

PROTECCION RADIOLOGICA

V METODO SENCILLO PARA DISEÑAR ESTRUCTURAS DE PROTECCION CONTRA LOS RAYOS X

p. 26-37

LE. Ignacio Escobar Mejía*

1. INTRODUCCION

Animado por la importancia que se está dando al tema en los cursos internacionales de Arquitectura Hospitalaria realizados por la Escuela Nal de Salud Pública de la Universidad de Antioquia, nos hemos propuesto presentar una información sencilla pero lo suficientemente completa acerca del diseño de barreras de protección contra la radiación ionizante generada por una máquina de Rayos X.

Como puede recordarse los rayos X son producidos como resultado del choque que sufren los electrones acelerados por voltajes muy altos al colisionar contra un ánodo metálico. A mayor voltaje de aceleración, mayor la frecuencia de la radiación y mayor también la penetración de los rayos en la materia. Esta interacción con la materia puede constituir en sí un método para frenar el paso de la radiación ionizante conformando lo que se denomina un Blindaje.

2. PRODUCCION DE RAYOS X.

2.1 *Parámetros.* El equipo de Rayos X consta fundamentalmente de un sistema generador de pulsos que alimenta un transformador de alta tensión el cual a su vez tiene como carga el tubo de Rayos X calentado por medio de un filamento de tungsteno.

El *Kilovoltaje* (KV_p, MV_p) da velocidad a los electrones e imparte mayor "dureza" o penetración a la radiación.

La *corriente de Filamento* (M), en miliamperios, varía la cantidad de rayos producidos por variar a su vez la cantidad de electrones desprendidos.

PALABRAS CLAVES: Rayos X, Protección Radiológica, Blindaje.

El *Tiempo* (T), en segundos, que fluye la corriente a través del tubo.

La *Distancia* (d), en metros, entre el tubo y el blanco.

2.2 Relaciones entre los parámetros.

2.2.1 Corriente - Tiempo (miliamperios - segundos, MAS)

$$\frac{M_o}{M_n} = \frac{T_n}{T_o}$$

2.2.2 Tiempo - Distancia.

$$\frac{T_n}{T_o} = \frac{d_n^2}{d_o^2}$$

2.2.3 Corriente - Distancia (miliamperios - metro)

$$\frac{M_n}{M_o} = \frac{d_n^2}{d_o^2}$$

2.2.4 Relación combinada.

$$\frac{d_n^2}{d_o^2} = \frac{M_n T_n}{M_o T_o}$$

2.2.5 Kilovoltaje - Corriente - Tiempo.

El kilovoltaje modifica el contraste de una película radiográfica, pero no puede establecerse una ecuación matemática para correlacionarlo. Aproximadamente puede expresarse lo siguiente:

* Profesor Titular, Depto. Fisiología, Facultad de Medicina U. de A., Medellín-Colombia.

Disminución de los MAS	Aumento del KVp
25o/o	15o/o
50o/o	40o/o
Aumento de los MAS	Disminución del KVp
50o/o	20o/o
100o/o	30o/o

3. UNIDADES DE MEDIDA DE LOS RAYOS X.

3.1 *Roentgen (r)*. Es unidad de exposición y equivale a la exposición X o gama que es capaz de producir en 0.001293 gramos de aire una ionización equivalente a una Unidad Electroestática de Carga.

3.2 *RAD*. Es unidad de dosis absorbida. Un RAD equivale a una absorción de 100 ergios por gramo de sustancia.

3.3 *REM*. Es unidad de dosis absorbida por los tejidos biológicos solamente, según sea la efectividad biológica relativa de los distintos tipos de radiación.

4. PELIGROS DE LA RADIACION IONIZANTE.

El hombre necesita de la radiación para el diagnóstico y la terapia en Medicina, Odontología y también en procesos industriales. A su vez la radiación lleva consigo peligros reales que pueden afectarlo y causarle daños para sí y para la posteridad.

4.1 *A nivel Celular*. Los efectos primarios de la radiación ionizante, se llevan a cabo directamente en los elementos químicos de las células; ellos pueden ser excitados o ionizados por el proceso energético modificando su estructura y afectando el comportamiento celular.

4.2 *A nivel del Hombre*. Los cambios celulares pueden ocasionar:

- Trastornos en la mutación celular, daños genéticos.
- Alteraciones en el sistema Hematopoyético, Leucemia.
- Aumentos de la fragilidad capilar, desprendimiento de mucosas, reacciones locales, depilación, etc.

— Influencias Endocrinas, esterilidad, acortamiento de la vida y también muerte.

4.3 *Dosis permisible*. Ha sido definida por diferentes entidades encargadas de la protección radiológica en varios países. La norma internacional mas acogida es la presentada por el Comité Nacional para la Protección de la Radiación de los Estados Unidos de América (1), y dice lo siguiente: "Para adultos menores de 45 años y mayores de 18 la exposición recibida por el cuerpo entero o parte de él a los rayos X cuya energía sea menos de los tres millones de electronvoltios, deberá ser menor de 0.3 roentgen por semana. Para personas mayores de 45 años, 0.6 roentgen por semana".

Sin embargo las normas son mas criticas para propósito de diseño de protecciones, estableciendo dos valores únicos tal como se aprecia en la Tabla 1.

TABLA 1

Dosis máxima permisible (P) en mili roentgen/semana.

Areas controladas: aquellas en las cuales se aplica la radiación	100
Areas vecinas	10
4.4. <i>Dosis de radiación recibida naturalmente</i> . El colegio Americano de Radiología (2) trae los siguientes valores en r/año.	
Rayos Cósmiticos	0.05
Tierra	0.05
Atmósfera	0.002
Radioactividad interna	0.025
TOTAL	0.125

4.5 *Dosis de Radiación recibida por radiografía médica y dental*. Los mejores cálculos actuales aprecian que una persona de 65 años recibe un promedio de 0.025 a 0.050 r por año, número menor que el recibido por el medio ambiente. Cálculos realizados por la misma Entidad demostraron que la vida de una persona se acorta en tres semanas por la acumulación de los efectos causados por la radiación ionizante.

5. TEORIA DEL BLINDAJE.

Debido a la interacción con la materia, cualquier sustancia u objeto que se interponga en un haz de rayos X absorberá cierta cantidad de energía y dejará pasar el resto. Esta interacción es mayor en un elemento denso, de peso atómico alto, o sea que tenga un número grande de electrones por átomo (3).

La relación entre la intensidad de radiación original I_0 y la intensidad de radiación I_x después de atravesar el blindaje está dada por la siguiente ecuación:

$$I_x = I_0 e^{-\mu x}$$

En donde μ es el coeficiente lineal de absorción y varía para cada material. x es el espesor del blindaje.

Cuando se tenga un espesor capaz de reducir la intensidad original I_0 por un factor de dos, se dice que el espesor x será una capa Hemireductora (CHR)

$$\frac{I_x}{I_0} = \frac{1}{2} e^{-\mu(\text{CHR})}$$

$$\text{Luego, CHR} = \frac{0.693}{\mu}$$

Algunos valores de μ para radiación de 2 Mev:

Plomo	0.52
Hierro	0.35
Aluminio	0.12
Concreto	0.09

Con los datos anteriores es posible calcular la cantidad de capas hemireductoras necesarias para blindar adecuadamente cualquier instalación, pero se presentan dos problemas para realizarla cuya solución no es práctica en nuestro caso:

- No es fácil medir la intensidad original I_0 .
- El valor del coeficiente de absorción μ , varía con el espectro de la radiación.

Se debe recurrir entonces a otro método basado en medidas experimentales.

6. TIPOS DE INSTALACIONES MAS USUALES EN NUESTRO MEDIO.

6.1 *Fluoroscopia Médica.* Para fines de diagnóstico solamente. Cuando se desea estudiar la dinámica del organismo, la exposición es grande y la distancia entre el tubo y la mesa es de aproximadamente 45 cm. La corriente es muy baja, del orden de 2 miliamperios y el voltaje de operación generalmente alto, entre 80 y 120 (KVp). El paciente recibe una exposición mas grande durante una fluoroscopia (6r/min) que durante una radiografía (.1r/min).

Estos equipos pueden estar equipados con intensificador de imagen con el fin de reducir la radiación, pero ello no es muy común.

6.2 *Radiografía Médica.* Se usa para fines de diagnóstico, imprimiendo la imagen radiográfica sobre una placa fotográfica. La distancia entre el tubo y la película es de aproximadamente 90 cm, la relación MAS es muy variable y los KVp no muy elevados, generalmente del orden de 80 a 100 KVp. Por ejemplo una radiografía anterior de tórax para un adulto puede tomarse con 80 KVp y 6 MAS.

6.3 *Equipos para terapia hasta 60 KVp.* Estos equipos producen radiación blanda poco penetrante para aplicarse como terapia de contacto. La tensión mas usual está entre 40 y 50 KVp y su capacidad es de aproximadamente 1.000 r/min.

6.4 *Equipos para terapia hasta 400 KVp.* Producen rayos mas "duros" que los anteriores y determinan terapia mas penetrante.

6.5 *Equipos para Radiografía Dental.* Operan entre 50 y 90 KVp con dosis muy variables según la antigüedad de los equipos. Por ejemplo el modelo General Electric E CDX (1954) daba una exposición sobre la piel de 96 r/min mientras que el modelo GE 100 con una película ultrarápida solo produce 11.4 r/min al ser colocado a 20 cm de distancia.

7. VARIABLES QUE AFECTAN EL ESPESOR DE LAS PROTECCIONES

El objeto de diseñar correctamente las barreras y muros protectores es el de reducir a un mínimo seguro la radiación. Para llevar a efecto el cálculo es necesario tener en cuenta los siguientes factores:

Calidad de la radiación, dependiente del KVp.

- Cantidad de la radiación dependiente de los MAS.
- Distancia entre el tubo y la protección que separa el área ocupada.
- Clase de área que se debe proteger según sea la naturaleza de ocupación.
- Material con el cual se construirá la protección.

8. TIPOS DE PROTECCION.

8.1 *Protección primaria.* Es aquella que se coloca para que proteja contra la radiación directa del rayo principal.

8.2 *Protección secundaria.* Es aquella que se coloca para que proteja contra la radiación indirecta producida por escapes en el tubo o por radiación dispersa.

La radiación dispersa se produce al incidir el rayo principal contra algun objeto y reflejarse. Depende de todos los factores de exposición y además de el área o sección del haz en el objeto, de la absorción en el mismo y el ángulo de incidencia. Puede considerarse que se dispersa aproximadamente 0.1o/o del rayo incidente.

9. CALCULO DE ESPESORES PARA PROTECCION.

9.1 *Protección primaria.* Es necesario establecer una relación que exprese la intensidad de radiación X por cada miliamperio minuto a una distancia de un metro del tubo, valor que se denominará factor de dosis (K). Su relación será:

$$K = \frac{Pd^2}{WUT}$$

EN DONDE:

K, r/ma-min a 1 metro

P, Dosis máxima permisible que se desee utilizar. Se toma por lo general 0.1 r/semana (ver tabla No. 1).

d, Distancia en metros desde el tubo hasta la zona que se protege.

W, Factor de carga de la máquina; se da en miliamperios-minutos/semana. Para encontrarlo se debe promediar el trabajo durante varios meses.

U, factor de utilización; es una fracción del tiempo semanal que ocupa la máquina durante el cual el rayo apunta hacia la dirección que se protege. (ver tabla No. 2).

T, Factor de ocupación. Es otra fracción por la cual debe multiplicarse el factor de carga para corregirlo según sea la ocupación que se da a la zona que se protege. (ver tabla No. 3).

TABLA No. 2

Factor de utilización (U) para protección primaria.

	Radiográficas	Terapéutica	Dental
Muro	1/4	1/4	1/4
Piso	1	1	1/16
Techo	1/16	1/16	1/6

Cuando se tienen equipos con tubo rotatorio en los cuales puede apuntar el haz hacia diferentes direcciones, se deben aumentar o disminuir estos factores según sea el tiempo que se dirija hacia esa protección.

TABLA 3

Factores de ocupación (T) para las áreas que se protegen.

T, 1. Ocupación Total. Locales de control de los equipos, oficinas, corredores, salas de espera, cuarto oscuro, cuartos de trabajo, tableros, sanitarios, dormitorios o cualquier edificio vecino.

T, 1/4. Ocupación parcial. Corredores estrechos, closet para utilería, ascensores con operador, parqueaderos sin personal de atención, desvestideros.

T, 1/16. Ocupación ocasional. Clqueño, sanitarios no utilizados por el personal de trabajo de rayos X, ascensores montacargas, escaleras, elevados sobre la calle.

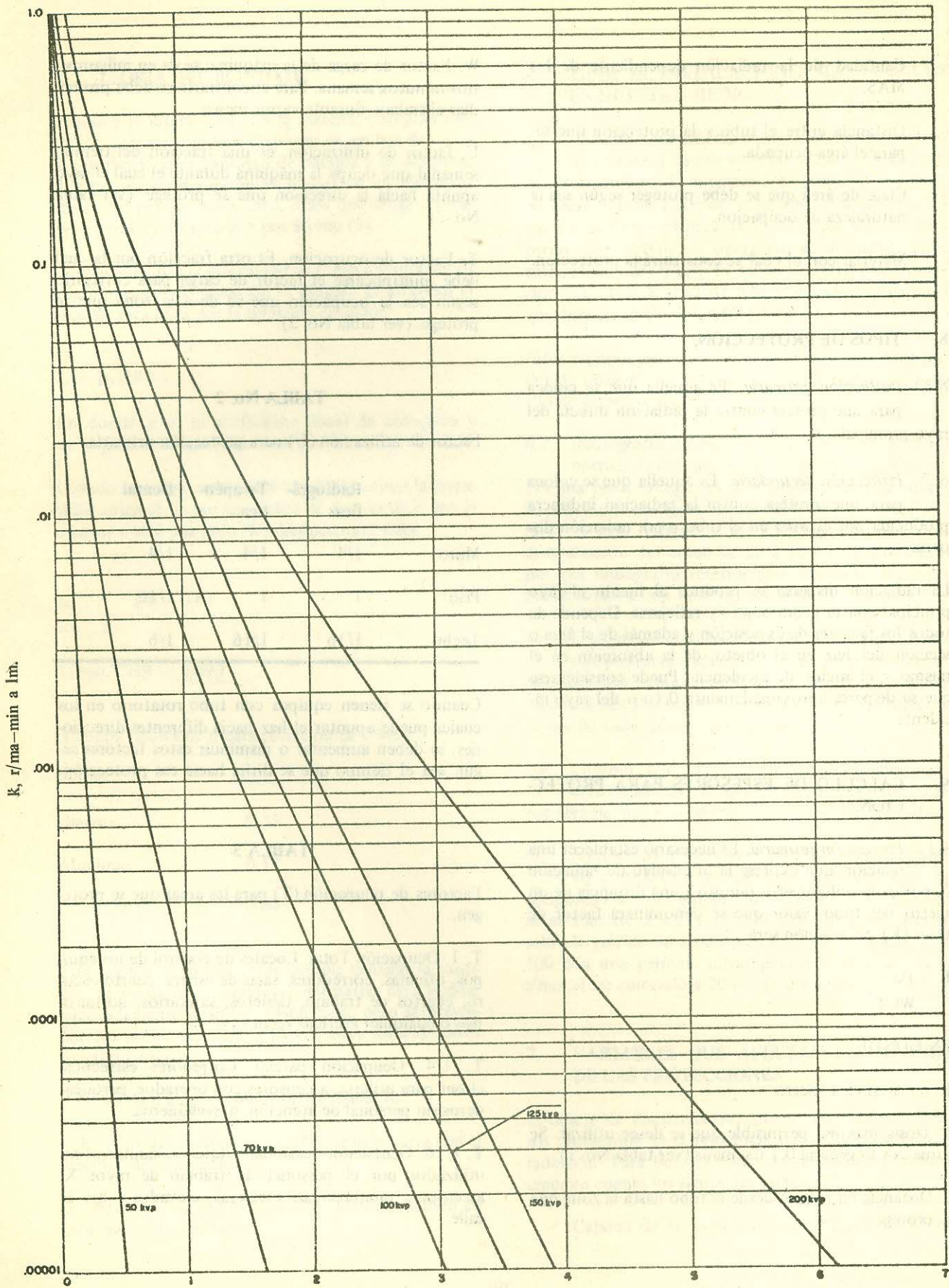


Figura 1. Atenuación en plomo. Rayos X producidos por potenciales de 50 a 200 kvp.

plomo, mm.

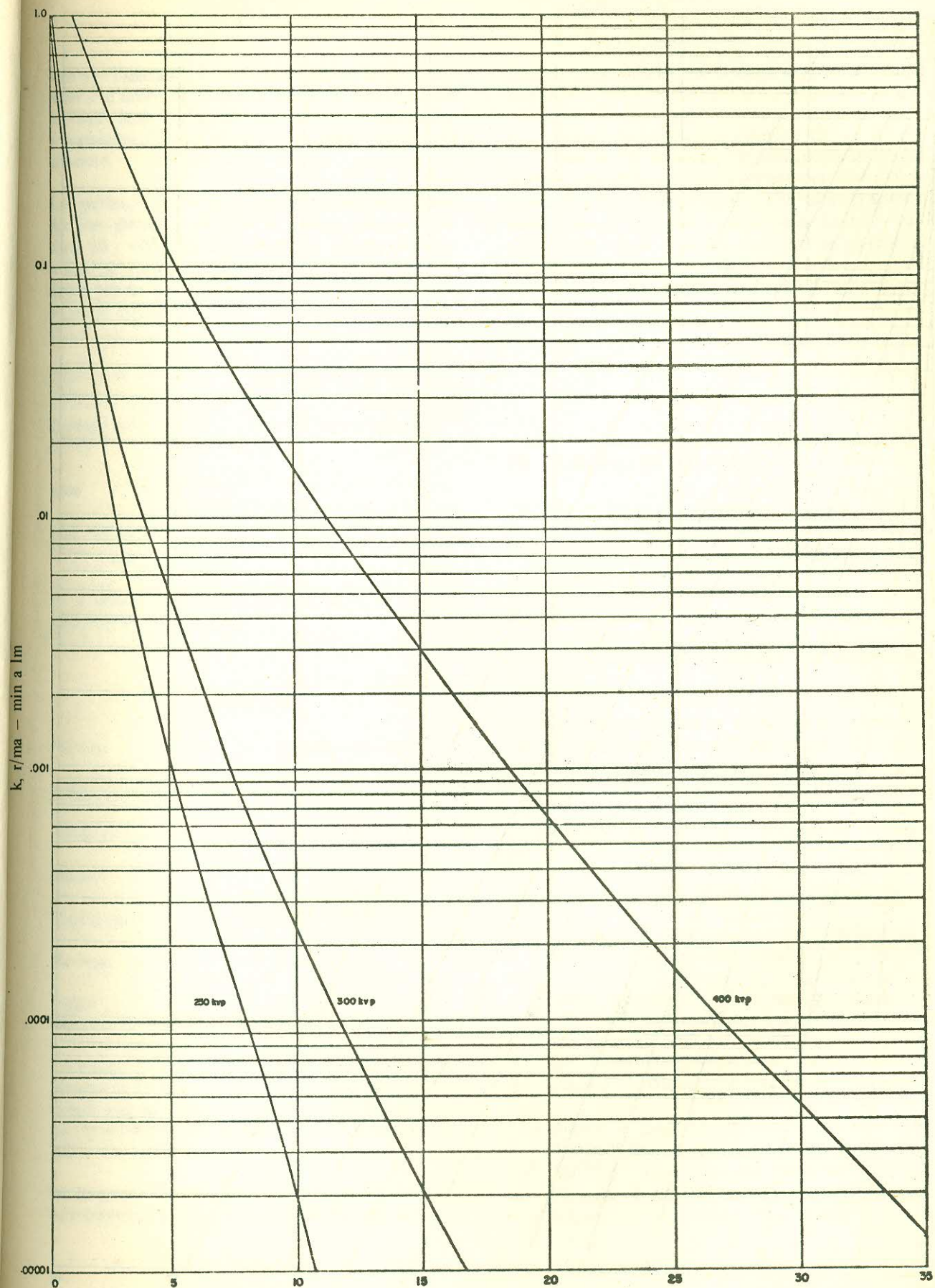


Figura 2. Atenuación en plomo. Rayos X producidos por potenciales de 250 a 400 kvp.

plomo, mm.

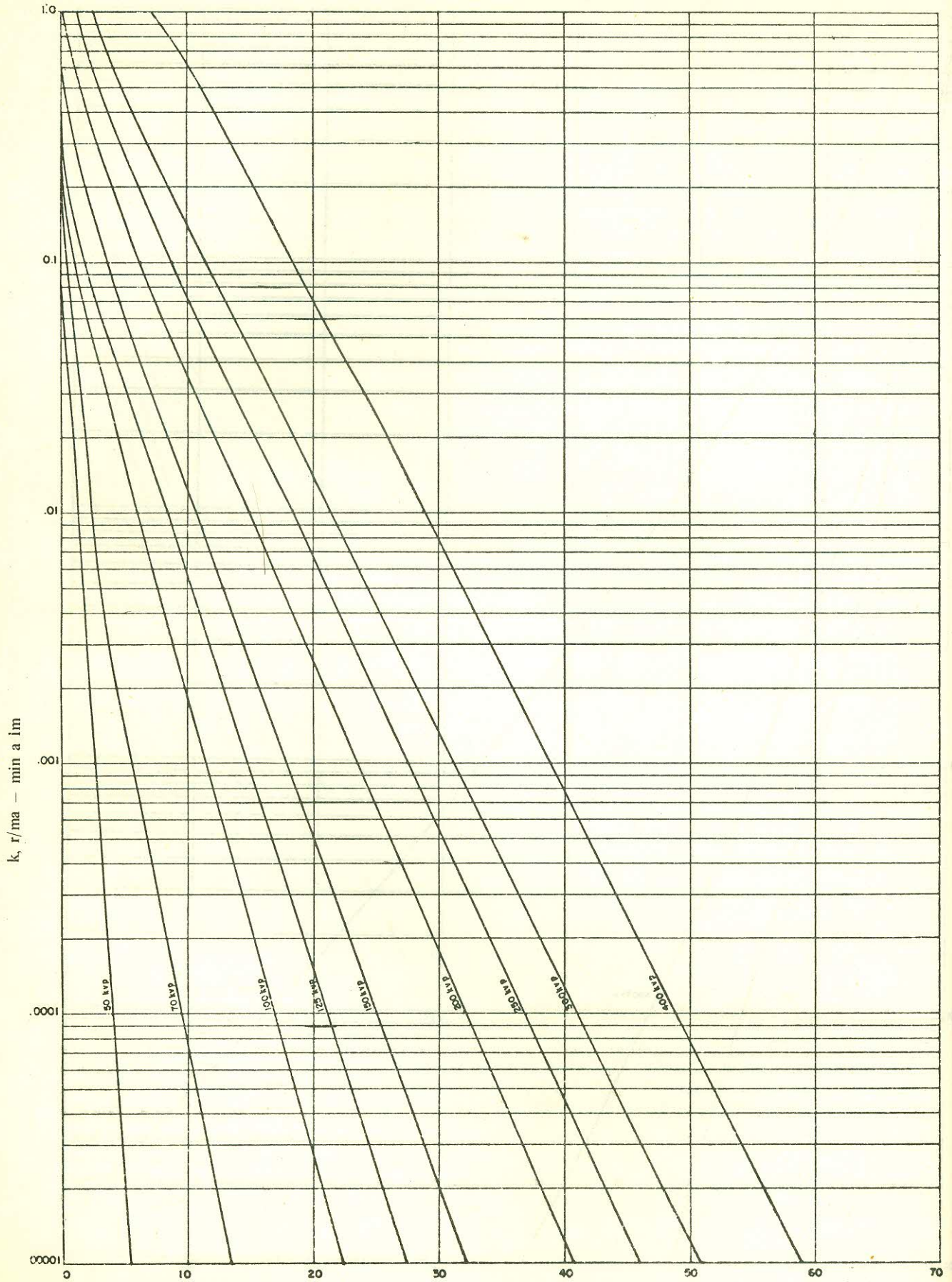


Figura 3. Atenuación en concreto. Rayos X producidos por potenciales de 50 a 400 kvp.

— concreto, cms (dens= 2.35 g/cm³)

Una vez calculado el factor de dosis K, se lleva éste valor a la ordenada de cualquiera de las gráficas 1 a 3 las cuales muestran familias de curvas para varios KVp y materiales absorbentes como lo son el plomo y el concreto.

Las gráficas 1 y 2 se usan cuando sea necesario blindar con plomo, y en ellas se trabaja con tensiones entre 50 y 400 KVp. La gráfica 3 se usa para blindaje a base de concreto. (densidad 2.35 gr/cm³). Si se quiere blindar con otro material diferente al concreto, se puede establecer un valor de "equivalente en concreto" con una simple relación inversa de densidades

$$\frac{\text{densidad de material, (dm)}}{\text{densidad del concreto, (2.35)}} = \frac{\text{espesor para el concreto, (1c)}}{\text{espesor para el material, (1m)}}$$

$$\text{o sea: } 1m = \frac{2.35 \cdot 1c}{dm}$$

o sea:

$$1m = \frac{2.35 \cdot 1c}{dm}$$

En la tabla 4 se presentan las densidades de algunos materiales de construcción.

TABLA 4

Material	Densidad (gr/cm ³)
Adobe de barro cocido	1.6 - 2.5
Adobe refractario	2.00 - 2.15
Mármol	2.47 - 2.86
Madera (pino)	0.35 - 0.60
Revoque	1.54
Vidrio	2.4 - 2.6

En cuanto se refiera a los demás metales aparte del plomo (11.38 gr/cm³) no resulta económico su uso debido a las bajas densidades que presentan; por ejemplo la densidad del aluminio es de 2.6 gr/cm³; del hierro y el zinc, 7 gr/cm³.

Es aceptable blindar con dos materiales diferentes debiéndose calcular el espesor equivalente para cada uno

de ellos. Vgr. blindar con adobe mas una lámina de plomo.

9.2 *Protección secundaria.* Como se dijo en el párrafo 8-2 la protección secundaria debe blindar contra la radiación producida por escapes en el tubo y contra la radiación dispersa cuyo valor alcanza aproximadamente a 0.1o/o de la radiación incidente. Se calcula con la misma ecuación dada para la protección primaria pero tomando un factor utilización (U) igual a uno y aumentado el factor (K) por mil.

$$Ks = \frac{1.000 P d^2}{WT}$$

10. EJEMPLO DE CALCULO

Una sala de Rayos X está situada en un segundo piso de una clínica; sus dimensiones son 8x8x3 mts. y limita así; por el N con la sala de controles del equipo y un closet en donde se guardan accesorios; por el S con un pasillo para uso de la clínica; por el E con un desvestidero para uso del paciente y un sanitario; por el O con espacio abierto al aire; el piso, sobre una sala de conferencias de utilización diaria; el techo es de teja al aire.

En el centro de la sala se encuentra un equipo de Rayos X para diagnóstico que opera a 100 KVp máximo; su tubo puede rotar verticalmente en un plano S-N describiendo un semicírculo de 200 mts. de diámetro y nunca apuntará ni al piso ni al E ni al O. Bajo estas condiciones se tendrán los siguientes parámetros:

10.1 *Dosis máxima permisible (P) o. 1 r/semana.*

10.2 *Distancias (d)* Distancia máxima del tubo a cada una de las barreras protectoras,

d (N)	5.00 mts.	d (piso)	0,5mt.
d (S)	5.00 mts.	d (E)	4 mt.
d (techo)	2.50 mts.	d (O)	4 mt.

10.3 *Factor de carga (W)* Se toman en una semana 100 radiografías con un promedio de 60 MAS cada una, o sea 100 ma-min/semana. Además se realizan procesos fluorográficos que suman 900 ma-min/semana; en total, 1.000 ma-min/semana.

10.4 Factor de utilización.

$$U(N,S) = 1/4$$

$$U(\text{techo}) = 1$$

Se toma factor mayor para el techo por apuntar hacia él con mas frecuencia el haz. En cambio es menor la utilización horizontal del equipo o haz.

10.5 Factor de ocupación. (T)

$$T(N,S) = 1$$

$$T(E) = 1/4$$

$$T(O, \text{techo}) = 1/16$$

10.6 Cálculo de las barreras protectoras.

10.6.1 Barreras primarias. Se obtiene el valor K para cada una de las barreras primarias N, S y el techo.

$$K(N,S) = \frac{0.1 \times 25}{1.000 \times 1 \times 1/4} = 0.01$$

$$K(\text{techo}) = \frac{0.1 \times 6.25}{1.000 \times 1 \times 1/16} = 0.01$$

Se escoge el material protector. Debido al costo de la lámina de plomo, se ensaya con un espesor de concreto. Llevando los valores de K al gráfico 2, se busca el intersección de las ordenadas con la curva correspondiente a 100 KVp, encontrándose en las abscisas el valor del espesor en concreto.

espesor en concreto (N,S) 6 cm aprox.

espesor en concreto (techo) 6 cm aprox.

Si quisiera construirse en adobe de barro cocido, la relación de densidades (tabla 3) dará un espesor de:

espesor de adobe (N,S, techo) 7.05 cm aprox.

Si existe una puerta, debe colocarse en ella una lámina de plomo cuyo espesor sea calculado con el gráfico 1.

Espesor en plomo (NS) para una puerta 8 mm

10.6.2 Barreras secundarias. Hacia ellas nunca apuntará el rayo principal; para nuestro caso E, O y el piso. El valor de K será:

$$K(E) = \frac{1.000 \times 0.1 \times 16}{1.000 \times 1/4} = 6.4$$

$$K(O) = \frac{1.000 \times 0.1 \times 16}{1.000 \times 1/16} = 25.6$$

$$K(\text{piso}) = \frac{1.000 \times 0.1 \times 0.25}{1.000 \times 1} = 0.025$$

Llevando estos valores al gráfico 2 se observa que no se necesita protección apreciable para E, O y solo tres cm. de concreto, o su equivalente en adobe que apenas sería un muro menor de 5 cm.

Si se desea colocar un vidrio de observación en el cuarto de control situado en el muro N, es necesario adquirir un vidrio plomado de 1/8 pulgada de espesor (1/4 de pulgada de espesor es equivalente a 1.5 mm de plomo).

11. REQUISITOS ADICIONALES QUE DEBEN CUMPLIR LAS INSTALACIONES.

11.1 Salas de fluoroscopia.

— Cuando se trabaja con fluoroscopia, la misma pantalla de vidrio plomado, constituye una barrera primaria; ella puede ser la pantalla convencional en el sistema intensificador de imagen.

— El cuarto debe tener la posibilidad de oscurecerlo.

— El equipo para fluorografía solo requiere protección secundaria.

— Para propósitos de cálculo, si no se cuenta con datos reales pueden usarse factores de carga (W) de 1.000 ma-min/semana a 100 KVp, 800 ma-min/semana a 125 KVp o 400 ma-min/semana a 150 KVp.

11.2 Salas para Radiografía.

11.2.1. Equipos fijos.

— Las barreras que reciban o puedan recibir directamente el haz de rayos X debe-

rán tener protección primaria. En los muros laterales ella se debe elevar hasta un mínimo de 2 mt.

- Las demás barreras serán secundarias.
- La sala de control deberá estar bajo las especificaciones anteriores y el operador en ella podrá comunicarse con el paciente.
- La ventana de vidrio para observación deberá presentar el mismo espesor equivalente al de la barrera en donde está localizada.
- Para propósitos de cálculo si no se cuenta con datos reales puede usarse un factor (W) de carga de 1.000 ma-min/semana a 100 KVp, 400 ma-min/semana a 125 KVp ó 200 ma-min/semana a 150 KVp.

11.2.2 Equipos móviles.

- No puede procurarse una protección estructural debido a su condición. Sin embargo, si se usa de rutina en un mismo punto, deberá aplicarse todas las normas contempladas en el párrafo 11.2.1.

11.3 Sala para fluorografía

- Se deben aplicar las mismas normas que se estipulan en el párrafo 11.2.1 (Radiografía, equipos fijos).
- Si el equipo viene provisto de un blindaje primario especial colocado detrás de la cámara, sólo se requiere protección secundaria.

11.4 Sala para instalaciones terapéuticas.

11.4.1 Hasta 60 KVp.

- No requieren blindaje estructural, sólo blindaje de pantalla.

11.4.2 Hasta 400 KVp.

- Todas las barreras contra las cuales el haz de rayos pueda incidir se blindarán con estructuras primarias.
- Los demás con estructuras secundarias.
- Sería conveniente localizar éstas salas lo mas retirado posible de las áreas ocupadas; con ello se reduce el factor de ocupación.

- Las puertas deben llevar un seguro eléctrico en tal forma que al abrirlas, la máquina de Rayos X se apague y no pueda restablecerse el servicio sino desde la estación de control.

- La sala de control estará situada en un sitio tal, que el operador tenga visión directa del paciente, o a través de un sistema de televisión.

- Para propósitos de cálculo, si no se cuenta con datos reales, pueden usarse los siguientes factores de carga (W): 4.000 ma-min/semana a 100 y 150 KVp, 40.000 ma-min/semana a 200 - 250 y 300 KVp.

11.5 Instalaciones dentales.

- La sala debe tener un tamaño tal que el operador pueda situarse por lo menos a 1.80 mts. del equipo y fuera del haz de rayos X.
- Las superficies expuestas al haz principal será blindadas con protección primaria.
- La correcta localización del equipo en una sala, puede ahorrar costos de blindaje.
- Para propósitos de cálculo si no se cuenta con datos reales puede considerarse un factor de carga (W) de 800 ma-min/semana a 70 KVp.

12. DETALLES DE CONSTRUCCION (7,8).

12.1 Juntas.

- Cuando se blinda con plomo, es conveniente formar un "emparedado" entre láminas de madera para dar mas firmeza a la estructura. Las juntas deberán hacerse en tal forma que cumplan las especificaciones mostradas en la figura 1.

12.2 Puertas y ventanas.

- Deberá calcularse su protección de taque presente la requerida para el muro en donde se encuentran localizadas. Es importante dotar a las puertas y ventanas de un marco protector tal como lo enseña la figura 2; no deben colocarse puertas o ventanas en la barrera protectora para el haz primario.

En cuanto a las ventanas de observación, su tamaño será de 50 x 60 y su centro situado a 1.6 mt sobre el

suelo. Deberá llevar vidrio plomado (1/4 de pulgada de espesor es equivalente a 1.5 mm de plomo). Como no siempre es fácil encontrar localmente el vidrio, la solución es colocar el de un aparato obsoleto de Fluorografía.

12.3 Cajas de seguridad, cajas de empalme y otras.

En la figura 3 se muestra el detalle de fabricación para una caja de seguridad. El espesor de la barrera de plomo debe calcularse según la necesidad. Cuando se deban colocar otras cajas de empalme Vgr. para conexiones eléctricas, tubería de plástico etc., se seguirán los esquemas indicados. Así mismo al utilizar tornillería se deberá sellar la cabeza en la forma indicada.

CONCLUSION.

Por medio de la información anterior se quiere dar una instrucción fundamental acerca de la construcción de barreras de protección radiológica para las necesidades mas usuales en nuestro medio. Cuando sea necesario proveer sistemas especiales fuera del al-

cance de este estudio sugerimos se eleve una consulta al Instituto Nacional para Programas Especiales de Salud el cual cuenta con un excelente Departamento de Radiofísica Sanitaria.

RESUMEN

En este trabajo se exponen algunos fundamentos acerca de la radiación ionizante producida por tubos de Rayos X hasta de 400 KVp., tal como lo son los equipos para Fluorografía, Radiografía médica, Radiografía Dental, Terapia suave y Terapia profunda.

Se analiza los parámetros principales en la producción de los Rayos X y las variables que entran en juego cuando se absorbe la radiación tales como la dosis, el tiempo y la distancia.

Por medio de un ejemplo sencillo se calcula el blindaje que debe colocarse en el caso de una instalación radiográfica típica.

Al final se presentan algunos detalles técnicos de diseño para ser aplicados en la construcción de las barreras protectoras contra la radiación ionizante.

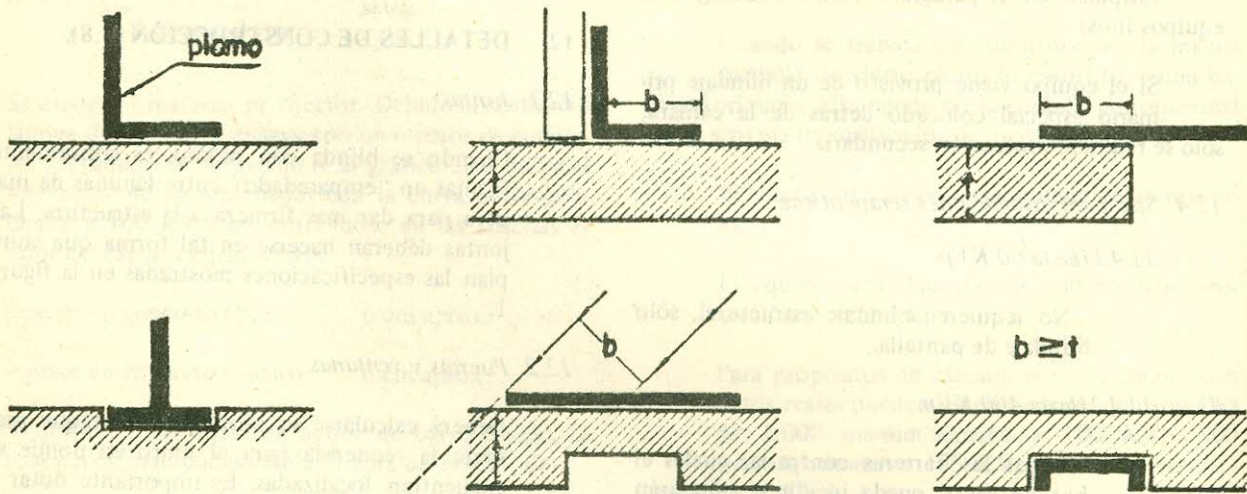


Figura 1 — Juntas

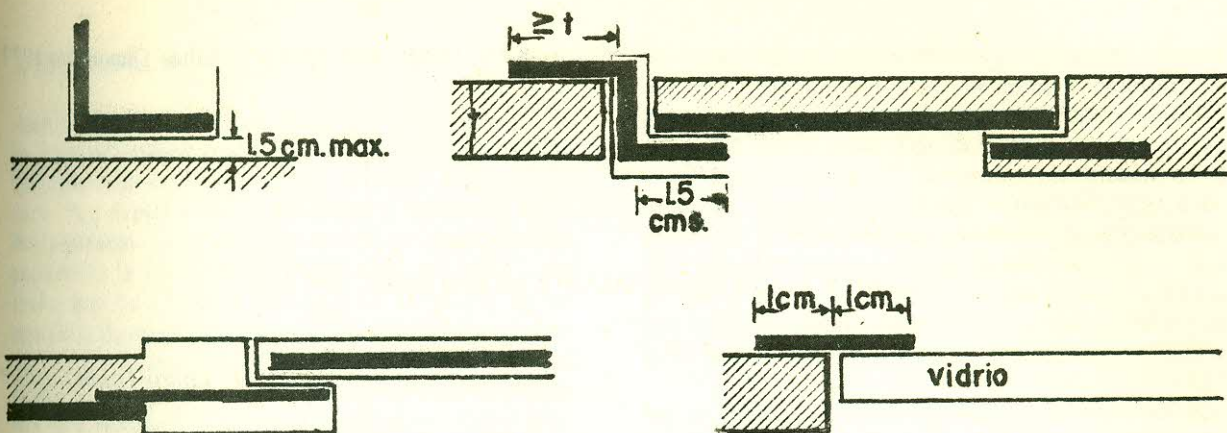


Figura 2. Puertas y ventanas (no expuestas a radiación primaria).

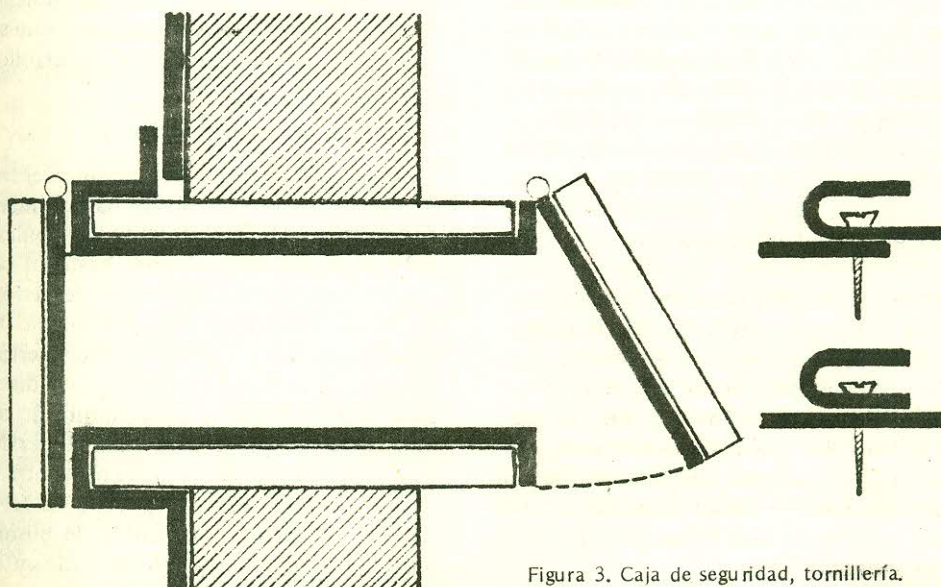


Figura 3. Caja de seguridad, tornillería.

BIBLIOGRAFIA

1. ESTADOS UNIDOS. NATIONAL BUREAU OF STANDARDS. Permissible dose from external sources of ionizing radiation. Washington, 1954 (Handbook, 59).
2. COLEGIO AMERICANO DE RADIOLOGIA. Manual práctico sobre el uso de los rayos x en medicina y odontología, Chicago, 1960.
3. ROIG, E. Curso de técnicas de radioisótopos. San Juan, P.R., Centro Nuclear de Puerto Rico, 1970, vol. 11.
4. RADIATION SAFETY in dentistry. Milwaukee, Wiss, General Electric, 1969.
5. ESTADOS UNIDOS. NATIONAL BUREAU OF STANDARDS. Medical x ray protection up to three million volts. Washington, 1961.
6. TROUT, E, KELLY, J. and LUCAS, A. Broad beam attenuation in concrete for 50 to 300 KV p x ray and in lead for 300 KV p x ray, Radiology 72: 62-67, Jan. 1955.
7. ROSENFELD, I. Hospital integrated desing. New York, Rinehold, 1960.
8. SCOTT, W.G. Planning guide for radiologic installations. Chicago, The Year Book Publisher, 1953