticos. En la figura 10 se muestran los espectros de frenado y característicos para tensiones de aceleración de 50, y 100 kV, en un ánodo de tungsteno, en el cual los rayos X característicos aparecen después de los 59 kV. La radiación característica tiene siempre la misma energía para un determinado material del ánodo pero al aumentar el voltaje varía la cantidad de fotones producidos y su proporción con respecto a los de frenado. Al aumentar el voltaje se tendrá mayor energía de los rayos x de frenado.

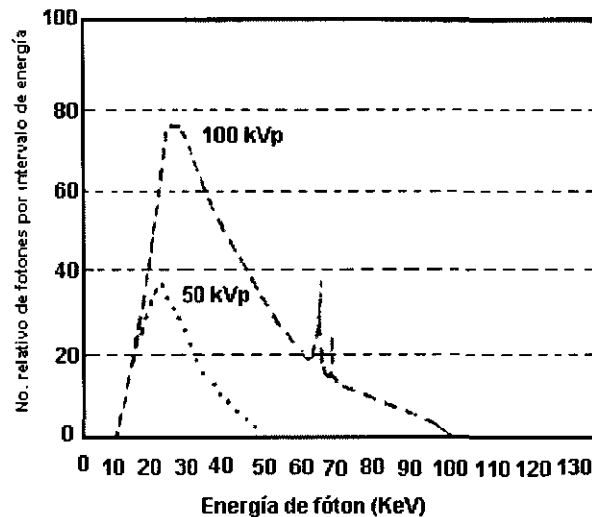


Fig.10. Variación del espectro (en penetración y en cantidad de fotones) al variar la tensión de aceleración (kV).

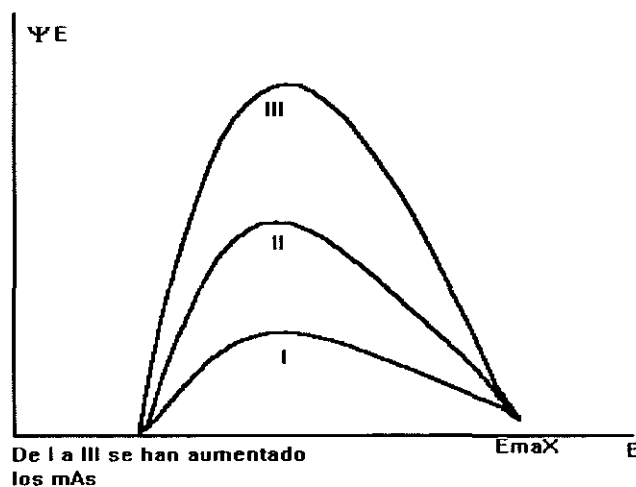


Fig. 11 Variación en el espectro al aumentar o disminuir el miliamperaje.

 "PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA"

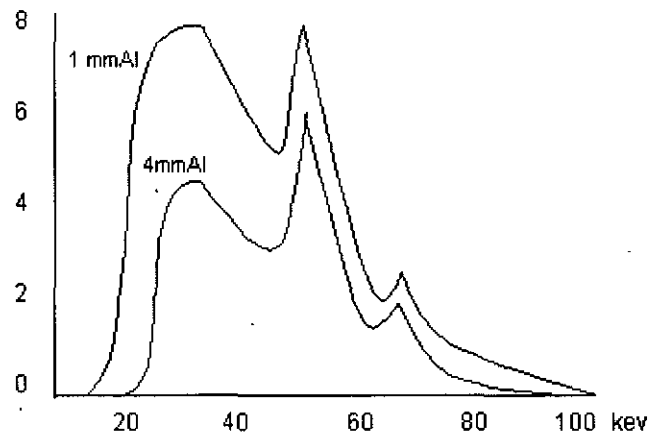


Fig. 12 Espectros filtrados con 1 y 4 mm de Aluminio, respectivamente.

El proceso de filtración de rayos X, consiste en eliminar la radiación menos penetrante, que no aportará nada positivo a la imagen radiográfica, y que en cambio produciría una irradiación adicional al paciente u objeto por radiografiar. Se emplean filtros de aluminio para voltajes de hasta 150 kilovoltios-pico (kVp) y filtros de cobre para voltajes mayores.

La figura 12 muestra la influencia de la filtración adicional en el espectro.

Se define el concepto de capa Hemirreductora $X_{1/2}$ como el espesor de blindaje necesario para reducir la intensidad del haz a la mitad (fig. 21). Al atravesar el haz este filtro, el espectro se "endurece", es decir, pierde más fotones "blandos" de (baja energía) que "duros". Si ahora el haz que sale del primer filtro (que tiene la mitad de la intensidad, pero que es más duro) se le pone un segundo filtro para reducir nuevamente la intensidad a la mitad (segunda capa hemirreductora) éste ha de ser más grueso.

II.1.5. Proceso de interacción de los rayos x con la materia.

El término " Radiación Nuclear o Inducida " es comúnmente usado para describir una amplia variedad de emisiones asociadas a transformaciones subatómicas. Pero por la naturaleza de la interacción de estas radiaciones, con la materia, es mas correcto llamarlas radiaciones ionizantes. Estas emisiones son en sí, partículas subatómicas con cierta energía cinética o radiaciones electromagnéticas de determinada energía. Para detectar estas radiaciones o para protegerse de ellas, se aprovecha algún efecto por el cual la radiación ceda su energía al material del detector o del blindaje, por lo que es necesario entender los fenómenos de la interacción de radiación con la materia.

Las radiaciones pueden ser clasificadas de acuerdo a la naturaleza de su interacción con la materia, de la siguiente manera:

"PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA"

Lo que ocurre mas frecuentemente es que la radiación arranca un electrón de la capa K de un átomo, al pasar cerca y ejerce una fuerza capaz de removerlo.

El resultado de estas interacciones son átomos excitados o pares iónicos. Cada par iónico consta de un ion positivo y un correspondiente electrón libre o ion negativo.

INTERACCION DE ELECTRONES RAPIDOS

- **Naturaleza de la interacción.**

Por ser, los electrones rápidos, partículas cargadas, su interacción se lleva a cabo con los campos eléctricos de los electrones orbitales del medio en que penetren, provocando así ionizaciones y/o excitaciones en el material absorbedor.

Comparando con las partículas pesadas, los electrones rápidos pierden su energía más lentamente pero tienen trayectorias más tortuosas, al pasar a través de la materia. La mucho mayor velocidad de los electrones rápidos, en comparación a una α con una misma energía cinética, se debe a que su masa es sólo 1/7300 la masa de una α . Pero por tener idéntica masa a la de los electrones orbitales, los electrones rápidos sufren grandes desviaciones.

- **Bremsstrahlung.**

De acuerdo a la teoría electromagnética, cuando cualquier partícula cargada en movimiento es frenada, el cambio de su energía cinética se transforma en energía electromagnética (rayos X).

Un electrón es frenado al pasar cerca del núcleo debido a la atracción mutua entre su carga eléctrica negativa y la carga nuclear positiva con la consecuente producción de radiación electromagnética en forma de rayos X o Bremsstrahlung (vocablo alemán que significa "radiación de frenado"), ver fig. 7ª.

La energía de cada rayo X (llamado también fotón), corresponde a la energía cinética perdida por el electrón rápido cada vez que se produce este efecto. La producción de Bremsstrahlung o radiación de frenado puede ser apreciable para electrones rápidos, pero es totalmente despreciable en el frenado de partículas pesadas.

La fracción de energía que se convierte en rayos X de frenado aumenta con el incremento de la energía del electrón y con el incremento del número atómico del material absorbedor. Generalmente el Bremsstrahlung solo es significativo para materiales con alto número atómico.

INTERACCION DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNETICA

Aunque existe un gran número de tipos de interacción de los rayos X y radiación gamma con la materia, sólo tres tienen importancia en la detección de la radiación y en la protección radiológica, éstas son: el Efecto Fotoeléctrico, el Efecto Compton y la Producción de Pares.

- **Efecto Fotoeléctrico.**

El Efecto Fotoeléctrico, es la interacción de un fotón gamma (o X) incidente sobre los electrones de un átomo absorbedor, el fotón desaparece totalmente porque cede toda su energía a un electrón el cual es expulsado de su órbita con gran energía cinética, es decir, un fotoelectrón (ver fig. 13). El origen mas probable del fotoelectrón son las capas electrónicas interiores o sea, K y L.

"PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA"

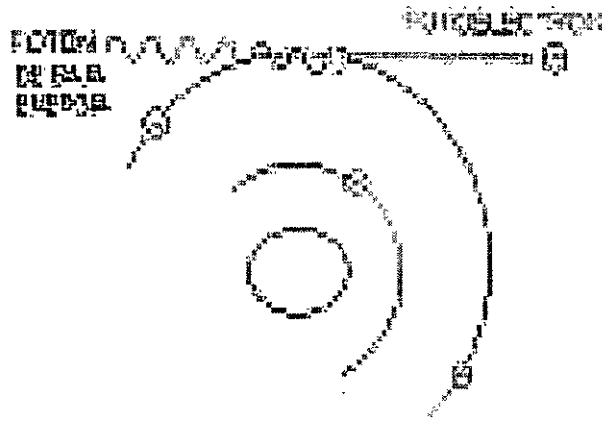


Fig. 13 Efecto Fotoeléctrico

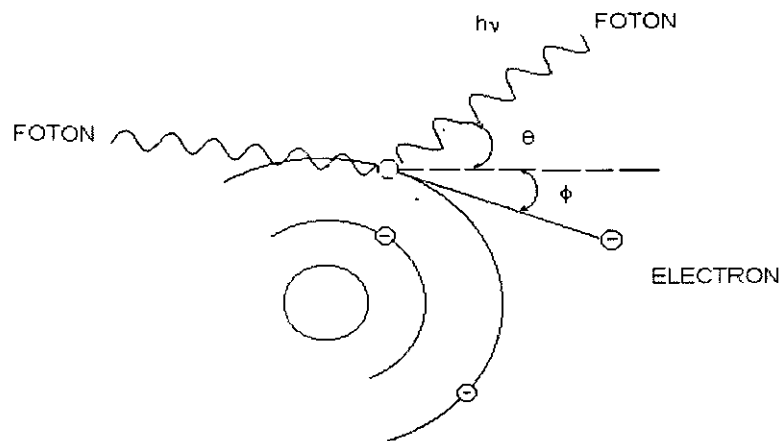
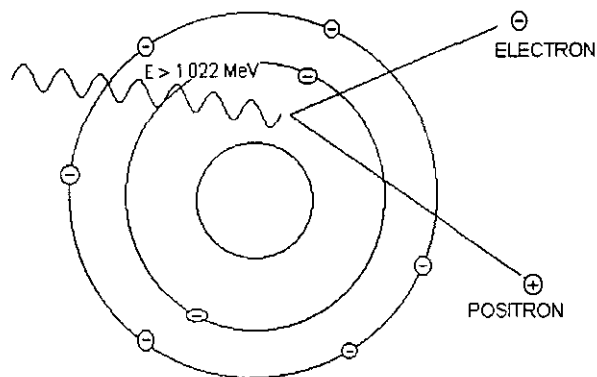


Fig. 14 Efecto Compton

Fig. 15 Efecto de Producción de pares (e^- y e^+)

 "PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA"

Se acostumbra emplear la unidad especial roentgen y otras unidades de tiempo: R/h, R/min, etc.

Se emplea la palabra rapidez como traducción de "rate", porque da una idea más clara que el término tasa empleado por algunos autores, ya que corresponde al concepto matemático de rapidez de cambio o derivada. No se recomienda emplear "índice" de exposición porque dicho término se emplea para otra magnitud con un significado muy distinto.

La rapidez de exposición se relaciona fácilmente con la actividad de la fuente, si se conoce la constante específica de la radiación gamma (Γ).

$$\dot{X} = \frac{\Gamma A}{r^2}$$

donde r es la distancia entre la fuente radiactiva y el punto de interés.

II.2.2. DOSIS ABSORBIDA

Este concepto relaciona la cantidad de energía que la radiación ionizante de cualquier tipo, deposita en el volumen de una cantidad de materia.

La dosis absorbida es el valor esperado de la energía impartida por unidad de masa de un volumen infinitesimal. La dosis absorbida es una magnitud válida para partículas de todo tipo. Además es la magnitud dosimétrica de mayor interés.

Esta dosis está definida como el cociente de $d\bar{\epsilon}$ por dm , donde $d\bar{\epsilon}$ es la energía media impartida por la radiación ionizante a un material de masa dm .

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm} \text{ en } \frac{J}{kg}$$

El nombre específico para la unidad de dosis absorbida es el Gray:

$$1 \text{ Gy} = 1 \frac{J}{kg}$$

La unidad especial de la dosis absorbida es el rad:

$$1 \text{ rad} = 10^{-2} \frac{J}{kg}$$

$$1 \text{ rad} = 100 \frac{\text{erg}}{g}$$

Dosis absorbida en tejido

Para radiación electromagnética con energía entre 0.2 MeV y 3 MeV, se utiliza la relación:

$$D = 0.94 X$$

 "PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA"

$$1 \text{ rem} = 10^{-2} \text{ Sv} = 10^{-2} \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Factor de calidad Q

Generalmente el efecto biológico de una dosis absorbida D depende del tipo (calidad) de radiación y de las condiciones de irradiación.

El factor Q tiene por objeto ponderar cualquier dosis absorbida de acuerdo con la efectividad biológica de la calidad de radiación que ha producido esa dosis absorbida. Este factor Q se define como una función del poder de frenado por colisión en agua en el punto de interés.

En la Tabla 3 se presentan los valores de Q establecidos en la norma mexicana NOM-001-NUCL-1994 "Factores para el cálculo del equivalente de dosis", Diario Oficial de la Federación, 6 de febrero de 1996.

Tabla 3.- Tipos de partículas y de radiación

TIPOS DE PARTÍCULAS Y DE RADIACIÓN	Q
Fotones (rayos X y radiación γ) con energías mayores a 30 keV	1
Electrones con energías mayores a 30 keV	1
Partículas β del tritio	2
Partículas α , protones e iones pesados	20
Neutrones	
< 10 keV	5
10 keV a 100 keV	10
>100 keV a 2 MeV	20
> 2 MeV a 20 MeV	10
> 20 MeV	5

Estos valores de Q y en consecuencia los de H, son únicamente para usarse en protección radiológica a niveles dentro o cerca de los límites de equivalente de dosis.

Rapidez de equivalente de dosis

La rapidez de dosis equivalente, \dot{H} , es el cociente de dH entre dt, donde dH es el incremento de equivalente de dosis en el intervalo de tiempo dt

$$\dot{H} = \frac{dH}{dt} \quad \text{en} \quad \frac{\text{Sv}}{\text{s}}$$

La unidad especial que se usa tradicionalmente es el rem/s.

II.3. FILOSOFÍA Y PRINCIPIOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA.

 "PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA"

recibe menor cantidad de radiación que en los lugares altos porque el aire absorbe parte de ella. Los rayos cósmicos contribuyen con alrededor del 15% de la dosis que recibe el hombre de todas las fuentes naturales. Mayor información sobre la radiación de fondo natural, en el capítulo 1.8.

Los radionúclidos presentes en el ambiente son de dos tipos: Los de origen primordial (que por su vida media tan larga han sobrevivido desde la formación de la tierra), y los cosmogénicos (que se producen continuamente por las reacciones nucleares de los rayos cósmicos en la atmósfera). Entre los primeros se encuentran todos los que se derivan de las series de desintegración del Uranio 238 (4 490 millones de años) y del Torio 232 (14 000 millones de años), y el Rubidio 87 (47 000 millones de años), el primero aporta un 15.1% y el segundo junto con otros representa solo el 1% . El segundo tipo de radionúclidos está constituido principalmente por Tritio (12.35 años) y Carbono 14 (5730 años), se general en las capas altas de la atmósfera y su concentración se mantiene bastante constante. El carbono, el potasio y el tritio se encuentran incorporados en los seres vivos y producen una dosis interna. En el cuadro siguiente se dan las dosis anuales promedio causadas por fuentes naturales en las zonas normales, pues hay lugares donde por el contenido de minerales radiactivos en el suelo, las dosis son considerablemente mayores, como en la India y Brasil donde hay sitios en que llegan a 4 y 5.5 mSv por año, respectivamente.

Equivalente de dosis efectivo anual causado por fuentes naturales en zonas de radiactividad normal.

Rayos cósmicos al nivel del mar	0.30 mSv
Radón 222 y 220	1.37
Potasio 40	0.30
Otras fuentes	0.02
<hr/>	
Total (redondeado)	2.00 mSv

Las fuentes artificiales de radiación se producen principalmente por tres tipos de actividades: las aplicaciones médicas de las radiaciones, las pruebas de explosivos nucleares en la atmósfera y la producción de energía nucleoelectrónica. Las aplicaciones en la industria, la agricultura y la investigación son aportaciones insignificantes frente a las anteriores. Las dosis anuales promedio que reciben los individuos de la población por estas fuentes son:

Aplicaciones médicas	0.40 mSv
Pruebas nucleares en la atmósfera	0.02
Producción de nucleoelectricidad	0.001
<hr/>	
Total	0.421 mSv

La introducción de actividades y procesos que implican exposición del público a las radiaciones, sólo podrán realizarse bajo vigilancia para el cumplimiento de los límites establecidos, aquellas que se prolonguen en el tiempo, se limitarán de modo que las dosis anuales futuras no rebasen los límites. La liberación de materiales radiactivos al ambiente también estará controlada y sometida a la aprobación de la autoridad competente. Las medidas tomadas para evitar exposiciones futuras por fuentes artificiales empiezan a tener efecto, la suspensión de las pruebas nucleares en las atmósfera en 1964 permitió disminuir las dosis. La industria nuclear, aunque representa una dosis veinte veces menor que la debida las explosiones y es sólo el 0.05% de la debida a fuentes naturales, va disminuyendo su tendencia de crecimiento a pesar del aumento en el número de centrales en operación. Algunas actividades humanas como la minería, la producción de fertilizantes a base de roca fosfórica, en el uso de subterráneas, etc., aumenta la exposición del público a las fuentes naturales de radiación, por lo que también quedan sometidas

“PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA”

de radiaciones con fines médicos deberá evitarse a menos que esté justificado, para lo cual el médico deberá cerciorarse de que no existe un método alternativo que proporcione la misma información o resultado terapéutico, además deberá buscar la forma en que la irradiación del paciente se reduzca al nivel más bajo posible que permita obtener los resultados buscados.

La responsabilidad de decidir si se justifica un examen o un tratamiento corresponde en ocasiones al médico que lo solicita o a veces al que lo aplica, en ambos casos la decisión debe basarse en una evaluación correcta de su utilidad frente al riesgo involucrado, cuando se trate de un grupo de pacientes o de una investigación que no produzca un beneficio directo a las personas expuestas, la decisión deberá tomarla un grupo de personas debidamente calificadas y obtener la aprobación de las autoridades competentes.

Como se vio en párrafos anteriores, la exposición médica constituye la mayor contribución por fuentes artificiales, la principal diferencia entre esta exposición y las otras es que quien recibe las dosis es usualmente quien se beneficia directamente y acepta de buen grado el riesgo, aunque en la mayoría de los casos lo desconoce. Sin embargo hay que hacer todo lo posible por reducir la exposición médica, porque cubre grupos de población importantes y puede contribuir significativamente a la producción de efectos genéticos, pues la mayor parte de la dosis se debe a estudios radiológicos en los que aunque la dosis es muy pequeña, se aplica a un gran número de individuos.

Los límites de equivalente de dosis no son aplicables a los pacientes sometidos a diagnóstico y tratamiento, solo se aplican a las personas expuestas con motivo de investigación médica. Los exámenes médico-legales deben someterse a una revisión para determinar si la utilidad de la información justifica el riesgo para la población y limitarse a los casos más indispensables, en ocasiones las campañas de diagnóstico masivo no se justifican por el número de casos que detectan respecto del riesgo colectivo que producen.

II.3.1. Sistema de limitación de dosis.

La necesidad de protegerse contra los efectos perjudiciales de las radiaciones, se hizo patente muy poco tiempo después del descubrimiento de los rayos X y de la radiactividad, cuando empezaron a manifestarse efectos patológicos entre los pioneros de la radiología, en consecuencia, se inició la preocupación por establecer normas de protección. De la observación de los efectos gruesos fácilmente visibles como los eritemas que se presentan en la piel se establecían límites, así por ejemplo en 1902 Rollings sugería como “intensidad segura” 10 rem por día (3600 rem por año), los estudios realizados en 1922 permitieron deducir que entre los radiólogos se habían producido ya más de un centenar de muertes por cáncer, por lo que en 1925 Mutscheler señalaba como “dosis de tolerancia” 50 rem por año. En 1928 durante el Segundo Congreso Internacional de Radiología, se creó un “Comité Internacional” para que formulara recomendaciones para la protección de los radiólogos, de los estudios realizados se introdujo un nuevo límite de 25 rem/año; para 1950 se hablaba de “dosis máxima permisible”, lo cual implica ya el reconocimiento de que no podía hablarse de una dosis completamente segura y se estableció como límite 15 rem/año. Ese año se formó la ICRP que es un grupo técnico no lucrativo, financiado por diversos organismos internacionales y que elabora recomendaciones con fundamento en los más recientes conocimientos sobre los efectos de las radiaciones, así como en la experiencia acumulada en los diferentes países. La ICRP estableció como límite 5 rem/año en 1957, valor que hasta 1990 se consideró adecuado (5 rem = 50 mSv) (las recomendaciones de 90 redujeron el límite a 20 mSv/año).

La protección radiológica tiene como finalidad proteger a los individuos, sus descendientes, el ambiente y los bienes, de los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes. (Las recomendaciones de 90 señalan como objetivo proporcionar un nivel adecuado de protección al

“PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA”

Aunque la valoración de todos los aspectos indicados es muy compleja y difícil, se recomienda una estimación razonable.

La optimización incluye un concepto que va más allá del concepto de dosis máxima permisible usado con anterioridad, es el concepto ALARA (As Low As Reasonably Achievable), que significa mantener las exposiciones a la radiación tan bajas como razonablemente pueda lograrse, esto quiere decir que es recomendable hacer el mayor esfuerzo para reducir las dosis a los individuos y al público, pero cabrían las preguntas: ¿hasta donde?, ¿Qué es lo razonable? Para responder estas interrogantes se emplea la optimización, esto es, se recomienda efectuar un análisis cuantitativo de la operación o práctica para determinar el punto hasta el que se debe reducir la exposición, más allá del cual una reducción ulterior no justificaría el costo necesario para conseguirla.

Límites de equivalente de dosis para personal ocupacionalmente expuesto.

El sistema para limitación de dosis propuesto por la ICRP incluye el establecimiento de valores para límites y para niveles de referencia. Un límite es el valor de una magnitud que no ha de ser superado. Un nivel de referencia no es un límite sino el valor de una magnitud que sirve como señal para seguir una conducta determinada.

Los límites son:

Límites primarios: Se aplican al equivalente de dosis, que es la magnitud que cuantifica el posible efecto deletéreo para la salud.

Límites secundarios: Se usan cuando no se pueden aplicar directamente el límite primario, por ejemplo, se aplican a la cantidad de un radionúclido incorporada a un organismo.

Límites derivados: Se relacionan con los primarios mediante un modelo definido tal que si se satisfacen los límites derivados es casi seguro que se satisfacen los primarios.

Límites autorizados: Son los que establece la autoridad competente para cualquier magnitud y que en general son menores a los primarios o a los derivados.

Los niveles de referencia son:

Nivel de registro: Es el valor de una magnitud por encima del cual la información tiene el interés suficiente para su registro y conservación.

Nivel de investigación: Es el valor que se considera suficientemente importante para justificar una investigación de las causas por las que se rebasó.

Nivel de intervención: Es el valor que de superarse indica una situación que requiere tomar medidas correctivas.

Para ilustrar el uso de los niveles de referencia, pondremos un ejemplo: Supóngase que un grupo de trabajadores emplea unos dispositivos para medición de la dosis que reciben, capaces de medir desde 5 unidades en adelante, valores menores no los perciben. Supóngase que el límite fuera de 100 unidades, entonces los niveles de referencia deberían estar entre los esos valores, así el nivel de registro sería 5 o un poco mayor, pero no puede ser menor al mínimo medible. Si la experiencia ha mostrado que durante el trabajo normal los dispositivos de medición indican un valor promedio de 20 unidades, el nivel de investigación podría fijarse por arriba de ese valor,

“PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA”

pertinentes para reducir el equivalente de dosis efectivo para toda la vida a un promedio anual de 1 mSv (0.1 rem).

En el caso de grandes grupos de población no se establecen límites adicionales, se recomienda hacer un estudio específico de la situación para determinar, mediante la aplicación del criterio ALARA, cual valor por debajo de los límites señalados debe establecerse como límite autorizado por la autoridad competente, tomando en cuenta los beneficios esperados para ese grupo y para otros, así como las tendencias de las exposiciones debidas a diversas fuentes, de manera que exista siempre un margen conservador para exposiciones debidas a actividades futuras sin ocurrir en riesgos inaceptables. Además se debe mantener una vigilancia permanente de los niveles de exposición para corregir oportunamente los incrementos que pudieran acercarlos a valores inaceptables. (las recomendaciones de 90 indican que el límite debe expresarse como un promedio de 1 mSv por año durante cualquier período de 5 años consecutivos, lo cual implica como límite de diseño 1 mSv por año; para el cristalino se toma arbitrariamente un factor de reducción de 10, lo cual conduce a un límite de 15 mSv para el cristalino y 50 mSv para áreas de la piel no mayores 100 cm² y para las manos).

Los límites de equivalente de dosis tanto para personal ocupacionalmente expuesto como para público NO se aplican a las dosis originadas por la exposición médica de pacientes ni a las debidas a la radiación natural, excepto cuando la autoridad competente lo estipula para la exposición de pacientes con fines de investigación y para los casos de exposición a radiación natural acrecentada por motivos tecnológicos.

Si se uniformiza el límite primario para los efectos estocásticos (50 mSv/año y 5 mSv/año, POE y público respectivamente), se llega a un valor que puede ser usado con fines de vigilancia radiológica y cálculo de blindajes (Tabla 4) :

Tabla 4

VALORES GUIA DE EQUIVALENTE DE DOSIS EFECTIVO SEMANAL (H_E)	
Tipo de Personas	LIMITE DE DOSIS SEMANAL (mSv)
P.O.E.	1
PUBLICO	0.1

"PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA"

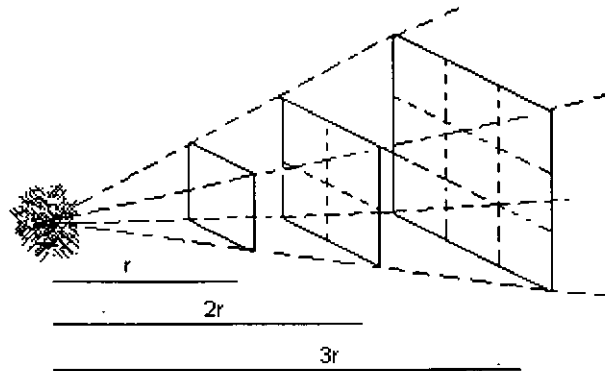


Fig. No. 16 . Comportamiento de la rapidez de Exposición en función de la distancia para una fuente puntual de $\dot{X}_1 r_1^2 = \dot{X}_2 r_2^2$.

La ley del inverso se cumple para fuentes puntuales; para las fuentes que no lo son, no se cumple, sin embargo, como puede verse en la figura 17., para las fuentes lineales y superficiales también se reduce la intensidad conforme aumenta la distancia.

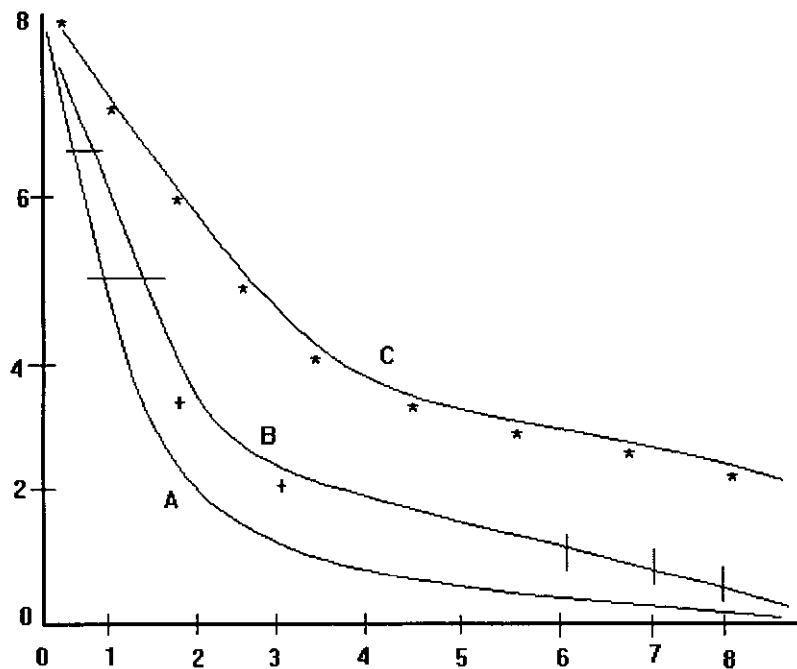


Fig. 17. Comportamiento de la intensidad de radiación gamma o X para una fuente puntual (A) lineal (B) y superficial (C) en función de la distancia.

En esta figura puede apreciarse que para distancias pequeñas, alejarse un poco puede representar una disminución apreciable en la intensidad de radiación; de la misma forma un pequeño acercamiento representa un aumento apreciable en la intensidad. Es conveniente no acercarse a una fuente de radiación a distancias pequeñas.

Problema :

 "PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA"

La radiación directa puede ser atenuada o absorbida fácilmente (fig. 19); de hecho, para radiación X o γ se puede aproximar fácilmente el espesor de blindaje necesario para este caso mediante la relación

$$I = I_0^{-\mu x} \quad (2)$$

donde :

- I = Intensidad de radiación después del blindaje
 I_0 = Intensidad de radiación sin blindaje
 μ = Coeficiente de atenuación
 x = Espesor de blindaje necesario para llevar I_0 hasta I .

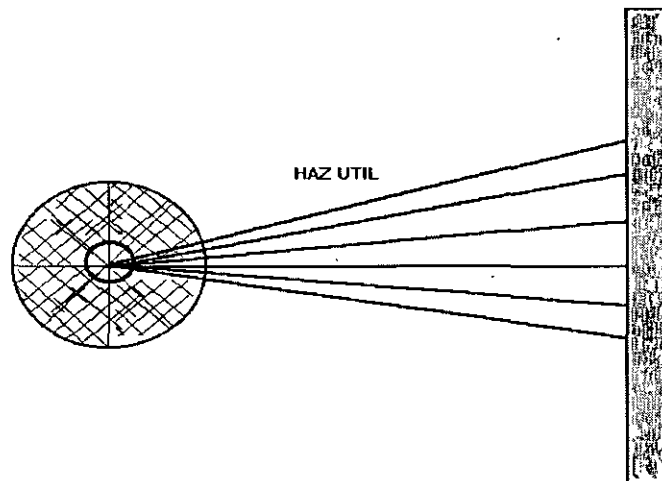


Fig. 19 Radiación directa

Conviene aclarar que la ecuación se cumple para el caso de fuentes colimadas. En el caso de radiodiagnóstico, interesa ajustar en lo posible el haz de radiación en la zona a explorar lo cual lleva a colimar el haz de rayos X. La radiación dispersada por los objetos que se interponen al haz de radiación antes del blindaje, también debe ser considerada para su atenuación en el punto de interés (ver fig. 20.)

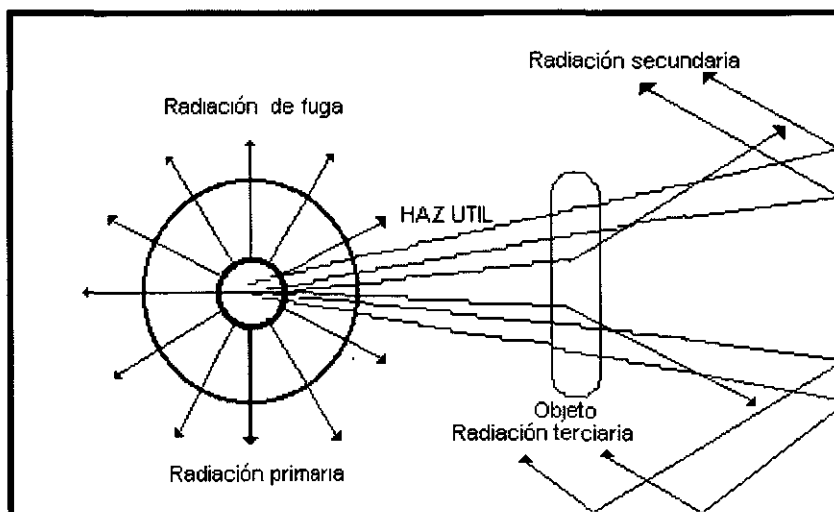


Fig. 20 Radiación dispersada

"PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA"

A su vez, el espesor necesario para reducir a la décima parte de su valor a la intensidad de radiación en un punto sería llamada la **capa decirreductora**.

Tiempo

Si es imposible alejarse de la fuente, entonces; para absorber menos radiación se necesita estar el menor tiempo posible en esa área.

Cuando por razones de trabajo se requiere permanecer cerca de una fuente de radiación, la forma en que se usa el tiempo para exponernos menos a la radiación, es realizar el trabajo en el menor tiempo posible, pero de tal manera que esté bien realizado. Generalmente al entrar a una área de radiación se conoce el nivel de radiación y se hace una estimación del tiempo que se pueda permanecer en ella, evitando exponerse a una dosis mayor de la permisible.

Aquí podríamos hacer una analogía de efectos experimentados por el cuerpo humano debido a una exposición a la energía calorífica del sol; por ejemplo, si estamos poco tiempo en contacto con los rayos solares, el efecto será casi nulo; pero si permanecemos un lapso más prolongado de tiempo, los efectos se sentirán en la piel, hasta el punto de poder experimentar una quemadura severa,

Problema 1:

Cual fue la dosis equivalente recibida por una trabajador que permaneció 6 horas en un punto donde la rapidez de exposición \dot{X} es de 5 mR/h.

Datos :

$$H = ?$$

$$X = 5 \text{ mR/hr}$$

$$t = 6 \text{ hr}$$

Solución

La rapidez de dosis equivalente \dot{H} es numéricamente igual a la rapidez de exposición, esto es, $H = 5 \text{ mrem/hr}$, y $H = \dot{H} / t$ por lo que sustituyendo valores :

$$H = \dot{H}t = (5 \text{ mrem/h}) (6 \text{ h}) = 30 \text{ mrem}$$

Resultado

La dosis equivalente H, recibida por el trabajador en 6 h fue de: $H = 30 \text{ mrem}$

 "PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA"

Ejemplo 5:

¿A que distancia de la mancha focal del tubo, del ejemplo anterior, se tendrá una rapidez de exposición de 30 mR/h?

$$d_2^2 = X_1 d_1^2 / X_2 = 3 \text{ [R/h]} \times 1 \text{ m}^2 / 0.03 \text{ [R/h]} = 100 \text{ m}^2$$

$$d_2 = 10 \text{ m}$$

Ejemplo 6:

Para el mismo tubo del ejemplo anterior. calcular cuantas veces aumenta la rapidez de exposición cuando se acerca el medidor de 80 a 60 cm y comparar el valor con el resultado obtenido cuando se acerca de 30 a 10 cm (en ambos casos el desplazamiento es de 20 cm)

$$X_1 = X_2 (d_2 / d_1)^2$$

primer caso $X_1 = X_2 (80/60)^2 = 1.77 X_2$

segundo caso $X_1 = X_2 (30/10)^2 = 9 X_2$

II.4 Instalaciones

II.4.1. Dimensiones y comunicación

En lo general las instalaciones de rayos X para fines de diagnóstico tienen una distribución que consta de un recinto en el que se aloja el cabezal del tubo de rayos x así como la mesa o soporte del sistema de radiografía (rejilla antidifusora, chasis, etc.).

La instalación también debe prever la ubicación del generador de alto voltaje. En muchos casos la consola de control está en una habitación contigua previendo el blindaje que divide ambas salas y manteniendo una ventana de visualización con blindaje calculado ex profeso. El cuarto de revelado también es parte de la instalación así como la sala de preparación.

A continuación se muestra una distribución típica.

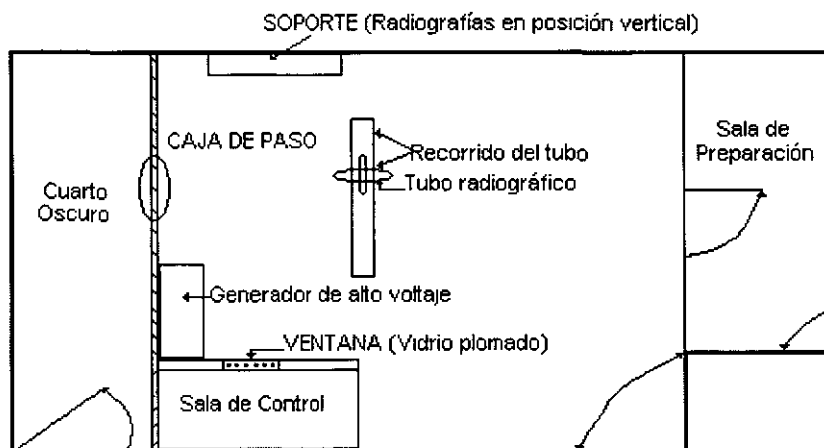


Figura. 22 Distribución típica de una instalación de Radiodiagnóstico con rayos X.

"PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA"

Además en las zonas controladas deberá restringirse el acceso por medio de procedimientos administrativos, tales como el uso de pases de trabajo y/o mediante barreras físicas, que podrían incluir dispositivos de cierre, en donde el grado de restricción es proporcional a la magnitud y probabilidad de las exposiciones previstas.

En los puntos de entrada a la zona controlada, se deberá dar (según proceda), equipo de protección, equipo de vigilancia radiológica y un lugar adecuado para guardar la ropa personal.

En el caso de las zonas supervisadas, éstas deben delimitarse por algún medio apropiado. En los puntos de acceso a ellas, deben colocarse señales apropiadas, además deben examinarse periódicamente las condiciones de la zona (al igual que en la zona controlada), para determinar toda necesidad de medidas protectoras y disposiciones de seguridad, o de modificación de los límites de las zonas supervisadas.

Deben colocarse carteles en las salas de espera para alertar a las pacientes y solicitar informen al médico sobre dicha posibilidad. Estos carteles deben tener la siguiente leyenda: "SI EXISTE LA POSIBILIDAD DE QUE USTED SE ENCUENTRE EMBARAZADA, INFORME AL MEDICO O AL TECNICO RADIOLOGO ANTES DE HACERSE LA RADIOGRAFIA".

En las puertas de los sanitarios y vestidores de la zona supervisada que dan ingreso a la sala de Rayos X debe existir un cartel con la siguiente leyenda: "NO ABRIR ESTA PUERTA A MENOS QUE LO LLAMEN"

Se requiere que en el exterior de las puertas principales de acceso a las salas de Rayos X exista un indicador de luz roja que indique que el generador está encendido y por consiguiente puede haber exposición. Dicho dispositivo debe colocarse en lugar y tamaño visible, junto a un letrero con la leyenda: "CUANDO LA LUZ ESTE ENCENDIDA SOLO PUEDE INGRESAR PERSONAL AUTORIZADO".

En la sala de Rayos X, debe colocarse en lugar y tamaño visible por el paciente, un cartel con la siguiente leyenda: "EN ESTA SALA SOLAMENTE PUEDE PERMANECER UN PACIENTE A LA VEZ".

II.4.2. Especificaciones estructurales y de acabado.

Sistemas de Seguridad

Para poder analizar los sistemas de seguridad en las instalaciones de rayos X, es necesario establecer algunas generalidades y conceptos en torno a estos equipos.

Los tubos generadores de radiación X se han utilizado en la medicina para radiodiagnóstico y en otros casos para radioterapia. También se han usado en la industria para realizar pruebas no-destructivas a través de radiografías,. En un tubo de rayos X se conocen varios conceptos que se mencionan mucho en lo relativo a la radioprotección; a continuación se presentan algunos de ellos que se ilustran en la figura 24.

 “PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA”

A continuación se mencionan los sistemas de seguridad principales con los que cuentan los locales blindados

En realidad, las barreras de protección primaria y secundaria forman parte de los sistemas de seguridad con que debe contar una instalación de rayos X. Los sistemas de seguridad deben contemplar todas las situaciones de incidente y/o accidente; se pueden señalar varios criterios para la instalación:

- I El paciente debe ser observable en todo momento desde la consola de control, ya sea por contacto visual a través de una mirilla o ventana, o bien por medio de un sistema de circuito cerrado de televisión (ver fig. 25).

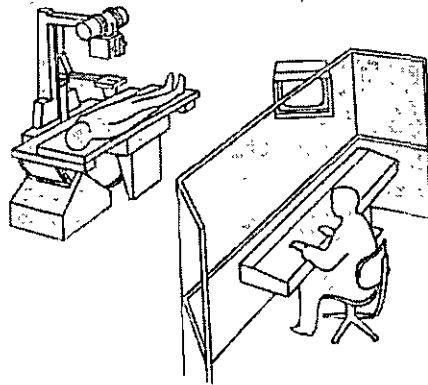


Figura 25

- II Los locales blindados deben contar en la parte exterior con un indicador de luz roja que advierta la presencia de radiación durante las exposiciones que se realicen con el equipo. Un letrero con el símbolo internacional de radiación junto al indicador, prohibiría la entrada cuando la luz estuviera encendida.
- III Los tubos de rayos X deben alojarse en una coraza blindada con plomo por todas las partes, excepto por la ventana de salida del haz útil.
- IV La radiación de fuga en tubos con fines de diagnóstico clínico debe tener un valor de rapidez de exposición inferior a 1 mR/h a 1m de distancia de la mancha focal con el tubo trabajando a la máxima potencia posible (ver fig. 26). Para el caso de radioterapia, esta fuga está limitada a 1 R/h a un metro.

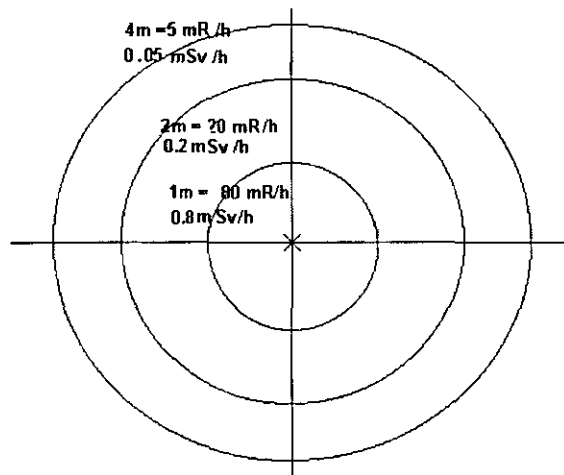


Figura 26 Ejemplo de radiación de fuga alrededor de tubos de RX diagnóstico.

 "PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA"

Ver la siguiente figura.

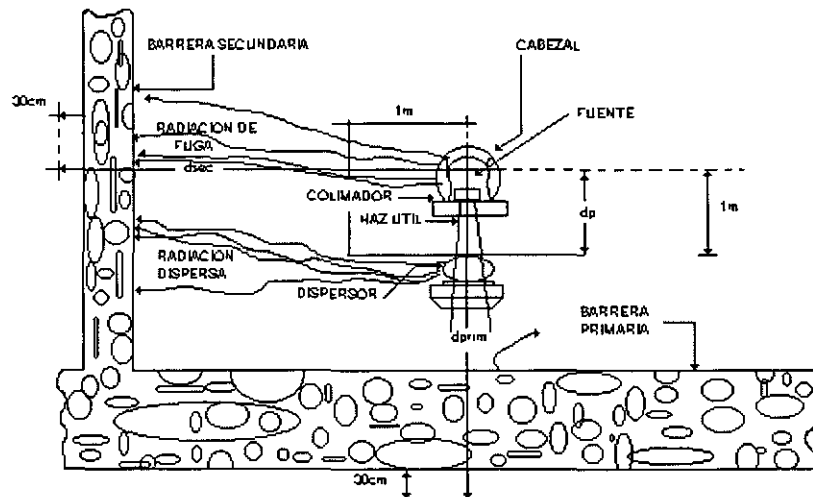


Fig. 27 Barreras de Protección Primaria y Secundaria de una instalación fija de Rayos X.

Los siguientes conceptos son fundamentales como base de diseño en instalaciones de rayos X.

Carga de Trabajo.- Determina el grado de utilización del tubo para un voltaje dado, durante un periodo de tiempo definido; puede indicarse por la letra W y expresarse de la siguiente forma

$$W = \frac{mA_{min}}{\text{semana}}$$

Factor de Ocupación.- Es la fracción de tiempo con respecto al tiempo total de uso del equipo, en que las personas (sea POE o Público en General), permanecerán en el área que se protege. Puede indicarse por la letra T y se establece en 1 para el POE, si no se trata de POE, entonces $T < 1$ dependiendo del tiempo estimado de ocupación.

Factor de Uso.- Es la fracción de tiempo de operación del equipo, durante el cual el haz útil está dirigido hacia una barrera de protección. Puede indicarse por la letra U y toma el valor de 1 para el blindaje que se calcula, en el caso en que el tubo esté fijo y el haz útil siempre esté dirigido hacia ese blindaje. U será menor que 1 en tanto el tubo modifique la dirección del haz útil.

Factor de Transmisión.- Es la intensidad de radiación medida en un punto a 1m de distancia de la fuente cuando se ha interpuesto un blindaje entre la fuente y el punto, para un conjunto dado de parámetros que caracterizan el haz. La transmisión absoluta puede indicarse por la letra B y puede expresarse como:

$$B = \frac{mSv \ m^2}{mA_{min}}$$

ó

$$B = \frac{m \ Gy \ m^2}{mA_{min}}$$

"PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA"

barrera primaria, de tal suerte que la persona ubicada en la posición C a una distancia d del blanco del tubo quede perfectamente protegida.

La radiación de fuga de la carcasa o coraza del tubo y la radiación dispersada por el paciente, es atenuada por la barrera de protección secundaria antes de llegar a la posición E ubicada a una distancia d_s del dispersor. La radiación dispersada en la barrera primaria, puede también alcanzar la posición E, sin embargo la radiación dispersada por el paciente es mas significativa.

Se han obtenido valores de requerimientos de blindaje mínimo en función de Límites de Exposición Semanal H_E ; H_E ha sido establecido en 1 y 0.1 mSv/sem como factores de diseño para POE y público respectivamente. Se ha comprobado que el costo del blindaje en instalaciones terapéuticas y de radiografiado, solo se incrementa aproximadamente en un 25% si el blindaje de áreas controladas se basan en una exposición semanal de 0.1 en lugar del valor de 1 mSv. El uso de el valor de 0.1 es consistente con el criterio ALARA y se ha tomado como base de diseño.

En algunas ocasiones no se cuenta con mucha información durante la planeación de la instalación, en esos casos se han sugerido valores típicos, para la carga de trabajo W , el factor de uso U y el factor de ocupación T .

Tabla 5

Valores de CHR y CDR. Valores obtenidos aproximados en alta atenuación para los valores de Kilovoltaje pico que se indican bajo condiciones de haz ancho, con baja atenuación, estos valores serán significativamente menores.

KV _p	Material Atenuante					
	mm de Plomo		cm de Concreto		mm de Fierro	
	CHR	CDR	CHR	CDR	CHR	CDR
50	0.06	0.17	0.43	1.5		
70	0.17	0.52	0.84	2.8		
100	0.27	0.88	1.6	5.3		
125	0.28	0.93	2.0	6.6		
150	0.30	0.99	2.24	7.4		
200	0.52	1.7	2.5	8.4		
250	0.88	2.9	2.8	9.4		
300	1.47	4.8	3.1	10.4		

En la tabla anterior se aprecia que , para kilovoltajes pico de 50, es suficiente utilizar 0.06 mm de plomo ó 0.43 mm de concreto para reducir la intensidad del haz de radiación a la mitad.

Por otro lado, se requerirán 0.17 mm de plomo ó 1.5 cm de concreto para reducir la intensidad del haz de radiación a la décima parte.

De igual forma, para 100 KV_p la capa hemirreductora es de 0.27 mm de plomo ó 1.6 cm de concreto y la capa decirreductora es de 0.88 mm de plomo ó 5.3 cm de concreto.

En la norma oficial NOM-156-SSA1-1996, se propone un método para calcular barreras primarias y secundarias en salas de radiodiagnóstico.

 "PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA"

El sistema de agua tiene como función lavar la película y ayudar a estabilizar la temperatura de las soluciones del procesado.

El suministro de agua debe ser limpio y estar libre de contaminantes, sedimentos y otros depósitos que puedan interferir con un procesado óptimo.

Sistema de refuerzo : La cantidad de refuerzo requerida depende del número de películas procesadas. Las tasas de refuerzo están determinadas por el área total de la superficie o por la longitud de la película procesada. Tanto un exceso como un defecto en el refuerzo conducen a radiografías de baja calidad

El sistema de mezclado requiere precisión, automatización, confiabilidad y economía p

Algunas unidades de mezclado automático de soluciones de refuerzo, proveen el mezclado rápido, preciso y uniforme de las soluciones químicas para aplicaciones médicas. Las soluciones de proceso se preparan a partir del revelador y del fijador.

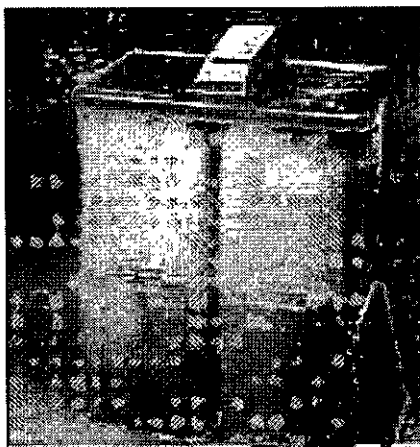


Figura 30

Revelado: El revelado convierte la imagen latente de la película en una imagen visible, compuesta de diminutas partículas de plata.

Los componentes básicos de un revelador son: disolvente, agentes reveladores, aceleradores o activadores, preservadores, retardadores y endurecedores.

Un agente revelador es un compuesto químico capaz de convertir los granos expuestos de halógeno de plata en plata metálica

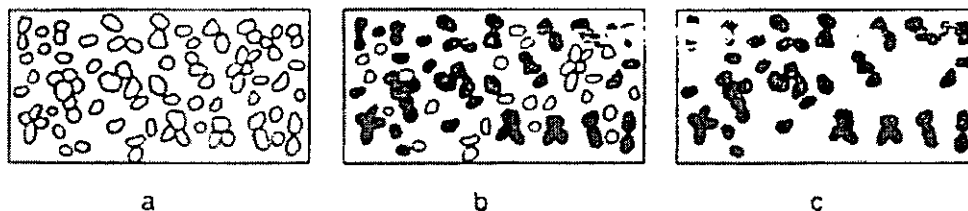


Figura 31

El grado de reacción química está influenciado por el pH y, por tanto por la cantidad de acelerador en la solución.

 "PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA"

Los límites anuales de equivalente de dosis para individuos del público para efectos estocásticos es de 5 mSv (0.5 rem) y para los efectos deterministas es de 50 mSv (5 rem). Estos límites de dosis se aplican al grupo crítico de la población, o al individuo más expuesto.

Los límites establecidos no se aplican a los pacientes sometidos a estudios radiológicos.

Ninguna persona menor de 18 años puede formar parte del POE.

III.2.2. Niveles orientativos de dosis a pacientes.

Del apéndice A normativo de la norma NOM-157-SSA1-1996, se pueden obtener los siguientes valores de dosis orientativos a pacientes para el diagnóstico médico con rayos X.

Tabla 6 Radiografía.

Examen	Dosis de entrada en superficie por radiografía (mGy)	
Columna vertebral lumbar	AP	10
	LAT	30
	ASL	40
Abdomen, urografía y colecistografía intravenosas	AP	10
Pelvis	AP	10
Articulación de cadera	AP	10
Tórax	PA	0.4
	LAT	1.5
Columna vertebral torácica	AP	7
	LAT	20
Dental	Periapical	7
Cráneo	AP	5
	PA	5
	LAT	3

PA = Proyección posteroanterior

ASL = Proyección de la articulación sacrolumbar

LAT = Proyección lateral

AP = Proyección anteroposterior

En aire con retrodispersión. Estos valores son aplicables a una combinación película-pantalla convencional con velocidad relativa de 200. Para combinaciones película-pantalla de alta velocidad (400-600), los valores deben dividirse por un factor de 2 a 3.

"PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA"

Espesor de la mama	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
D_{gN}	0.2	1.95	1.75	1.55	1.4	1.25	1.15	1.05	0.95

donde el espesor de la mama se expresa en cm, D_{gN} en mGy por $2.58 \times 10^{-4} \text{ CKg}^{-1}$ (D_g por tanto se obtendrá en mGy).

Tabla 9. Fluorosocopia.

Modo de funcionamiento	Tasa de dosis de entrada en superficie * (mGy/min)
Normal	25
Alto nivel **	100

En aire, con retrodispersión.

** Para los fluoroscopios provistos de un modo de funcionamiento optativo de "alto nivel", tales como los que se suelen utilizar en radiología de intervención.

III.2.3. Dispositivos de protección personal

Los dispositivos mínimos indispensables de protección radiológica por cada Departamento de Radiología se establecen en la Tabla 10. De acuerdo con el tipo de estudio a realizar, el POE debe utilizar dichos dispositivos, los cuales deben contar con las siguientes características:

- Mandil con espesor equivalente de 0.5 mm de plomo cuando cubra solamente el frente del cuerpo, o mandil de 0.25 mm cuando cubra completamente el frente, los costados del tórax y pelvis.
- Guantes de compresión con espesor equivalente a 0.5 mm de plomo
- Guantes para intervención con espesor equivalente de 0.25 mm de plomo
- Collarín para protección de tiroides con espesor equivalente a 0.5 mm de plomo
- Anteojos para protección del cristalino, con cristales de espesor equivalente a 0.2 mm de plomo

Durante los estudios fluoroscópicos de intervención que utilicen equipo con arco en C, todo el personal que participe debe usar mandil con espesor equivalente a 0.5 mm de plomo.

“PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA”

III.2.4. Vigilancia radiológica individual

Por vigilancia radiológica individual se entenderán las actividades cuyo objeto es estimar el equivalente de dosis y la incorporación de radionúclidos en las personas ocupacionalmente expuestas. En caso de trabajar con un equipos de rayos X, la Vigilancia Radiológica se reduce a las actividades cuyo objeto es estimar el equivalente de dosis recibido por el POE.

La vigilancia radiológica de los trabajadores ocupacionalmente expuestos a las radiaciones requiere de un sistema completo de medición, evaluación y registro de todas las exposiciones a las radiaciones que pueda sufrir cada individuo por las diferentes vías.

Los métodos de vigilancia radiológica que pueden ser necesarios son:

- I. La dosimetría individual a la radiación externa, para cuyo fin se llevan dispositivos de medición de radiaciones, llamados dosímetros. (Este método es aplicable a Rayos X).
- II. La vigilancia de la radiación interna, mediante aparatos que miden las radiaciones emitidas por el cuerpo (monitores de radiactividad corporal total o parcial) o mediante procedimientos de bioanálisis, para determinar el equivalente de dosis. (Solo cuando se manejan materiales radiactivos como fuentes abiertas).
- III. La medición de la contaminación cutánea y de la ropa. (Solo cuando se manejan materiales radiactivos como fuentes abiertas).
- IV. La vigilancia radiológica de zonas. En particular, la determinación de los niveles de radiación de la contaminación del aire y de la contaminación superficial en la zona de trabajo. (Solo cuando se manejan materiales radiactivos como fuentes abiertas).

I. DOSIMETRIA INDIVIDUAL DE LA RADIACION EXTERNA.

Finalidad.

La finalidad es la de proporcionar los datos necesarios para estimar los equivalentes de las dosis recibidas en todo el cuerpo, en la piel o en las extremidades.

Aspectos importantes de los métodos de Dosimetría.

1. Evaluación del equivalente de dosis.
2. Período de uso de los Dosímetros.
3. Colocación de los Dosímetros.
 - I.- Para evaluar los equivalentes de dosis recibidos se emplean uno o más Dosímetros individuales, que la persona lleva siempre puestos mientras esté trabajando.

Al trabajar con un equipo de rayos X, se puede utilizar solo dosímetro por persona.
 - II.- La duración del período para que se entregue o se use un dosímetro, dependerá de los equivalentes de dosis que planeen recibir. Generalmente se evalúa la dosis en forma mensual.

 "PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA"

También debe tenerse en cuenta que cualquier fuga de carga produce una lectura, por lo que se requiere que exista un buen aislamiento del electrodo. Cuando los Dosímetros están expuestos a la humedad, éste aislamiento puede perderse con el consiguiente aumento de la corriente de fuga. La rapidez de fuga normal en un buen Dosímetro debe ser del orden de 3 % en un período de 48 horas.

Los Dosímetros de Bolsillo se usan principalmente en áreas controladas como dosímetros secundarios, para determinar dosis diarias.

La figura siguiente representa esquemáticamente los dos tipos de Dosímetros de Bolsillo.

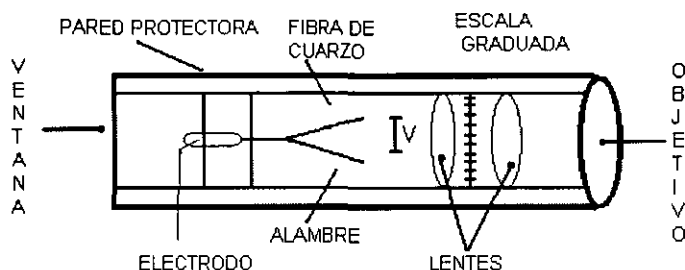


Figura 29.

Esquema de un Dosímetro de bolsillo de lectura directa.

Mediante un cargador, se induce una carga positiva al electrodo, la cual se distribuye en la fibra de cuarzo flexible y en el alambre rígido, de tal modo, que la fuerza de repulsión entre el alambre y la fibra hace que se separe la fibra del alambre, observándose inicialmente en la posición cero de la escala graduada. Al incidir la radiación a la cámara de gas del dosímetro, los iones negativos inducidos en el gas, neutralizan la carga positiva y reducen la fuerza de repulsión entre la fibra y el alambre, regresando la fibra de cuarzo a su posición original. En la escala lo que se observará es un avance de la fibra y el movimiento deberá interpretarse como la lectura de la exposición o de la dosis equivalente.

DOSIMETROS DE PELICULA.

Este tipo de dosímetro consiste de un paquete de 2 ó 3 placas fotográficas (para rayos X, gamma y partículas) protegidas de la luz y colocadas en un chasis (Fig. 30). Estas películas constan de una base de acetato de celulosa o de algún plástico, revestida por ambos lados de una capa gelatinosa fotosensible (emulsión). De un lado se usa una emulsión muy sensible mientras que del otro la emulsión es prácticamente insensible. Las películas que se usan en dosimetría personal tienen un contenido alto de Bromuro de Plata (AgBr) cuyos granos, prácticamente esféricos, hacen que la pérdida de energía de la radiación ionizante dentro de la emulsión sea relativamente isotrópica.

"PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA"

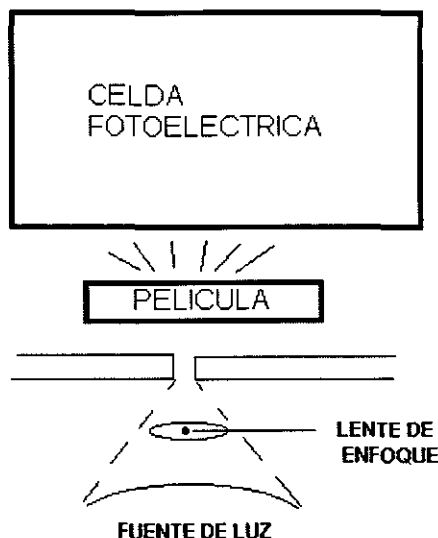


FIG 31 DENSITOMETRO

La curva de calibración se obtiene sometiendo un lote de películas a diferentes exposiciones con una fuente calibrada, teniendo cuidado de mantener un lote de películas como testigos a las mismas condiciones que las películas irradiadas y procesándolas juntas en la misma forma, para obtener de esta manera una lectura de fondo, la cual habrá de restarse a la lectura de las películas irradiadas.

Una característica de mucha importancia que debe tomarse en cuenta, es la estabilidad de la película, la que por lo general es baja y por lo tanto limita su aplicación en la dosimetría personal, ya que el almacenamiento de la película en un ambiente húmedo y caluroso da lugar a una imagen latente espuria debida en parte a la radiación de fondo pero, principalmente, ocasionada por la inducción térmica de conglomerados de átomos de plata al pegarse parte de la emulsión a la envoltura o, bien, cultivarse hongos ó bacterias en la gelatina, lo que daña la película.

Un problema mucho mas serio que los efectos anteriores, los cuales son fáciles de detectar, lo constituye la pérdida de la información una vez irradiada la película (desvanecimiento), debido en parte a la disociación térmica de los centros latentes rebelables, pero principalmente a la acción química combinada del Oxígeno y la humedad ($2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}_2$), ya que el H_2O_2 destruye los centros de Plata rebelables, los cuales por lo regular se localizan en la superficie. Por esta razón, las películas de grano fino presentan un desvanecimiento mayor que las de grano grueso.

Otra característica de los dosímetros de película es que presentan una fuerte dependencia de la energía para bajas energías de la radiación ($E < 0.2 \text{ MeV}$), debido a que la Plata tiene una sección transversal para efecto fotoeléctrico más alta que la del aire o la del tejido. Por esta razón, para discriminar diferentes tipos de radiación, el dosímetro debe estar equipado con una serie de filtros de Cd, Al, Cu, Sn, Pb y Ag y una ventana abierta, con el objeto de obtener una filtración selectiva.

Otra característica desfavorable de los dosímetros de película, es que la dosis se puede determinar con un error de 20 a 30%. Para ayudar a discriminar entre rayos gamma de baja energía y rayos beta, se hace la comparación entre el oscurecimiento con ventana abierta y a través del filtro de Al.

"PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA"

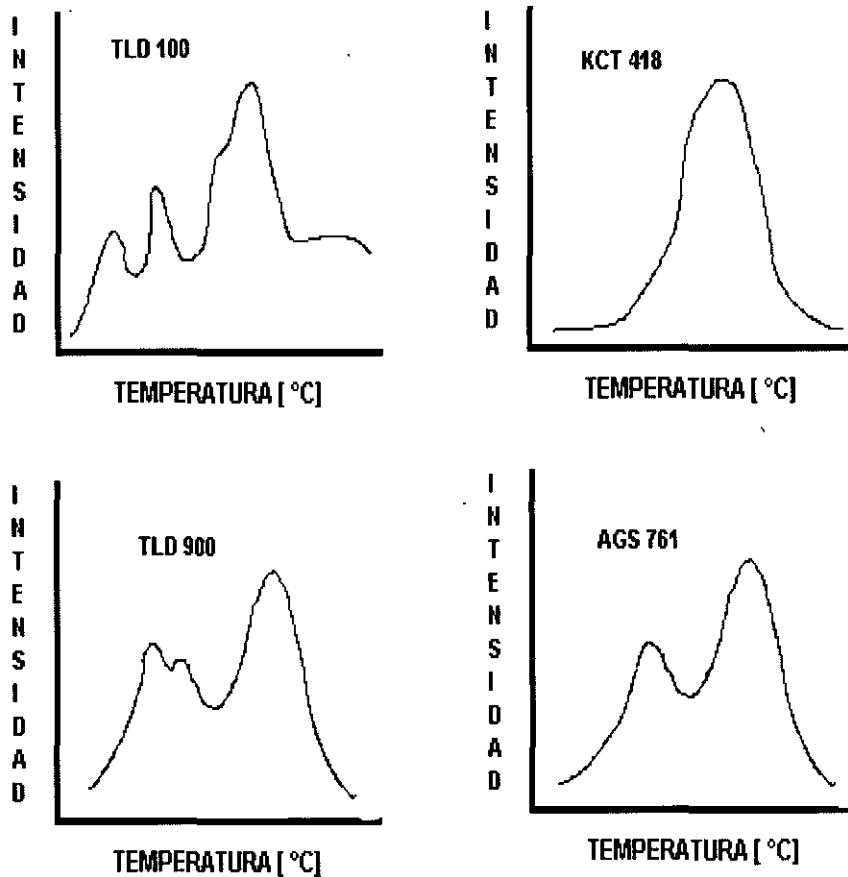


Figura 32

Se puede decir que la radiación produce una excitación en el material termolumincente que al ser calentado libera una cantidad de luz, la cual es proporcional a la dosis absorbida por el material. La cantidad de luz se mide mediante el uso de un fotomultiplicador.

Una cantidad grande de luz indica una dosis alta, mientras que, una cantidad pequeña de luz indica que se recibió una dosis baja.

USO DE LOS DOSIMETROS

El uso de los dosímetros, en la practica, se lleva acabo de la siguiente forma:

- 1.- Se usa un dosímetro a la altura del tórax del primero al día ultimo de cada mes.
- 2.- Antes de terminar el mes, se recibe el dosímetro que se utilizará durante el siguiente mes
- 3.- Se envía a lectura el dosímetro que se utilizo y se utiliza el nuevo dosímetro durante el mes siguiente. El certificado que se entrega en el siguiente envío de dosímetros (aproximadamente tarda un mes en ser entregado y en casos especiales como accidentes que involucren material radiactivo el tiempo es mucho menor).

“PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA”

- Proporcionar al titular o al responsable de la operación y funcionamiento la información necesaria sobre sus actividades laborales pasadas y actuales, que pueda contribuir a mejorar la protección y seguridad radiológica propia o de terceros.
- Recibir y aceptar la información, instrucciones y capacitación relacionadas con la protección y seguridad radiológica, a fin de realizar su trabajo de conformidad con los requisitos y obligaciones establecidos en las normas vigentes.
- Evitar todo acto deliberado o por negligencia que pudiera conducir a situaciones de riesgo o de incumplimiento de las normas de protección y seguridad radiológica vigentes, así como comunicar oportunamente al titular o al responsable de la operación y funcionamiento la existencia de circunstancias que pudieran afectar el cumplimiento adecuado de dichas normas.
- En caso de laborar en más de un establecimiento, comunicar a los titulares y a los responsables de la operación y funcionamiento de los mismos esta situación y entregarles copia de los informes, constancias y certificados mencionados en el numeral 5.2.7. Es responsabilidad del trabajador vigilar que la suma de las dosis recibidas no rebase los límites aplicables.

Protección del POE

1. El titular no debe conceder ni utilizar compensaciones especiales o tratamientos preferenciales (salario adicional, jornada reducida, vacaciones adicionales, jubilación anticipada) como sustitutivo a la adopción de las medidas de protección y seguridad radiológica adecuadas. El cumplimiento de las normas vigentes proporciona unas condiciones de riesgo equivalentes a las del trabajador no expuesto a radiaciones.
2. El médico radiólogo y el técnico radiólogo deben usar los dispositivos de protección con que cuenta el equipo de rayos X para atenuar la radiación dispersa (cortinillas plomadas, marco plomado alrededor de la pantalla, placas de plástico plomado, mamparas, filtros compensadores, entre otros), durante la realización de los estudios radiológicos, emplear el colimador apropiado para obtener el haz mínimo necesario y utilizar la tensión adecuada.
3. Durante los estudios de fluoroscopia, deben extremarse las medidas de protección radiológica, tanto por la necesidad de permanecer cerca del paciente como por el mayor tiempo de exposición, especialmente aquellas asociadas con la protección de gónadas.
4. Los dispositivos mínimos indispensables de protección radiológica por cada Departamento de Radiología se establecen en la Tabla 1. De acuerdo con el tipo de estudio a realizar, el POE debe utilizar dichos dispositivos, los cuales deben contar con las siguientes características:
 - a) Mandil con espesor equivalente de 0.5 mm de plomo cuando cubra solamente el frente del cuerpo, o mandil de 0.25 mm cuando cubra completamente el frente, los costados del tórax y pelvis.
 - b) Guantes de compresión con espesor equivalente a 0.5 mm de plomo
 - c) Guantes para intervención con espesor equivalente de 0.25 mm de plomo
 - d) Collarín para protección de tiroides con espesor equivalente a 0.5 mm de plomo
 - e) Anteojos para protección del cristalino, con cristales de espesor equivalente a 0.2 mm de plomo
5. Durante los estudios fluoroscópicos de intervención que utilicen equipo con arco en C, todo el personal que participe debe usar mandil con espesor equivalente a 0.5 mm de plomo.

“PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA”

- mantenerse siempre fuera del haz de radiación. El equivalente de dosis debe limitarse a 5 mSv por estudio radiológico.
5. Durante la operación del equipo de rayos X no deben permanecer personas ni pacientes en los vestidores anexos a la sala de exposición si no se cuenta con el blindaje adecuado para ello.
 6. Las puertas de acceso a la sala de rayos X, tanto la de entrada principal como las de los vestidores, deben permanecer cerradas durante el estudio radiológico.
 7. Los equipos de rayos X sólo podrán ser operados por las siguientes personas:
 - a) Médicos radiólogos.
 - b) Técnicos radiólogos.
 - c) Personal del servicio técnico o personal encargado de realizar las pruebas de control de calidad del equipo.
 - d) Personal en entrenamiento para la operación del equipo, bajo la supervisión de un médico radiólogo.
 8. Únicamente se pueden realizar estudios fluoroscópicos por médicos radiólogos certificados o bajo su supervisión .
 9. El paciente debe ser observable en todo momento desde la consola de control por contacto visual directo a través de una mirilla o mediante dos sistemas que sean redundantes entre sí, por ejemplo, con espejos y por medio de un sistema de circuito cerrado de televisión. Debe existir comunicación oral.
 10. En todo estudio radiológico el haz de radiación debe limitarse al área de interés y ser siempre menor al tamaño de la película radiográfica o del intensificador de imagen utilizados, de manera que el área expuesta sea únicamente la indicada en el manual de procedimientos técnicos.
 11. En todo estudio radiológico en el que las gónadas del paciente queden a menos de 5 cm del campo de radiación, deben protegerse con un blindaje de espesor equivalente de al menos 0.5 mm de plomo, excepto cuando el blindaje interfiera en el estudio o excluya información diagnóstica importante.
 12. Para los pacientes que presentan dificultad para permanecer quietos durante la exposición, el técnico radiólogo debe usar inmovilizadores, tales como bandas de compresión, empuñaduras, vendas, cuñas, fijadores de cabeza, entre otros, y adicionalmente emplear técnicas radiográficas rápidas.
 13. La distancia foco-piel no debe ser menor que 30 cm.
 14. Cuando el equipo no cuente con sistema automático de exposición, se debe utilizar un método para determinar el espesor del paciente y poder seleccionar la tensión (kV) adecuada y usar los parámetros recomendados por el fabricante del equipo.
 15. Para reducir la radiación dispersa, es obligatorio usar la rejilla antidispersora en los estudios realizados con equipo móvil, en los quirófanos y cuando la región anatómica bajo estudio tenga un espesor mayor que 12 cm.
 16. Con el objeto de reducir la exposición del paciente, se debe utilizar en todos los estudios radiográficos, la combinación compatible Chasis-Pantalla-Película-Procesador automático o manual, así como la compatibilidad del procesador automático con los químicos adecuados al procesador y al tipo de película.
 17. Las películas radiográficas vírgenes deben almacenarse de canto y en las condiciones que se establecen en la NOM-156-SSA1-1996.

"PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA"

- h) Para pacientes menores de 20 años debe usarse un método alternativo, se puede emplear mamografía únicamente en casos analizados por un médico oncólogo certificado o por otros especialistas, en cuyo caso se deberá entregar conjuntamente con la prescripción la justificación del estudio.
 - i) El revelado de placas mamográficas debe realizarse en un procesador automático de película y de preferencia en uno exclusivo ajustado para ese fin.
 - j) La lectura de placas mamográficas debe hacerse de preferencia en los negatoscopios diseñados especialmente para ese tipo de placas.
22. En todo establecimiento debe disponerse al menos de los siguientes dispositivos para la protección de órganos del paciente:
- a) Mandiles plomados
 - b) Blindajes para gónadas (tipo sombra, concha y mantillas plomadas)
 - c) Collarín para protección de tiroides
24. Los equipos móviles deben utilizarse únicamente cuando el paciente no pueda ser transportado a un equipo fijo y después de considerar las medidas de protección radiológica necesarias.
25. En la toma de placas con equipos móviles o portátiles debe emplearse siempre el colimador con iluminación del campo o bien el cono adecuado, para delimitar el haz de radiación a la zona de interés diagnóstico. Queda prohibido el uso de equipos sin colimador.
26. Se prohíbe el uso de equipos portátiles de rayos X, excepto:
- a) Para atención domiciliaria cuando el paciente no pueda abandonar su cama.
 - b) En instituciones de salud, públicas o privadas, en las que eventualmente se requiera de este tipo de estudios para un paciente encamado.
- En ambos casos el operador debe cumplir con los requisitos establecidos en la NOM-146-SSA1-1996.
27. Con objeto de reducir el número de placas repetidas por error de operación o de revelado, se deben establecer los controles administrativos adecuados para contabilizarlas, para efectuar una revisión técnica periódica a fin de determinar las causas de la repetición y para aplicar las medidas correctivas pertinentes.
28. Para evitar repetición de radiografías por dificultades para su observación, se recomienda utilizar el negatoscopio adecuado, emplear mascarillas para evitar deslumbramientos y atenuar la luz ambiental cuando sea factible.
29. Toda placa radiográfica debe contener una impresión (a la derecha del paciente), con la siguiente información: fecha del estudio, nombre del paciente, identificación del establecimiento y clave o iniciales del técnico que la tomó. En mamografía se deben incluir los parámetros de exposición de cada placa, para poder tomar nuevas placas bajo las mismas condiciones y facilitar la comparación al estudiar la evolución de la enfermedad.

“PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA”

El técnico radiólogo deberá comunicar oportunamente al médico radiólogo, cualquier falla del equipo o del proceso de revelado, que pueda implicar riesgos o dosis mayores a las normales tanto para el paciente como para el POE, que afecte la calidad de la imagen u obligue la repetición innecesaria de las placas. Debe también estudiar las necesidades diagnósticas y las características del paciente para utilizar la técnica radiológica más adecuada en cada caso, tomar las medidas pertinentes para asegurar una buena imagen y evitar la repetición de placas por error humano o mecánico. Asimismo debe colaborar con el responsable de la operación y funcionamiento en la **implantación y ejecución de un programa de revisión de placas repetidas**, con la finalidad de determinar las causas más frecuentes y aplicar las medidas correctivas adecuadas.

III.2.10. Manual de Protección y Seguridad radiológica y Manual de procedimientos Técnicos

El responsable de la operación y funcionamiento debe:

- a) Disponer de un manual de protección y seguridad radiológica del establecimiento en el que se fijen objetivos específicos para asegurar el cumplimiento de los límites de dosis tanto para el POE como para el público y para minimizar la dosis a los pacientes, tomando en cuenta los niveles orientativos como una guía no limitante (ver Apéndice A normativo).
- b) Vigilar el cumplimiento del manual de procedimientos
- c) Analizar los procedimientos de trabajo aplicados en el establecimiento e implantar las medidas específicas de protección radiológica que deben aplicarse en cada caso; vigilar y verificar el cumplimiento de las reglas generales y de las medidas específicas mencionadas.
- d) Considerar las opiniones y sugerencias del POE respecto de las medidas de protección y seguridad radiológica y su relación con los procedimientos de trabajo.

El técnico radiólogo debe:

Seguir las indicaciones del manual de procedimientos técnicos, a fin de aplicar la técnica adecuada a cada tipo de estudio, empleando los parámetros que aseguren la mejor información diagnóstica con la mínima dosis al paciente y al POE.

El objetivo del Manual de Procedimientos de Seguridad Radiológica es el de que todas las acciones que involucren fuentes de radiación ionizante, se ejecuten bajos normas y procedimientos adecuados, para reducir las exposiciones a valores tan bajos como razonablemente pueda lograrse.

El objetivo de este documento, es proporcionar al personal ocupacionalmente expuesto (POE) un conjunto de procedimientos para operaciones rutinarias y de emergencias, presentados en un lenguaje claro y accesible, para cada una de las actividades que con el material radiactivo se realicen, así como para afrontar situaciones de incidentes y accidentes que pudieran presentarse; así mismo indicar las obligaciones que el POE adquiere por el desempeño de sus labores en las instalaciones radiactivas.

El contenido del manual debe incluir actividades particulares dependiendo del tipo de equipo de rayos X.

Adicionalmente, debe incluir procedimientos administrativos que impacten en la seguridad de la instalación como: control de acceso a las zonas donde se utiliza las fuentes de radiación

 "PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA"

A continuación se presenta el formato en que deben entregarse los procedimientos que integran el Manual.

 Nombre del solicitante o permisionario

Título del Procedimiento:

Versión:

Fecha:

Hoja:

De:

1. **OBJETIVO.** Indicar el objetivo específico de; presente procedimiento.
2. **REFERENCIAS.** Indicar la bibliografía empleada para el desarrolla del procedimiento.
3. **DEFINICIONES.** En esta sección se deben definir todos los términos y conceptos aplicables al procedimiento, estas definiciones deben estar en un lenguaje claro y accesible.
4. **REQUISITOS PREVIOS.** En caso de ser aplicable, indicar las actividades o requisitos previos para la aplicación del procedimiento.
5. **MATERIAL Y EQUIPO.** Si las actividades que serán descritas en el procedimiento requieren de material y equipo, se debe indicar en esta sección la cantidad y tipo de material y equipo que se utilizará.
6. **PRECAUCIONES.** En este punto, el procedimiento debe indicar las condiciones y medidas de seguridad que deberán aplicarse por el personal que lo ejecutará, las precauciones indicadas deben ser descritas en forma clara y precisa.
7. **INSTRUCCIONES.** El procedimiento debe indicar, en una forma lógica y detallada, los pasos a seguir para realizar la actividad que se desarrollará.
8. **ANEXOS.** En casa de requerirse, deben listarse los anexos al procedimiento, y al final del mismo estar incluidos.

 PREPARADO POR:

 REVISADO POR:

 APROBADO POR:

 nombre, firma y fecha

 nombre, firma y fecha

 nombre, firma y fecha

BIBLIOGRAFÍA

1. Reglamento General de Seguridad Radiológica, Diario Oficial de la Federación, 22 de Nov. 1988, México 1988.
2. The physics of Radiation Protection, Birgit Dörschell y Colaboradores, Nuclear Technology Publisher, England 1996.
3. Instrumentación Nuclear, Agustín Tanarro Saenz.
4. Aspectos de Seguridad y Protección Radiológica de Instalaciones Médicas de Rayos X de diagnóstico, Consejo de Seguridad Nuclear Guía No. 5.11, Madrid, 1990.
5. Rodríguez, A.G. *Seguridad y protección radiológica en el Diagnóstico Médico con rayos X, Material Didáctico*, Control de radiaciones e ingeniería SA de CV. México 1999.
6. H.S.Cruz, J.L. Reyes, J. García, A. Angeles, M.A. Ruiz, F. Rodríguez y E. Domínguez. *Curso de Protección Radiológica en el Diagnóstico Médico con Rayos X (Profesionistas)*. Material Didáctico SR-03-501, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, México. 2003.
7. Publicación No. 34 del ICRP, *Protection of the Patient in Diagnostic Radiology*, International Comisión on Radiological Protection, Viena, 1982.